

**INFORME ANUAL 2002**

**CONVENIO MADR071/98**

**ENERO, 2003**

# Contenido

<b>META 1. EVALUACION DE IMPACTO.....</b>	<b>3</b>
<b>META 2. BIOTECNOLOGIA DE FRUTAS.....</b>	<b>23</b>
PROPAGACIÓN <i>IN VITRO</i> , REGENERACIÓN DE PLANTAS Y TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE LULO .....	24
PROPAGACIÓN <i>IN VITRO</i> DE CLONES SELECCIONADOS DE GUANÁBANO Y PRODUCCIÓN DE MATERIAL DE SIEMBRA DE OPTIMA CALIDAD FITOSANITARIA Y GENÉTICA .....	29
INFORME TRABAJO MANEJO INTEGRADO DEL MOKO DEL PLATANO .....	32
<b>META 3. ARROZ SECANO .....</b>	<b>44</b>
<b>META 4. GRAMINEAS Y LEGUMINOSAS TROPICALES.....</b>	<b>133</b>
<b>META 5. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA, SUELOS Y AGUAS .....</b>	<b>224</b>
SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	225
SUELOS .....	254
<b>META 6. RECURSOS GENETICOS .....</b>	<b>337</b>
<b>META 7. MAIZ .....</b>	<b>366</b>
<b>META 8. CAPACITACION Y DIVULGACION.....</b>	<b>370</b>

**META 1.**  
**EVALUACION DE IMPACTO**

# **Informe anual 2002**

## **Convenio MADR - CIAT**

### **Meta 1: Evaluación del Impacto**

*Libardo Rivas R.*

#### **1. Introducción**

El gobierno colombiano a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) ha venido apoyando financieramente, desde hace varios años, un Programa de investigación agropecuaria, que busca desarrollar nuevas tecnologías, metodologías y conocimientos científicos, para promover el desarrollo social y económico en la Amazonia y la Orinoquia colombianas (A&O). Esta última conocida también como los Llanos Orientales.

Este programa se ha cumplido en varias fases desde 1994 hasta el presente. En el transcurso del mismo se han firmado tres Acuerdos o Convenios de Cooperación Técnica y Científica entre el MADR y el CIAT. El inicial se firmó en 1994 para una vigencia de un año, el segundo cubrió el período 1995 – 1998 y el actual se pactó para el lapso 1999 – 2003. La financiación de los trabajos de investigación es compartida por partes iguales por el MADR y el CIAT.

El área objetivo del Programa es una enorme porción del territorio nacional, cerca del 60%, que cuenta con una importante base de recursos de tierras (bosques y sabanas), hídricos, mineros, ganaderos, pesqueros, agrícolas y de biodiversidad, los cuales representan un gran potencial para contribuir al desarrollo económico de esa región y del país, pero que para su explotación sostenible se requiere disponer de nuevas tecnologías de producción, metodologías y conocimientos científicos, que permitan adelantar en el área objetivo, procesos productivos eficientes, sostenibles, competitivos y socialmente rentables.

En el Convenio vigente, el trabajo de investigación se ha estructurado alrededor de nueve metas o subproyectos: 1) Evaluación del Impacto. 2) Frutas tropicales. 3) Arroz de secano. 4) Gramíneas y leguminosas tropicales. 5) Sistemas de información geográfica, suelos y agua. 6) Recursos genéticos. 7) Maíz. 8) Capacitación y 9) Sistemas de producción. La Meta 7 (maíz) está bajo la responsabilidad del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y la Meta 9 (Sistemas de producción) está a cargo de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).

Esta iniciativa de cooperación técnica y científica, aprovecha las ventajas comparativas del sistema internacional de investigación en agricultura, en este caso a través del CIAT y del CIMMYT, para reforzar y complementar las labores de investigación y desarrollo

agropecuario, adelantadas por numerosas entidades nacionales que operan en esa parte del país.

A partir de 1999 se incluyeron dentro de las labores del Convenio las actividades de evaluación de su impacto. En los años precedentes se han reportado diferentes estudios efectuados por dicha Meta, que incluyen los siguientes temas: 1) Análisis Económico y evaluación de las tendencias socioeconómicas en el área geográfica de referencia. 2) Evaluación económica *ex –ante*, utilizando modelos de excedentes económicos, de varias alternativas tecnológicas con alto potencial de impacto en A&O. 3) Evaluación económica *ex –post* del impacto producido por la adopción de adelantos tecnológicos en ganadería (forrajes) y arroz, actividades básicas en la economía de esa zona de Colombia y 4) Desarrollo de un marco conceptual y metodológico, para adelantar el monitoreo y evaluación de los productos y resultados del Convenio

Durante 2002 se desarrollaron dos actividades principales: 1) Evaluación del impacto económico de los resultados y productos técnicos aportados por las diferentes metas del Convenio, durante 1994 –2001 y 2) Inicio del proceso de documentación, recolección y sistematización de la información técnica y científica aportada por el trabajo desarrollado.

La evaluación del impacto en el período de referencia incluye los siguientes temas: 1) Impacto económico potencial y resultados de la investigación en frutas tropicales. 2) Impacto económico y resultados de la investigación en arroz en Colombia y los Llanos Orientales. 3) Impacto económico potencial y resultados de la investigación en forrajes para la Orinoquia. 4) Impacto económico potencial y resultados de la investigación en sistemas de información geográfica (SIG), suelos y agua en los Llanos colombianos. 5) Resultados y avances de la investigación en recursos genéticos.. 6) Actividades y logros en capacitación científica y 7) Resultados y avances en el área de evaluación del impacto.

## **2. Resultados sobresalientes**

- Durante el período evaluado el Convenio MADR – CIAT ha producido resultados técnicos de diversa naturaleza: 1) Desarrollo y liberación de tecnologías de producción, basadas principalmente en nuevo germoplasma de pastos y de cultivos, que están siendo utilizadas o están listas para su utilización. 2) Generación de nuevos conocimientos y metodologías de investigación y producción, que constituyen pilares fundamentales para futuros desarrollos tecnológicos para la región objetivo y el país en general. 3) Diseño de instrumentos analíticos para el uso y manejo sostenible de los recursos naturales y para apoyar la toma de decisiones en este campo de acción. 4) Recopilación, análisis y sistematización de información crítica para la investigación y desarrollo, materializada en el diseño e implementación de bases de datos y en la producción de numerosos documentos técnicos y científicos. 5) Formación de capital humano, mediante la capacitación y el adiestramiento de personal técnico y científico nacional.

## **Frutas Tropicales**

- La investigación en frutales tropicales, utilizando como herramienta básica las técnicas moleculares, está logrando resultados muy promisorios en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), guanábano (*Annona muricata*) y lulo (*Solanum quitoense*).
- Los mayores avances de la investigación en frutales se expresan en: 1) Desarrollo de tecnologías *in vitro* para la multiplicación rápida de materiales promisorios. 2) Identificación, caracterización y conservación de germoplasma apropiado para los diversos agroecosistemas del país.
- La evaluación del impacto económico potencial de la investigación en frutales, se efectuó en función de la incorporación a la producción de nuevas áreas cultivadas y a la expansión de los rendimientos actuales, debido a la adopción de variedades mejoradas.
- El valor presente en 2002 (VP), de la producción debido al empleo de las nuevas variedades, en un horizonte de 10 años, se contabiliza como el beneficio económico atribuible al cambio técnico. Dicho VP para los tres cultivos considerados en conjunto, se estimó en US\$ 98 millones.
- La cifra anterior supera por lejos al VP en 2000 de las inversiones efectuadas por el Convenio en el período 1999 - 2001: US\$ 200 mil.
- El estudio plantea que para crear en el país una vigorosa agroindustria basada en la producción de frutas tropicales, y para obtener el impacto socioeconómico esperado, es indispensable el apoyo continuo al trabajo de investigación, con el propósito de obtener variedades de frutales mejoradas, de alta productividad, calidad y con resistencia a plagas y enfermedades.

## **Arroz**

- Como resultado del trabajo del Convenio MADR – CIAT, el Proyecto de arroz del CIAT desde 1994, desarrolló y entregó miles de líneas a diferentes instituciones nacionales: ICA, CORPOICA, FEDEARROZ, COPROSEM, SEMILLANO.
- De ese germoplasma un total de 12 variedades de arroz se liberaron en Colombia, las cuales se está utilizando masivamente no solo en los Llanos Orientales, sino en todo el territorio nacional.
- Los procesos de adopción de la mayoría de esas variedades han sido muy dinámicos. Se estimó que en 2001 el 86% (casi 350 mil has.) de la superficie arrocera nacional estaba plantada con variedades producidas con apoyo del Convenio. Se calcula que para el mismo año, en los Llanos Orientales esa proporción alcanzaba el 70%.
- Entre los nuevos materiales se destaca ampliamente Fedearroz 50, que en 2001 cubría el 69% del área arrocera nacional y el 50% de la de los Llanos Orientales.
- El impacto del cambio técnico en la producción de arroz puede ser evaluado considerando varias dimensiones: 1) La geográfica, por su difusión a lo largo y ancho del

país y en todos los sistemas de producción. 2) La reducción de costos de producción y el mejoramiento de la competitividad de la industria, resultante del empleo de variedades nuevas, con mayor resistencia a plagas y enfermedades. 3) Las externalidades ambientales positivas, como consecuencia de la reducción del uso de plaguicidas y pesticidas, debido a la resistencia de las plantas mejoradas, lo cual tiene implicaciones económicas y ambientales.

- Se estima que el uso de Fedearroz 50, con resistencia a *pyricularia*, propició una reducción de costos equivalente a US\$ 24.8 millones en los Llanos y a US\$ 21.8 millones en el resto de Colombia.
- El VP de la producción adicional de arroz, debido a la adopción masiva del nuevo germoplasma, se estimó en US\$ 180 millones para el país en conjunto y en US\$ 63 millones para los Llanos Orientales.
- La relación beneficio costo de las inversiones del Convenio MADR – CIAT para investigación en arroz en Colombia, se estimó que está en una proporción de 20 a 1.

### **Forrajes Tropicales**

- La investigación en forrajes tropicales se ha enfocado hacia la generación de nuevo germoplasma de gramíneas y de leguminosas forrajeras, bien adaptado, productivo y resistente a plagas y enfermedades.
- Un grupo importante de nuevas opciones forrajeras, que pueden cumplir diversos roles estratégicos en los sistemas ganaderos de la Orinoquia, ha resultado de este trabajo: *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 cv. Toledo; *Cratylia argentea* cv. Veranera; *Desmodium heterocarpum* subsp. *Ovalifolium*, cv. Maquenque; *Arachis pintoii*, CIAT 18744.
- Nuevos materiales de altísimo potencial económico, se encuentran en las etapas finales de evaluación para su liberación en breve plazo entre los cuales se destacan *Brachiaria* CIAT 36062 con alto grado de resistencia a salivazo y *Brachiaria* CIAT 36061, cv. Mulato.
- Aparte de los nuevos materiales, otros productos tecnológicos ha generado el trabajo del Convenio tales como nuevas metodologías de investigación y el desarrollo de bases de datos y fuentes de información técnica y científica.
- El beneficio económico potencial para el país por el empleo de los nuevos materiales forrajeros se calculó en US\$ 189 millones, lo cual implica una relación beneficio costo de los fondos invertidos por el Convenio en el período evaluado de 13 a 1.

### **Investigación en Sistemas de Información geográfica, suelos y agua**

- En este esfuerzo de investigación participan varios proyectos del CIAT (manejo de tierras, suelos, agroempresas rurales), así como numerosos socios e instituciones de investigación en los contextos comunitario, municipal, departamental, regional y

nacional. El trabajo efectuado ha estado íntimamente ligado a las actividades de planeación y ordenamiento territorial, promovidas por entes de nivel municipal de la región objetivo.

- Se ha demostrado que el monocultivo continuo en los suelos de la Altillanura, los degrada rápidamente, reduciendo su productividad a niveles que hacen inviable su empleo con fines económicos.
- Por esta razón, para el mejoramiento estos suelos se ha desarrollado y difundido el concepto de la capa arable, la cual se construye antes de su utilización en actividades productivas.
- Para lograr en el área de referencia un crecimiento eficiente, sostenible y equitativo, se requiere la formación de una capa arable, que es una estrategia que implica prácticas de labranza, enmiendas del suelo y material vegetal, genéticamente adaptado a condiciones de baja fertilidad y acidez predominantes en la Altillanura.
- El beneficio potencial de adoptar esta práctica en la región de interés es de gran magnitud. Se estima que el VP de la producción adicional al implementar un sistema de rotaciones maíz – soya, en una superficie de 100 mil hectáreas durante un período de 10 años equivale a US\$ 238 millones.
- Dado que el enfoque de la investigación en suelos en los Llanos enfatiza en el uso productivo y conservacionista de los mismos, se ha construido un conjunto de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. Entre ellas se destaca el árbol de decisiones, que es un instrumento que ayuda a establecer el potencial productivo del suelo, en sus diferentes usos alternativos.
- Las herramientas de evaluación y análisis para el uso y manejo de los recursos naturales están diseñada para su empleo a diferentes escalas: la finca, la comunidad, el municipio o la región.

### **Recursos genéticos.**

- Esta área de trabajo se enfoca hacia la conservación integrada de los recursos genéticos vegetales, con el fin de que las instituciones y demás usuarios colombianos se beneficie con un germoplasma caracterizado, que se ajuste a los estándares internacionales.
- En el período 1999 –2001 y por solicitud de distintos usuarios nacionales se distribuyeron 14252 entradas a través de 446 envíos de germoplasma de fríjol, forrajes y yuca.
- Su utilización es muy diversa e incluye mejoramiento varietal, prácticas agronómicas, capacitación e investigación básica y aplicada.
- En el período de referencia se trabajó en la caracterización de 13801 materiales de forrajes y fríjol en 4 localidades: Palmira, Quilichao, Popayán y Tenerife. Los caracteres



se refieren a: hábito de crecimiento, altura al inicio de la floración, color de flor, presencia de plagas y enfermedades e inicio y fin de cosecha.

- Se registraron importantes avances en la investigación en recursos genéticos dentro del marco del Convenio MADR – CIAT. Entre ellos se destacan: 1) El mejoramiento de los protocolos para la estimación de viabilidad sobre 51 géneros y 158 especies forrajeras. 2) La determinación del modo reproductivo en 574 entradas en la colección de *Brachiaria*. 3) La aplicación de la metodología de crecimiento lento, empleada en el caso de *Manihot sculenta*, a ciertas especies frutales de interés económico como lulo (*Solanum quitoense*) sapote costeño (*Pouteria sapota*), avocado (*Persea americana*) y guayaba (*Pasidium guajaba*) y 4) La elaboración de una base de datos con más de sesenta frutales neotropicales de importancia económica. Se considera que esta información computarizada, será una valiosa ayuda para el diseño de estrategias de conservación de esos materiales.

### **Capacitación científica**

- Durante 1994 –2001 un total de 934 técnicos y científicos nacionales recibió capacitación y adiestramiento en las áreas de trabajo del Convenio, mediante diversas modalidades docentes: eventos grupales, cursos especializados de tiempo completo y dedicación exclusiva, desarrollo de tesis de pregrado, maestría y doctorado y estudiantes en práctica.

- Las actividades de capacitación constituyen un complemento esencial del trabajo de investigación efectuado. Se considera que la formación de capital humano nacional, dentro del Convenio, es una forma eficaz de difundir en el país los logros técnicos y científicos obtenidos. Se espera que esta estrategia ayude a una rápida aplicación de los nuevos productos y conocimientos en el campo de la producción, no solo en el área objetivo, sino en otras zonas de Colombia.

- Los grandes temas abocados por el Proyecto de Capacitación son: a) Gerencia de proyectos, b) Herramientas para la valoración y conservación de la agrobiodiversidad, c) Instrumentos analíticos para la toma de decisiones sobre conservación y uso de los recursos naturales, d) Metodologías e instrumentos para el diseño de planes de ordenamiento territorial. e) Metodologías y modelos para evaluación económica y f) Técnicas avanzadas para el mejoramiento de los cultivos.

### **Evaluación del impacto**

- Las labores que ejecuta esta área de trabajo están dirigidas a mejorar la eficiencia y eficacia del trabajo del Convenio. Las actividades ejecutadas se resumen en: 1) Diseño de un marco general del área de impacto del Convenio que incluye información y análisis de sus grandes tendencias socioeconómicas. 2) Evaluación *ex – ante* de alternativas productivas con alto potencial de impacto socioeconómico en A&O. 3) Evaluación *ex – post* de desarrollos tecnológicos en arroz y forrajes en los Llanos y la Amazonia. 4) Diseño de un marco conceptual y metodológico para la evaluación y monitoreo de los productos técnicos del Convenio. 5) Evaluación del impacto económico de los resultados del Convenio durante 1994 –2001.

- Durante el presente año se inició el proceso de implementación de un sistema de información que haga disponible para diferentes grupos de usuarios nacionales, la información técnica y científica aportada por el trabajo efectuado. Se considera que se trata de un mecanismo muy apropiado para impulsar la difusión y la utilización, en el país, de las nuevas tecnologías, conocimientos y herramientas producidas.

### **3. Resumen**

#### **3.1 Evaluación del impacto económico y los resultados del Convenio en el período 1994 – 2001**

A partir de 1994 el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y el CIAT, han venido financiando un programa de investigación, para desarrollar nuevas tecnologías, metodologías, conocimientos científicos y sistemas de producción sostenibles y adaptados a las condiciones económicas y ambientales de la Orinoquia y la Amazonia de Colombia.

Se trata de una alianza estratégica entre el MADR y el CIAT para impulsar la modernización de la agricultura en la región objetivo mediante el diseño y aplicación de nuevas tecnologías, que contribuyan a mejorar la productividad, la competitividad y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios de esta extensa región del territorio nacional.

El programa de investigación se ha estructurado alrededor de 9 metas o subproyectos: Biotecnología – frutas, arroz de secano, gramíneas y leguminosas tropicales, recursos genéticos, sistemas de información geográfica, suelos y agua, evaluación del impacto, maíz (CIMMYT), capacitación y sistemas de producción en Carimagua (CORPOICA). La Figura 1 presenta las metas, las actividades y los resultados esperados..

En el período 1994 – 2001 se han obtenido resultados de diversa índole: 1) Desarrollo y liberación de nuevas tecnologías de producción, basadas principalmente en germoplasma mejorado, las cuales están siendo utilizadas o están casi listas para su uso. 2) Generación de nuevos conocimientos y metodologías de investigación y de producción, como pilares fundamentales para nuevos desarrollos tecnológicos que beneficiarán a la región y el país en general. 3) Diseño de nuevos instrumentos analíticos para el manejo y la conservación de los recursos naturales, y para apoyar la toma de decisiones en este ámbito, en los niveles macro y micro. 4) Análisis y sistematización de información crítica para la investigación y el desarrollo, que se materializa en la implementación de numerosas bases de datos y en la producción de diversos documentos científicos y técnicos. 5) Formación de capital humano a través de la capacitación y el adiestramiento de personal técnico y científico nacional.

En frutales tropicales, se han obtenido resultados técnicos muy promisorios en tomate de árbol, guanábano y lulo. Los beneficios económicos potenciales de la adopción de variedades mejoradas en estos cultivos, expresados como el valor de la producción

adicional por el uso de nuevas tecnologías, se acerca a US\$ 99 millones en el año 2002, frente a US\$ 200 mil invertidos por el Convenio en el período 1999-2001 (Cuadro 1).

Las ganancias económicas para el país por el empleo de nuevas variedades de arroz desarrolladas con apoyo del Convenio son de gran magnitud. Los materiales se están usando masivamente tanto en los Llanos Orientales como en el resto de Colombia. Se estima que en el año 2001, el 86% de la superficie arrocera nacional (348 mil ha.), estaba cubierta con estos materiales. En los Llanos Orientales, en la misma época, esa proporción llegaba al 69%. (Figuras 2 y 3)

Su empleo ha tenido un impacto significativo tanto en reducción de los costos de producción como en incrementos de la producción y la productividad. Se calcula que la reducción en costos en Colombia por el uso de Fedearroz 50, resistente a *Pyricularia*, es de US\$ 46.5 millones, resultantes de la eliminación de las aplicaciones de fungicidas, por parte de los agricultores que adoptaron la variedad (Cuadro 2).

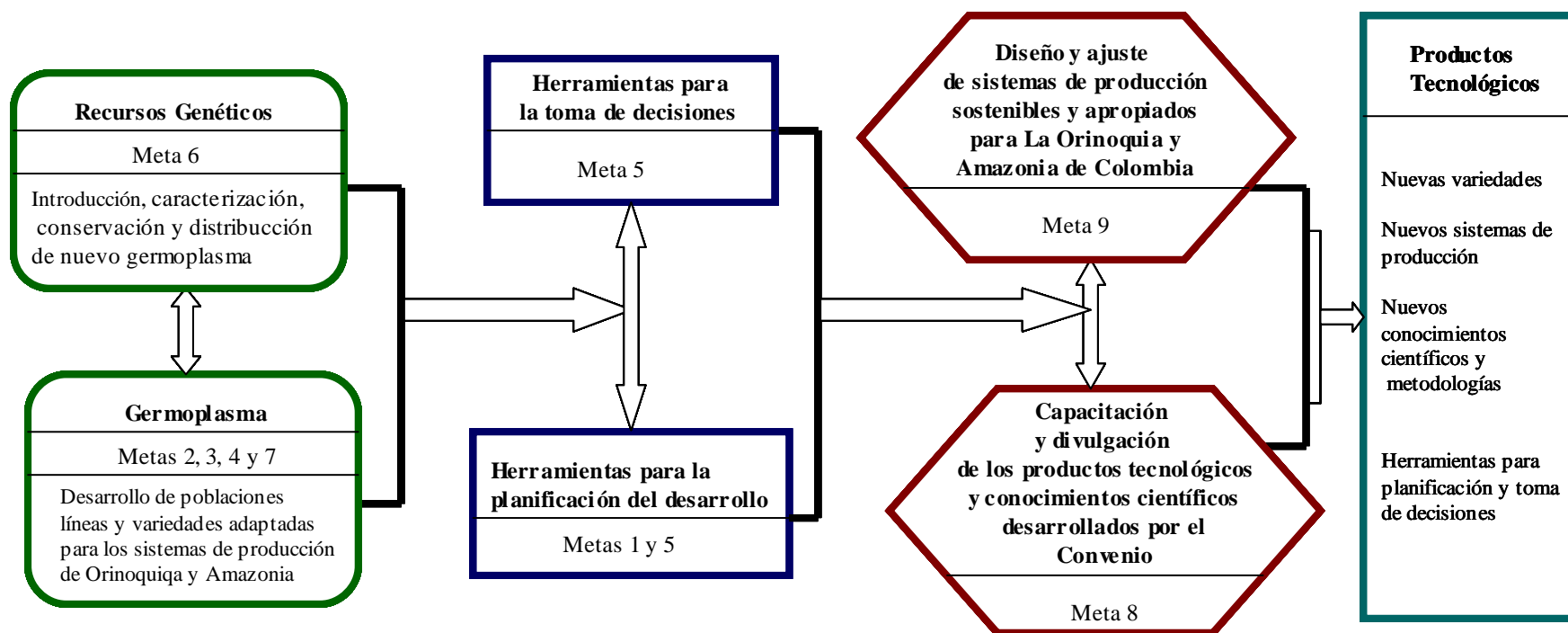
Para desarrollar una variedad con resistencia estable ha sido necesario realizar estudios detallados tanto de la genética de la planta como del patógeno. Durante la ejecución del Convenio se han monitoreado permanentemente poblaciones del hongo. Estos trabajos han permitido identificar 5 genes de resistencia, los cuales en varias combinaciones confieren resistencia estable y duradera al patógeno. Fedearroz 50 y Oryzica 5, ya poseen tres de ellos.

El valor presente de los beneficios económicos de la adopción en Colombia de las variedades de arroz diseñadas con apoyo del Convenio se aproxima, en el año 2002, a US\$ 180 millones. Para los Llanos Orientales el cálculo es de US\$ 63 millones. Las cifras anteriores sobrepasan ampliamente los valores de la inversión efectuada por el Convenio en el período 1994 – 2001, que tienen un valor presente de US\$ 8.8 millones en 2002 (Cuadro 3).

Figura 1 Convenio MADR - CIAT

Estructuración del trabajo de investigación

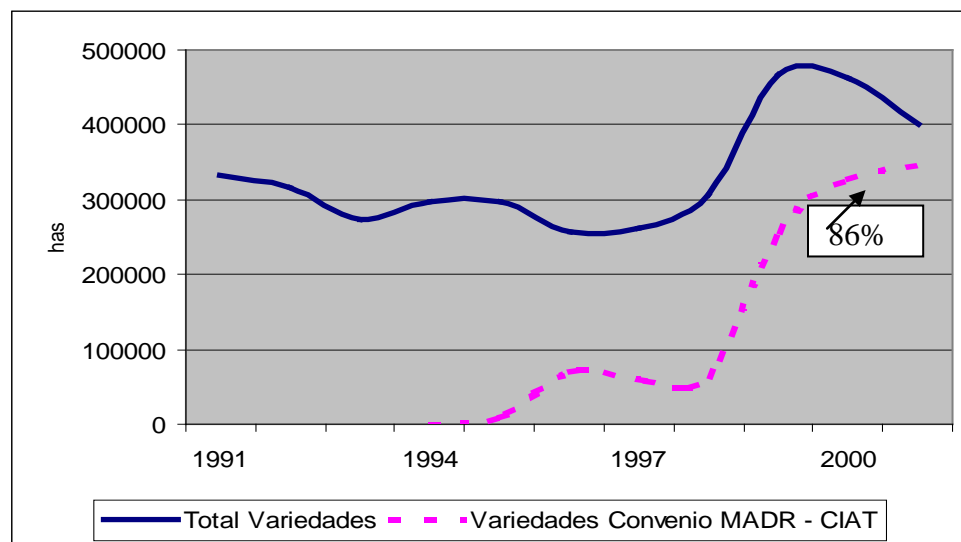
Metas y Productos esperados



**Cuadro 1 Impacto económico potencial por el uso de variedades mejoradas de lulo, tomate de árbol y guanábano**

Cultivos evaluados	Superficie 1/ cultivada en: (has)		Producción total en: (Tm.)		Productividad (kg/ha) 2/		Valor presente de la producción adicional por el uso de variedades mejoradas (US\$ millones)
	2001	2013	2001	2013	Con tecnología tradicional	Con tecnología mejorada	
Lulo	5581	16580	48204	222648	9.2	13.8	42.8
Tomate de árbol	7426	15445	123412	377592	16.9	25.4	46.1
Guanábano	1764	3507	11291	41560	7.9	11.9	9.6
Valor presente de la producción total adicional (i=10%)							98.5

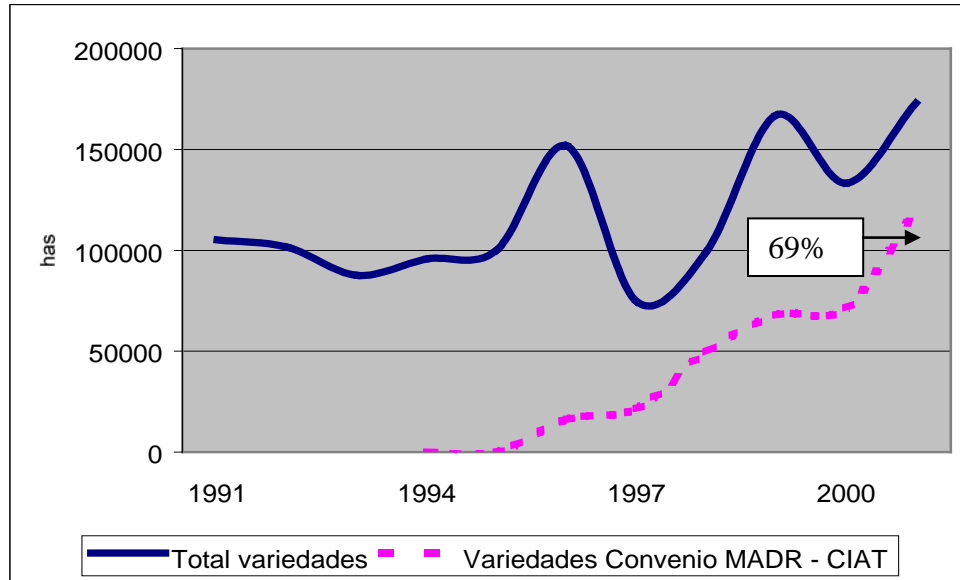
**Figura 2 Superficie arrocera de Colombia y participación de las variedades generadas con apoyo del Convenio MADR-CIAT**



Fuente: Datos de Fedearroz, Departamento de Investigaciones Económicas.  
Cifras de 2001 estimadas.

Figura 3

**Superficie arrocera en los Llanos Orientales y participación de las variedades generadas con apoyo del Convenio MADR - CIAT**



Fuente: Datos de Fedearroz, Departamento de Investigaciones Económicas  
Cifras de 2001 estimadas

Cuadro 2

**Impacto económico de la reducción de costos de producción por el uso de la variedad Fedearroz 50, resistente a *Pyricularia* en Colombia y los Llanos Orientales: 1998-2001**

Año	Área cultivada con Fedearroz 50 (has)		Valor de la reducción de costos de producción (US\$ 000 ) 1/						
	Resto Colombia		Llanos Orientales			Resto Colombia	Total Colombia	Convenio MADR-CIAT 3/	
	Riego	S. F. 2/	Riego	Riego	S.F. 2/	Total	Riego		
1998	3932	5998	4472	238	727	965	136	1101	110
1999	22568	34423	181525	1368	4172	5540	5500	11040	1104
2000	28285	43143	246918	1714	5229	6943	7482	14425	1442
2001	37260	56830	221823	2258	6888	9146	6721	15867	1587
Valor presente en 2002 (i=10%)				4356	13289	24771	21787	46558	4656

1/ Tasa de cambio: \$ col. 2310.2 2/ Secano favorecido. 3/ Se asume que el trabajo del Convenio MADR-CIAT contribuyó en un 10% al desarrollo de este material

**Cuadro 3 Impacto económico de la adopción de variedades mejoradas de arroz producidas con apoyo del Convenio MADR – CIAT, en Colombia y los Llanos Orientales**

Variedad	Valor presente de la producción adicional (US\$ millones) 1/ 2/ (i=10%)	
	Colombia	Llanos Orientales
Fedearroz 50	62.7	21.6
Impoarroz 15 –50	26.0	20.8
Oryzica Yacu 9	24.1	2.9
Fedearroz 2000	23.6	2.4
Fedearroz La Victoria 1 y 2	20.0	2.0
Progreso 4 -25	12.6	10.0
Colombia XXI	5.6	0.6
Selecta 3 – 20	5.3	2.9
Total	179.8	63.1
Inversión total 1/ Ministerio de Agricultura CIAT	8.8	
	4.4	
	4.4	
Relación beneficio/costo	20 : 1	

1/ Se refiere al valor presente en 2002. 2/ Valor atribuible al Convenio MADR- CIAT, por su contribución para el desarrollo de las variedades. Tasa de cambio: \$ col 2310.2

La investigación en forrajes (gramíneas y leguminosas tropicales) ha producido una amplia gama de nuevas opciones forrajeras apropiadas para diferentes nichos agroecológicos y sistemas de producción. También ha aportado varios materiales forrajeros, que se encuentran en fases muy avanzadas dentro del proceso de evaluación, para su posterior liberación. Nuevas metodologías, conocimientos científicos, desarrollo bases de datos y capacitación de personal nacional, también son productos de la investigación en forrajes. Los beneficios económicos potenciales de la adopción en los Llanos de las nuevas opciones forrajeras, se estiman en US\$ 190 millones en el año 2002. Esta cifra es sustancialmente mayor que el valor presente del flujo de inversiones del Convenio para investigación en forrajes del período 1994 –2001, equivalente a US\$ 14 millones en 2002 (Cuadro 4).

La investigación enfocada a mejorar el uso y la conservación de los recursos naturales en los Llanos Orientales es de alta rentabilidad para el país. Aparte de desarrollar una serie de herramientas para la planificación y uso del suelo, se han diseñado instrumentos de análisis que cubren un amplio espectro, desde metodologías participativas para apoyar a las comunidades en la identificación de problemas y oportunidades, pasando por métodos basadas en sistemas de información geográfica (SIG) para el diseño de planes de ordenamiento territorial, hasta sencillas herramientas que permiten a los productores obtener información, evaluar escenarios de producción alternativos y tomar decisiones sobre uso y manejo de sus recursos.

Cuadro 4 **Impacto económico potencial del uso de nuevas opciones forrajeras producidas por el Convenio MADR – CIAT en los Llanos Orientales de Colombia**

Opciones	Nicho ecológico	Valor presente de la producción adicional 1/ (US\$ millones)		
		Sistema de producción		
		Ceba	Doble propósito	Total
Nuevas brachiarias: CIAT 26124, 26556 y 26318	Altillanura	21.6		21.6
<i>B. brizantha</i> cv Toledo	Piedemonte	29.1	53.5	82.6
<i>Cratylia argentea</i> cv. Veranera	Piedemonte		7.4	7.4
<i>Arachis pintoii</i> 18744	Piedemonte	19.8	50.9	70.7
<i>D. ovalifolium</i> 13651	Altillanura	6.4		6.4
Total beneficios del proyecto	Orinoquia	76.9	111.8	188.7
Valor presente Anualidad (i=10%)		12.5	18.2	30.7
Valor de la de la inversión en investigación de 1994 –2001 en el año 2002 (US millones)				
Ministerio de Agricultura	7.0			
CIAT	7.0			
Total	14.0			
Relación beneficio/costo	13: 1			

1/ Se refiere al aumento de producción que se origina por el empleo de las nuevas pasturas

El monocultivo continuo de maíz, arroz, soya y otros productos agrícolas en la Altillanura, desencadena procesos de degradación de los suelos, que en el largo plazo, representan un elevado costo social para el país en términos de pérdida de producción y de recursos de tierras y se constituye en un serio obstáculo para lograr en el área objetivo, un desarrollo productivo, eficiente, competitivo y sostenible.

En la altillanura plana hay cerca de 16 millones de hectáreas, utilizables en actividades agropecuarias, pero que para su empleo sostenible requieren de un manejo técnico especial. Se trata de suelos con limitaciones físicas y químicas, que precisan de adecuadas prácticas de laboreo, enmiendas y uso de material vegetal genéticamente adaptado a condiciones de baja fertilidad y elevada acidez predominantes en la región.

La tecnología de formación de una capa arable es una respuesta a esta problemática, y ella involucra tres componentes básicos: 1) Labranza vertical con cinceles, 2) Enmienda del suelo mediante la aplicación de cal y 3) Uso de material vegetal adaptado y que posea amplio y fuerte desarrollo radicular. La formación de la capa arable permite pasar del monocultivo tradicional a sistemas rotacionales más intensivos que involucran varios cultivos, en un proceso que implica mayor producción y mejoramiento de la calidad del suelo.



La aplicación del concepto de “capa arable” en los suelos de la Altillanura tiene un potencial económico muy grande. El valor estimado de la producción adicional al pasar de un monocultivo de maíz con tecnología tradicional a un sistema sostenible de rotaciones maíz – soya, es de US\$ 239 millones en 2002 (Cuadro 5)

La cifra anterior resulta de comparar dos situaciones contrastantes: La implantación de un monocultivo de maíz en condiciones tradicionales y la de una rotación maíz – soya, previa construcción de una capa arable, en un proceso de adopción que dura 10 años y que al concluir alcanza las 100000 hectáreas. Los beneficios estimados superan con creces el valor presente en el año 2002 del flujo de inversiones efectuadas por el Convenio en el período 1994 –2001 para investigación en SIG, suelos y agua, el cual se aproxima a US\$ 5 millones.

**Cuadro 5 Impacto económico potencial del empleo de la tecnología de capa arable en los Llanos Orientales de Colombia**

Año	Productividad (kg/ha) 1/			Área Cultivada has 4/	Valor de la producción (US\$ miles)		
	SCA 2/	CCA 3/			Sin capa arable	Con capa arable	Valor de la producción adicional debido a la capa arable
	Maíz	Maíz	Soya				
1	1805	3269	1510	50.0	16	47	31
2	1567	3269	1510	322.7	92	304	212
3	1219	3269	1510	2053.0	455	1935	1479
4	980	3269	1510	11949.0	2131	11259	9128
5	687	3269	1510	46770.0	5848	44069	38221
6	405	3269	1510	85049.0	6264	80138	73874
7	122	3269	1510	97356.6	2169	91735	89566
8	0	3269	1510	99582.4	0	93832	93832
9	0	3269	1510	99935.3	0	94165	94165
10	0	3269	1510	99990.0	0	94216	94216
Valor presente (i=10%)					10168	249145	238976

1/ Valores promedios derivados del experimento Culticore. 2/ SCA: Sin capa arable. 3/ CCA: con capa arable

4/ Se asume que en 10 años se logran impactar 100000 hectáreas. El proceso de difusión se asimila a un esquema

logístico que corresponde al siguiente modelo:  $y = \frac{100000}{1 + e^{\alpha + \beta t}}$  donde:

$y$  = Área impactada anualmente;  $\alpha$  y  $\beta$  constantes y  $t$  la variable tiempo.

Como resultado del trabajo del Convenio MADR – CIAT en el área de recursos genéticos se ha obtenido: 1) Germoplasma viable, caracterizado, documentado y distribuido a instituciones nacionales. 2) Germoplasma de interés específico para usuarios nacionales debidamente caracterizado. 3) Establecimiento de protocolos de conservación para especies frutales nativas. 4) Entrenamiento y capacitación de personal técnico nacional y difusión de los resultados logrados.

Los cuadros 6 y 7 documentan la dinámica de las actividades de distribución de germoplasma de frijól forrajes y yuca en el período 1999 –2001

**Cuadro 6 Distribución anual de germoplasma de frijól, forrajes y yuca a través del Convenio MADR – CIAT: 1999 - 2001**

Año	No. de envíos	No. de entradas
1999	33	525
2000	128	6949
2001	185	6778
Total	346	14252

Fuente: Informes de avance de las actividades en recursos genéticos dentro del Convenio MADR – CIAT, 1999, 2000 y 2001.

**Cuadro 7 Distribución de germoplasma de frijól, forrajes y yuca de según su utilización, 2000-2001**

Utilización	Frijol		Forrajes		Yuca		Total	
	No. de envíos	No. de entradas	No. de Envíos	No. de entradas	No. de envíos	No. de entradas	No. de envíos	No. de entradas
Mejoramiento	12	323	1	6	24	2838	37	3167
Agronomía	13	625	56	851	29	459	98	1935
Investigación:								
básica	26	3415	9	278	22	225	57	3918
aplicada	60	2044	14	627	27	660	101	3331
Capacitación	3	798	4	24	1	17	8	839
Otros	1	18	1	1	0	0	2	17
Total	125	72741	85	1787	103	4199	313	13727

Fuente: Informes de avance de las actividades en recursos genéticos dentro del Convenio MADR – CIAT, 1999, 2000 y 2001.

En la investigación en recursos genéticos el Convenio, en el período 1997 – 2001, invirtió un flujo de recursos equivalente en 2002 a US\$ 1.26 millones.

La capacitación científica entendida como el incremento del capital humano nacional, en cuanto a cantidad y calidad, ha tenido muy alta prioridad dentro de las labores del Convenio MADR –CIAT. Se considera que es un instrumento muy eficaz para que Colombia se apropie de los productos técnicos, que ayuda a impulsar la difusión de los mismos y que permite acelerar los procesos de crecimiento económico de la región. La capacitación efectuada ha tomado diversas modalidades: Eventos grupales, cursos especializados de tiempo completo y dedicación exclusiva, desarrollo de tesis de doctorado, maestría y pregrado y estudiantes universitarios en práctica. En el período 1994 –2001 se capacitaron 934 técnicos nacionales en las diversas áreas de trabajo del Convenio (Cuadro 9). La inversión en capacitación en el período 1995 –2001 equivale a US\$ 1.28 millones en 2002.

Cuadro 9 **Formación de capital humano en diferentes áreas científicas de acción del Convenio MADR – CIAT: 1994 – 2001**  
(No. de personas)

Área científica	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Arroz	7	7	13	16	21	5	23	75	167
Recursos genéticos	6			15	4	3	15	2	45
Biotecnología	17	14	40	34	28	51	24	11	219
Gis, suelos y agua	-	1	2	1	7	12	125	161	309
Forrajes Tropicales	13	1	4	25	26	9	27	81	186
Maíz	2	1	3	1	1	-	-	-	8
Total	45	24	62	92	87	80	214	330	934

Fuente: Base de datos del Proyecto de capacitación del CIAT

Finalmente el estudio resume los logros y resultados obtenidos en el área de evaluación del impacto del Convenio, en donde se han desarrollado diversos estudios de base que incluyen: a) Análisis de las tendencias socioeconómicas más relevantes en el área de impacto, durante el período 1980 – 1997. b) Evaluación *ex – ante*, utilizando modelos de excedentes económicos, de los beneficios potenciales de varias alternativas tecnológicas promisorias. c) Evaluación *ex – post* del impacto económico del uso de nuevas tecnologías de arroz y forrajes, utilizando los modelos económicos MODEXC y DREAM. d) Diseño de un esquema para el monitoreo y evaluación de los resultados del Convenio. e) Impacto económico y resultados técnicos del período 1994 – 2001.

### 3.2 Sistema de información y documentación del Convenio CIAT-MADR

El propósito de este sistema de información y documentación, es que mediante un CD, muchos interesados tales como investigadores, planificadores, tomadores de decisiones de política, estudiantes y público en general tengan a su disposición, la información y los resultados técnicos y científicos obtenidos por el Convenio en el transcurso de su ejecución.

El sistema de documentación incluye 6 grandes bloques o módulos a saber:

#### 1. General

- 1.1 El marco legal
- 1.2 Objetivo
- 1.3 Área de Impacto
- 1.4 Estructura, metas, actividades y resultados esperados.
- 1.5 Instituciones colaboradoras.

#### 2. Actividades

- 2.1 Planes de trabajo

## 2.2 Informes técnicos de avance

### 3. Documentos

#### 3.1 Lista de publicaciones

#### 3.2 Presentaciones

#### 3.3 Principales documentos técnicos

Figura 4 Página html que muestra la estructura del sistema de documentación



3.4 Posters.

#### **4. Resultados e Impactos Económicos**

- 4.1 Resumen de los principales logros de cada meta o Subproyecto.
- 4.2 Resultados de estudios de adopción e impacto.

#### **5. Vinculaciones (Links)**

- 5.1 Base de datos de forrajes
- 5.2 Base de datos de suelos
- 5.3 Cufrucol
- 5.4 Árbol de decisiones
- 5.5 Geosoil
- 5.6 Árboles
- 5.7 Riegos
- 5.8 Climacrop

#### **6. Modelos de Evaluación económica**

- 6.1 Modelo de excedentes económicos (MODEXC)
- 6.2 Escenarios

El primer bloque relaciona información general referente a:

- El marco jurídico que sustenta el Convenio;
- Los objetivos generales y específicos del mismo y de los subproyectos que lo conforman;
- Una breve descripción del área objetivo que incluye información sobre sus recursos, demografía y tendencias socioeconómicas;
- Un marco conceptual de la estructura del Convenio, que muestra las diferentes metas, sus articulaciones, actividades y resultados esperados y
- Un listado general de las instituciones nacionales e internacionales que participan o han participado en el trabajo de investigación.

En el segundo bloque aparecen las actividades ejecutadas en términos de planes anuales de trabajo de cada una de las metas y los informes técnicos anuales de progreso de las mismas.

El bloque 3 muestra la información técnica y científica generada e incluye listados de publicaciones, presentaciones en congresos, seminarios y eventos similares, los principales documentos técnicos y las carteleras o “posters” presentados.

En el bloque 4 se hace un inventario de los resultados y logros científicos y técnicos más sobresalientes obtenidos para cada una de las metas en el periodo 1999 –2001. En este bloque también aparecen los resultados de los estudios económicos de adopción e impacto durante el mismo período.

Un conjunto de direcciones de Internet de sitios relacionados con el trabajo del Convenio se incluye en el bloque 5.

En el bloque 6 aparecen algunas herramientas desarrolladas en el CIAT para la evaluación económica, como el modelo MODEXC o el modelo Escenarios, útiles para cuantificar la magnitud del impacto económico, derivado del empleo de las nuevas tecnologías.

Se espera con la recopilación de esta información, contribuir a un mejor conocimiento del Convenio y a la difusión de sus resultados científicos y técnicos, con el propósito de lograr que éstos se apliquen rápidamente a nivel de campo, no solo en el área objetivo, sino en otras regiones del país.

#### **4. Colaboradores**

James García. Proyecto de Evaluación de Impacto.

Carlos Lascano. Proyecto de forrajes.

Edgar Amézquita, Proyecto de suelos

Zaida Lentini, Unidad de Biotecnología y Proyecto de arroz

Álvaro Mejía, Unidad de Biotecnología.

César Martínez, Proyecto de arroz.

Fernando Correa, Proyecto de arroz.

Alfredo Caldas, Proyecto de capacitación.

#### **5. Documentos producidos**

- 5.1 **Rivas R. Libardo** (2002). Impacto Económico y Resultados:1994 –2001. Convenio de Cooperación Técnica y Científica MADR – CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Proyecto de Evaluación de Impacto, Cali, Colombia, Mayo.
- 5.2 **Rivas R. Libardo y Carlos Lascano** (2002). Impacto económico potencial y resultados de la investigación en forrajes tropicales para la Orinoquia colombiana, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y CIAT, Villavicencio, Colombia, Noviembre.

**META 2**  
**BIOTECNOLOGIA FRUTAS**

# PROPAGACIÓN *IN VITRO*, REGENERACIÓN DE PLANTAS, Y TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE LULO (*Solanum quitoense*)

## Informe Preparado por:

Zaida Lentini, Ph.D.

Unidad de Investigación en Biotecnología, CIAT

## Introducción

Recientemente en Colombia, el lulo pasó de ser una fruta de consumo fresco para convertirse en una fruta de importancia en la industria de jugos y yogurt, incrementado su valor agregado. Este trabajo tiene como objetivo general desarrollar tecnologías que permitan al agricultor Colombiano el cultivo de especies oriundas de la región con un valor agregado en el mercado Nacional y de exportación, que además contribuya con la preservación de la biodiversidad nativa. Para ello los objetivos específicos de este proyecto contemplan desarrollar un método eficiente de propagación *in vitro* de lulo con aplicación a la conservación del germoplasma, y la multiplicación masiva y rápida de clones libre de patógenos de material élite de interés comercial. Debido a que el fitomejoramiento de esta especie todavía es muy incipiente, y en el caso de frutas existen varios ejemplos de comercialización exitosa de frutas seleccionadas por los agricultores, paralelamente al desarrollo de la propagación *in vitro*, es importante desarrollar sistemas eficientes de regeneración de plantas y transformación genética que puedan ser utilizado para la incorporación de características de interés. El año pasado reportamos el avance en establecer un sistema eficiente para el mantenimiento de la colección de germoplasma *in vitro*, y en la identificación preliminar de factores que afectan la eficiencia de regeneración de plantas de materiales élites de lulo. Este año siguiendo el Plan Operativo 2002, reportamos el desarrollo de un sistema eficiente de regeneración de plantas, la evaluación en el campo de plantas regeneradas y la comparación de su crecimiento y desarrollo respecto a plantas micropropagadas *in vitro*. Igualmente reportamos el avance en el establecimiento de un protocolo de transformación mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. Adicionalmente, se reporta el establecimiento de un sistema eficiente para la introducción de material de campo al invernadero y de allí *in vitro*, con el objetivo de renovar y ampliar la diversidad de la colección de germoplasma. El presente trabajo incluye la participación de una estudiante M.Sc., Vanessa Segovia.

## Materiales y Métodos

### *Material Vegetal*

Este trabajo ha contando con la gentil disposición de clones elite con o sin espinas provenientes del Centro Frutícola Andino (CEFA) y Corpoica LA Selva. Esta colección representa selecciones de lulos cultivados comúnmente por los agricultores.

### *Regeneración de plantas y micropropagación*

El año pasado se reportó la utilización de pecíolos de hojas como explante óptimo para la inducción de regeneración de plantas (CIAT Informe Anual SB2 2001). Este año se incrementó el número de repeticiones para establecer la reproducibilidad de la metodología, para lo cual realizaron análisis estadísticos para comparando la respuesta de varios tipos de explantes en diferentes medios. Las variables de mejor respuesta en el ensayo inicial se tomaron como punto de partida para iniciar la



optimización del protocolo de regeneración. Se evaluó el efecto del medio de propagación en la regeneración. En micropropagación se ensayó el uso de espumilla en la tapa de los medios utilizados en el CEFA y en CORPOICA para comprobar su efectividad en condiciones de aireación y se compararon con el medio seleccionado para micropropagación de lulo en CIAT (CIAT Informe Anual SB2 2001). Se estableció un protocolo que permite renovar constantemente la colección *in vitro* incorporando material de campo e invernadero, encontrando las condiciones óptimas que permitan reducir al mínimo la contaminación y garantizar la viabilidad del explante.

#### *Evaluaciones de campo*

Se evaluó el desarrollo de las plantas regeneradas en campo (en una finca en Dapa a 45 min de Cali, a 1.700 msnm, con una temperatura de 22°C, condiciones óptimas para el cultivo). Los ensayos preliminares utilizando una pequeña población permitieron recopilar la experiencia del comportamiento de las plantas regeneradas en campo. Posteriormente se utilizó un diseño experimental para comparar el desarrollo de las plantas regeneradas con clones mantenidos *in vitro*. Aquí se reportan las observaciones hasta los 90 días después del trasplante, en términos de altura, número de frutos producidos, días de brote floral, floración y fructificación.

### **Resultados y Discusión**

Después de realizar cuatro repeticiones dispuestas en bloques completos al azar con cinco unidades experimentales, probando 3 medios de cultivo, 2 genotipos, dos explantes y utilizando un pretratamiento de ultrasonido, se encontró que la respuesta organogénica fue dos veces mayor en el medio Ultzen et al. (1995) utilizado para tomate y modificado por nuestro equipo de trabajo para lulo, el cual logró regeneración en todos los explantes y genotipos probados ( $X^2$ : 4.9,  $p$ : 0.27;  $X^2$ : 16.0,  $p$ : 0.001). Se observó una mayor regeneración de plantas a partir de los pecíolos respecto a la lámina foliar, y el genotipo con espinas (SqE) regeneró plantas con los dos tipos de explantes (Figure 1). Posteriormente se determinó que el medio de micropropagación utilizado para desarrollar las plantas donantes de los explantes afecta su respuesta organogénica (Figure 2). Los pecíolos provenientes de plantas micropropagadas en medio A mostraron un mayor porcentaje de regeneración (56%) respecto a los provenientes de plantas micropropagadas en medio ½ MS. Una vez establecido el tipo de explante y condiciones de cultivo óptimas para una eficiente regeneración de plantas, se iniciaron algunos ensayos preliminares comparando diferentes protocolos de transformación genética mediada por *Agrobacterium tumefaciens*. Actualmente estamos en el proceso de optimizar el protocolo utilizando el pecíolo como explante para la transformación, ya que de acuerdo a nuestros resultados, este es el explante que presenta una mayor tasa de regeneración.

El uso de espumilla en la tapa de los medios de micropropagación utilizados normalmente por el CEFA (sales MS con Tiamina 0.4 mg/L e Inositol 100 mg/L, gelrite 2 g/L y BAP 0.5 mg/L) y en CORPOICA (medio MS suplido con agar 6 g/L), favoreció el desarrollo de las plántulas, pero comparados con plántulas cultivadas en el medio A (utilizado en CIAT en esta investigación), se observaron menos desarrolladas, por lo que se continúa utilizando el medio A.

La incorporación de material de campo e invernadero a la colección *in vitro* se realizó extrayendo meristemas apicales y yemas axilares de las plantas, posteriormente estas se llevaron al laboratorio y se realizó la desinfección bajo condiciones asépticas en cámara de flujo laminar, mediante la inmersión en Etanol 70% durante un minuto, seguido de un lavado con agua y posteriormente hipoclorito de sodio (cloro) al 1% durante 15 minutos. Después se realizaron 3 lavados con agua

bidestilada y deionizada estéril. Con pinzas y bisturí estéril fueron sembrados en medio A, suplido con ANA (0.02 mg/L), BAP(0.04 mg/L) y GA3 (0.05 mg/L). Se presentaron altos niveles de contaminación cuando se cultivaron nudos provenientes, pero esto fue solucionado al extraer los meristemos, logrando un 100% de rendimiento sin contaminación.

Los ensayos preliminares permitieron establecer las condiciones óptimas del cultivo en campo, el cual se ve favorecido en crecimiento cuando tiene sombrero y dispone de suelos ricos en nutrientes y materia orgánica para su desarrollo, la falta de estas condiciones afecta drásticamente el material. Con esta experiencia se realizó la comparación de 20 plantas regeneradas y 20 clones mantenidos *in vitro*, los cuales presentaron un desarrollo normal (Figura 3) y no mostraron diferencias significativas en su desarrollo en términos de tiempo de emisión de brotes florales, la apertura de la flor y la fructificación (Figura 4). Con respecto a la altura, todas las plantas se desarrollaron en forma similar (Figura 5) desde los 21 cm en el primer día hasta registrar 83 cm en el día 90. El número de frutos formados hasta los tres meses no presentó variaciones entre clones y las plantas regeneradas (Figura 6). Estos resultados permiten sostener que el proceso de regeneración no afecta el desarrollo de las plantas.

Es importante destacar que las plantas mantenidas *in vitro* (regeneradas o clones) comenzaron a florecer 45 días después del trasplante a campo (90 días en suelo incluyendo fase de invernadero) y su fructificación comenzó entre los 65 y 70 días, lo cual es temprano si se compara con reportes de cultivo tradicional donde la floración normalmente comienza a los 150 días (Reyes C., 1987) y su producción a los 270 días después del trasplante (García F.1967, Jaramillo V. 1984, Castañeda H., 1992). La floración precoz es característica de material proveniente de propagación clonal. Sin embargo, este tipo de propagación no ha sido adoptado ampliamente en el campo, debido a la multiplicación conjunta de patógenos descartando este material por su inferior calidad fitosanitaria. Por lo que comúnmente se recurre a la siembra de semilla botánica. Debido a que el lulo es de polinización abierta, no hay garantía que la siembra derivada de la semilla botánica de un clon seleccionado presente las mismas características agronómicas del clon original. En contraste, la propagación *in vitro* permitiría ofrecer a los agricultores clones derivados de materiales élites seleccionados, con floración precoz y libre de patógenos. Actualmente, se está evaluando el potencial de rendimiento de los clones propagados *in vitro* y las plantas regeneradas. Igualmente, los frutos cosechados serán evaluados por sus propiedades de calidad para consumo fresco e industrial, y vida media en anaquel.

### **Planes futuros**

- Divulgación a las entidades Nacionales de la metodología desarrollada y experiencia obtenida para el mantenimiento a largo plazo del banco *in vitro* de germoplasma de lulo, y el sistema masivo de propagación y regeneración de plantas
- Evaluación en campo de agricultores de materiales de lulo propagados *in vitro*
- Evaluación y adaptación de protocolos de transformación mediada por *Agrobacterium tumefaciens* en lulo

### **Referencias**

Castañeda H. I.1992. El lulo o naranjilla. Su cultivo, su conservación. Ediciones tecnológicas. Pereira. pp. 150.

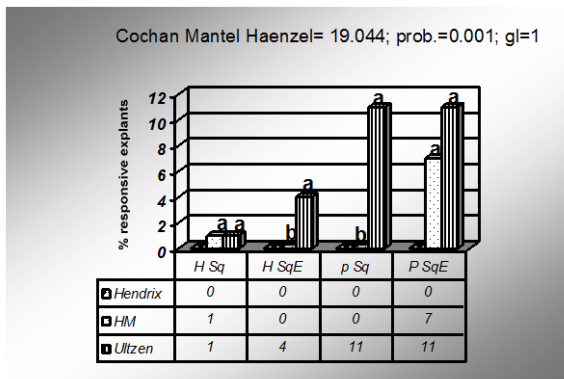
García F.1967. El cultivo del lulo en la zona cafetera Colombiana (Revista Cafetera (Colombia)). v. 142 p. 75-77.

Jaramillo V. 1984 J El cultivo del lulo Palmira, Valle (Colombia): Centro Nacional de Investigación, 1984. 11p.

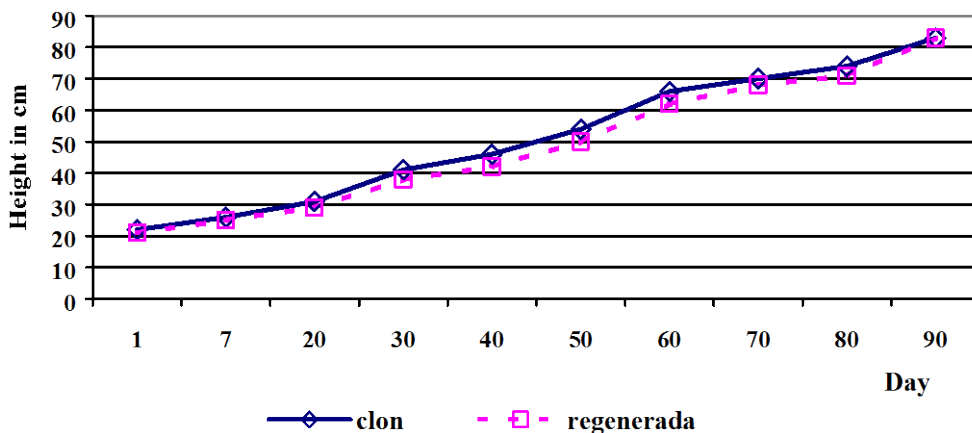
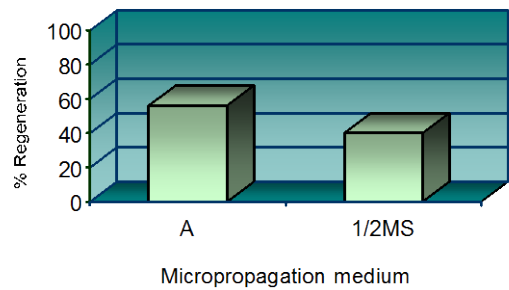
Reyes E. C. 1987. Descripción de la a información existente sobre lulo y/o naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y las prácticas realizadas por los agricultores en diferentes zonas de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. 100 p.

Ultzen T., J. Gielen, F. Venema, A. Westerbroek, P. Haan, M. Tan, A. Schram, M. Grinsven, and R. Goldbach. 1995. Resistance to tomato spotted wilt virus in transgenic tomato hybrids. Euphytica. 85: 159-168.

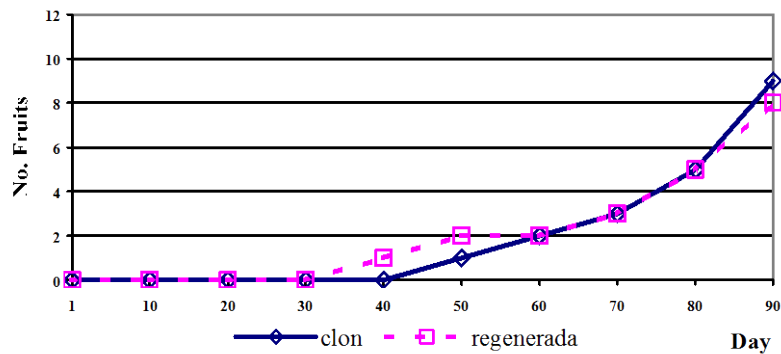
**Figura 1.** Comparación de la regeneración en Hojas (H) y peciolo (p) de los genotipos con espinas (SqE) y sin espinas (Sq) en diferentes medios.



**Figura 2.** Comparación del efecto del medio de micropropagación en la regeneración.



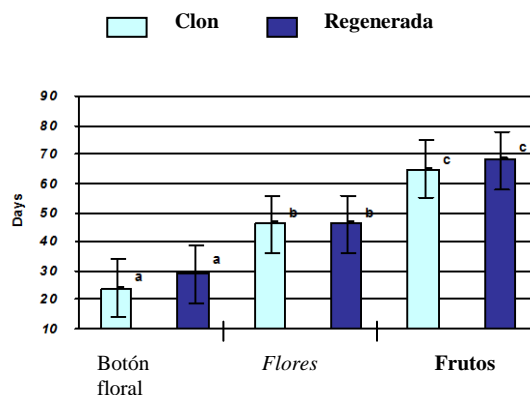
**Figura 3.** Altura de plantas regeneradas vs. clones: Observaciones realizadas en campo a 20 plantas regeneradas y 20 clones durante 90 días



**Figura 4.** Número de frutos en regeneradas y clones hasta los 90 días.



**Figura 5.** Desarrollo de planta regenerada en campo; fase vegetativa, floración y fructificación.



**Figura 6.** Desarrollo en campo de plantas regeneradas y clones mantenidos *in vitro* medidos por el tiempo de generación del Botón floral (Clon; gl= 38, prob.= 0.428 y regenerada; gl.=30, prob.= 0.43), Flor (Clon; gl= 38, prob.= 0.884 y regenerada; gl= 38, prob.= 0.885) y fruto (Clon; gl= 29, prob.= 0.515 y regenerada; gl= 34, prob.=0.527)

## INFORME ANUAL 2002

### CONVENIO DE COOPERACIÓN TECNICO-CIENTÍFICA 071 MADR-CIAT

**Propagación *in vitro* de clones seleccionados de guanábano y producción de material de siembra de optima calidad fitosanitaria y genética**

**Centro de Costos CIAT:**

**Responsables:** Joe Tohme, Alvaro Mejía Jiménez y James Cock

ACTIVIDAD	ACCIONES REALIZADAS ENERO-JUNIO 2002
Evaluación en campo de clones seleccionados de guanábano propagados <i>in vitro</i> , sembrados en diferentes localidades del Valle del Cauca y Huila	<p>En el marco de una tesis de maestría con la Universidad Nacional Sede Palmira (Ing. Agr. Juan Jairo Ruiz), y en colaboración con la C. Biotec, se tomaron datos sobre el crecimiento (altura, perímetro del tronco, perímetro del árbol), formación de estructuras reproductivas (botones, flores y frutos) e incidencia de enfermedades, de árboles propagados <i>in vitro</i> de entre 2 y 3 años de edad, sembrados en fincas en los departamentos Huila y Valle, y en la parcela experimental del CIAT. Igualmente se tomaron datos relacionados con la producción y la calidad de la fruta: número de frutos producidos, peso, forma, número de semillas, pH. y grados Brix. El objetivo es comparar el comportamiento agronómico de árboles propagados por injertación convencional, con el de árboles propagados por microinjertación <i>in vitro</i> y de esta manera determinar si la técnica de propagación por microinjertación <i>in vitro</i> es útil para la producción de material de siembra de este frutal.</p> <p>El resultado más importante de esta investigación es el de haber determinado que árboles de guanábano propagados por microinjertación <i>in vitro</i> se desarrollan de manera completamente normal en el campo. Esta tecnología de propagación clonal es por lo tanto útil para la producción de material de siembra libre de enfermedades de esta especie.</p>

<p>Microinjertación <i>in vitro</i> de clones de guanábano seleccionados, sobre patrones de variedades rústicas y especies de anonáceas afines</p>	<p>El uso de patrones o portainjertos rústicos y resistentes a enfermedades es de suprema importancia en la fruticultura. Se está evaluando la compatibilidad entre yemas o copas de clones seleccionados, microinjertados sobre patrones de diferentes especies de Anonáceas relacionadas con la guanábana. De la misma manera se está evaluando el desarrollo posterior en el campo de los árboles producidos.</p> <p>Por lo menos 3000 microinjertaciones de yemas de clones seleccionados, sobre diferentes patrones (<i>A. glabra</i>, <i>A. montana</i>, <i>Rollinia mucosa</i> y variedades de diferentes regiones de <i>A. muricata</i>) fueron realizados en el 2002.</p> <p>Se encontró incompatibilidad total (0% desarrollo normal de plántulas en invernadero) entre las yemas del clon de guanábano Rosa y los patrones de la especie <i>A. glabra</i>. Al contrario yemas del mismo clon mostraron el desarrollo de plantas normales en porcentajes superiores al 80% sobre patrones de <i>A. montana</i> (especie resistente a la Antracnosis) y otras variedades de <i>A. muricata</i>. Las plantas obtenidas de las diferentes combinaciones de yema y patrón han sido sembradas en fincas del Huila, el Valle y en la parcela del CIAT, para iniciar el estudio de su comportamiento agronómico.</p>
<p>Evaluación agromorfológica y molecular de la variabilidad genética de clones seleccionados de guanábano y anonáceas afines</p>	<p>Aunque en Colombia existen bancos de germoplasma de guanábana y diferentes especies de anonáceas relacionadas, poco se conoce sobre su variabilidad genética, y su utilidad agronómica o industrial. En colaboración con la Corporación BIOTEC y CORPOICA, y en el marco de una tesis de maestría (Biólogo Nelson Royero) se está estudiando la variabilidad genética de cerca de 70 accesiones de guanábanos y de especies de anonáceas. Se extrajo ADN genómico de todas las accesiones, al cual se le aplicó la técnica de AFLPs para amplificar fragmentos polimórficos, los cuales fueron separados en geles de poliacrilamida. Los resultados obtenidos están siendo analizados para determinar la variabilidad genética, la relación filogenética entre las accesiones estudiadas, la presencia de duplicados en el banco, aclarar la clasificación taxonómica de varias de las accesiones y determinar si es necesario o no realizar más colectas para preservar una variabilidad genética representativa de las diferentes especies de anonáceas.</p> <p>Al mismo tiempo cerca de 30 accesiones están siendo caracterizadas agromorfológicamente (producción, incidencia de enfermedades, características del fruto entre otros parámetros). De este estudio se espera determinar que accesiones podrían servir para establecer cultivos comerciales.</p>
<p>Selección e iniciación de la propagación <i>in vitro</i> de nuevos clones en base a características como producción, calidad y tamaño de fruto y resistencia a enfermedades</p>	<p>Se seleccionó por sus características agronómicas, productividad y calidad de frutos, un nuevo clon (clon Adriana) el que se suma a los otros 4 ya existentes, los cuales se están propagando <i>in vitro</i> y evaluando en colaboración con agricultores.</p>

<p>Estandarización del manejo en invernadero de plantas de guanábano propagadas <i>in vitro</i> por microinjertación y evaluación del efecto de la micorrización</p>	<p>En el marco de una tesis de maestría (Ing. Agr. Silvio Cadena; Universidad Nacional de Colombia) y en colaboración con la Corporación Biotec, se estudió a nivel de invernadero, el efecto de combinaciones de diferentes sustratos (suelo, cachaza, carbonilla, cascarilla de arroz, trozos de madera, entre otros), con y sin micorrizas, sobre el desarrollo de plántulas de guanábano propagadas <i>in vitro</i>.</p> <p>Comparado con el sustrato suelo CIAT, el sustrato compuesto por la combinación de cachaza, carbonilla y astillas de madera en proporción 3:1:1, permitió doblar el porcentaje de supervivencia (a niveles por encima del 90%) y duplicar la tasa de crecimiento de microinjertos de guanábano. Con respecto al efecto de las micorrizas, aunque se detectó la colonización de las raíces por parte de <i>Glomus deserticola</i>, no se encontró ningún efecto de ellas sobre el desarrollo de los microinjertos.</p> <p>El uso del nuevo sustrato con cachaza, carbonilla y astillas de madera, ha permitido reducir el tiempo de permanencia de los microinjertos en invernadero de 8 a 4 meses, antes de ser distribuidos a fincas de agricultores.</p>
--	---

## INFORME TRABAJO MANEJO INTEGRADO DEL MOKO DEL PLATANO

Programa Patología de Yuca

### **Actividades:**

1. Diversidad genética de *Ralstonia solanacearum*, agente causal de Moko en plátano, y su control
2. Desarrollo y validación de alternativas ambientalmente limpias para el manejo integrado del Moko (*Ralstonia solanacearum*) de plátano en Colombia.
3. Detección sencilla y rápida de *Ralstonia solanacearum*, agente causal del Moko de plátano
4. Capacitación de productores, funcionarios y técnicos

Colaboradores

Propuesta de investigación, desarrollo y capacitación



## **Actividad 1. Diversidad genética de *Ralstonia solanacearum*, agente causal de Moko en plátano, y su control**

### **Colaboradores**

Elizabeth Alvarez, Lina María Tabares, Germán Llano y John Loke—CIAT  
Silverio González, Rosinelly Pérez, Especial, La Tebaida, Quindío  
Ever Vargas, Luz Piedad Estrada—ICA, Quindío  
Ana Lucía Gaviria, Yaneth Rivera, Universidad del Quindío, Armenia

### **Introducción**

El plátano es un alimento básico en la canasta familiar de los colombianos y su exportación constituye un factor importante en la generación de divisas para la economía nacional. Este producto es cultivado en Colombia en una extensión de 350.000 Ha. distribuidas por todo el país; el volumen de su producción supera los 2.5 millones de toneladas anuales, destinadas en un 99% al mercado interno y el resto a la exportación. En las grandes zonas de producción: la Zona Cafetera, los Valles Interandinos, la Región Caribe y los Llanos Orientales, el cultivo ha significado una alternativa sostenible frente a los serios problemas de otros renglones productivos, generando 99.5 jornales/año por hectárea productiva, mejorando así la calidad de vida de los habitantes de estas regiones.

La zona cafetera central de Colombia (departamentos del Valle, Risaralda, Quindío y Caldas) posee la mayor área productora de plátano del país, con una superficie estimada de 40,000 hectáreas tecnificadas. En esta zona se han dado pasos importantes para el desarrollo de cultivos tipo empresarial, a partir de la asociación de pequeños productores en proyectos productivos encadenados a iniciativas de comercialización e industrialización de plátano. El cultivo tiene además, potencial de exportación, debido a que la demanda mundial de esta fruta se está incrementando.

El Moko, causado por la bacteria *Ralstonia solanacearum*, es una enfermedad devastadora en todas las zonas de Colombia. En el país se encuentran reportadas cerca de 467 hectáreas cultivadas con plátano, afectadas por Moko y sólo en la región de Urabá se encuentran 338 hectáreas de banano contaminadas; lo que representa pérdidas anuales cercanas a los 16.300 millones de pesos.

Además de esto, el deterioro ambiental ocasionado por el uso indiscriminado de sustancias tóxicas como formol para el control de Moko, causa un desequilibrio ecológico y afecta la salud humana.

Actualmente, se vienen utilizando métodos de control con éxito moderado, debido a la carencia de investigación en tecnologías más efectivas. Las únicas herramientas de control manejadas por los agricultores son el uso de semilla limpia sumado a prácticas culturales, las cuales no son efectivas a corto plazo para una erradicación real de la enfermedad.

## Objetivo

La meta de este estudio es proteger los cultivos de plátano y banano contra la enfermedad del Moko, en zonas productoras a nivel nacional. Si no se detiene su progreso, la producción seguirá en deterioro y se pueden acabar los cultivos, pues la enfermedad se propaga en forma geométrica cuando no se ejerce control adecuado.

A continuación se presentan los objetivos específicos del estudio:

Obtener información detallada sobre las pérdidas y prácticas de manejo de la enfermedad del Moko en Quindío.

Conformar una colección de aislamientos del patógeno, y determinar mediante técnicas moleculares, los niveles de variación existentes en la población de la bacteria causante del Moko en diferentes fincas y regiones.

## Materiales y métodos

**Encuestas y muestreo.** Durante dos muestreos, se visitaron 36 fincas productoras de plátano en los Municipios de Montenegro, Quimbaya, La Tebaida y Armenia (Quindío). En cada finca se realizó una encuesta de 40 preguntas, con el objetivo de analizar el manejo agronómico del cultivo de plátano y su efecto sobre la enfermedad del Moko. Se tomaron en total 304 muestras: Tejido vegetal (137), suelo (146), agua de fumigación de reservorios y quebradas (18) e insectos (3), para aislar *Ralstonia solanacearum*, el agente causante del Moko.

**Muestras de tejido.** Estas muestras fueron cortadas en fragmentos donde se evidenciaban síntomas de la enfermedad y otras donde el tejido estaba sano. Estos fragmentos se colocaron en beakers y se lavaron 15 minutos en agua deionizada, posteriormente se desinfectaron en una solución de NaOCl al 1% durante dos minutos, finalmente estos tejidos fueron lavados en agua destilada estéril. Se maceraron los fragmentos de tejido, con la siguiente solución estéril (en 1 L de agua destilada): Fosfato, 50 mM (pH 7.0); Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 4,26 g; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2,72 g. El macerado se incubó durante 15 minutos y cada muestra se sembró por duplicado en medio Tetrazolium (TZC), que es diferencial para *R. solanacearum*: peptona, 10 g; caseína hidrolizada, 1 g; glucosa, 0.5 g; agar, 17 g.

Se preparó una solución stock de 2,3,5 triphenyltetrazolium chloride: 0.5g/100 ml, luego se esterilizó y se agregó al medio (3 ml por cada 100 ml de medio.)

**Muestras de agua.** Las muestras de agua se diluyeron en agua destilada estéril tomando 1 ml de agua y adicionándolo a 9 ml de agua, se sembraron diluciones 10<sup>-1</sup> y 10<sup>-2</sup> en TZC.

**Muestras de insectos.** Las muestras de insectos se procesaron de igual forma que las muestras de tejido.

**Muestras de suelo.** Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y se pasaron por un tamiz de 2 mm. Luego se tomaron 10 g de cada muestra y se adicionaron a 100 ml

de agua destilada estéril. Los erlenmeyers se agitaron 20 minutos en un shaker y posteriormente se prepararon las diluciones tomando 1 ml de la muestra original el cual se agregó a 9 ml de agua destilada estéril hasta llegar a la dilución  $10^{-3}$ . finalmente se sembró 0.1 ml de cada una de las diluciones en medio TZC.

**Purificación.** Las colonias obtenidas en medio TZC se purificaron mediante siembra por agotamiento en dicho medio.

**Pruebas bioquímicas.** Las bacterias purificadas se sembraron en Agar Nutritivo para su identificación como *R. Solanacearum*. Se realizaron las siguientes pruebas bioquímica

Oxidasa: *R. solanacearum* es oxidasa positiva.

KOH al 3%: *R. solanacearum* es positiva a esta prueba (Gram negativa).

Estas pruebas se realizaron por duplicado.

**Conservación.** Las cepas obtenidas se conservan mediante dos métodos: liofilización y tubos inclinados con medio de cultivo Agar Nutritivo.

## Resultados y Conclusiones

**Aislamiento de *R. solanacearum*.** En el muestreo se obtuvieron 73 cepas de *R. solanacearum* identificadas mediante pruebas bioquímicas (**Tablas 1 y 2**). Se procesaron 144 muestras de tejido de las cuales 61 muestras (42.3%.) fueron positivas. En las muestras de suelo se obtuvo un mayor porcentaje de aislamiento de la bacteria,.

En las muestras de tejido se obtuvo un menor porcentaje de aislamiento de la bacteria, lo que indica que pudieron presentarse fallas en el aislamiento ya sea porque las plantas tenían un estado avanzado de la infección o porque bacterias saprofitas que crecen en el tejido enfermo pueden inhibir al patógeno, dificultando así su aislamiento.

Se aisló *R. solanacearum* de las siguientes muestras de suelo de sitios con plantas afectadas por Moko: al lado de la planta, 0-30 cm, 60 cm de profundidad, 5 m y 10 m arriba del foco, 10 m y 20 m abajo del foco. De suelo tratado con formol y cubierto con plástico y suelo tratado con formol hace un año también se aisló la bacteria.

De los siguientes sitios sin cultivo de plátano, la detección del patógeno también fue positiva: cultivado hace 6 meses, 2, y 4 años y tratado con Basamid®.

**Tabla 1. Muestras de Obtención de aslamientos de *Ralstonia solanacearum*, agente causal de Moko de plátano, de diferentes tejidos de plantas de plátano infectados.**

Muestra	Muestras con <i>R. solanacearum</i> (No.)	Muestras sin <i>R. solanacearum</i> (No.)
Tallos	5	8
Colino	1	1
Caquis	1	0
Total	7	9

**Tabla 2. Obtención de aslamientos de *Ralstonia solanacearum* de muestras de agua.**

Muestra	Muestras con <i>R. solanacearum</i> (No.)	Muestras sin <i>R. solanacearum</i> (No.)
Quebrada o nacimiento	3	2
Lago	1	0
Reservorio de agua para fumigación	0	1
Acueducto	3	5
Total	7	8

Se aisló *R. solanacearum* de las siguientes plantas arvenses: Cadillo, Emilia, Ciperaceae, Lechuguilla, Hierba Mora, Arracacha, y Maíz.

**Encuestas.** De las encuestas realizadas a productores se puede resaltar lo siguiente (ver **Tabla 3**):

Las fincas visitadas reportan plantas infectadas por Moko durante los últimos cinco años. Herramientas, colinos de plantas y agua de quebradas diseminan la enfermedad. Hay muy pocas alternativas de control para reducir el inóculo del patógeno presente en suelo infectado.

**Tabla 3. Diagnóstico participativo del Moko en plátano y prácticas de manejo en el Departamento Quindío.**

<b>Diagnóstico</b>	<b>Valor</b>
<b>Estudio de pérdidas</b>	
Número de agricultores entrevistados (No.)	21
Porcentaje de productores de plátano que reportan Moko (%)	95
Area afectada por Moko (%)	11
Aumenta del área afectada en los últimos 5 años (%)	43
Aislamientos de <i>R. solanacearum</i> obtenidos (No.)	73
<b>Prácticas de manejo recomendadas para disminuir el Moko en plátano (porcentaje aplicado por agricultores)</b>	
Tratamiento del suelo con un desinfectante	52
Desinfección de herramientas	90
Uso de herramienta exclusiva para plantas afectadas	57
No cambiar frecuentemente el personal que cosecha	29
Agricultores que aplican las prácticas de control recomendadas por ICA <sup>a</sup>	86

<sup>a</sup>Instituto Colombiano Agropecuario.

## **Actividad 2. Desarrollo y validación de alternativas limpias de manejo integrado del Moko (*Ralstonia solanacearum*) de plátano en Colombia**

### **Colaboradores**

Elizabeth Alvarez, Lina María Tabares, Germán Llano y John Loke—CIAT  
Silverio González, Rosinelly Pérez, Especial, La Tebaida, Quindío  
Ever Vargas—ICA, Quindío

### **Objetivo**

El presente proyecto tiene como objetivo general, reducir el impacto de la enfermedad del Moko en plátano, mediante la generación de alternativas de manejo sostenible, basadas en un mayor conocimiento del agente causal. El objetivo específico de este estudio es la identificación de la mínima concentración inhibitoria de 24 productos para desinfectar herramienta de trabajo y suelo contaminada con *R. solanacearum*.

### **Materiales y Métodos**

**Desinfectantes líquidos.** Se utilizaron los siguientes productos (presentación líquida): formol (37%, de un almacén químico); específico (Creolina, Cresovec®); ácido fosfórico (Productos Químicos Panamericanos S.A., Cali, para uso en campo, 35%); ácido fosfórico (reactivo, 85%); limpio (Patojito® = hipoclorito de sodio a 5%); tiner (almacén de pintura); Agrodine® SI (Electrowest, Medellín, 2 clases: expuesto 12 horas a la luz y sin exponer a luz), yodoforo (2 clases: expuesto 12 horas a la luz y no expuesto a luz), presentación espumosa de yodo; lixiviado de raquis de plátano obtenido mediante compostaje (fresco); Ecolife; zumo de limón; extracto de hoja de fique; y macerado de semillas de limón.

**Desinfectantes sólidas.** Basamid®; lixiviado de raquis de plátano (obtenido mediante compostaje) liofilizado; urea; Calfos®; swinglea (se licuaron 100 g de hojas en una solución de 1 L de alcohol al 50%); costal de fique (fragmentos); macerada de tallos de planta lápiz (planta desnuda); y Kocide101® (oxiclورو de cobre).

**Tubos de ensayo.** Se dispensaron 4 ml de caldo nutritivo en el primer tubo de una serie de 14 tubos por producto evaluado. A los otros tubos se agregaron 2.4 ml de caldo nutritivo. Se pipetearon 0.4 ml de la solución analizada (desinfectante), en el primer tubo. De los productos sólidos se utilizaron 0.4 g. Luego se mezclaron mediante un Vortex y se transfirieron 2 ml al segundo tubo. Se repitió este procedimiento en los siguientes tubos hasta el no. 12. Se descartaron 2 ml del tubo no. 12. El tubo no. 13 tenía el medio de cultivo y la solución (desinfectante). El tubo no. 14 solo tenía el medio de cultivo.

**Inóculo.** La cepa 201 (2) 10<sup>-2</sup>, aislada de suelo infectado con Moko, se sembró en medio de TZC, incubándose 24 horas a 35° C. Para la inoculación de los tubos de ensayo, se

preparó una solución madre de buffer fosfato así: 34 gramos de fosfato monobásico de potasio en un litro de agua destilada. Luego se preparó 1.25 ml de solución fosfato buffer madre en un litro de agua destilada. De esta solución se dispensaron 9 ml en tubos de ensayo. En esta solución se preparó el inóculo, suspendiendo la bacteria en el buffer. La concentración se preparó a una absorbancia de 0.3 en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm. Con la cámara de Neubauer se determinó la concentración de  $2.1 \times 10^8$  bacterias/ml. Cada tubo se inoculó con 0.1 ml de la suspensión bacterial.

**Incubación y evaluación.** Se incubaron los tubos a 25° C con luz durante el día. Después de aproximadamente 60 horas se evaluaron los tubos por turbidez. De cada producto se sembraron varias replicas en medio de cultivo TZC para confirmar que la turbidez fue causada por *R. solanacearum*. Además se realizaron al crecimiento bacterial las pruebas químicas KOH y Oxidasa.

## Resultados y Discusión

Se seleccionaron los desinfectantes más eficientes para el control de *Ralstonia solanacearum*, agente causal del Moko de plátano y banano

Formol, Kocide 101®, ácido fosfórico (80%), Ecolife®, Basamid® y ácido fosfórico (35%), fueron los mas efectivos, teniendo en cuenta la concentración mínima inhibitoria (**Tabla 1**). Según los costos de cada producto, formol, Calfos, ácido fosfórico (35%), jugo de limón y Kocide 101 son los productos más efectivos. Calfos y jugo de limón son las opciones más ecológicas. Se recomiendan evaluar estos desinfectantes en ensayos de invernadero y campo. Yodoforo, muy usado en el campo, es efectivo solamente a una concentración de 5% o mayor.

Los productos que se sugieren evaluar en el futuro son: semillas, zumo y cáscara de la toronja; sal; Long Life®; Phyton 27® (bactericida y fungicida sistémico); cloro para piscina (granulado); detergente Fab; lixiviado de limón; semilla de noni, entre otros.

**Tabla 1. Evaluación *in vitro* de 24 sustancias químicas por su acción inhibitoria de la bacteria *Ralstonia solanacearum*.**

No. cons.	Producto	Costo por unidad (US\$)	Concentración mínima inhibitoria	
			(%)	(US\$/L)
1	Formol	0.54/L	0.117	0.0006
2	Calfos®	0.06/50 kg	5	0.0029
3	Acido fosfórico (35%)	1.01/L	0.625	0.0063
4	Jugo de limón	0.18/L	5	0.0091
5	Koccide 101®	7.97/kg	0.156	0.0124
6	Tiner	0.58/L	2.5	0.0145
7	Acido fosfórico (80%)	10.87/L	0.156	0.017
8	Urea 46%	0.18/50 kg	10	0.0176
9	Limpido Patojito®	0.27/galon	10	0.0272
10	Ecolife®	29/L	0.234	0.0452
11	Basamid®	14.50/kg	0.322	0.047
12	Específico (Creolina)	4.08/galon	1.25	0.051
13	Agrodine®, expuesto a luz	9.24/L	1.25	0.1155
14	Yodoforo	10.87/L	5	0.5437
15	Yodoforo, expuesto a luz	10.87/L	5	0.5437
16	Lixiviado de plátano, liofilizado	7.25/100 g	10	0.7249
17	Agrodine®	9.24/L	10	0.9243
18	Solución de isodine	20.84/120 ml	10	2.0841
19	Costal de fique	0.18/kg	Sin control	-
20	Extracto de hojas de fique	0	Sin control	-
21	Extracto de hojas de swinglea (preparado en 50% etanol)	0	Sin control	-
22	Lixiviado de plátano, fresco	0.36	Sin control	-
23	Planta lápiz	0.18/kg	Sin control	-
24	Semillas de limón	7.25/kg	Sin control	-

### Referencias

- Gálvez, G. y C. Lozano. 1974. Marchitamiento bacterial (Moko) del plátano y banano causado por *Pseudomonas solanacearum* y su control en Colombia. Revista ICA. Vol 9. No. 2 p. 137-157.
- Hanudin. 1997. Bacterial wilt in java: distribution, races, biovars, and its control. 2<sup>nd</sup> IBWS Congress 22-27 June 1997, Guadeloupe, French West Indies. Segunung Ornamental Research Station, Sindanglaya-Cianjur, Indonesia.



### **Actividad 3. Detección sencilla y rápida de *Ralstonia solanacearum*, agente causal del Moko de plátano**

#### **Colaboradores**

Elizabeth Alvarez, Lina María Tabares, Germán Llano y John Loke—CIAT  
Abraham Oleas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, IASA-ESPE, Sangolquin, Ecuador  
Silverio González, Rosinelly Pérez, Especial, La Tebaida, Quindío  
Ever Vargas—ICA, Quindío

#### **Introducción**

En Colombia no tenemos herramientas para detectar *Ralstonia solanacearum* en una forma rápida y de bajo costo. Es muy importante tener una técnica que nos permite determinar si los focos tratados realmente están desinfectados, si el agua de fumigación esta sin la bacteria, etc. En este estudio presentamos los avances del desarrollo de un método para analizar la presencia de la bacteria en muestras de agua, suelo y tejido vegetal.

#### **Objetivos Específicos**

1. Establecer la viabilidad del empleo de medio TZC líquido para la detección rápida y precisa de *Ralstonia solanacearum* en el campo.
2. Determinar la posibilidad de aislar la bacteria de suelo, agua y planta, *in situ*.
3. Tener un método para conservar *Ralstonia solanacearum* durante viajes de campo, para evitar el transporte de muestras afectadas entre departamentos y CIAT (u otros laboratorios de diagnóstico).

#### **Materiales y Métodos**

Se usó medio TZC sólido y líquido, descrito previamente en la Actividad 1. Se usaron tubos de ensayo de 50 ml con tapa de rosca.

#### **Tratamientos:**

1. 10 ml agua destilada estéril (testigo negativo)
2. Una cepa de *R. solanacearum* (cepa 8, procedente de una planta de plátano afectada por Moko, 24 horas de crecimiento), se agregó agua destilada estéril para obtener una dilución  $10^{-5}$  (testigo positivo)
3. Cepa 8, dilución  $10^{-6}$  (testigo positivo)
4. Cepa 8, dilución  $10^{-7}$  (testigo positivo)
5. Agua de río, Montenegro, Quindío
6. Agua de lavadero en una finca, Montenegro, Quindío
7. Suelo lote, G7U, 60 cm, planta de plátano afectada por Moko al lado de foco, Quindío
8. Suelo pasteurizado hace varios años, depósito, CIAT

9. De cada muestra se sembró 0.1 ml en TZC sólido (2 cajas por muestra). También se agregaron 0.1 ml de cada muestra a TZC líquido (2 tubos por muestra). La incubación se realizó a 37° C, sin luz.

## Resultados y Conclusiones

El método de detección evaluado permite una rápida detección de la bacteria *Ralstonia solanacearum*, conforme se observa en la **Tabla 1**.

**Es muy importante tener en cuenta que una detección positiva en TZC no necesariamente indica la presencia de colonias patogénicas de *R. Solanacearum*, capaces de causar Moko.** Estamos en el proceso de hacer la prueba más específica.

**Tabla 1.** Evaluación del crecimiento de *R. solanacearum* en los medio TZC sólido y líquido.

Tratamiento	TZC-sólido		TZC-líquido	
	REP. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2
1	- <sup>a</sup>	-	-	-
2	++++++	++++++	+++	+++
3	++++++	++++++	+	- <sup>b</sup>
4	-	-	-	-
5	+	+	+	+++
6	++	+++	++	+
7	++++	+++++	+++	+++
8	+++++++	+++++++	+	+
9	-	-	-	-

<sup>a</sup> - = ausencia de crecimiento; + = presencia de bacteria de color rojo, leve; +++++++ = presencia de bacteria de color rojo, abundante

<sup>b</sup> Error operacional.

La detección en medio líquido es igual de sensible que en medio sólido. Se prefiere una temperatura a 37° C a otra inferior.

Se podría cuantificar la cantidad de inóculo en las muestras de campo inoculadas en TZC líquido mediante espectrofotometría.

Para reducir la presencia de bacterias gram positivas se sugiere la ejecución de micro ensayos con antibióticos añadidos al medio TZC líquido.

Utilizando el medio TZC se puede obtener rápidamente una colección del patógeno.

Al momento de evaluar se recomienda usar la prueba de KOH (3%) para establecer si la bacteria es gram negativa, usando un portaobjeto y un palillo.

#### **Actividad 4. Capacitación de productores y técnicos**

- Aislamiento de *Ralstonia solanacearum* de tejido, suelo, malezas y agua en cultivos de plátano y banano afectados por *Moko*. Luz Piedad Estrada, ICA—Quindío. Junio 2002
- Aislamiento de *Ralstonia solanacearum* de tejido, suelo, malezas y agua en cultivos de plátano y banano afectados por *Moko*. Ana Lucía Gaviria y Yaneth Rivera, Universidad del Quindío, Armenia. Junio 2002
- Aislamiento de *Ralstonia solanacearum* de tejido, suelo, malezas y agua en cultivos de plátano y banano afectados por *Moko*, y manejo de *Moko* por desinfección de suelo y herramientas. Rosinelly Pérez, Especial, La Tebaida, Quindío. Julio 2002
- Aislamiento de *Ralstonia solanacearum* de tejido y suelo en cultivos de plátano, banano y heliconia afectados por *Moko*. Carlos Aníbal Montoya, ICA—Palmira. 16 Julio 2002

#### **Colaboradores**

- Elizabeth Alvarez, John Loke, Lina María Tabares y Germán Llano —CIAT
- Silverio González, Rosinelly Pérez, Especial, La Tebaida, Quindío
- Ever Vargas, Luz Piedad Estrada—ICA (Quindío)
- Ana Lucía Gaviria, Yaneth Rivera, Universidad del Quindío, Armenia
- Abraham Oleas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, IASA-ESPE, Sangolquin, Ecuador
- Francia Varón y Carlos Huertas, ICA—Valle
- Productores, Comité de Productores de Plátano, Quindío
- Fernando Lukauski y otros productores, Valle del Cauca
- Luis Hernández, Universidad de San Buenaventura Sede Cali
- Luis Carlos Jimenez, C.I. SUNISA S.A., recolectó muestras de agua de fumigación de plantaciones de banano afectados por *Moko* en la Costa Caribe: Villa Argelia, Mapana, Perla y Pradomar. Los resultados del diagnóstico se presentarán en el próximo informe.

**META 3**  
**ARROZ SECANO**

**Convenio Especial de Cooperación Técnica y Científica  
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
Centro Internacional de Agricultura Tropical**

**IP-4 – META 3: ARROZ SECANO**

	<b>Reporte Anual</b>	
	<b>Resumen Ejecutivo</b>	
	A. Objetivo General de esta Meta	
	B. Ejecutado en el Proyecto CIAT/IP-4 Mejoramiento de Germoplasma de Arroz para América Latina y el Caribe	
	C. Logros	
	D. Perspectivas Futuras	
	<b>Informe Técnico</b>	
<b>3.1.</b>	<b>Incremento de la Diversidad Genética y Mejoramiento del Arroz</b>	
3.1.1.	Selección Convencional de Mejoramiento de Líneas en los Llanos	
3.1.2.	Selección Recurrente: Mejoramiento de Líneas en los Llanos	
3.1.3.	Estimación de la Ganancia en el Potencial de Rendimiento	
3.1.4.	Desarrollo de Cruces para Resistencia a Rhizoctonia	
3.1.5.	Incorporación de nueva Variabilidad Genética	
3.1.6.	Desarrollo de Cruces Interespecíficos para Resistencia a Entorchamiento	
3.1.7.	Obtención de Progenitores Potenciales	
3.1.8.	Incorporación de Genes para Ampliar la Base Genética	
<b>3.2.</b>	<b>Caracterización de la Interacción Plaga-Hospedero en el Arroz</b>	
3.2.1.	Caracterización de Poblaciones del Hongo <i>Pyricularia grisea</i>	
3.2.2.	Caracterización de Germoplasma de Arroz por su Resistencia a <i>P. grisea</i>	
3.2.3.	Caracterización de Genes de Resistencia y Genes de Avirulencia a <i>P. grisea</i>	
<b>3.3.</b>	<b>Caracterización de la Interacción Plaga-Hospedero</b>	
3.3.1.	Evaluación y Desarrollo de Germoplasma Resistente al Virus de la Hoja Blanca y su Vector <i>Tagosodes orizicolus</i>	
3.3.2.	Estudios sobre Mecanismos y Genética de la Resistencia a <i>T. orizicolus</i> y el VHB	
3.3.3.	Nivel de Daño en Variedades de Arroz ocasionado por <i>T. orizicolus</i> con diferentes Porcentajes de Virus	
3.3.4.	Manejo Integrado de Plagas	
<b>3.4.</b>	<b>Sistemas de Producción de los Llanos Orientales</b>	
3.4.1.	Ensayos Regionales para Liberar la Línea 30 como Nueva Variedad	
3.4.2.	Sistemas de Rotación de Arroz con Otros Cultivos	
<b>3.5.</b>	<b>Capacitación e Información</b>	
3.5.1.	Entrenamiento a Profesionales	
3.5.2.	Publicaciones	
3.5.3.	IP-4 Sitio WEB	
3.5.4.	Talleres	

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
Centro Internacional de Agricultura Tropical**

**Reporte Anual 2002**

**Resumen Ejecutivo**

**A. Objetivo General de esta Meta**

Ampliar la diversidad genética del arroz e incrementar el acervo de genes para lograr desarrollar variedades con un mayor y más alto rendimiento con menores costos de producción, que propicien un bajo costo al consumidor y reduzcan el riesgo de contaminación ambiental con énfasis en arroz seco en Colombia.

**B. Ejecutado en el Proyecto CIAT/IP-4 Mejoramiento de Germoplasma de Arroz para América Latina y el Caribe**

<b>Año</b>	<b>Contribución</b>
1999	US \$ 330.000
2000	US \$ 289.946
2001	US \$ 270.578
2002	US \$ 264,687

**C. Logros**

**Arroz, un Cultivo que hace Impacto.** En el producto 1A, figura la sección “Impacto de los Recursos Genéticos de Arroz del CIRAD en América Latina”. Allí se documenta el uso, con buenos resultados, de estos recursos genéticos como progenitores de variedades. Más del 90% de las aproximadamente 40 variedades de seco liberadas en los últimos 20 años tienen al menos un progenitor de CIRAD. El germoplasma que ha sido desarrollado por el CIAT también ha sido decisivo como progenitor, y casi siempre las cruces para desarrollar estas variedades se realizaron en el CIAT. Durante la última década, el CIRAD y CIAT han establecido una alianza estratégica que ha funcionado en forma sinérgica, aunando el capital humano, los recursos y la infraestructura para servir a los sectores arroceros de América Latina y el Caribe. La eficacia de esta alianza depende de nuestros socios colaboradores nacionales. Un ejemplo excelente, donde trabajaron conjuntamente CIAT, CIRAD, CORPOICA y FEDEARROZ, se encuentra reseñado en el estudio de impacto “Un negocio de amplios horizontes para el Llano”. Se calcula que, entre 1994 y 2001, el impacto económico del aporte de los proyectos de arroz del CIAT asciende a US\$450 millones. La alianza estratégica CIRAD/CIAT, con muchos socios colaboradores locales, continuará teniendo un impacto duradero en los Llanos colombianos y en toda América Latina.

**La Primera Variedad de Arroz que se Desarrolló mediante Selección Recurrente en América Latina.** El uso de la selección recurrente para el mejoramiento del arroz ha sido algo polémico. Aún así, la alianza entre CIAT y CIRAD sigue promoviendo este método. El proyecto colaborativo entre EMBRAPA y CIRAD en Brasil ahora está dando fruto. En 2002 se liberó una nueva variedad denominada Tio Taka en el estado brasileiro de Santa Catarina; esta variedad fue

desarrollada mediante selección recurrente. Actualmente existen poblaciones que han sido desarrolladas mediante selección recurrente en 11 países y hay muchas líneas avanzadas que pronto podrían ser seleccionadas como nuevas variedades. Esperamos que Tío Taka será la primera de muchas variedades que tiene sus orígenes en poblaciones de selección recurrente y esto muestra la importancia de mantener una gestión decidida durante un período de tiempo suficiente.

### **Uso de Especies Silvestres de Arroz para Mejorar el Arroz Cultivado en América Latina.**

El género *Oryza* posee una diversidad genética muy alta y se conocen 21 especies silvestres y 2 especies cultivadas de arroz. Después de 6000 años de selección continua por el hombre y de gestiones intensas de mejoramiento durante los últimos 100 años, la base genética del cultivo está más estrecha que nunca. Las variedades modernas de arroz que acompañaron la revolución verde produjeron aumentos espectaculares en la producción de arroz en todo el mundo, pero una base genética más estrecha. Hay muchos informes que indican que la producción de arroz en campos de agricultores alcanzó una meseta de rendimiento, y la base estrecha está contribuyendo a la inestabilidad de los rendimientos de arroz causada por factores bióticos y abióticos. La especie silvestre *Oryza* representa una posible fuente de alelos nuevos para mejorar el rendimiento, la calidad y la resistencia a factores de estrés del arroz cultivado. Los resultados presentados en este informe y generados junto con socios colaboradores clave brindan más pruebas de que ciertas regiones que cuentan con las especies *O. rufipogon* y *O. glaberrima* presentan alelos de interés para el mejoramiento genético del arroz cultivado. En la cruce interespecífica de Bg90/*O. rufipogon*, la progenie seleccionada arrojó mejores rendimientos que cualquiera de los progenitores, lo que indica que pueden lograrse mayores rendimientos mediante la introgresión de alelos de especies silvestres. Mucho más sorprendente es que, a pesar de la calidad deficiente del grano de ambos progenitores (Bg90-2 y *O. rufipogon*), mediante la segregación transgresiva positiva, pudimos seleccionar líneas avanzadas con grano translúcido, largo y delgado. Los resultados respecto a la resistencia a enfermedades también son excelentes. Al emplear una elevada presión de enfermedad, se derivaron líneas mejoradas avanzadas con resistencia a varias enfermedades causadas por hongos, en particular a *Rhizoctonia solani*, de las cruces interespecíficas de Oryzica3/*O. rufipogon*. Se encontró un alto nivel de resistencia al virus de la necrosis del rayado del arroz en *O. glaberrima* y esta resistencia ha sido transferida mediante cruces interespecíficas a Bg90-2 y Caiapo. Las líneas interespecíficas avanzadas que se han probadas en los campos de los agricultores confirman que *O. rufipogon* y *O. glaberrima* poseen alelos con efectos positivos en el rendimiento, la resistencia a factores de estrés y la calidad del grano. Se están empleando marcadores moleculares para mapear los QTL asociados con estos caracteres y se están desarrollando líneas cuasi-isogénicas para uso en programas de mejoramiento. Estamos utilizando especies silvestres para aumentar la diversidad genética, en tanto que desarrollamos variedades con rendimientos altos y estables.

### **El largo Camino para Desarrollar una Resistencia Duradera a la Pyricularia del Arroz.**

Hay voces pesimistas que deploran la falta de avances en el desarrollo de arroz con resistencia duradera a la piricularia. No hay ninguna duda de que el hongo tiene una capacidad increíble para quebrar la resistencia y seguir siendo la enfermedad más importante del arroz. Hay estudios moleculares que están identificando los genes resistentes, y otros que están poniendo orden a las muchas razas de hongos. Estos estudios serán el fundamento para desarrollar una resistencia duradera de una manera sistemática, dirigida hacia combinaciones específicas de genes. Al mismo tiempo que avanza esta investigación, existe una tendencia de desarrollar variedades que

sigan siendo resistentes a la piricularia durante más tiempo. Por ejemplo, la variedad Fedearroz 50 es ampliamente cultivada en Colombia y ha permanecido altamente resistente a la piricularia por más de tres años. El perfil de resistencia genética de Fedearroz 50 es similar al de Oryzica Llanos 5, que ha conservado su resistencia a la piricularia por más de 12 años. Este hecho contrasta con muchas variedades que comienzan a tener problemas entre uno y dos años después de ser liberadas. Queda mucho por hacer antes de que podamos afirmar que tenemos los conocimientos y los métodos para desarrollar, en forma sistemática, arroz con resistencia duradera; no obstante, hay pruebas de que, paso a paso, estamos avanzando en ese sentido.

**Las Nuevas Variedades con Resistencia a la Hoja Blanca del Arroz son Mejores que sus Progenitores.** El desarrollo de variedades de arroz con resistencia al virus hoja blanca del arroz (RHBV) ha sido objetivo de investigación incluso antes de que el CIAT existiera. Durante muchos años, sólo hubo avances marginales y la mayoría de variedades comerciales no eran resistentes a la enfermedad de la hoja blanca. Así mismo, había solo una fuente de resistencia que fue ampliamente utilizada en los programas de mejoramiento. A mediados de los años noventa, cuando parecía que una nueva epidemia era inminente, el CIAT, con la colaboración de FEDEARROZ en Colombia y DANAC en Venezuela, comenzó a trabajar intensamente para desarrollar variedades resistentes. Además del método de selección masal que se ha utilizado desde mediados de los años ochenta, introdujimos un esquema de evaluación que utilizaba diferentes niveles de presión de la enfermedad. Como la capacidad es más limitada, sólo pueden ser evaluadas líneas avanzadas seleccionadas mediante selección intensiva. Aún así, esto ha conducido a la liberación de cinco variedades con resistencia a la enfermedad de la hoja blanca en Venezuela y Colombia. Dos de éstas, Fedearroz 2000 y Fedearroz Victoria 1, presentan una resistencia a la enfermedad de la hoja blanca que supera la de cualquiera de sus progenitores, incluyendo la principal fuente de resistencia, Colombia 1. Fedearroz 2000 es la variedad más resistente y hoy se considera la norma para determinar alta resistencia a la enfermedad de la hoja blanca. La liberación de estas variedades confirma los buenos resultados obtenidos a partir de la estrategia de mejoramiento en dos pasos, y estas nuevas variedades comerciales se recomiendan como fuentes parentales de resistencia a la hoja blanca.

**¿Están los Pequeños Cultivadores de Arroz Condenados a la Vida de Subsistencia?** En América Latina, el arroz es considerado por muchos como un cultivo para el agricultor en gran escala. Necesita lotes de infraestructura como el riego y los campos nivelados, en tanto que el precio es relativamente bajo; en consecuencia, el pequeño cultivador de arroz no puede ganarse la vida decorosamente. Las fincas altamente mecanizadas representan apenas una parte del sector arrocero latinoamericano. La mayoría de los cultivadores de arroz son pequeños agricultores que cultivan el arroz en condiciones de secano favorecidas, y sí necesitan ayuda si han de salir de la trampa de la pobreza. La alianza CIAT/CIRAD comparte la visión de ayudar a estos agricultores mediante el desarrollo de variedades que produzcan mayores rendimientos en condiciones de secano. Este año, ampliamos nuestras actividades hacia América Central. Durante varios años, hemos estado trabajando en Colombia y estos esfuerzos empiezan a tener impacto con el desarrollo de las primeras variedades del nuevo tipo arroz para laderas con tolerancia al frío (RHICO, su acrónimo en inglés). Así mismo, se está reactivando el sector arrocero de la costa del Pacífico con la introducción de semillas de variedades comerciales y un esfuerzo para desarrollar variedades que se adaptan específicamente a las condiciones locales. Para que los agricultores locales tengan buenos resultados, deben obtener altos rendimientos y necesitan una forma de comercializar los excedentes de arroz. También necesitamos desarrollar una estrategia



que genere más empleo para tanto el equipo de pequeñas fincas como para el procesamiento y el mercadeo del arroz. Más aún, el arroz debe ser un componente estable en el sistema de cultivo que permita que estos pequeños agricultores sean capaces de correr riesgos con cultivos de mayor valor. El arroz puede ser un motor que impulse a estos pequeños agricultores hacia una vida más próspera. Necesitamos la visión para ayudarles a que esto sea una realidad.

### **Planes para el Próximo Año**

1. Celebrar el taller de mejoradores para arroz de riego en República Dominicana y el taller para arroz de secano en Colombia.
2. Hacer el lanzamiento de los Viveros Internacionales de Observación (CIAT-ION) para arroz de riego y arroz de secano.
3. Establecer una alianza con el Instituto de Innovación Rural del CIAT para desarrollar proyectos participativos sobre la cadena de producción del arroz en los sistemas agrícolas.
4. Utilizar el cultivo de anteras, la transgénica y los marcadores moleculares como herramientas avanzadas de mejoramiento para el arroz.
5. Continuar la búsqueda e incorporar mejor resistencia a las principales plagas y enfermedades en poblaciones y líneas avanzadas del CIAT.
6. Incorporar caracteres adicionales a partir de los parientes silvestres del arroz.
7. Desarrollar arroz de secano más resistente a la sequía con socios colaboradores en CIRAD, IRD, EMBRAPA y WARDA.

**Seguimiento del Impacto.** Se realizó un estudio de impacto para el Convenio Colombia-CIAT. Se titula “Un negocio de amplios horizontes para el Llano”. En él, se calculó que, entre 1994 y 2001, el impacto de las nuevas variedades de arroz que se desarrollaron en colaboración con el proyecto de arroz ha sido de US\$450 millones, solamente en los Llanos colombianos.

La sección 1A del Informe Anual IP-4 2002 documenta el uso del germoplasma de arroz de secano del CIRAD. De las 40 variedades liberadas en los últimos 20 años, más del 90% tenían progenitores del CIRAD en su línea genealógica.

### **D. Perspectivas Futuras**

El Proyecto de Arroz tiene el reto de ser parte en ese puente que une los rápidos avances en la caracterización molecular del arroz y a la vez producir productos útiles para los productores de arroz. El arroz siendo uno de los cultivos principales, será el primero al cual se le secuenciará completamente todo su genoma. El Proyecto de Arroz (IP-4) del CIAT junto con el Proyecto de Biotecnología (SB-2) están trabajando juntos para desarrollar alianzas estratégicas en el área de la genómica del arroz. El Proyecto de Arroz también está fortaleciendo la colaboración con sus clientes e instituciones nacionales para de una mejor manera ayudar a solucionar las necesidades de los agricultores dando énfasis también a los agricultores pequeños de bajos recursos. Para que estas alianzas y colaboración en el trabajo funcionen eficientemente, dependemos del apoyo de la región así como de países desarrollados. Esta estrategia está parcialmente en acción, y deseamos reconocer inmensamente el apoyo que recibimos del Ministerio de Agricultura de Colombia, CIRAD y el Gobierno de Francia. El arroz es el cultivo más importante en el mundo y nosotros

estamos dedicados a ayudar a proveer las tecnologías necesarias para asegurar una seguridad alimentaria y ayudar a los arroceros.

## **Introducción**

El Proyecto de Arroz del CIAT se encuentra actualmente ubicado en la mitad de otra revolución agrícola. Tanto el genoma de la planta de arroz como del hongo causante de la Piricularia han sido totalmente secuenciados, y muy pronto dicha información estará bajo el dominio público. Nuestro reto es poder usar dicha creciente información y conocimiento para beneficiar a todos los agricultores. La mayoría de agricultores en Colombia y el resto de América Latina son agricultores pequeños con recursos muy limitados. El Proyecto de Arroz del CIAT con auspicio principalmente del Gobierno de Colombia ha venido trabajando en la ampliación de la base genética del cultivo mediante la identificación e incorporación de características deseadas en especies silvestres relativas al arroz. La selección recurrente, cultivo de anteras, uso de marcadores moleculares, y transgénesis son los principales métodos que los investigadores del proyecto están utilizando para aumentar la eficiencia de nuestros esfuerzos en el mejoramiento del cultivo. Estamos trabajando intensamente para entender los mecanismos y la genética de la resistencia a enfermedades tales como la piricularia y el virus de la hoja blanca para facilitar el desarrollo de variedades de arroz con resistencia durable a estas enfermedades. Muchas características agronómicas tales como la capacidad competitiva con malezas, resistencia a la sequía, precocidad, rendimiento y calidad, son esenciales para el éxito de las nuevas variedades. Ciertamente, el proceso entero de mejoramiento cambiará pronto. Por más de 100 años, este proceso ha sido casi una ciencia empírica y el mejorador ha necesitado ser tanto un científico como un artista. Mediante el conocimiento de la base genética de características de importancia agronómica y donde éstas se ubican en el genoma, nosotros esperamos que nuestros mejoradores sean capaces de trabajar y manejar muchas más características y producir variedades de arroz mas eficientemente.

Debemos preguntarnos sin embargo, será que todo este incremento tremendo en nuestro conocimiento sobre arroz nos permitirá lograr nuestros mayores retos de hacer que estas nuevas variedades estén disponibles a aquellos agricultores de bajos recursos? Esto definitivamente no será posible si no entendemos las necesidades de estos agricultores. Esta es otra área donde el Proyecto de Arroz del CIAT está recientemente enfocando sus esfuerzos. Mediante el uso de metodologías tales como la investigación y selección participativa de variedades, desarrollo y análisis de encuestas para conocer las preferencias locales y regionales, estamos ganando más visión sobre las necesidades de aquel pequeño agricultor de bajos recursos. Trabajando con el pequeño agricultor de la Costa Pacífica de Colombia y en las regiones de altitud media de los Andes, estamos aumentando nuestro entendimiento de sus necesidades y todos los retos que necesitan ser considerados si queremos realmente ayudarlos a solucionar sus problemas.

## Informe Técnico

### 3.1. Incremento de la Diversidad Genética y Mejoramiento del Arroz

#### Selección Convencional de Mejoramiento Líneas en los Llanos

#### Cruces Convencionales e Interespecíficos de Arroz para el Ecosistema de Sabanas

M. Châtel, Y. Ospina, F. Rodríguez, V.H. Lozano,  
D. Guzmán, C.P. Martínez, J. Borrero

#### Resumen

El mejoramiento convencional permitió el desarrollo y liberación de variedades modernas de arroz de secano principalmente en Bolivia, Brasil y Colombia. Desde el año 1996, ningún cruce convencional *Oryza sativa* tipo Japónica ha sido realizado. Pero como todavía el proyecto cuenta con líneas segregantes de cruces anteriores, se sigue evaluando y multiplicando en Colombia para su posterior entrega a los NARS.

El proyecto de CIAT está ahora concentrándose en la ampliación de la base genética del arroz de secano. Cruces interespecíficos entre *Oryza sativa* y el arroz cultivado en África *Oryza glaberrima*, como también con especies silvestres relacionadas es una de las nuevas estrategias para alcanzar este objetivo.

**Palabras claves:** Cruces, *Oryza sativa*, arroces silvestres, base genética, América Latina y lanzamiento de líneas

#### Introducción

Desde 1996, ningún cruce convencional intra específicos *Oryza sativa* tipo Japónica ha sido realizado. Se sigue evaluando y multiplicando en Colombia, las descendencias de cruces anteriores, para su posterior entrega a los NARS.

El proyecto del CIAT está concentrándose en la ampliación de la base genética del arroz de secano. Cruces entre *Oryza sativa* y la especie africana cultivada *O. glaberrima*, como también con especies silvestres relacionadas es una de las nuevas estrategias para alcanzar este objetivo. Estamos evaluando y seleccionando progenies inter específicas, de cruces del CIAT, entre *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima* y la especie silvestre *Oryza barthii*.

#### Materiales y Métodos

##### Fuente de Germoplasma

Un total de 751 líneas fueron evaluadas en la Estación Experimental La Libertad (EELL) en Villavicencio – Meta:

- 30 líneas de cruces convencionales (*Oryza sativa*)
- 383 líneas de cruces interespecíficos: 45 de *Oryza sativa*/*O. glaberrima*, 24 de *Oryza sativa*/*O. barthii* y 314 de Caiapo/*Oryza glaberrima*
- 338 líneas NERICA introducidas de WARDA y seleccionadas en CIAT

## **Diseño Experimental y Características Observadas**

El diseño experimental y las características evaluadas son las mismas que el año pasado (ver informe anual 2001)

## **Resultados y Discusión**

### **Cruces Convencionales (*Oryza sativa*)**

30 líneas del mejoramiento convencional fueron evaluadas, 27 seleccionadas y cosechadas en masal para conservación en el cuarto frío de CIAT. Este material será remitido a los NARS para su evaluación y selección a nivel local a través de la nueva red de viveros denominada (VioCIAT).

### **Registro de Líneas de Arroz de Secano**

El CIRAD tiene un mecanismo con el cual los mejoradores de esta institución pueden registrar un material promisorio. En 2002, la línea de arroz de secano CT 10069-27-3-1-4 desarrollada por CIAT/CIRAD, se registró como CIRAD 445. Está bien adaptada al cultivo intercalado con siembra joven de café. Se ha producido semilla genética (30 surcos de panículas individuales).

### **Cruces Interespecíficos**

De las 338 líneas NERICA introducidas de WARDA, 74 fueron seleccionadas (Intensidad de selección: 22%). De las 79 líneas inter específicas de CIAT (45 de *Oryza sativa*/*O. glaberrima* y 24 de *Oryza sativa*/*O. barthii*), 10 fueron seleccionadas (intensidad de selección: 13%). Los resultados de la evaluación del ensayo de las 314 líneas del cruce Caiapo/*Oryza glaberrima* no están todavía disponibles.

## **Conclusión**

El mejoramiento convencional de *Oryza sativa* tipo Japónica anteriormente conducido por los proyectos CIAT y CIAT/CIRAD, sigue permitiendo la liberación de líneas mejoradas de arroz de secano. Estas tienen una base genética relativamente estrecha, la cual se necesita ampliar. Los cruces interespecíficos, como también el mejoramiento de poblaciones (ver más adelante) son métodos avanzados de mejoramiento que deben permitir alcanzar el objetivo de ampliación de la base genética.

## **Actividades Futuras**

- Renovación de la semilla del cuarto frío del CIAT y conservación a largo plazo de estos recursos genéticos.
- Multiplicar la semilla de las líneas seleccionadas y despacharlas a los programas nacionales para evaluación y selección.
- Implementar la red de viveros de arroz de secano VioCIAT.

## **Selección Recurrente: Mejoramiento de Líneas en los Llanos**

### **Mejoramiento de Acervos Genéticos de Arroz (*Oryza sativa* L.). Arroz de Secano para el Ecosistema de Sabanas (*Oryza sativa* L., Tipo Japónica)**

M. Châtel, Y. Ospina, F. Rodríguez, V.H. Lozano, D. Guzmán

#### **Resumen**

Desde 1996, acudiendo a las recomendaciones del CIAT, el proyecto CIAT/CIRAD ha disminuido las actividades de mejoramiento convencional por cruces intra-específicos *Oryza sativa*, para concentrarse en la ampliación de la base genética del arroz.

Para el arroz de secano, el desarrollo de poblaciones con amplia base genética y su mejoramiento por selección recurrente serán las nuevas estrategias utilizadas. La creación de las poblaciones fue facilitada por la utilización de un gen recesivo de androesterilidad (ms). En Colombia, las poblaciones fueron mejoradas por selección recurrente. En cada etapa del mejoramiento, se seleccionaron plantas fértiles como punto de partida para el desarrollo de líneas segregantes y fijas. En 2002, se evaluó un total de 642 progenies. Las líneas avanzadas más promisorias se evaluarán en ensayos de rendimiento en colaboración con CORPOICA.

**Palabras claves:** Arroz de secano, poblaciones, base genética, androesterilidad, mejoramiento, selección recurrente y líneas promisorias

#### **Introducción**

El mejoramiento convencional permitió la liberación de variedades modernas de arroz de secano en América Latina. Treinta y tres (33) variedades lanzadas en América Latina tienen germoplasma del CIRAD como uno de sus padres. (ver sección 3.1.2).

Aunque en los avances de la investigación se han producido variedades mejoradas, estas tienen una base genética estrecha. En consecuencia hay necesidad de ampliar esta base genética utilizando métodos avanzados de mejoramiento genético.

Desde 1996, el proyecto se está concentrando en el desarrollo y mejoramiento de acervos genéticos para el arroz de secano (*Oryza sativa* L., tipo Japónica). La utilización de un gen recesivo de androesterilidad (ms) facilitó el desarrollo de poblaciones básicas, que están siendo mejoradas por selección recurrente. A partir de las poblaciones básicas como también en cada etapa del mejoramiento, se seleccionan plantas fértiles que constituyen el punto de partida para la selección de líneas segregantes y fijas. En 2002, se evaluaron un total de 642 líneas y 112 líneas fueron seleccionadas para posterior evaluación.

Se enviaron poblaciones mejoradas y líneas segregantes seleccionadas a Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Cuba, Nicaragua y Venezuela. Las líneas segregantes más avanzadas se están evaluando en ensayos de rendimiento tanto en Colombia como en Bolivia.

#### **Materiales y Métodos**

## **Materiales**

**Fuente de Germoplasma.** Las poblaciones PCT-4, PCT-11 desarrolladas en Colombia y la población CNA 7 de Brasil son las utilizadas por el proyecto.

**Desarrollo de Líneas Segregantes y Fijas.** A lo largo de los ciclos de mejoramiento y recombinación, se seleccionaron plantas fértiles, para el desarrollo y evaluación de líneas segregantes y fijas. En el año 2002 se evaluaron y seleccionaron 642 líneas en diferentes generaciones segregantes ( $S_1 - S_9$ ).

**Ensayos de Rendimiento.** Durante la campaña 2002, veinticuatro (24) líneas avanzadas y tres (3) testigos comerciales (Oryzica Sabana 6, Oryzica Sabana 10, y “Línea 30” -CIRAD 409-), fueron evaluadas en ensayos preliminares de rendimiento.

## **Métodos**

**Mejoramiento Poblacional.** El mejoramiento poblacional por selección recurrente es un método eficiente para mejorar características de baja heredabilidad. Los bloques de ligamiento genéticos se rompen por los ciclos sucesivos de selección y recombinación, y es posible acumular los genes favorables a una mejor expresión de las características bajo mejoramiento. Esto representa un proceso paulatino de mejoramiento.

**Siembra de las Poblaciones de Arroz.** Las poblaciones están altamente segregando por numerosas características y poseen una mezcla de plantas fértiles heterocigotas (Msms) y androestériles (msms) permitiendo la fecundación cruzada. La siembra se hace en sitios individualizados para facilitar visualmente la identificación del sexo de las plantas. Para asegurar una completa recombinación entre los genotipos más precoces y los de ciclo más tardíos, dos a tres fechas de siembra se hacen en la misma área, intercalando físicamente las siembras. Para evitar la contaminación por polen ajeno, cada población está rodeada por barreras de maíz.

**Recombinación y Multiplicación de Poblaciones.** Los granos producidos por las plantas androestériles (msms) provienen de la fecundación cruzada por el polen de las plantas vecinas fértiles (Msms). Estos granos representan un nuevo ciclo de recombinación como también una multiplicación de la población.

**Mejoramiento de Poblaciones por Selección Recurrente.** El método de selección recurrente es un proceso cíclico involucrando 3 etapas principales: (1) selección de plantas, (2) la evaluación de las mismas o de sus descendencias y (3) la recombinación de las mejores. Se aplicaron dos métodos de selección recurrente: (i) selección masal y (ii) evaluación de progenies  $S_2$ .

**Selección de Plantas Fértiles para Desarrollar Líneas Segregantes.** La selección de plantas fértiles  $S_0$  es el punto de partida para el desarrollo de líneas segregantes que sigue el método tradicional de evaluación y selección por pedigrí.

Durante el proceso de selección dentro de las descendencias elegidas, la cosecha solo de las plantas fértiles permite eliminar el gen de androesterilidad. Como consecuencia las generaciones avanzadas están completamente fértiles.

Las principales características bajo selección para las condiciones de sabana son el vigor inicial, la tolerancia a la acidez del suelo, la resistencia a pyricularia (*Pyricularia grisea* Sacc.), y al virus de la hoja blanca, la calidad del grano (translucidez, largo fino) y la precocidad (ciclo total de semilla a semilla de 115 días máximo).

**Ensayos de Rendimiento.** Las líneas avanzadas más promisorias que pasarán con éxito todo el proceso de selección son evaluadas en ensayos preliminares de rendimiento.

El diseño experimental fue el de bloques al azar con tres repeticiones. Los ensayos se establecieron en colaboración con CORPOICA Regional 8, en la Estación Experimental La Libertad (EELL), y en 3 fincas de la Altillanura colombiana.

## **Resultados y Discusión**

### **Mejoramiento Poblacional en la EELL**

El mejoramiento poblacional se hizo a través del método de selección recurrente. Se utilizaron dos métodos diferentes. Selección masal en ambos sexos, antes de la floración, para la resistencia a pyricularia hoja y el virus de la hoja blanca, y selección de progenies S<sub>2</sub> para los principales caracteres agronómicos.

### **Ensayos de Rendimiento**

Durante el año 2002 se repitió en colaboración con CORPOICA, el ensayo de veinticuatro (24) líneas avanzadas y tres (3) testigos comerciales (Oryzica Sabana 6, Oryzica Sabana 10, y “Línea 30” -CIRAD 409-). El ensayo se sembró en 5 sitios diferentes, siendo 2 en la EELL y 3 en fincas de la Altillanura. Los resultados no están disponibles por el momento. El análisis combinado de los resultados obtenidos durante los años 2000 y 2001 en la EELL (Cuadro 1), muestra que el rendimiento de grano varió desde 2000 hasta 3488 kg/ha. Los testigos “Línea 30”-CIRAD 409-, Oryzica Sabana 6 y Oryzica Sabana 10 rindieron 2931, 2633 y 2000 kg/ha respectivamente.

La línea PCT-4\SA\1\1>975-M-2-M-3 tuvo un excelente comportamiento, rindiendo 19, 32 y 74% más que “Línea 30” -CIRAD 409-, Oryzica Sabana 6 y Oryzica Sabana 10 respectivamente. Además, su precocidad es igual al testigo más precoz “Línea 30”-CIRAD 409-. Está confirmado que es posible romper la correlación negativa existente entre precocidad y potencial de rendimiento. Por otro lado, la línea no presenta grandes variaciones anuales de rendimiento como es el caso de los tres testigos, lo que indica una mejor estabilidad en el tiempo.

Por otra parte, otras doce (12) líneas presentaron un rendimiento igual al mejor testigo “Linea30”-CIRAD 409-. Existe nuevo material con el mismo nivel de rendimiento y precocidad lo que representa una oferta de diversificación para los productores.

**Cuadro 1. Línea Promisoria de Arroz de Secano Seleccionada en la Población PCT-4. Estación Experimental La Libertad, Villavicencio-Meta, Colombia 2000 y 2001**

Línea Promisoria y Testigos	Año y Rendimiento (Kg/ha)			Floración (Días)
	2000	2001	Promedio	
PCT-4\SA\1\1* >975-M-2-M-3	3644	3333	3488	71
Línea 30 (CIRAD 409)	2332	3531	2931	71
Oryzica Sabana 6	2140	3126	2633	83
Oryzica Sabana 10	1240	2770	2000	89

\* PCT-4\SA\1\1: Nomenclatura de la población PCT-4. Un ciclo de selección recurrente para suelos ácidos.

#### Actividades Futuras

- Dar seguimiento al mejoramiento de poblaciones de arroz de secano.
- Confirmar en Colombia, el desempeño de las mejores líneas seleccionadas a través de ensayos regionales, en colaboración con CORPOICA Regional 8.
- Lanzar en los próximos años nuevas líneas de arroz de secano en Colombia
- Seguir con las actividades de red a nivel regional.
- Suministrar líneas segregantes y avanzadas como también poblaciones mejoradas a los países con los cuales el proyecto está colaborando.
- Implementar la nueva red de viveros del CIAT, VioCIAT.

- **Arroz de Riego (*Oryza sativa* L., Tipo Indica y Japónica)**

M. Châtel, Y. Ospina, D. Guzmán, C.P. Martínez

#### Resumen

Como para el arroz de secano, el proyecto concentra sus actividades en la ampliación de la base genética del arroz de riego con el desarrollo y mejoramiento de poblaciones. Se crearon poblaciones básicas en CIAT y posteriormente enviadas a los programas nacionales de América Latina y del Caribe. Poblaciones de sitio específico de tipo Indica y Japónica, para los trópicos y las regiones de clima templado respectivamente, fueron desarrolladas en colaboración con los mejoradores de la región. Este germoplasma es el punto de partida para los proyectos de mejoramiento poblacional.

**Palabras claves:** Arroz de riego, poblaciones de arroz, base genética, androesterilidad, mejoramiento, sitio específico y selección recurrente.

#### Introducción

El mejoramiento poblacional del arroz de riego se hace en estrecha colaboración con los proyectos nacionales de mejoramiento de América Latina y del Caribe y el CIRAD en Francia.



El proyecto empezó por la introducción en Colombia de diferentes acervos genéticos y poblaciones anteriormente desarrolladas en Brasil por EMBRAPA Arroz e Feijão y el CIRAD. A partir del año 1996, se desarrollaron nuevas poblaciones de sitio específico para atender a las condiciones de los diferentes ecosistemas del cultivo de arroz de riego presentes en la región.

Dando seguimiento a las actividades de red, se organizó en octubre de 2001 el Primer Taller Internacional de Selección Recurrente de Arroz de Riego en Venezuela. Para el 2003, se está organizando la III Conferencia Internacional de Mejoramiento Poblacional de arroz a celebrarse en Venezuela.

Este informe presenta las actividades conducidas en Colombia. Los diferentes avances en el mejoramiento poblacional estarán presentados en el libro que será publicado al principio del año 2003.

## **Materiales y Métodos**

**Poblaciones Básicas.** En el año 1996, las poblaciones PCT-6, PCT-7, PCT-8 de tipo Indica y GPIRAT-10 de tipo Japónica, creadas por el proyecto CIAT/CIRAD fueron enviadas a los diferentes programas nacionales de mejoramiento de la región para su evaluación y selección.

**Poblaciones de Sitio Específicos.** Después de evaluar y caracterizar las poblaciones introducidas, los fitomejoradores de diferentes países crearon poblaciones de sitio específico, en colaboración con el proyecto.

**Desarrollo de Líneas Segregantes y Fijas.** A partir de las poblaciones introducidas como también de las creadas localmente se seleccionan plantas fértiles  $S_0$  para dar inicio a líneas segregantes y fijas. Las líneas más avanzadas se llevan a pruebas de comportamiento.

**Poblaciones de Sitios Específicos.** Las poblaciones de sitio específico se sintetizan utilizando una población ya existente con el gen de androesterilidad, a la cual se introduce una nueva variabilidad escogida por el fitomejorador.

**Desarrollo de Líneas Segregantes y Fijas.** Las líneas segregantes son evaluadas para las características de interés de cada país y se seleccionan utilizando el método de pedigrí. Las líneas más avanzadas son evaluadas en ensayos locales y regionales.

## **Resultados y Discusión**

### **Desarrollo de Nuevas Poblaciones de Sitio Específico**

**Colombia.** Teniendo en cuenta que el objetivo principal del proyecto de arroz del CIAT es la ampliación de la base genética del arroz por diferentes métodos de mejoramiento avanzado, se decidió integrar dos de ellas: los cruces inter específicos y el mejoramiento poblacional. Se crearan dos poblaciones por la introducción de 7 líneas avanzadas íter específicas (6 del cruce *Oryza rufipogon*/Bg90-2, y una del cruce *Oryza barthii*/Lemont) en las poblaciones PFD-1 y PARG-3 adaptadas al ecosistema tropical y sub-tropical respectivamente.

A diferencia de las poblaciones ya existentes, el nuevo germoplasma está integrando una nueva fuente de variabilidad genética no disponible anteriormente. Al principio, el mejoramiento de este germoplasma se hará en Colombia.

### **Selección de Plantas Fértiles para Desarrollar Líneas Segregantes**

Cada uno de los mejoradores de los diferentes proyectos de mejoramiento poblacional está muy consciente que la finalidad de su trabajo es la producción de líneas promisorias que pueden llegar al lanzamiento de futuras variedades. Las más avanzadas hacen parte de jardines de líneas y redes de ensayos.

### **Conclusión**

El mejoramiento poblacional por selección recurrente es una realidad en diferentes países de LAC. Los investigadores tienen un compromiso bastante fuerte con el proyecto CIAT/CIRAD que sigue atendiendo. Poblaciones de sitio específico fueron creadas y están siendo mejoradas. Dos de las tácticas de ampliación de la base genética del arroz desarrolladas por los proyectos CIAT y CIAT/CIRAD se integrarán con el desarrollo de nuevas poblaciones cuya base genética será distinta de las previamente existentes.

### **Actividades Futuras**

Terminar la creación de las nuevas poblaciones de sitio específico

Continuar el apoyo a los mejoradores de los diferentes países

Asegurarse del desarrollo de líneas avanzadas promisorias para posterior difusión como variedades.

### **3.1.3. Estimación de la Ganancia en el Potencial de Rendimiento**

C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa,  
D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

### **Introducción**

Un gran impacto se ha logrado en la producción de arroz en América Latina(LAC) y particularmente en Colombia; sin embargo, dicha producción no es suficiente para satisfacer la demanda presente y futura y por consiguiente, es necesario incrementarla pero de manera sostenible. La incorporación de nuevos alelos en los acervos genéticos disponibles en la región puede proveer la variabilidad genética adicional tan indispensable para lograr el progreso genético deseado. Las especies silvestres del género *Oryza* representan una fuente adicional de genes para el mejoramiento del potencial de rendimiento, la calidad de grano y la tolerancia a estrés debido a factores bióticos ó abióticos. El propósito de este informe es presentar datos, tanto de campo como de invernadero, sobre el comportamiento de líneas derivadas de cruzamientos interespecíficos con las especies *O. rufipogon*, *O. barthii* y *O. glaberrima*, así como también de otras actividades desarrolladas en el marco del convenio MADR-CIAT.

- **Utilización de Alelos Derivados de Especies Silvestres**

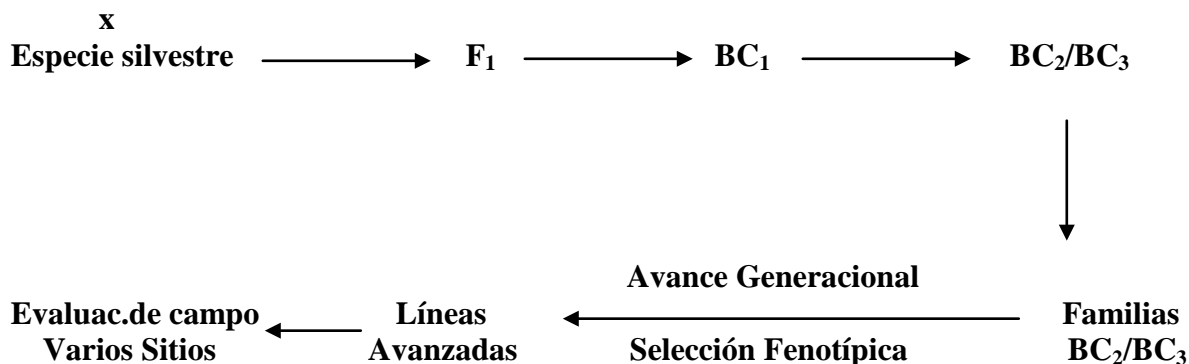
C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa, D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

La utilización y explotación de la variabilidad genética es uno de los requisitos indispensables para lograr un progreso genético adecuado dentro de un programa de mejoramiento varietal, al igual que el establecimiento de objetivos bien claros y definidos, el uso de métodos apropiados de fitomejoramiento y la disponibilidad de sitios de selección representativos de los limitantes de producción que afectan al cultivo. El Proyecto de Arroz del CIAT utiliza varias alternativas para aumentar la variabilidad genética del arroz, en especial la utilización de especies silvestres de arroz, mejoramiento poblacional a través de selección recurrente y la introgresión del nuevo tipo de planta desarrollado por el IRRI en los acervos genéticos de América Latina.

### Esquema de Mejoramiento

Las variedades mejoradas Bg90-2, Oryzica3 y Caiapo fueron utilizadas como padres recurrentes en cruzamientos con las especies *O. rufipogon* (IRGC105491) y *O. glaberrima* (IRGC103544) siguiendo el diagrama indicado a continuación:

#### Variedad mejorada



Veintiocho líneas avanzadas derivadas del cruzamiento entre Bg90-2 y *O. rufipogon* se sembraron en ensayos replicados de campo en once localidades (siete en Colombia y en una localidad en Argentina, Surinam, Uruguay y Venezuela). Estos ensayos fueron realizados bajo la supervisión directa de los programas nacionales de Argentina, Surinam, Uruguay y Venezuela (DANAC) y en el caso de Colombia de FEDEARROZ, Universidad del Tolima, Semillano, y Semillas El Aceituno. Se utilizó el sistema de transplante en CIAT-Palmira mientras que la siembra directa en surcos ó al voleo se utilizó en los otros sitios bajo condiciones de riego siguiendo un diseño experimental de bloques al azar randomizado con tres repeticiones. Se usaron las prácticas agronómicas recomendadas a nivel local y como testigos se emplearon variedades comerciales sembradas localmente. Se tomaron datos sobre las principales características agronómicas incluyendo el rendimiento en grano. Los datos de rendimiento se analizaron de acuerdo a un análisis combinado de varianza, mientras que el paquete estadístico GEBEI (Watson et al., 1999) se utilizó para el análisis de la interacción GxE.

## **Rendimiento y Comportamiento de las Líneas Bg90-2/*O. rufipogon***

Los datos se presentan en la Figura 1 y en el Cuadro 1. El análisis estadístico combinado no mostró diferencias significativas en rendimiento entre Bg90-2 y sus progenies pero a nivel local varias líneas superaron a Bg90 en rendimiento. Los datos indican que aun cuando ninguna de las progenies mejoradas rindió significativamente mas que Bg90-2 en todas las localidades, sin embargo en cada localidad varias líneas superaron a Bg90-2. El análisis preliminar de la interacción GxE (datos no mostrados) indica que las localidades fueron bastante contrastantes y diferentes y que la interacción fue bastante alta (75%). Esto sugiere que el comportamiento de las líneas dependió mucho de las condiciones climáticas y de suelo de las localidades. No obstante, para cada grupo de ambiente hubo líneas mejores que Bg90-2, variedad que tuvo un comportamiento general bueno. Esto sugiere que dentro de las 28 líneas evaluadas existía buena variabilidad genética, lo cual explica el mejor comportamiento relativo a Bg90-2 bajo condiciones específicas. En cada localidad varias líneas también tuvieron un comportamiento igual ó mejor que el testigo local. Además, diferentes líneas fueron seleccionadas por los colaboradores para ser usadas en sus programas de mejoramiento.

### **3.1.4. Desarrollo de Cruces para Resistencia a Rhizoctonia**

- **Evaluación de Líneas Avanzadas Derivadas de Cruces Interspecíficos**

C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa,  
D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

El objetivo principal de esta actividad es la identificación de material genético tolerante a la pudrición de la vaina causada por *Rhizoctonia* sp. a partir de poblaciones resultantes de cruces interspecíficos.

Líneas avanzadas del cruzamiento *Oryzica 3* x *O. rufipogon* se evaluaron bajo condiciones de campo en un "hot spot" en Saldaña, Tolima. Colombia en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones; la evaluación se hizo según la escala del Sistema de Evaluación Estándar del IRRI bajo la supervisión y colaboración de Patricia Guzmán, asistente de investigación de FEDEARROZ.

Algunas enfermedades causadas por hongos particularmente *Rhizoctonia solani*, *Sarocladium oryza* y *Bipolaris oryza*, consideradas como de menor importancia en el pasado, están causando pérdidas en rendimiento en varias regiones en Colombia y la mayoría de las variedades comerciales sembradas son susceptibles a ellas. Los resultados obtenidos en evaluaciones de campo e invernadero (Cuadros 2 y 3) sugieren que líneas avanzadas derivadas del cruzamiento *Oryzica3/O. rufipogon* poseen un buen nivel de tolerancia a dichas enfermedades, particularmente a *Rhizoctonia* sp. Adicionalmente, algunas líneas avanzadas del cruzamiento Bg90-2/*O. rufipogon* también muestran tolerancia a *Rhizoctonia* bajo condiciones de invernadero (Cuadro 4). Edgar Corredor y Pompilio Gutiérrez, fitomejoradores de FEDEARROZ seleccionaron varias líneas de estos cruzamientos para evaluaciones en 2003 y

como progenitores. Un grupo adicional de 424 líneas avanzadas y otro de 250 líneas F<sub>2</sub> se entregaron a Patricia Guzmán para evaluaciones preliminares en Saldaña en 2003.

Finalmente, una evaluación preliminar hecha bajo condiciones de invernadero en CIAT sugiere que fuentes adicionales de tolerancia a esta enfermedad existen dentro de 22 especies silvestres evaluadas. Resumiendo la información disponible se tiene que los resultados obtenidos son muy positivos pero contrastan bastante con informes encontrados en la literatura (Ou, 1984) acerca de la ausencia de tolerancia a *Rhizoctonia* en el arroz cultivado. Dada la naturaleza de *Rhizoctonia* sp. es conveniente mirar con cautela la significancia de los resultados obtenidos los cuales deben ser confirmados mediante evaluaciones más extensivas en tiempo.

### **3.1.5. Incorporación de Nueva Variabilidad Genética**

- **Evaluación de Germoplasma Introducido del IRRI y de WARDA**

C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa,  
D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

El objetivo principal de esta actividad es introducir nuevas fuentes de variabilidad genética que permitan continuar con el proceso de ampliación de la base genética del arroz en Colombia. El primer paso consiste en la caracterización del germoplasma introducido con el fin de conocer su comportamiento a enfermedades bajo las condiciones de Santa Rosa. En un grupo compuesto por 94 líneas introducidas del IRRI se observó que el 57% de las líneas fue susceptible a pyricularia en hoja, mientras que en cuello el 47% de las líneas fue susceptible. La selección se realizó básicamente por su comportamiento general y apariencia. Se seleccionaron 14 líneas (33 plantas) para evaluaciones posteriores (Cuadro 7).

También se evaluaron bajo condiciones de suelos ácidos en la Estación Experimental La Libertad 334 líneas segregantes provenientes del programa de arroz de WARDA (África Occidental), las cuales corresponden a cruzamientos entre *O. sativa/O. glaberrima*. Este material se caracteriza por tener buena precocidad, tolerancia a suelos ácidos y enfermedades pero mala calidad de grano. Se seleccionaron 74 líneas para evaluaciones en el 2003. Además en visita hecha al IRRI, Filipinas en Septiembre de 2002 se seleccionaron alrededor de 1000 líneas segregantes de distintos tipos de cruzamientos para evaluación y selección en Colombia en el 2003.

### **3.1.6. Desarrollo de Cruces Interespecíficos para Resistencia a Entorchamiento**

- **Evaluación de Líneas Segregantes Derivadas de Cruces Interespecíficos**

C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa,  
D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

El hongo *Polymyxa graminis* es el transmisor de la enfermedad virosa llamada entorchamiento, la cual fue reportada por primera vez en Costa de Marfil en 1977; se reportó en Colombia en 1991 y posteriormente en Panamá y Brasil. Todas las variedades comerciales son susceptibles; sin embargo, un nivel alto de tolerancia se encontró en *O. glaberrima*.

Líneas doble haploide del cruzamiento Caiapo/*O. glaberrima* se evaluaron en condiciones de campo en el Meta en estrecha colaboración con investigadores de la Federación Nacional de

Arroceros de Colombia. Además líneas avanzadas derivadas del cruce Bg90-2/*O. glaberrima* se evaluaron en condiciones de invernadero en CIAT, Palmira por su tolerancia al entorchamiento. Nuestros datos indican que dicha tolerancia ha sido incorporada en progenies derivadas de cruzamientos entre Bg90-2 y Caiapo con *O. glaberrima* (Cuadros 5, 6) mediante retrocruces hacia el padre mejorado. En base a los datos tomados en Santa Rosa un grupo de 120 líneas avanzadas se entregó a Olga Higuera, asistente de investigación de FEDEARROZ, para evaluaciones de campo en el 2003.

### 3.1.7. Obtención de Progenitores Potenciales

- **Desarrollo de Germoplasma Mejorado con Buen Potencial de Rendimiento, Buena Calidad y Tolerante a Plagas y Enfermedades. Evaluación de 6000 Líneas Segregantes Derivadas de Cruces Interespecíficos**

C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa, D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

La evaluación y selección de las poblaciones segregantes se realiza bajo condiciones de secano favorecido y presión alta de enfermedades en la Estación Experimental de Santa Rosa a partir de la F<sub>2</sub>. Un programa de retrocruzamiento hacia variedades mejoradas ó líneas élite se utiliza para transferir genes que controlan características de interés agronómico de las especies silvestres hacia el germoplasma mejorado; también se utilizan cruzamientos triples y dobles en algunos casos. El objetivo principal es el desarrollo de líneas mejoradas que puedan ser utilizadas como progenitores por los programas nacionales de mejoramiento.

Se evaluaron 6287 líneas segregantes en Santa Rosa (Cuadro 7) y en total se realizaron 3886 selecciones. Cruzamientos entre líneas del nuevo tipo de planta (NTP) y líneas élite del banco de germoplasma han dado origen a líneas avanzadas F<sub>5</sub>-F<sub>6</sub> que presentan tallos gruesos fuertes, panículas largas, macollamiento intermedio y follaje verde intenso con senescencia tardía. La mayoría de estas líneas presentan granos gruesos con mucho centro blanco pero con buen nivel de tolerancia a enfermedades.

Cruzamientos entre líneas derivadas de poblaciones íter específicas y variedades mejoradas ó líneas élite ha dado origen a poblaciones que presentan vigor excelente, tallos fuertes, buen tipo de planta, grano largo y delgado; sin embargo, presentan esterilidad alta. En estos casos la selección ha hecho énfasis en fertilidad y tolerancia a enfermedades.

La gran mayoría de las líneas derivadas de las poblaciones Bg90-2/*O. rufipogon* presenta susceptibilidad a pyricularia (*P. oryza*) tanto en hoja como en cuello; sin embargo, algunas líneas combinan tolerancia a pyricularia, con buen vigor y tipo de planta, tallos fuertes y alto potencial d rendimiento. Algunas muestran tolerancia a la pudrición de la vaina (*Rhizoctonia* sp.). Varias líneas fueron seleccionadas para evaluaciones en fincas de agricultores en colaboración con FEDEARROZ en el 2003.

Las poblaciones derivadas a partir de retrocruzamientos entre Bg90-2 y *O. glaberrima* han presentado esterilidad de tipo genético alta; sin embargo, se identificaron líneas avanzadas con buena fertilidad, un vigor excelente, tallos fuertes y buen potencial de rendimiento. La mayoría

tiene grano de tipo medio y grueso. Las líneas seleccionadas serán evaluadas en condiciones de campo por su tolerancia al entorchamiento en colaboración con FEDEARROZ.

Las progenies derivadas de los retrocruces entre Lemont y *O. barthii* se caracterizan por su precocidad, tolerancia a enfermedades foliares, grano largo y delgado de excelente calidad tanto industrial como de cocción, tallos fuertes y panícula larga muy fértil. Sin embargo, son muy susceptibles al daño mecánico producido por Tagosodes y a la hoja blanca. Nuevos cruzamientos se hicieron para introducirles resistencia a estos limitantes, los cuales se procesaron por cultivo de anteras para acelerar el proceso.

Finalmente, 248 líneas avanzadas correspondientes al proyecto CIAT-Perú se cosecharon en forma masal en Santa Rosa con el fin de multiplicar la semilla. Dichas líneas mostraron buen comportamiento, tolerancia a enfermedades y buen potencial de rendimiento y son candidatas para conformar los viveros que se distribuirán en el 2003.

También se evaluaron 497 líneas seleccionadas de varios cruces interespecíficos en la terraza baja del Centro Experimental La Libertad, Villavicencio. Este ensayo se hizo en colaboración con CORPOICA bajo la supervisión del Ing. Agrónomo Hernando Delgado. El objetivo principal fue observar el comportamiento de líneas derivadas de cruces interespecíficos bajo condiciones de riego como un inicio del proyecto sobre usos industriales del arroz. Se tomaron notas sobre las principales características agronómicas las cuales sirvieron de base para seleccionar 60 líneas como promisorias. Además, se realizó un día de campo con el fin de transferir información pertinente a las características de este germoplasma al sector industrial del Meta.

### **Evaluación de la Calidad de Grano**

Uno de los principales objetivos de los Programas Nacionales de Arroz en América Latina consiste en el desarrollo de variedades mejoradas que posean un potencial alto de rendimiento, tolerancia a las principales plagas y enfermedades y excelente calidad de grano. Tanto Bg90-2 como *O. rufipogon* poseen mala calidad de grano; sin embargo, segregación transgresiva positiva se observó en la generación BC<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, lo cual hizo posible la selección de líneas avanzadas con excelente calidad de grano (Figura 2). Esta actividad permitirá la identificación de germoplasma para la agroindustria.

#### **3.1.8. Incorporación de Genes para Ampliar la Base Genética**

- **Realización de Nuevos Cruzamientos**

C.P. Martínez, J. Borrero, A. Almeida, M. C. Duque, F. Correa,  
D. Delgado, G. Aricapa, G. Prado, J. Silva y J. Tohme

Alrededor de 200 cruzamientos se hicieron en 2002 con mayor énfasis en la recombinación de caracteres positivos presentes en líneas avanzadas derivadas de diferentes poblaciones inter específicas. Las poblaciones F<sub>1</sub> de estos cruzamientos están sembradas en CIAT, Palmira con el fin de cosechar semilla F<sub>2</sub> para evaluaciones en Santa Rosa en el 2003.

### **Discusión**

Varios investigadores (Xiao et al., 1998; Moncada et al., 2001) han demostrado que las especies silvestres de arroz representan una fuente potencial de nuevos genes para el mejoramiento del potencial de rendimiento, calidad y tolerancia a factores bióticos y abióticos que limitan la producción del arroz cultivado. Los resultados presentados en este informe, obtenidos tanto en condiciones de campo como de invernadero, sustentan lo anterior e indican que tanto *Oryza rufipogon* como *Oryza glaberrima* poseen alelos con efecto positivo sobre varias características agronómicas de importancia son buen potencial de rendimiento, tolerancia a Rhizoctonia y entorchamiento, y calidad de grano. Es posible que a medida que se avance en la evaluación de las poblaciones resultantes de cruzamientos inter específicos y se evalúen otras características se recolecten datos que soporten la presencia de genes adicionales con efecto favorable sobre otras características de interés agronómico.

Métodos convencionales de mejoramiento, principalmente retrocruzamiento y pedigrí, se han empleado en el desarrollo de las poblaciones a partir de la utilización de especies silvestres. El cultivo de anteras y el rescate de embriones también se utilizaron para resolver los problemas de esterilidad. La selección fenotípica bajo condiciones de secano y presión alta de enfermedades ayudaron en la selección de líneas avanzadas promisorias. Una gran variabilidad se observó en las parcelas experimentales, tanto en Palmira como en Santa Rosa, en caracteres agronómicos de importancia tales como vigor, fortaleza de tallos, arquitectura de la planta, tipo y tamaño de panícula y grano, color y sanidad del follaje, precocidad, fertilidad, potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades, etc. Estas poblaciones ó líneas avanzadas derivadas de ellas fueron evaluadas en diferentes zonas arroceras de Colombia, Argentina, Surinam, Uruguay y Venezuela a través de la colaboración de los respectivos programas nacionales de arroz y de la empresa privada. Como resultado de estos ensayos se tiene que nuestros colaboradores están identificando y seleccionando líneas de mucho interés y utilidad para sus programas locales de mejoramiento. Esto es un indicador de que se está cumpliendo con el objetivo de proveer nuevas fuentes de variabilidad genética para la ampliación de la base genética del arroz cultivado.

Es bueno recordar que según Brar et al., 2002, en el Asia ya se han utilizado las especies silvestres para transferir al arroz cultivado genes de resistencia al insecto chupador *Nilaparvata lugens*, a la quemazón producida por *X. oryza*, a la pyricularia, a la enfermedad virosa tungro, a la tolerancia a suelos ácidos y genes que controlan la esterilidad citoplasmática. Incluso algunas líneas derivadas de cruzamientos con *O. rufipogon* y *O. officinalis* fueron liberadas como variedades. A línea IR73385-1-4-3-2-1-6 derivada del cruce IR64/*O. rufipogon* es resistente a tungro y se recomendó para siembras comerciales en Filipinas. La línea AS996 (IR 73678-6-9-B) seleccionada del cruce IR64/ *O. rufipogon* fue liberada para las condiciones de suelo ácido en el Mekong Delta, Vietnam. En nuestro caso algunas líneas del cruzamiento *Oryzica3/O. rufipogon* presentan un buen tipo de planta, buen potencial de rendimiento, buena calidad de grano y tolerancia a Rhizoctonia. Las evaluaciones que hará FEDEARROZ en el 2003 suministrarán valiosa información acerca de su potencial como variedades.

Los datos presentados y los reportados en la literatura resaltan la importancia de la variabilidad genética existente en las especies silvestres como ya lo habían señalado Tanksley y McCouch. 1997. No solo en arroz sino también en otras especies como tomate (Bernacchi et al. 1998) y maíz (Goodman, 2002; Whitt et al.2002) el germoplasma exótico puede jugar un papel sustancial en la productividad agrícola.



## Referencias

1. Bernacchi D., Beck-Bunn T, Emmatty D., Eshed Y., Inai S., López J., Petiard V., Sayama H., Uhlig J., Samir D., Tanksley S. 1998. Advanced backcross QTL analysis of tomato. II. Evaluation of near-isogenic lines carrying single donor introgressions for desirable wild QTL-alleles derived from *Lycopersicon hirsutum* and *L. pimpinellifolium*. *Theor. Appl. Genet.* 97: 170-180.
2. Brar D.S., Bui Chi Bun, B. Nguyen, Z. Li, M. Jones and G.S. Khush. 2002. Gene transfer from wild species and molecular characterization of alien introgression in rice. Abstracts International Rice Congress. 16-20 September 2002. Beijing, China. p.69.
3. Goodman M. 2002. New sources of germplasm: Lines, transgenes and breeders. N.C. State University. Raleigh. 30p.
4. Moncada, P. et al. 2001. Quantitative trait loci for yield and yield components in an *Oryza sativa/O. rufipogon* BC<sub>2</sub>F<sub>2</sub> population evaluated in an upland environment. *Theor Appl Genet* 102:41-52.
5. Tanksley S.A., McCouch S.R. 1997. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science* 277: 1063-1066.
6. Watson, S. L. DeLacey, I. H. Podlich, D. W. Basford, K. E. 1999. GEBEI: An analysis package using agglomerative hierarchical classificatory and SVD ordination procedures for genotype x environment data.  
<http://biometrics.ag.uq.edu.au/software.htm>
7. Whitt S.R., L. M. Wilson, M.I. Tenailon, B.S. Gaut, E.S. Buckler. 2002. Genetic diversity and selection in the maize starch pathway. *PNAS* 99: 12959-12962.
8. Xiao, J. et al. 1998. Identification of trait improving quantitative trait loci alleles from a wild rice relative, *Oryza rufipogon*. *Genetics* 150:899-909.

**Cuadro 1. Rendimiento promedio (kg/ha) y desviación estándar (paréntesis) de líneas avanzadas de cruce Bg90-2/O. rufipogon bajo condiciones de campo. 2002**

N° Línea	Localidad								Promedio
	Aceituno	Concepción	Montería	Saldaña	Jamundí	Villavicencio	CIA T	Armero	
01 CTI3941-11-M-25-1-M-M	11.192 (0.182)	10.193 (1.169)	11.180 (1.009)	6.534 (0.987)	7.470 (0.697)	6.542 (1.170)	5.903 (0.727)	4.825 (1.634)	7.980 (2.548)
02 CTI3941-11-M-25-4-M-M	10.552 (0.534)	9.315 (1.944)	9.819 (2.359)	7.100 (0.404)	7.796 (0.430)	5.625 (1.987)	5.153 (0.513)	5.121 (2.295)	7.560 (2.446)
03 CTI3941-11-M-25-5-M-M	11.523 (1.065)	10.148 (2.486)	10.997 (2.227)	7.534 (0.468)	6.830 (1.590)	6.597 (1.028)	5.954 (0.281)	5.132 (0.964)	8.089 (2.637)
04 CTI3941-27-M-4-1-M-M	-- --	7.855 (0.908)	-- --	6.241 (0.725)	6.158 (0.443)	-- --	-- --	4.264 (1.269)	6.130 (1.529)
05 CTI3941-27-M-5-4-M-M	-- --	8.861 (1.828)	-- --	7.013 (1.315)	7.209 (0.647)	4.646 (0.526)	-- --	5.051 (0.783)	6.556 (1.858)
06 CTI3941-27-M-15-3-M-M	-- --	9.984 (2.246)	-- --	8.162 (0.260)	8.688 (1.518)	5.028 (1.491)	-- --	3.971 (0.867)	7.167 (2.658)
07 CTI3941-27-M-19-1-M-M	10.292 (0.230)	11.172 (0.768)	9.274 (2.748)	5.923 (0.970)	6.891 (0.017)	4.917 (0.712)	4.895 (0.302)	4.191 (1.528)	7.194 (2.774)
08 CTI3946-26-M-5-3-M-M	11.693 (0.864)	12.017 (0.695)	9.939 (0.501)	7.898 (0.748)	5.326 (0.023)	6.069 (0.584)	5.457 (0.634)	4.949 (1.198)	8.032 (2.875)
09 CTI3946-26-M-5-6-M-M	11.385 (0.697)	11.269 (1.019)	10.498 (1.684)	6.422 (0.589)	7.593 (0.428)	5.444 (2.803)	4.382 (0.376)	4.527 (0.893)	7.690 (3.045)
10 CTI3956-29-M-14-1-M-M	10.922 (0.608)	11.534 (1.533)	10.409 (1.731)	5.772 (0.796)	6.977 (1.104)	5.972 (1.387)	5.480 (0.419)	4.196 (1.142)	7.658 (2.893)
11 CTI3956-29-M-25-7-M-M	10.695 (0.357)	9.914 (1.581)	10.348 (0.335)	5.928 (2.621)	4.360 (0.473)	5.514 (1.146)	4.623 (0.281)	3.314 (0.801)	6.837 (3.035)
12 CTI3958-12-M-1-7-M-M	12.199 (0.593)	12.506 (1.379)	9.567 (0.982)	7.959 (0.817)	4.600 (0.192)	5.875 (0.897)	4.190 (0.575)	5.281 (1.803)	7.772 (3.300)
13 CTI3958-13-M-17-5-M-M	11.285 (1.044)	10.211 (1.665)	11.923 (1.601)	7.660 (0.287)	7.066 (0.239)	6.069 (1.315)	4.982 (0.275)	5.041 (2.191)	8.029 (2.853)
14 CTI3958-13-M-2-1-M-M	11.164 (1.064)	10.737 (0.805)	9.845 (1.442)	6.627 (0.682)	4.345 (0.021)	4.653 (0.842)	5.485 (0.400)	4.623 (1.135)	7.308 (2.891)
15 CTI3958-13-M-2-3-M-M	11.366 (0.922)	10.647 (0.775)	10.911 (2.491)	6.408 (0.427)	6.789 (0.487)	4.410 (0.886)	5.808 (0.213)	3.943 (1.564)	7.535 (3.039)
16 CTI3958-13-M-2-4-M-M	11.345 (0.562)	10.321 (2.045)	9.660 (0.468)	6.247 (1.863)	6.017 (0.413)	4.056 (2.069)	5.552 (0.453)	3.656 (1.057)	7.107 (3.015)
17 CTI3958-13-M-7-5-M-M	11.944 (0.7)	8.834 (1.168)	10.037 (0.830)	7.733 (0.549)	4.923 (0.386)	5.139 (0.524)	5.261 (0.557)	4.782 (2.555)	7.436 (2.790)
18 CTI3958-13-M-26-4-M-M	11.328 (0.615)	-- --	9.735 (2.208)	6.539 (0.616)	5.333 (0.842)	4.896 (1.026)	4.879 (0.343)	3.496 (1.020)	6.601 (2.872)
19 CTI3958-13-M-26-5-M-M	11.504 (0.631)	9.360 (0.757)	8.904 (0.683)	6.794 (0.285)	6.210 (1.117)	4.403 (0.992)	5.457 (0.179)	4.917 (0.661)	7.099 (2.458)
20 CTI3958-13-M-33-1-M-M	11.955 (0.575)	9.490 (1.886)	8.816 (0.852)	6.269 (0.489)	5.348 (0.507)	5.278 (0.318)	4.938 (0.367)	5.422 (1.147)	7.189 (2.583)
21 CTI3956-29-M-29-2-M-A	11.570 (1.149)	12.609 (1.213)	9.500 (0.724)	7.256 (0.802)	5.925 (1.294)	5.521 (1.263)	5.587 (0.475)	3.871 (1.247)	7.808 (3.173)
22 CTI3956-29-M-8-3-M-M	10.962 (1.324)	8.850 (1.694)	10.198 (0.721)	7.352 (1.733)	5.326 (.)	5.389 (1.219)	3.907 (0.815)	5.309 (0.362)	7.256 (2.734)
23 CTI3959-3-M-10-4-M-M	11.344 (0.253)	11.592 (0.893)	9.098 (0.484)	7.252 (0.742)	5.533 (0.294)	5.028 (0.667)	3.886 (0.405)	5.649 (2.709)	7.423 (2.956)
24 CTI3959-3-M-10-5-M-M	12.200 (1.198)	-- --	9.358 (1.674)	7.988 (0.695)	5.326 (0.376)	5.035 (0.694)	5.040 (1.021)	4.657 (2.165)	7.086 (2.921)
25 CTI3976-7-M-14-1-M-M	11.128 (0.781)	10.799 (0.984)	8.754 (2.117)	7.595 (0.449)	4.680 (0.226)	4.479 (0.276)	4.807 (0.583)	4.584 (2.358)	7.209 (2.939)
26 Bg90-2	10.757 (1.201)	-- --	9.435 (0.383)	7.837 (0.178)	5.686 (0.820)	4.340 (0.574)	4.902 (1.063)	3.785 (0.599)	6.677 (2.635)
27 Fedearroz 50	10.466 (0.438)	-- --	9.953 (0.093)	7.811 (0.387)	8.621 (2.084)	5.000 (0.722)	5.372 (0.359)	6.469 (1.109)	7.670 (2.197)
99 Testigo Local	10.235 (0.085)	-- (0.348)	8.212 (1.303)	6.144 (0.602)	6.504 (1.173)	5.042 (1.081)	2.927 (0.816)	4.322 (0.425)	6.733 (2.386)

**Cuadro 2. Tolerancia de líneas avanzadas del cruce *Oryzica 3/O. rufipogon* a varias enfermedades bajo condiciones de campo en Saldaña, Tolima. FEDEARROZ 2002**

<i>Pedigree</i>	<b>Rhizoctonia<sup>1</sup></b>	<b>Sarocladium</b>	<b>Helminthosporiu m <sup>1/</sup></b>	<b>Helminthospori <sup>2/</sup></b>
CT14524-2-M-2-M	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>15</b>
CT14524-2-M-3-3	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>15</b>
CT14529-12-M-1-2	<b>3</b>	<b>1-5</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
CT14529-12-M-2-3	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>30</b>
CT14529-18-M-3- M*	<b>3</b>	<b>3-5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
CT14529-18-M-4- M*	<b>3</b>	<b>1-5</b>	<b>3</b>	<b>20</b>
CT14534-12-M-1-3	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
CT14534-12-M-3-4*	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
CT14534-12-M-4-1	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
CT14537-8-M-4-M	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
CT14537-9-M-4-1*	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
CT14537-21-M-6-3	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
CT14539-31-M-1-1*	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
CT14539-34-M-4- M-2*	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
Oryzica 3 (Testigo)	<b>7-9</b>	<b>5-7</b>	<b>1-3</b>	<b>0-20</b>
CT14524-3-M-2-2	<b>7-9</b>	<b>7</b>	<b>5-7</b>	<b>40</b>

**1/** Escala 1-9. IRRI Sistema de Evaluación Estándar

**2/** % Infección cuello de la panícula

**\*** Líneas seleccionadas por FEDEARROZ

**Cuadro 3. Tolerancia de líneas avanzadas del cruce *Oryzica 3/O. rufipogon* a *Rhizoctonia solani* bajo condiciones de invernadero. CIAT 2002**

Línea	Reacción
CT 14545-5-M-1-M-1-M	I
CT 14545-5-M-1-M-3-M	I
CT 14545-5-M-1-M-7-M	I
CT 14545-5-M-1-M-8-M	I
CT 14545-5-M-1-M-9-M	I
CT 14545-5-M-1-M-11-M	I
CT 14537-6-M-3-M-2-M	I
CT 14537-6-M-3-M-6-M	I
CT 14534-35-M-M-M-6-M	I
CT 14539-26-M-3-M-1-M	I
CT 14539-26-M-3-M-2-M	I
CT 14545-5-M-M-M-1-M	I
CT 14546-6-M-M-M-2-M	I
CT 14546-6-M-M-M-5-M	I
CT 14546-6-M-M-M-8-M	I
CT 14556-2-M-M-M-1-M	I
CT 14537-8-M-M-M-2-M	I
CT 14530-5-M-M-2-1	I
CT 14530-5-M-M-2-2	I
CT 14530-5-M-M-3-1	I
CT 14546-8-M-M-1-2	I
CT 14546-8-M-M-2-2	I
CT 14546-8-M-M-2-3	I
CT 14546-8-M-M-3-1	I
CT 14546-8-M-M-3-4	I
CT 14551-3-M-M-1-2	I
CT 14555-7-M-M-1-1	I
CT 14555-7-M-M-2-1	I
CT 14556-22-M-M-1-1	I
Oryzica 3	I
<i>O. rufipogon</i>	I
Fedearroz 50	S

**I = Intermedia**

**S = Susceptible**

**Cuadro 4. Líneas avanzadas del cruce Bg90-2/*O. rufipogon* muestran tolerancia a *Rhizoctonia Solani* bajo condiciones de invernadero. CIAT 2002**

Línea	Reacción
CT 13941-11-M-25-4-M-M	I
CT 13941-27-M-4-1-M-M	I
CT 13941-27-M-5-4-M-M	I
CT 13941-27-M-15-3-M-M	I
CT 13946-26-M-5-6-M-M	I
CT 13956-29-M-25-7-M-M	I
CT 13959-3-M-10-5-M-M	I
Bg90-2	I
<i>O. rufipogon</i>	I
Fedearroz 50	S

**I = Intermediate**

**S = Susceptible**

**Cuadro 5. Tolerancia al entorchamiento de líneas derivadas de cultivo de anteras a partir del cruce Caiapo/*O. glaberrima* en condiciones de campo. Meta, FEDEARROZ 2002.**

Pedigree	% Plantas enfermas
1. CT16322-CA-6	2.4
2. CT16323-CA-3	5.1
3. CT16311(2)-CA-3	5.1
4. CT16318-CA-3	5.8
5. CT16308-CA-3	6.5
6. CT16322-CA-7	7.0
7. CT16313-CA-16	7.3
<i>O. glaberrima</i> (ACC #103544)	2.0
CG-20 ( <i>O. glaberrima</i> A)	2.4
Cimarrón (Testigo)	40.0
<i>O. Caribe</i> 8 (Testigo)	14.0



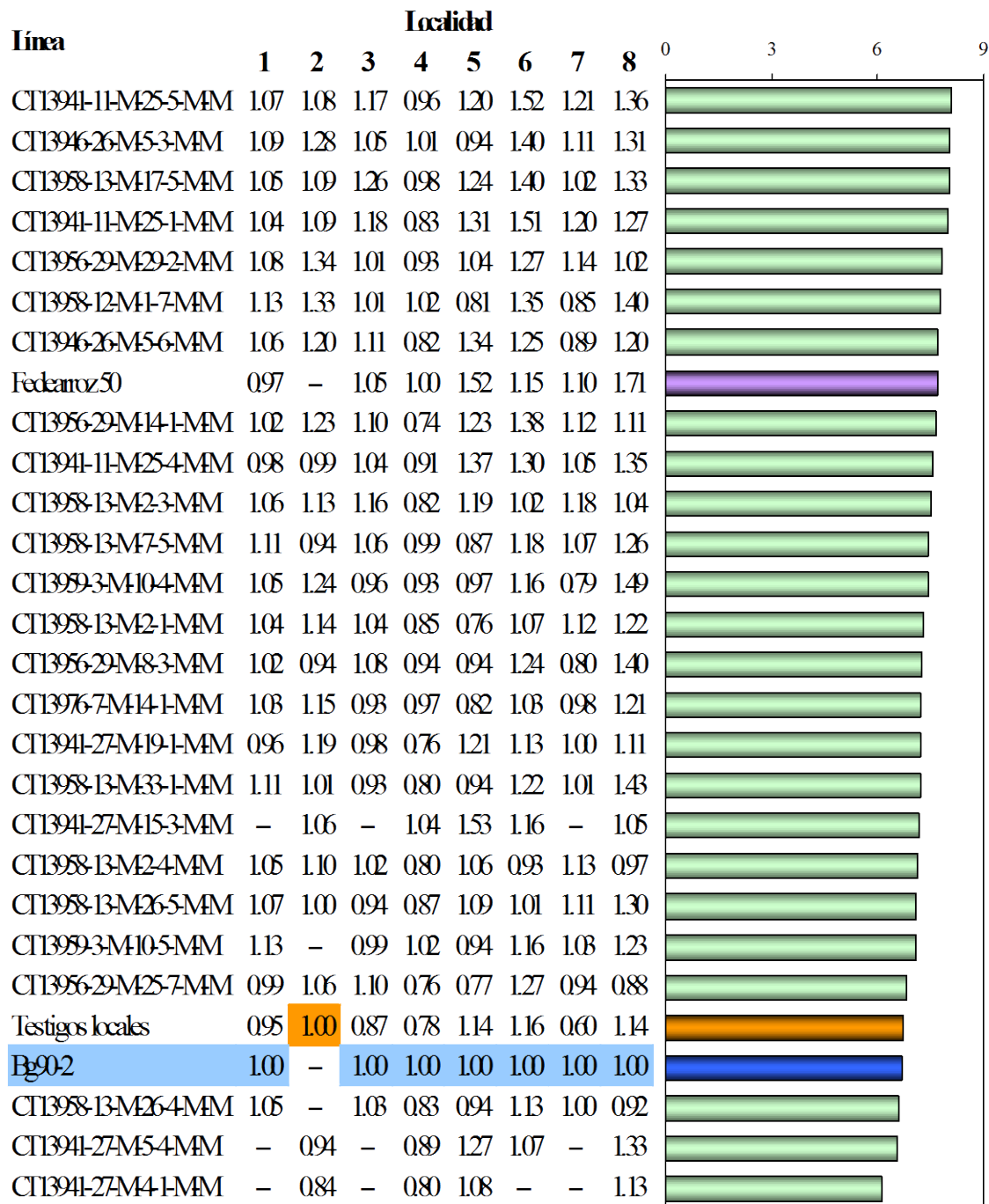
**Cuadro 6. Tolerancia al entorchamiento de líneas avanzadas del cruce Bg90-2/O. glaberrima bajo condiciones de campo (datos en porcentaje en comparación a O. glaberrima). CIAT 2002**

Pedigree	Entorchamiento	Presencia de bandas/amarillamiento	Enanismo	Plantas	
				Muertas	Sanas
CT15150-M-21-8-2	25	40	37.5	15	39.4
CT15150-M-50-2-1	0	0	2.5	0	97.5
CT15150-M-50-2-5	0	0	0	0	100
CT15150-M-79-9-3	0	0	0	0	100
CT15150-M-79-11-2	5.3	5.3	7.8	2.8	89
CT15150-M-79-11-4	0	0	0	0	100
CT15150-M-92-3-5	22.8	35	40.3	0	59.7
CT15150-M-106-5-2	0	0	0	2.5	97.5
CT15150-M-124-1-2	2.5	2.5	2.5	0	97.5
CT15150-M-129-1-2	0	0	0	0	95
CT15150-M-129-1-3	0	2.5	5	0	95
CT15150-M-149-1-1	2.5	2.5	2.5	0	97.5
CT15150-M-181-4-1	0	0	2.5	0	97.5
CT15150-M-190-2-1	2.5	5	2.5	7.5	87.5
CT15150-M-242-3-1	0	0	0	0	100
CT16053A-6-1-1	45	55	55	10	32.5
<i>Oryza glaberrima</i>	0	0	0	0	100
Oryzica 3	55	72.5	72.5	7.5	17.5
Bg90-2	41.9	57.2	54.7	7.5	30.3
Coprosem 1	20	30	35	2.5	62.5

**Cuadro7. Relación del material genético evaluado en Santa Rosa y número de selecciones hechas. 2002**

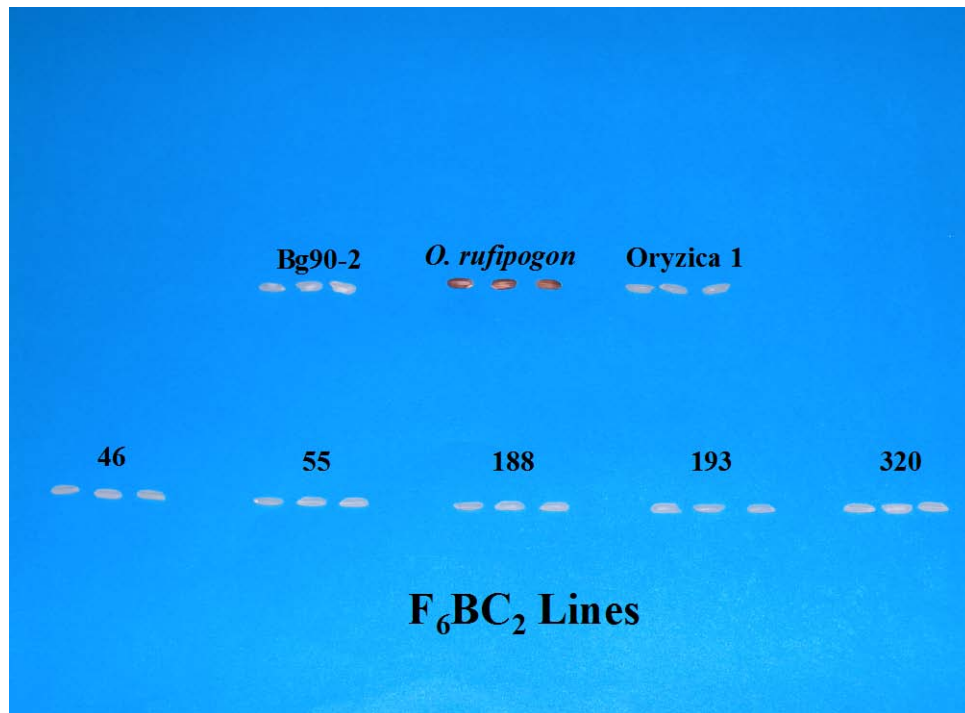
Tipo de cruzamiento	No. Líneas	No. Familias	Plantas seleccionadas	Masales cosechados
F <sub>4</sub> (cruces con IRRI NTP)	302	60	168	
F <sub>3</sub> -F <sub>4</sub> (Líneas élite/Líneas silvestres)	405	68	180	
F <sub>5</sub> BC <sub>3</sub> Bg90-2/O rufipogon	744	28	105	
F <sub>4</sub> BC <sub>3</sub> Bg90-2/O. rufipogon		60	239	
F <sub>5</sub> BC <sub>3</sub> Bg90-2/O. glaberrima	98	31	142	
F <sub>6</sub> (cruces con IRRI NTP)	385	129	309	
F <sub>6</sub> Proyecto CIAT-Perú	1232	601	1722	246
F <sub>7</sub> BC <sub>3</sub> Lemont/ <i>O. barthii</i>	67	29	82	
F <sub>6</sub> BC <sub>3</sub> Bg90-2/O. glaberrima	228	10	21	
F <sub>5</sub> BC <sub>3</sub> Bg90-2/O. glaberrima	256	6	10	
F <sub>7</sub> BC <sub>3</sub> Bg90-2/O. glaberrima	153	7	15	
F <sub>6</sub> BC <sub>2</sub> Bg90-2/O. glaberrima	1004			694
F <sub>7</sub> BC <sub>2</sub> Lemont/ <i>O. barthii</i>	203	61	180	
F <sub>6</sub> BC <sub>2</sub> Lemont/ <i>O. barthii</i>	464	123	321	
F <sub>8</sub> Bg90-2/O. rufipogon	160			58
Selección recurrente S <sub>3</sub>	48	5	23	
Selección recurrente S <sub>4</sub>	22	19	71	
F <sub>6</sub> NTP (Resist. VHB)	91	19	54	
F <sub>6</sub> CIAT/Perú (Resist. VHB)	314	99	244	
Introducción IRRI	94	14	33*	34
<b>Total líneas</b>	<b>6287</b>	<b>1369</b>	<b>3883</b>	<b>1032</b>

Figura 1. Comportamiento de líneas avanzadas del cruce Bg90-2/O. rufipogon en fincas de agricultores en ocho localidades. Colombia, 2002



1/ Valor relativo en comparación con Bg90-2, con excepción de Concepción (Argentina) en donde la comparación se hizo en base a El Paso 144

2/ Localidad 1=Aceituno 2=Concepción 3=Montería 4=Saldaña  
5=Jamundi 6=Villavicencio 7=CIAT 8=Armero



**Figura 2. Líneas Avanzadas con Excelente Calidad de Grano Seleccionadas del Cruce Bg90-2/*O. rufipogon***



## **3.2. Caracterización de la Interacción Plaga-Hospedero en el Arroz**

### **3.2.1. Caracterización de Poblaciones del Hongo *Pyricularia grisea***

F. Correa, Didier Tharreau (CIRAD), F. Escobar, G. Prado, G. Aricapa

#### **Resumen**

Este estudio fue iniciado para entender la evolución en la estructura genética y la virulencia en poblaciones de *Pyricularia grisea* como respuesta a la presión de selección ejercida por cultivares de arroz con una reacción de resistencia completa, resistencia parcial, o susceptibilidad al patógeno. Estrategias de mejoramiento para el desarrollo de una resistencia durable al añublo serán basadas en la predicción de la durabilidad de combinaciones de genes de resistencia identificados sobre la base de genes de avirulencia conservados en los diferentes grupos genéticos en las poblaciones del hongo.

#### **Introducción**

El presente experimento pretende determinar los cambios en la estructura genética y en la virulencia que ocurren en el hongo agente causal del añublo del arroz cuando dichas poblaciones son sometidas a una presión de selección por cultivares de arroz con resistencia completa, resistencia parcial, o susceptibilidad al hongo. En el campo, el nivel de resistencia de los cultivares fue evaluado mediante una escala de evaluación del porcentaje de enfermedad desarrollado. La relación entre los cambios en las poblaciones del patógeno y la reacción de los cultivares en el campo están siendo examinadas en el laboratorio utilizando técnicas moleculares (DNA-fingerprinting) e inoculaciones en el invernadero.

#### **Materiales y Métodos**

Los experimentos de campo fueron realizados en la estación experimental de Santa Rosa en un período de tres años (1999-2001). Los cultivares de arroz Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 5 tienen resistencia completa a *P. grisea*; Ceysvoni y IR 36 tienen resistencia parcial; y los cultivares Oryzica 1 y Oryzica Caribe 8 son susceptibles. Cada cultivar fue sembrado cada 15 días en un total de seis fechas de siembra en parcelas de 5x5 metros en cada año. La evaluación del nivel de enfermedad en el campo fue hecha a los 30, 37, 44, 51, y 58 días después de la siembra. Para cada cultivar y fecha de siembra, 50 hojas con lesiones de añublo fueron recolectadas a los 37 días después de la siembra. Diez panículas con síntomas de la enfermedad fueron recolectadas de cada cultivar y fecha de siembra a los 25 días después de la floración. Se realizó un análisis genético y de patotipos para cada aislamiento del hongo utilizando PCR-DNA fingerprinting e inoculaciones en el invernadero.

#### **Resultados**

Muestras de ADN de 1203 aislamientos de *Pyricularia grisea* recolectadas durante los tres años del estudio fueron analizadas utilizando la técnica de PCR (rep-PCR) con dos primers derivados de la secuencia del Pot 2, elemento que se encuentra en aproximadamente 100 copias en el genoma del hongo (George et al., 1998). Todos los aislamientos fueron agrupados en cinco grupos genéticos, temporalmente identificados como A, B, H, B+H, y M, y con una aparente

correspondencia con los grupos o linajes genéticos SRL reportados anteriormente en Colombia, los cuales fueron determinados utilizando la técnica conocida como MGR-586 fingerprinting (Cuadro 1). Aislamientos representativos de cada uno de estos grupos genéticos serán analizados mediante la técnica de MGR para clarificar la verdadera correspondencia entre los grupos genéticos determinados por las dos técnicas. Se determinó un total de 102 haplotipos en donde el grupo B exhibió el mayor número (43 haplotipos, B1-B43) y el grupo M un solo haplotipo (M1). Cincuenta y tres por ciento de los aislamientos (641) con 22 haplotipos pertenecieron al grupo A (A1-A22). Dos grupos genéticos, A y B agruparon más del 80% de los aislamientos recolectados. El grupo genético H tuvo 24 haplotipos (H1-H24), y el grupo genético B+H 12 haplotipos (B+H 1-12). Los grupos genéticos B+H y M estuvieron presentes en muy baja frecuencia (Cuadro 1).

Trece haplotipos (974 aislamientos) representaron el 81% de los aislamientos analizados (Cuadro 2). El haplotipo más común (A1) con un total de 487 aislamientos representó el 40.48% de la población. Todos los otros haplotipos tuvieron una frecuencia entre 0.1 y 7.31%. Los haplotipos más comunes en los grupos B (B1) y H (H10) tuvieron una frecuencia de solamente 7.31 y 7.23%, respectivamente. El grupo M tuvo solamente un haplotipo (M1) con una frecuencia del 2.91% y los haplotipos dentro del grupo B+H tuvieron frecuencias de menos del 1%.

El Cuadro 3 presenta el número de aislamientos y frecuencia de los haplotipos más frecuentes por año y fecha de siembra. El número de aislamientos analizados y haplotipos encontrados por fecha de siembra estuvo entre 118 y 215, y entre 31 y 61, respectivamente. No se encontró una relación directa entre el número de aislamientos analizados por fecha de siembra y el número de haplotipos encontrados (Cuadro 3). Para cada fecha de siembra en cada año el haplotipo A1 fue el más predominante con frecuencias entre 34.6-53.2%. Otros haplotipos que siempre fueron detectados para cada una de las fechas de siembra estudiadas fueron A22, A18, B1, B3, B12, y H10. Los haplotipos A15 y A17 fueron detectados en dos y una fecha de siembra, respectivamente. Los haplotipos A1, A22, y A18 parecen pertenecer al grupo genético SRL-4 mientras que los haplotipos A15 y A17 al linaje SRL-5. Estos cinco haplotipos fueron agrupados en un mismo grupo de acuerdo a la técnica del Pot-2 rep-PCR utilizada en este estudio. Grupos formados de acuerdo al espectro de virulencia como será mostrado más tarde exhiben patrones de virulencia diferentes, sugiriendo la presencia de realmente dos grupos genéticos dentro del cluster A, separando los haplotipos A1, A22, y A18, de A15 y A17. En general, no se detectaron mayores cambios en la frecuencia de cada haplotipo entre la primera y sexta fecha de siembra, con la excepción de los haplotipos A15 y A17, los cuales tuvieron una mayor frecuencia en la sexta fecha de siembra.

Debido al diferente nivel de resistencia entre los cultivares estudiados, no fue posible obtener el mismo número de aislamientos para cada cultivar. Para algunas fechas de siembra el número de aislamientos fue bajo para los cultivares resistentes Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 5, como también para el cultivar con resistencia parcial IR 36 (Cuadros 4, 5, 6 y 7). El número de haplotipos por número de aislamientos fue mayor para el cultivar susceptible Oryzica 1 y los cultivares con resistencia parcial Ceysvoni y IR 36 que para el cultivar susceptible Oryzica Caribe 8 y los cultivares resistentes Oryzica Llanos 5 y Fedearroz 50. Los dos cultivares con resistencia parcial exhibieron una mayor proporción de haplotipos mientras que los dos cultivares resistentes tuvieron una baja proporción. Para los cultivares susceptibles, el número de haplotipos dependió mucho del cultivar mismo. Parece haber una asociación entre el grupo genético encontrado y los cultivares estudiados. Por ejemplo, el grupo genético A estuvo más asociado

con los cultivares *Oryzica* Caribe 8 y *Oryzica* Llanos 5, el grupo genético B más asociado con los cultivares *Oryzica* 1 y IR 36, y el grupo genético H asociado con el cultivar Ceysvoni (Cuadro 4). Los grupos genéticos A y B fueron recuperados de los seis cultivares estudiados. Todos los cinco grupos genéticos fueron recuperados del cultivar susceptible *Oryzica* 1, y el cultivar resistente *Oryzica* Llanos 5, mientras que solamente dos grupos genéticos (A y B) fueron recuperados del cultivar susceptible *Oryzica* Caribe 8 (Cuadro 4). El grupo genético M pareció estar más asociado con los cultivares resistentes *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50 que con los susceptibles o parcialmente resistentes.

El número de haplotipos por fecha de siembra por año por cultivar fue en general uniforme y dependió más en el número de aislamientos analizados (Cuadros 5, 6 y 7). El número de haplotipos por número de aislamientos por cada fecha de siembra fue en general mayor para el cultivar susceptible *Oryzica* 1 y los cultivares con resistencia parcial Ceysvoni y IR 36. La relación entre el número de haplotipos por número de aislamientos tendió a disminuir entre fechas de siembra en un mismo año para los cultivares susceptibles, se mantuvo similar para los cultivares con resistencia parcial, y tendió a aumentar para los cultivares resistentes.

La frecuencia de grupos genéticos recuperados de los cultivares susceptibles *Oryzica* 1 y *Oryzica* Caribe 8 se muestra en el Cuadro 8. El grupo genético B estuvo en todas las fechas de siembra más asociado con el cultivar *Oryzica* 1 mientras que el grupo genético A estuvo más asociado con el cultivar *Oryzica* Caribe 8 (Cuadro 8). El grupo genético A fue recuperado en una alta frecuencia (30%) del cultivar *Oryzica* 1 en la primera fecha de siembra de 1999 pero no fue recuperado del mismo cultivar en la sexta fecha de siembra del mismo año (Cuadro 8). El cultivar susceptible *Oryzica* Caribe 8 fue más específico en su susceptibilidad a un grupo genético que el cultivar susceptible *Oryzica* 1 ya que en cuatro fechas de siembra el 100 % de los aislamientos recuperados pertenecieron al grupo genético A (Cuadro 8). El cultivar con resistencia parcial Ceysvoni tendió a exhibir una mayor compatibilidad con el grupo genético H (Cuadro 9), sin embargo, en cuatro de seis fechas de siembra cuatro grupos genéticos fueron recuperados de este cultivar. En la primera fecha de siembra del año 2001, la frecuencia de recuperación de cada uno de estos cuatro grupos genéticos (A, B, B+H, H) fue equivalente, sin embargo, en la sexta fecha de siembra del mismo año, el grupo H predominó (Cuadro 9). El grupo genético H fue predominante en cuatro fechas de siembra y el grupo genético M nunca fue recuperado del cultivar con resistencia parcial Ceysvoni (Cuadro 9). Los grupos genéticos recuperados del otro cultivar con resistencia parcial IR 36 fueron predominantemente B o A. En general, el grupo B tendió a predominar en la primera fecha de siembra en cada año, sin embargo, ambos grupos tendieron a estar en similar proporción para la sexta fecha de siembra del año. Esto no puede observarse para la primera fecha de siembra del año 1999 ya que solamente dos aislamientos fueron recuperados (Cuadro 6, Cuadro 9). La frecuencia de los grupos genéticos recuperados de los cultivares con resistencia completa *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50 se muestra en la Cuadro 10. Ambos cultivares fueron principalmente infectado por haplotipos del grupo genético A en todos los años y fechas de siembra, sin embargo, el grupo genético M también mostró alguna especificidad por estos dos cultivares, especialmente durante el año 2000, y la sexta fecha de siembra del cultivar Fedearroz 50 en el año 2001 (Cuadro 10). Este último grupo M, aunque también fue recuperado del cultivar susceptible *Oryzica* 1 y el cultivar con resistencia parcial IR 36, mostró una mayor especificidad por los cultivares más resistentes *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50 (Cuadros 8, 9 y 10).

Estamos en el proceso de determinar los genes de avirulencia/virulencia de todos los 102 haplotipos diferentes encontrados y aquí reportados para elucidar la relación evolutiva existente entre los cambios genéticos detectados y el espectro de virulencia de estos haplotipos. Inoculaciones realizadas con aislamientos representantes de los haplotipos más comunes además del haplotipo (B+H)7 muestran compatibilidad con todos los genes de resistencia utilizados, sin embargo ningún aislamiento fue compatible con todos ellos (Cuadros 11 y 12). Los haplotipos dentro del grupo genético A pueden ser separados sobre la base de su espectro de virulencia en dos grupos como A1, A22, A18, y A15, A17 como fue sugerido antes basado en otras observaciones. El primer subgrupo tiene genes de avirulencia para los genes de resistencia Pi-1 y Pi-Kh, mientras que el segundo grupo tiene genes de avirulencia para los genes de resistencia Pi-2, Pi-3, Pi-sh, y Pi-zt (Cuadro 11). Basados sobre el espectro de virulencia observado en este estudio y resultados mostrados en reportes anuales anteriores del Proyecto de Arroz, pensamos que estos aislamientos representan los grupos genéticos SRL-4 y SRL-5, respectivamente. La habilidad para infectar los genes de resistencia Pi-1 y Pi-33 por los haplotipos A15 y A17 sugiere que estos dos haplotipos pertenecen al linaje SRL-5. El grupo genético M y su solo haplotipo M1 tuvo también un espectro de avirulencia/virulencia diferente, el cual corresponde más probablemente al linaje genético colombiano ya conocido como SRL-2 (Cuadro 11). Afortunadamente, varios genes de resistencia son efectivos contra este haplotipo.

El espectro de virulencia de los haplotipos más comunes del grupo genético B basados en su compatibilidad con líneas de arroz que contienen genes de resistencia conocidos fue muy similar consistiendo principalmente de un solo patotipo (Cuadro 12). Los genes de avirulencia presentes en este grupo genético fueron para los genes de resistencia Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-Kh, y Pi-Zt. La mayoría de los haplotipos también han conservado el gen de avirulencia para el gen de resistencia Pi-ta2 (Cuadro 12). Mas aislamientos dentro de este grupo están siendo analizados para determinar si estos genes de avirulencia están conservados en la mayoría de los aislamientos dentro del grupo genético B. Este grupo genético, de acuerdo a nuestros estudios anteriores esta relacionado al grupo genético colombiano previamente identificado como SRL-6 basado en el uso del marcador MGR 586. Los haplotipos H10 y H20 dentro del grupo genético H descrito en este estudio exhibió un espectro de virulencia diferente de aquellos haplotipos del grupo genético B (Cuadro 12) y tendieron a ser más similares aunque no iguales a los haplotipos A15 y A17 (Cuadro 11, Cuadro 12). Esto tendrá que ser elucidado basado en estudios moleculares y determinando los patotipos de mas aislamientos dentro de este grupo genético. De esta manera, entonces estos haplotipos no pertenecerían al conocido linaje colombiano SRL-6 como fue indicado en el Cuadro 1 si no al linaje SRL-5 o a algún otro linaje diferente como es sugerido por el uso de rep-PCR utilizando los primers de la secuencia Pot-2. Por lo menos tres genes de resistencia, Pi-2, Pi-3, y Pi-4b parecen ser efectivos para conferir resistencia a este grupo genético. El espectro de virulencia del grupo genético B+H representado por su haplotipo 7 en el Cuadro 12 es muy similar a aquellos haplotipos del grupo H presentados en el mismo cuadro. Un estudio más preciso está siendo desarrollado para elucidar el posible origen de este grupo genético y su relación con el grupo genético H y B y el de los haplotipos A15 y A17. Los resultados de este análisis serán presentados en el reporte final de este proyecto.

Inoculaciones de los haplotipos más comunes del grupo genético A sobre varios cultivares comerciales de arroz de Colombia muestran un patrón similar de virulencia para los haplotipos A1 y A18, pero más diferencias entre estos dos haplotipos y el haplotipo A22 comparado con las inoculaciones realizadas sobre líneas de arroz con genes de resistencia conocidos (Cuadro 11). El

haplotipo A22 fue recuperado de todos los seis cultivares estudiados, sin embargo, este fue recuperado en mayor frecuencia de los cultivares resistentes *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50, y especialmente en la sexta fecha de siembra del año 2001 (datos no presentados). Debe ser señalado sin embargo, que estos aislamientos no re infectaron los cultivares *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50 en las inoculaciones realizadas en el invernadero (Cuadro 11). El haplotipo A1, el cual fue recuperado en una alta frecuencia de los cultivares *Oryzica* Caribe 8, Ceysvoni, *Oryzica* Llanos 5, y Fedearroz 50 infectó en las inoculaciones de invernadero principalmente los cultivares *Oryzica* Caribe 8 y *Oryzica* 1, pero no los cultivares Ceysvoni, *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50 (Cuadro 11). El haplotipo A1 fue recuperado del cultivar *Oryzica* 1 en solo dos de seis fechas de siembra. De hecho, ningún aislamiento de ningún haplotipo en todos los cinco grupos genéticos determinados re infectaron los cultivares *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50 en las inoculaciones realizadas, a pesar de que muchos aislamientos fueron recuperados de las pocas lesiones observadas bajo condiciones de campo (Cuadros 11 y 12). Las inoculaciones de los haplotipos A15 y A17 sobre los cultivares comerciales sugieren otra vez que estos aislamientos deben pertenecer a un grupo genético diferente que los otros aislamientos con haplotipo A presentados en el Cuadro 11. El haplotipo A15 infectó los cultivares Cica 8 y Tetep, lo cual es característico del linaje genético SRL-5 y no del SRL-4. Estos dos haplotipos presentaron mayor diferencias en virulencia cuando fueron inoculados sobre los cultivares comerciales que sobre las líneas con genes de resistencia conocidos (Cuadro 11). Ambos aislamientos sin embargo, pueden representar el espectro de virulencia potencial total de ese grupo genético el cual parece ser diferente de los otros haplotipos A. Las diferencias genéticas del grupo genético M son confirmadas en las inoculaciones del haplotipo M1 sobre los cultivares comerciales de arroz (Cuadro 11). Este haplotipo, principalmente recuperado de los cultivares Fedearroz 50 y *Oryzica* Llanos 5, no re infectaron estos dos cultivares en inoculaciones de invernadero. El significado biológico de estas observaciones de infección en campo, pero no re infección en inoculaciones artificiales será estudiada en detalle utilizando aislamientos seleccionados de estos estudios y presentados en el reporte final ya que ellos podrían estar involucrados en el rompimiento de la resistencia de estos cultivares en el futuro.

La similitud genética entre haplotipos dentro del grupo genético B se corrobora con las inoculaciones de los haplotipos más comunes de este grupo sobre los cultivares comerciales de arroz (Cuadro 12). Estos haplotipos, recuperados principalmente del cultivar susceptibles *Oryzica* 1 re infectaron bien este cultivar en las inoculaciones de invernadero (Cuadro 12). Por el contrario, estos aislamientos no re infectaron a los cultivares *Oryzica* Caribe 8, Ceysvoni, *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50. La característica principal de los haplotipos H10 y H20 dentro del grupo genético H, fue la re infección del cultivar Ceysvoni. Esta observación corrobora la posible presencia de otro linaje genético adicional, diferente al linaje genético SRL-6, como se indica con el uso de la técnica rep-PCR. La detección de este grupo genético fue posible debido a su alta compatibilidad con el cultivar Ceysvoni en el campo, compatibilidad que fue confirmada en las inoculaciones de invernadero (Cuadro 12). Mas aislamientos recuperados del cultivar Ceysvoni necesitan ser analizados por su patotipo para determinar si la mayoría de ellos re infectan dicho cultivar. Se debe dar énfasis a aquellos aislamientos de diferente grupo genético recuperados de la primera fecha de siembra del 2001 cuando cuatro grupos genéticos fueron recuperados de este cultivar con una frecuencia similar (Cuadro 9). El espectro de virulencia del haplotipo (B+H) 7 es similar a aquellos haplotipos del grupo genético H apoyando la observación mencionada anteriormente de que este grupo parece ser más cercano al grupo H que al grupo B. Este haplotipo también re infectó al cultivar Ceysvoni (Cuadro 12).

## Discusión

A pesar de que la población del patógeno estudiada fue recolectada de seis cultivares diferentes de arroz con diferentes niveles de resistencia al añublo (susceptible, resistencia parcial, y resistencia completa), el grupo genético A y particularmente el haplotipo A1 predominaron. Este haplotipo fue recuperado en una alta proporción del cultivar susceptible *Oryzica* Caribe 8 y los cultivares resistentes *Oryzica* Llanos 5 y Fedearroz 50. Este también fue significativamente encontrado sobre los cultivares con resistencia parcial Ceysvoni y IR 36. Una explicación posible de esta interacción puede ser la base genética estrecha reportada dentro de los cultivares comerciales colombianos de arroz, sin embargo, *Oryzica* 1, el cual está altamente relacionado al cultivar O. Caribe 8 y a los cultivares resistentes O. Llanos 5 y Fedearroz 50 mostraron baja compatibilidad con este grupo genético y más susceptibilidad al grupo genético B.

El grupo genético B también fue significativamente importante junto con el grupo A en la composición de las poblaciones del patógeno estudiadas. El grupo B exhibió sin embargo casi el doble número de haplotipos comparados con el grupo A. La significancia de esta observación tiene que ser elucidada aunque las pruebas de patogenicidad realizadas en estos estudios sugieren una menor diversidad que dentro del grupo genético A. El número de haplotipos tendió a ser mayor para los cultivares susceptibles y con resistencia parcial que para los cultivares con resistencia completa. Los grupos genéticos tendieron a estar asociados con los cultivares de origen, sin embargo, esta tendencia fue más específica para los cultivares susceptibles y resistentes que para los cultivares con resistencia parcial. Aunque el grupo genético H fue muy específico hacia el cultivar con resistencia parcial Ceysvoni, el grupo genético A también fue recuperado de este cultivar en una significativa proporción. El grupo genético M también mostró una importante asociación particularmente con los cultivares con resistencia completa recuperándose en algunas fechas de siembra. En general, el cultivar con resistencia parcial Ceysvoni mostró a nivel de campo una mayor compatibilidad en las diferentes fechas de siembra con la mayoría de los grupos genéticos detectados que los otros cultivares, característica propia de este tipo de resistencia. Debe ser notado sin embargo, que no todos los grupos genéticos recuperados de Ceysvoni de las muestras provenientes de campo, reinfectaron este cultivar en las inoculaciones realizadas en el invernadero.

Cambios significativos en la frecuencia de los grupos genéticos recuperados fueron observados para los cultivares con resistencia parcial. En el cultivar Ceysvoni, el grupo genético A estuvo en una mayor frecuencia en la primera fecha de siembra que en la sexta fecha. Esta reducción estuvo asociada con un aumento en frecuencia del grupo genético H. En el cultivar IR 36, el grupo genético A aumentó entre la primera y sexta fechas de siembra mientras que la frecuencia del grupo genético B se redujo. Este patrón no fue observado para los otros cultivares, aunque algunos grupos genéticos (A en *Oryzica* 1 y M en O. Llanos 5 y Fedearroz 50) fueron en algunos años recuperados de ellos.

La composición de grupos genéticos de la población estudiada parece representar principalmente la composición descrita anteriormente como linajes genéticos SRL-6, SRL-5, SRL-4, y SRL-2 con la excepción del grupo genético H el cual no se enmarcó exactamente en ninguno de estos linajes y podría ser probablemente un linaje diferente o haber evolucionado a partir de los linajes detectados en el pasado. Trabajo adicional debe ser realizado para elucidar esta hipótesis mediante la caracterización molecular de este grupo usando diferentes marcadores así como

también determinando los genes de avirulencia presentes en el grupo. Desde el punto de vista de mejoramiento, es significativo notar que la combinación de los genes de resistencia Pi-1, Pi-2, y Pi-33 parece ser efectiva en el control de la población del patógeno estudiada, ya que ningún aislamiento fue compatible con estos tres genes. Estos resultados apoyan nuestra hipótesis de que algunos genes de avirulencia están asociados con características importantes de adaptabilidad de este patógeno y que al perder dichos genes de avirulencia se afecta la supervivencia o capacidad infectiva del hongo. Por lo tanto, los genes de avirulencia conservados en el patógeno, particularmente en procesos de una rápida evolución forzados por la presión de selección ejercida por siembras secuenciales de cultivares de arroz con diferentes niveles de resistencia, podrían ayudarnos a predecir la durabilidad de los genes de resistencia y sus combinaciones.

### **Actividades Futuras**

Estudios específicos y análisis serán conducidos para determinar si hubo cambios en la composición de genes de avirulencia/virulencia de los diferentes grupos genéticos y sus haplotipos. Se determinará si los cambios observados están asociados con la presión de selección que los cultivares de arroz incluidos en este estudio con diferentes niveles de resistencia/susceptibilidad tuvieron sobre la evolución de la población del patógeno. Los resultados de estos estudios deben ayudarnos en el desarrollo de estrategias de mejoramiento para el desarrollo de resistencia durable al añublo del arroz.

### **Referencias**

1. George, M.L.C., Nelson, R.J., Zeigler, R.S., and Leung, H. 1998. Rapid population analysis of *Magnaporthe grisea* by using rep-PCR and endogenous repetitive DNA sequences. *Phytopathology* 88: 223-229.
2. Leach, J.E., Vera-Cruz, C., Bai, J., and Leung, H. 2001. Pathogen fitness penalty as a predictor of durability of disease resistance genes. *Ann. Rev. Phytopathology* 39: 187-224.

**Cuadro 1. Grupo Genético y Número de Haplotipos entre 1203 Aislamientos de *Pyricularia grisea* Recolectados en Estudios de Evolución del Patógeno entre 1999-2001**

Grupo Genético <sup>1</sup>	Número Haplotipos	Número Aislamientos	%
A (SRL -4/SRL-5)	22	641	53.3
B (SRL -6)	43	364	30.3
H (SRL -6)?	24	143	11.9
B + H (SRL -6)	12	20	1.6
M (SRL -2)?	1	35	2.9
<b>Total</b>	<b>102</b>	<b>1203</b>	<b>100.0</b>

<sup>1</sup>Grupos genéticos basados en Pot-2 -rep PCR- DNA fingerprinting y linajes genéticos SRL correspondientes

**Cuadro 2. Número de Aislamientos y Frecuencia de los Haplotipos más Predominantes encontrados en Estudios de Evolución de *Pyricularia grisea***

Grupo Genético	Haplotipo	Número de Aislamientos	Frecuencia (%)
A	A 1	487	40.48
	A 22	55	4.60
	A 18	34	2.82
	A 15	19	1.60
	A 17	9	0.75
B	B 1	88	7.31
	B 3	71	5.90
	B 12	37	3.08
	B 34	23	1.91
	B 13	14	1.16
H	H 10	87	7.23
	H 20	15	1.25
M	M 1	35	2.91
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>974</b>	<b>81.00</b>



**Cuadro 3. Frecuencia de los Haplotipos más Predominantes por Año y Fecha de Siembra**

Haplotipo	Número de Aislamientos y Porcentaje											
	1999				2000				2001			
	P1 <sup>1</sup>		P6 <sup>1</sup>		P1		P6		P1		P6	
A 1	75	(53.2)	101	(41.7)	82	(36.3)	53	(34.6)	92	(41.4)	84	(38.4)
A 22	4	(2.8)	8	(3.3)	4	(1.8)	3	(2.0)	20	(9.0)	16	(7.3)
A 18	4	(2.8)	8	(3.3)	10	(4.4)	4	(2.6)	5	(2.3)	3	(1.4)
A 15									1	(0.5)	18	(8.2)
A 17			9	(3.7)								
B 1	15	(10.6)	28	(11.6)	15	(6.6)	14	(9.2)	11	(5.0)	5	(2.3)
	1	(0.7)	18	(7.4)	21	(9.3)	17	(11.1)	9	(4.1)	5	(2.3)
B 12	1	(0.7)	3	(1.2)	22	(9.7)	1	(0.7)	6	(2.7)	4	(1.8)
B 34			1	(0.4)	4	(1.8)	8	(5.2)	10	(4.5)		
B 13	1	(0.7)	10	(4.1)	1	(0.4)			2	(0.9)		
H 10	17	(12.1)	27	(11.2)	10	(4.4)	19	(12.4)	5	(2.3)	9	(4.1)
H 20					10	(4.4)	3	(2.0)	2	(0.9)		
M 1			2	(0.8)	17	(7.5)	8	(5.2)	1	(0.5)	7	(3.2)
Total	118	(83.6)	215	(88.7)	206	(86.6)	130	(85.0)	164	(74.1)	151	(69.0)
No. Haplotipos	32		41		48		31		61		48	

<sup>1</sup> P1 = Primera siembra; P6 = Sexta siembra secuencial 75 días después de la primera siembra.

**Cuadro 4. Número de Haplotipos Recuperados por Grupo Genético de Cultivares con Resistencia Completa (Oryzica Llanos 5, Fedearroz 50), Resistencia Parcial (Ceysvoni, IR 36) y Susceptibilidad (Oryzica 1, Oryzica Caribe 8) al Añublo del Arroz**

Grupo Genético	Cultivares de Arroz					
	Oryzica 1	O. Caribe 8	Ceysvoni	IR 36	O. Llanos 5	Fedearroz 50
A	4	12	6	6	12	2
B	29	2	9	17	2	1
H	1	0	22	3	1	0
B + H	3	0	7	0	1	0
M	1	0	0	1	1	1
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>14</b>	<b>44</b>	<b>27</b>	<b>17</b>	<b>4</b>
<b>No. Aislamientos</b>	<b>243</b>	<b>232</b>	<b>234</b>	<b>190</b>	<b>200</b>	<b>104</b>
<b>No.haplotipos/No. Aislamientos</b>	<b>0.16</b>	<b>0.06</b>	<b>0.19</b>	<b>0.14</b>	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>

**Cuadro 5. Diversidad Genética de *Pyricularia grisea* Recolectado en Siembras Secuenciales de los Cultivares Susceptibles Oryzica 1 y Oryzica Caribe 8**

Cultivar Susceptible	1999		2000		2001	
	P1 <sup>1</sup>	P6 <sup>1</sup>	P1	P6	P1	P6
<b>Oryzica 1</b>						
No. Aislamientos	40	46	47	42	30	38
No. Haplotipos	13	9	13	9	17	10
No. Haplotipos/No. Aislam.	0.33	0.20	0.28	0.21	0.57	0.26
Indice de Nei	0.79	0.75	0.78	0.77	0.85	0.84
<b>Oryzica Caribe 8</b>						
No. Aislamientos	42	48	39	36	27	40
No. Haplotipos	6	7	6	3	4	4
No. Haplotipos/No. Aislam.	0.14	0.15	0.15	0.08	0.15	0.10
Indice de Nei	0.26	0.45	0.45	0.25	0.32	0.34

<sup>1</sup> P1 = Primera fecha de siembra; P6 = Sexta siembra secuencia 75 días después de la primera siembra.

**Cuadro 6. Diversidad Genética de *Pyricularia grisea* Recolectado en Siembras Secuenciales de los Cultivares con Resistencia Parcial Ceysvoni y IR36**

Cultivar	1999		2000		2001	
	P1 <sup>1</sup>	P6 <sup>1</sup>	P1	P6	P1	P6
<b>Ceysvoni</b>						
No. Aislamientos	47	48	44	29	34	32
No. Haplotipos	11	10	11	7	13	15
No. Haplotipos/No. Aislam.	0.23	0.21	0.25	0.24	0.38	0.47
Indice de Nei	0.68	0.64	0.78	0.55	0.87	0.87
<b>IR36</b>						
No. Aislamientos	2	49	33	22	46	38
No. Haplotipos	1	7	8	6	16	9
No. Haplotipos/No. Aislam.	0.50	0.14	0.24	0.27	0.35	0.24
Indice de Nei	0.00	0.62	0.62	0.73	.089	0.75

<sup>1</sup> P1 = Primera fecha de siembra; P6 = Sexta siembra secuencial 75 días después de la primera siembra.

**Cuadro 7. Diversidad Genética de *Pyricularia grisea* Recolectado en Siembras Secuenciales de los Cultivares con Resistencia Completa *Oryzica Llanos 5* y *Fedearroz 50***

Cultivar	1999		2000		2001	
	P1 <sup>1</sup>	P6 <sup>1</sup>	P1	P6	P1	P6
<b>Oryzica Llanos 5</b>						
No. Aislamientos	10	50	40	18	48	34
No. Haplotipos	1	7	8	4	8	7
No. Haplotipos/No. Aislam.	0.10	0.14	0.20	0.22	0.17	0.21
Indice de Nei	0.00	0.35	0.56	0.51	0.45	0.51
<b>Fedearroz 50</b>						
No. Aislamientos	0	1	23	6	37	37
No. Haplotipos		1	2	2	3	3
No. Haplotipos/No. Aislam.		1.00	0.09	0.33	0.08	0.08
Indice de Nei		0.50	0.50	0.44	0.47	0.52

<sup>1</sup> P1 = Primera fecha de siembra; P6 = Sexta siembra secuencial 75 días después de la primera siembra.

**Cuadro 8. Frecuencia (%) de Grupos Genéticos de *Pyricularia grisea* Recuperados de Cultivares Susceptibles *Oryzica 1* y *O. Caribe 8* en Estudios de Evolución del Patógeno**

Grupo Genético	1999		2000		2001	
	P1 <sup>1</sup>	P6 <sup>1</sup>	P1	P6	P1	P6
<b>Oryzica 1</b>						
A	30.0	0.0	0.0	0.0	6.6	2.6
B	60.0	97.8	97.9	100.0	89.9	94.8
H	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B + H	7.5	0.0	0.0	0.0	3.5	2.6
M	0.0	2.2	2.1	0.0	0.0	0.0
<b>O. Caribe 8</b>						
A	97.6	100.0	97.4	100.0	100.0	100.0
B	2.4	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B + H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<sup>1</sup> P1 = Primera fecha de siembra; P6 = Sexta siembra secuencia 75 días después de la primera siembra.

**Cuadro 9. Frecuencia (%) de Grupos Genéticos de *Pyricularia grisea* Recuperados de los Cultivares de Arroz con Resistencia Parcial, Ceysvoni y IR 36 en Estudios de Evolución del Patógeno**

Grupo Genético	1999		2000		2001	
	P1 <sup>1</sup>	P6 <sup>1</sup>	P1	P6	P1	P6
<b>Ceysvoni</b>						
A	51.3	27.0	38.7	3.4	23.5	12.5
B	6.3	0.0	0.0	3.4	23.5	9.4
H	38.3	71.0	61.3	89.8	29.5	71.9
B + H	4.1	2.0	0.0	3.4	23.5	6.2
M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>IR 36</b>						
A	100.0	57.0	6.0	36.3	6.5	50.0
B	0.0	40.8	91.0	59.2	93.5	44.7
H	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	5.3
B + H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M	0.0	0.0	3.0	4.5	0.0	0.0

<sup>1</sup> P1 = Primera fecha de siembra; P6 = Sexta siembra secuencial 75 días después de la primera siembra.

**Cuadro 10. Frecuencia (%) de Grupos Genéticos de *Pyricularia grisea* Recuperados de los Cultivares de Arroz con Resistencia Completa Oryzica Llanos 5 y Fedearroz 50 en Estudios de Evolución del Patógeno**

Grupo Genético	1999		2000		2001	
	P1 <sup>1</sup>	P6 <sup>1</sup>	P1	P6	P1	P6
<b>Oryzica Llanos 5</b>						
A	100.0	98.0	77.5	83.3	98.0	100.0
B	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0
H	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
B + H	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
M	0.0	2.0	10.0	16.7	2.0	0.0
<b>Fedearroz 50</b>						
A	0.0	100.0	52.2	33.3	97.3	81.1
B	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0
H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B + H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M	0.0	0.0	47.8	66.7	0.0	18.9

<sup>1</sup> P1 = Primera fecha de siembra; P6 = Sexta siembra secuencia 75 días después de la primera siembra

**Cuadro 11. Espectro de Virulencia de los Haplotipos más Comunes en los Grupos Genéticos A y M Inoculados sobre Cultivares de Arroz con Genes de Resistencia Conocidos y Cultivares Comerciales**

Línea de Arroz	Gen Resistencia	Haplotipos					
		A1	A22	A18	A15	A17	M1
C 104 LAC	Pi-1				+++	+++	
C 101 A51	Pi-2	++		+			+++
C 101 LAC	Pi-1+Pi-33				+++	+++	
C 104 PKT	Pi-3	+++	++	+++			
C 101 PKT	Pi-4a	++	+	++	+++	++	+++
C 105 TTP4 (L23)	Pi-4b	+++	+	+++	+++		+++
F 124-1	Pi-ta	++	++	+++	+++	+++	++
F 128-1	Pi-ta <sup>2</sup>		++		+++		+
F 80-1	Pi-k	++	++	+	+++	+++	
F 98-7	Pi-k <sup>m</sup>	++	+++	+++	+++	+++	+++
F 129-1	Pi-k <sup>p</sup>	+++	+++	+++	+++	+++	++
F 145-2	Pi-b	+	+	++	++	+++	+
Aichi Asahi	Pi-a	+++	++	+++	+++	+++	+++
K 3	Pi-k <sup>h</sup>				+++	+++	
K 59	Pi-t	+	++	+++		+	++
Rico 1	Pi-k <sup>s</sup>	++	+	+++	+	+	++
Nipponbare	Pi-sh	+	+	+			++
Nato	Pi-I	++	++	++	+++	+	
Ou 244	Pi-z	++	++	+++		+	
Toride 1	Pi-z <sup>t</sup>	++	++	++			++
CULTIVAR COMERCIAL							
Metica 1		++	++	++			+++
Oryzica 1		+	+	+			++
Oryzica 2							
Oryzica 3			+			+++	+++
Cica 4			+		+++	+++	+
Cica 6					+++	+++	+
Cica 7		++		+++			+++
Cica 8					+++		
Cica 9			++				++
IR 22			+			++	++
Tetep					+++		
Ceysvoni						+++	
O. Llanos 5							
Línea 2 (Semillano)							++
O. Llanos 4				+	+++		
O. Caribe 8		++	+	+			
O. Yacu 9		+	+				+++
SEL 320		++	+	++			++
Colombia 1		+	+	++			
Fedearroz 50							

Sin dato = 0 % Area Foliar Afectada (AFA); + = 1-5 % AFA; ++ = 6-30 % AFA; +++ = > 30 % AFA

**Cuadro 12. Espectro de Virulencia de los Haplotipos mas Comunes en los Grupos Genéticos B, H y B+H Inoculados sobre Cultivares de Arroz con Genes de Resistencia Conocidos y Cultivares Comerciales**

Línea de Arroz	Gene Resistencia	Haplotipo							
		B1	B3	B12	B34	B13	H10	H20	(B+H)7
C 104 LAC	Pi-1						+++	++	++
C 101 A51	Pi-2								
C 101 LAC	Pi-1+Pi-33						+	+	+
C 104 PKT	Pi-3								
C 101 PKT	Pi-4a	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++
C 105 TTP4 (L23)	Pi-4b	+++	+++	+++	+++	+++			
F 124-1	Pi-ta	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
F 128-1	Pi-ta <sup>2</sup>		+				++		
F 80-1	Pi-k	++	++	+	+	++	+++	+	++
F 98-7	Pi-k <sup>m</sup>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
F 129-1	Pi-k <sup>p</sup>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
F 145-2	Pi-b	++	++	+	++	+	+++	++	++
Aichi Asahi	Pi-a	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
K 3	Pi-k <sup>h</sup>						+++		
K 59	Pi-t	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	
Rico 1	Pi-k <sup>s</sup>	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
Nipponbare	Pi-sh	+++	++	+++	+++	+++	++		
Nato	Pi-i	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Ou 244	Pi-z	+	++	++	++	+	++		++
Toride 1	Pi-z <sup>t</sup>						+		
<b>Cultivar Comercial</b>									
Metica 1		+++	+++	+++	+++	+++	+		
Oryzica 1		+++	++	+++	+++	+++			
Oryzica 2									
Oryzica 3									
Cica 4		+++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++
Cica 6		+++	++	++	++	+++	+++		+++
Cica 7		+++	+++	++	++	+++	+		
Cica 8									
Cica 9									
IR 22		+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++
Tetep									
Ceysvoni							+++	+++	+++
O. Llanos 5									
Línea 2 (Semillano)									
O. Llanos 4									+++
O. Caribe 8									
O. Yacu 9									
SEL 320							+		
Colombia 1									
Fedearroz 50									

Sin dato = 0 % Area Foliar Afectada (AFA); + = 1-5 % AFA; ++ = 6-30 % AFA; +++ = > 30 % AFA

## **Caracterización de Arroz por su Resistencia a *P. grisea***

- **Selección de Fuentes de Resistencia a Diferentes Linajes Genéticos de *Pyricularia grisea*.  
Desarrollo de un Vivero con Fuentes Potenciales de Resistencia al Añublo del Arroz.**

F. Correa, G. Prado, G. Aricapa, M. Rubiano

### **Resumen**

La frecuencia de plantas resistentes al añublo en poblaciones  $F_2$  depende principalmente de la reacción al añublo y estabilidad de los padres utilizados para el desarrollo de dichas poblaciones. Hace dos años iniciamos el desarrollo de un vivero con fuentes potenciales de resistencia durable al añublo del arroz. Líneas avanzadas están siendo evaluadas por lo menos durante siete ciclos de cultivo bajo una alta presión de la enfermedad y solamente se están seleccionando e incluyendo en el vivero líneas con resistencia completa que muestren durabilidad en la resistencia. Este vivero será evaluado bajo condiciones diferentes en varios países para ser utilizado en la selección de progenitores en los respectivos programas de mejoramiento de América Latina. Fuentes potenciales de resistencia a escaldado, mancha marrón y mancha del grano también están siendo identificadas.

### **Introducción**

La frecuencia de plantas resistentes al añublo observadas en poblaciones  $F_2$  en e campo depende principalmente de la reacción al añublo y estabilidad de esta reacción en los padres utilizados para el desarrollo de estas poblaciones. Un aumento en el número de plantas  $F_2$  y líneas  $F_4$  susceptibles al añublo fue encontrado en los últimos ciclos de evaluación de materiales del CIAT y FLAR evaluados en la estación experimental de Santa Rosa. Este suceso ha estado probablemente relacionado a la baja estabilidad de la resistencia al añublo de los padres utilizados en los correspondientes programas de mejoramiento. Hemos iniciado la evaluación de la reacción al añublo en el tiempo tanto en campo como invernadero de varios miles de líneas avanzadas así como de líneas segregantes que exhiben características agronómicas deseadas con el objetivo de identificar fuentes potenciales de resistencia al añublo. Estamos desarrollando un vivero de Fuentes potenciales de resistencia al añublo para ser utilizado en la selección de progenitores por los diferentes programas de mejoramiento de América Latina. También hemos iniciado el desarrollo de un vivero con Fuentes potenciales de resistencia a la mancha marrón, escaldado de la hoja, y el manchado de grano.

### **Resultados**

Materiales y Métodos fueron seguidos de acuerdo a aquellos descritos en el Reporte Anual del 2001 del Proyecto de Arroz. Un total de 511 líneas avanzadas de arroz de diferentes fuentes (Cuadro 13) fueron evaluadas y seleccionadas en la estación experimental de Santa Rosa en el 2002. La mayoría de las líneas pertenecen al Banco de Germoplasma de Arroz del FLAR del cual 163 líneas (71.5 %) fueron seleccionadas con una reacción al añublo de 0-3 para ser evaluadas en ensayos replicados en el 2003. De 152 líneas de arroz de tres fuentes diferentes (líneas resistentes seleccionadas en el 2001, y poblaciones 1 y 3 de un programa avanzado de selección recurrente) seleccionadas como resistentes en el 2001, 54.8-72.4 % (98 líneas) mantuvieron una evaluación al añublo de 0-3 y serán evaluadas otra vez en el 2003 (Cuadro 13).

Nuevas líneas de arroz incluyendo líneas avanzadas de FEDEARROZ y algunos cultivares comerciales de América Latina también fueron evaluados y seleccionados por su resistencia al añublo (Cuadro 13). En total, 301 (58.9%) líneas fueron seleccionadas para evaluaciones futuras de la estabilidad de su reacción a este patógeno.

El Cuadro 14 muestra aquellas líneas de arroz de diferentes Fuentes que exhibieron una reacción de resistencia completa al añublo tanto en la hoja como la panícula con una evaluación de 0-2. Estas líneas pertenecen a diferentes cruzamientos del CIAT y FLAR. Los cultivares comerciales de arroz de América Latina que exhibieron una reacción de resistencia completa al añublo son de tipo japonico del Brasil (Cuadro 14). Fuentes potenciales de resistencia al escaldado, mancha marrón, y a la mancha del grano fueron identificadas con una evaluación de 0-3 (Cuadro 15). Más líneas serán evaluadas en el 2003 y la resistencia de las líneas seleccionadas será corroborada en ensayos replicados bajo condiciones de campo. Varias de estas líneas son de tipo japonico adaptadas a condiciones de suelos ácidos de las sabanas en la Altillanura de Colombia que presentan una alta concentración de aluminio. En años anteriores habíamos reportado la alta resistencia del tipo japonico de arroz a los diferentes patógenos asociados al manchado del grano, habiendo recomendado su uso potencial como fuentes de resistencia en programas de mejoramiento. Debe notarse también la reacción de resistencia presentada por los cultivares de arroz de Surinam tales como Ciwini y Eloni los cuales pueden ser incorporados en nuestros programas de mejoramiento ya que también pueden ayudar a ampliar la base genética de nuestro germoplasma (Cuadro 15). Todas estas líneas también exhibieron una alta reacción de resistencia al añublo.

## **Discusión**

La durabilidad de la resistencia al añublo está en general asociada con el período de tiempo en que un cultivar permanece como resistente después de ser expuesto a una población del patógeno. Estudios de campo conducidos por CIAT en la estación experimental de Santa Rosa demostraron que la estabilidad de la resistencia al añublo solo puede ser identificada si las líneas eran evaluadas a hasta las generaciones F<sub>6</sub>-F<sub>7</sub> (Correa y Zeigler, 1995). La identificación de las combinaciones más efectivas de genes de resistencia solo es posible identificarlas después de ser evaluadas durante varias generaciones. Estos genes de resistencia al mismo tiempo deben corresponder a aquellos genes de avirulencia que son altamente conservados en el patógeno presentando una baja tasa de cambio o mutaciones. Con el objetivo de identificar genes de resistencia asociados con durabilidad, es necesario evaluar y confirmar la estabilidad de la resistencia de los donantes potenciales por al menos siete generaciones. Estamos en el proceso de desarrollar varios viveros con donantes potenciales de resistencia a diferentes patógenos del arroz. Por lo tanto, estos viveros serán evaluados continuamente por varios ciclos bajo condiciones de alta presión de enfermedades en el campo para asegurarnos que la resistencia seleccionada no es un escape a la infección y que las líneas retienen su resistencia estable.

## **Actividades Futuras**

Las evaluaciones de líneas avanzadas de mejoramiento serán una actividad anual para asegurarnos que las fuentes de resistencia seleccionadas se mantienen estables y su resistencia es durable a los diferentes patógenos. La búsqueda de nuevos genes de resistencia al añublo continuará en los próximos años. Poblaciones del patógeno serán estudiadas a partir de estas



líneas resistentes para identificar cambios que conduzcan a una pérdida o rompimiento de la resistencia. Un análisis de los padres utilizados en los cruzamientos genéticos que han dado origen a líneas de arroz con una resistencia durable será iniciada en el 2003.

### **Referencias**

1. Correa-Victoria, F.J., and Zeigler, R.S. 1995. Stability of complete and partial resistance in rice to *Pyricularia grisea* under rainfed upland conditions in Eastern Colombia. *Phytopathology* 85: 977-982.

**Cuadro 13. Selección de Líneas de Arroz con Resistencia Estable al Añublo para el Desarrollo de un Vivero con Fuentes Potenciales de Resistencia. Santa Rosa, 2002**

Fuente	No. Líneas	Resistente		Susceptible	
		(0-3) <sup>1</sup>	(%)	(4-9)	(%)
Banco de Germoplasma de FLAR	228	163	(71.5)	68	(28.5)
Líneas Resistentes Seleccionadas en 2001	63	39	(61.9)	24	(38.1)
Población 1 Selección Recurrente	58	42	(72.4)	16	(27.6)
Población 3 Selección Recurrente	31	17	(54.8)	14	(45.2)
Líneas Avanzadas de FEDEARROZ	31	20	(64.5)	11	(35.5)
Cultivares Comerciales de América Latina	86	12	(14.0)	74	(86.0)
Líneas F <sub>6</sub> – F <sub>10</sub>	14	8	(57.1)	6	(42.9)
<b>Total</b>	<b>511</b>	<b>301</b>	<b>(58.9)</b>	<b>210</b>	<b>(41.1)</b>

<sup>1</sup> Escala de evaluación al añublo hoja y panícula (0-9).

**Cuadro 14. Fuentes Potenciales de Resistencia al Escaldado, Mancha Marrón, y Manchado de Grano**

Línea	Escaldado	Mancha Marrón	Manchado de Grano
	(0-9) <sup>1</sup>	(0-9) <sup>1</sup>	(0-9) <sup>1</sup>
CT 9162-12-6-2-2-1	3	1	3
514661/Mars	3	3	1
Tres Marias	3	3	1
CT 11299-4-F <sub>4</sub> -25P-3P	3	1	3
CIRAD 393	3	3	3
CT 8238-6-13-1P-1X	1	3	3
CT 9980-25-3-6-CA-1M	3	3	3
CT 11275-3-F <sub>4</sub> -8P-2	3	3	3
Araguaia	3	-	1
IAC 47	3	-	1
Línea 6	3	-	1
IRAT 13	3	3	3
Ciwini	3	3	3
Eloni	3	3	3

<sup>1</sup> Escala de Evaluación 0-9 donde 0-3 = Resistente.

**Cuadro 15. Líneas de Arroz con Resistencia Completa al Añublo en la Hoja y Panícula (Grado 0-2) en Santa Rosa, Meta 2002**

<b>Fuente</b>	<b>Identificación de la Línea</b>
Líneas Resistentes Seleccionadas en 2001	CT 13503-M-3-1-M-2-1P CT 13503-M-3-1-M-2-4P CT 11891-2-2-7-M
Población 1 Selección Recurrente	CT 13449-M-8-2-M CT 13462-M-7-3-M-M CT 13465-M-6-1-M-M
Población 3 Selección Recurrente	CT 13503-M-13-1-M CT 13503-M-18-1-M
Líneas avanzadas de FEDEARROZ	FL 00518-16P-7-3P-M
Banco de Germoplasm de FLAR	FL 00871-1P-5-1P-M CT 11275-3-F <sub>4</sub> -8P-2 FL 00542-45P-8-2P-M FL 00530-7P-7-2P-M CT 11369-1-F <sub>4</sub> -17P-4P FL 00535-21P-4-3P-M FL 00447-35P-4-2P-M FL 00459-27P-3-3P-M
Cultivares Comerciales de América Latina	Caiapo Rio Paraguay Tres Marias
Líneas F <sub>6</sub> – F <sub>10</sub>	CT 13560-1-6-M-M-1 CT 13394-6-1-M-M-4

### 3.2.3. Caracterización de Genes de Resistencia y Genes de Avirulencia a *P. grisea*

- **Identificación de Marcadores Moleculares Asociados con los Genes de Resistencia a *Pyricularia grisea* Pi-1, Pi-2, Pi-33 y su Incorporación en Variedades Comerciales de Arroz Mediante Retrocruzamientos y Selección Asistida por Marcadores (SAM)**

F. Correa, D. Tharreau (CIRAD), C.P. Martínez, M. Vales, G. Prado, F. Escobar

#### **Resumen**

Los agricultores prefieren en muchas ocasiones variedades susceptibles al añublo porque estas pueden tener un alto rendimiento y calidad de grano, aunque tengan que aplicar fungicidas para controlar la enfermedad. Ya que la resistencia al añublo se pierde a menudo en muy poco tiempo después de la liberación de una variedad, la incorporación de resistencia durable al añublo en estas variedades las haría mucho más económicas en su manejo y ecológicamente sostenibles. De acuerdo a nuestros estudios, la combinación de los genes de resistencia Pi-1, Pi-2, y Pi-33 confiere resistencia a todas las poblaciones del hongo conocidas en Colombia y probablemente en América Latina. Un programa de retrocruzamientos asistido por marcadores moleculares ha sido iniciado para introducir estos tres genes de resistencia en varias variedades de arroz de América Latina.

#### **Introducción**

Los agricultores adoptan variedades de arroz principalmente cuando estas tienen un alto rendimiento y una excelente calidad de grano. Resistencia a las enfermedades es una característica altamente deseable pero no suficiente para que una variedad sea exitosa. Rendimientos inconsistentes debido a las enfermedades son causa suficiente para que una variedad sea descartada por los agricultores. Variedades de arroz sin una resistencia durable son cada año más susceptibles, necesiándose mas aplicaciones de fungicidas. En algunos semestres altamente favorables al desarrollo de enfermedades, los fungicidas pueden no ser suficientes para controlar al patógeno y evitar perdidas en los rendimientos. Debido a la gran aceptación de estas variedades por sus rendimientos y calidad, los agricultores desearían que muchas de estas fueran resistentes al añublo.

Basados en nuestros estudios, hemos iniciado un programa de retrocruzamientos con el objetivo de introducir genes de resistencia al añublo en algunas de esas variedades susceptibles, las cuales aún juegan un papel importante en la economía de muchos agricultores y regiones de América Latina. Los genes de resistencia que están siendo incorporados en variedades comerciales susceptibles son Pi-1, Pi-2, y Pi-33 ya que hemos demostrado que la combinación de estos tres genes confiere resistencia a todas las poblaciones del hongo conocidas en Colombia y probablemente de las poblaciones del hongo en América Latina. Debe ser aclarado aquí que el gen de resistencia Pi-33 corresponde al gen de resistencia denominado como Pi-11 en nuestros reportes anteriores, y que el cambio ha sido debido de acuerdo a la presente clasificación de los genes de resistencia a *Pyricularia grisea*. Las poblaciones del retrocruzamiento RC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> entre varias variedades comerciales de América Latina y cuatro líneas de arroz usadas como fuente de los tres genes de resistencia han sido desarrolladas para la identificación de las líneas

heterocigotas que contengan los tres genes. Los materiales y métodos fueron descritos en el Reporte Anual del Proyecto de Arroz del 2001.

## **Resultados**

Líneas isogénicas con la presencia de cualquiera de los tres genes de resistencia, combinación de cualquiera de dos de los genes, y combinación de los tres genes Pi-1, Pi-2, y Pi-33 fueron desarrolladas basados en inoculaciones controladas en el invernadero y evaluadas bajo condiciones de campo en el 2002 en la estación experimental de Santa Rosa. Cuatro líneas que contienen los tres genes de resistencia fueron incluidas en las evaluaciones de campo. Las únicas líneas isogénicas que exhibieron una resistencia completa al añublo de la hoja y la panícula fueron las cuatro líneas con los tres genes Pi-1, Pi-2, y Pi-33 (Cuadro 16, Figura 1). La mayoría de las líneas con un solo gen o dos genes murieron antes de alcanzar la madurez. Las líneas isogénicas con uno solo de los genes fueron severamente afectadas por el patógeno. La combinación de los genes de resistencia Pi-1 + Pi-33 también exhibió una alta susceptibilidad al añublo. Algunas líneas isogénicas con el gen de resistencia Pi-2 en combinación con Pi-1 o Pi-33 exhibieron algún nivel de tolerancia al añublo. Algunas líneas con la combinación de los genes de resistencia Pi-1 + Pi-2 fueron altamente tolerantes por lo que se harán mas estudios para determinar si el nivel de resistencia observado es debido solamente a la presencia de estos dos genes, o si algún otro gen incluyendo el gen Pi-33 pudiese estar presente en ellas (Cuadro 16).

Las cuatro líneas isogénicas con los tres genes de resistencia Pi-1, Pi-2, y Pi-33 con una alta resistencia al añublo en la hoja y la panícula (Cuadro 16) fueron usadas para el desarrollo de las poblaciones de retrocruzamiento  $RC_1F_1$  de catorce variedades comerciales de arroz de América Latina siguiendo el procedimiento descrito en la Figura 2. Algunos marcadores moleculares (microsatélites) asociados con los tres genes de resistencia fueron identificados (Figura 2) y serán utilizados para la selección de plantas resistentes que lleven los tres genes para utilizarlas en la producción de las poblaciones  $RC_2F_1$ . Inoculaciones en el invernadero con apropiados aislamientos del patógeno que contengan los correspondientes genes de avirulencia serán realizadas para corroborar la presencia de los tres genes de resistencia en las plantas utilizadas en los retrocruzamientos. El número de retrocruzamientos dependerá de la recuperación de las características agronómicas deseadas de las variedades o padres recurrentes.

## **Discusión**

La combinación de los tres genes de resistencia Pi-1, Pi-2, y Pi-33 en una sola línea isogénica exhibió resistencia completa al añublo en la hoja y panícula al ser expuesta bajo una alta presión de la enfermedad en una población del patógeno con patotipos compatibles con la combinación de cualquiera de dos de los tres genes de resistencia. Los resultados obtenidos sugieren que el patógeno es capaz de perder cualquiera de los tres genes de avirulencia correspondientes, o la combinación de dos de ellos, pero no los tres juntos en un solo aislamiento. Observaciones preliminares bajo inoculaciones controladas en el invernadero no sugieren una asociación directa entre la pérdida de un gen de avirulencia en el patógeno con parámetros de adaptabilidad o fitness fácilmente medibles en estos estudios tales como esporulación, tamaño de lesión, o área foliar afectada (datos no incluidos) utilizando líneas isogénicas con ningún gen, un gen de resistencia o combinaciones de dos genes. Es posible que la pérdida de genes de avirulencia para alguno de los tres genes de resistencia pueda afectar otros parámetros de adaptabilidad o fitness

tales como competitividad entre patotipos con diferente composición de genes de avirulencia, y por lo tanto este parámetro necesita ser medido bajo condiciones naturales de infección recolectando aislamientos del hongo de líneas isogénicas con diferentes combinaciones de los tres genes de resistencia en estudio.

### **Actividades Futuras**

Evaluación y selección de las primeras poblaciones  $RC_1F_1$  de varios retrocruzamientos entre variedades comerciales de América Latina y líneas isogénicas con los genes de resistencia Pi-1, Pi-2, y Pi-33 para la selección de líneas de arroz con los tres genes de resistencia que serán utilizadas en la producción de poblaciones  $RC_2F_1$  de varios retrocruzamientos. Marcadores moleculares e inoculaciones con aislamientos apropiados del patógeno serán utilizados para la identificación de las líneas que contengan los tres genes de resistencia. Estudios de campo serán realizados para determinar la posible asociación de la pérdida de un gen de avirulencia con parámetros de adaptabilidad y fitness tal como competitividad para la sobrevivencia. Estas actividades serán llevadas a cabo mediante la colección de aislamientos del hongo de líneas isogénicas con diferentes combinaciones de los tres genes de resistencia y comparando las frecuencias de los diferentes genes de avirulencia y sus combinaciones presentes en las poblaciones del patógeno con las frecuencias esperadas de acuerdo a los genes de resistencia presentes en cada línea.

**Cuadro 16. Reacción al Añublo del Arroz en Hoja y Cuello en Líneas con diferentes Combinaciones de los Genes de Resistencia Pi-1, Pi-2 y Pi-33**

Línea de Arroz	Gen Resistencia	Añublo Hoja		Añublo Cuello Incidencia (%)
		BL4 <sup>1</sup>	BL5 <sup>1</sup>	
CT 13432-95	Ninguno	9.	9	Muerte
CT 13432-110	Ninguno	9	9	Muerte
CT 13432-68	1	9	9	Muerte
CT 13432-68	1	9	9	Muerte
CT 13432-54	2	9	9	Muerte
CT 13432-219	2	8	6	35
CT 13432-6	33	9	9	Muerte
CT 13432-33	33	9	9	Muerte
CT 13432-230	1 + 2	9	9	
CT 13432-66	1 + 2	4	3	0
CT 13432-234	1 + 2	6	4	10
CT 13432-26	1 + 33	9	9	Muerte
CT 13432-62	1 + 33	9	9	Muerte
CT 13432-7	2 + 33	8	6	10
CT 13432-96	2 + 33	7	4	0
CT 13432-193	2 + 33	8	5	15
CT 13432-200	2 + 33	7	5	0
CT 13432-34	1 + 2 + 33	3	2	0
CT 13432-107	1 + 2 + 33	2	1	0
CT 13432-189	1 + 2 + 33	2	1	0
Ct 13432-246	1 + 2 + 33	2	1	0

<sup>1</sup> Cuarta y Quinta Evaluaciones de Añublo en la Hoja (LB).

- **Evaluación de Poblaciones de Arroz de Mejoramiento Incorporando Fuentes de Resistencia Complementarias al Añublo. Asociación entre la Selección por Resistencia al Añublo en Generaciones Tempranas y la Durabilidad de la Resistencia**

F. Correa y M. Rubiano

### Resumen

La resistencia al añublo normalmente se pierde en las líneas de mejoramiento genético después de la generación F<sub>4</sub> o más generaciones. Las primeras selecciones por resistencia al añublo son hechas por los mejoradores en generaciones tempranas (F<sub>2</sub>), sin embargo, no se conoce la asociación de la estabilidad de la resistencia de las plantas seleccionadas y la reacción original al añublo de la población F<sub>2</sub>. Un estudio a largo plazo se inició en el 2000 en el objetivo de determinar la asociación entre la estabilidad de la resistencia en generaciones avanzadas y la reacción original de las poblaciones F<sub>2</sub>. Esperamos generar información para seleccionar plantas resistentes en generaciones tempranas que potencialmente tengan mas posibilidades de rendir líneas de arroz con una resistencia estable al añublo.

## **Introducción**

Normalmente se observa que la resistencia al añublo en líneas de mejoramiento se pierde después de cuatro o más generaciones. La estabilidad de la resistencia al añublo bajo condiciones de alta presión de la enfermedad es el resultado de la acción de muchos genes de resistencia. Muchas estrategias y métodos de mejoramiento para la selección de líneas de arroz con resistencia estable han sido desarrolladas. Normalmente, las primeras selecciones por resistencia al añublo se realizan en la generación  $F_2$ , pero la estabilidad de la resistencia seleccionada en esta generación temprana no es conocida. Hemos iniciado un estudio a largo plazo para determinar la asociación de la resistencia estable al añublo y la reacción original a la enfermedad observada en las poblaciones  $F_2$ . Este estudio se está realizando utilizando líneas avanzadas desarrolladas en un programa de mejoramiento, donde los padres y cruzamientos son seleccionados sobre la base de su reacción a diferentes linajes genéticos del hongo o por su reacción de campo. Los estudios de la estabilidad de la resistencia continuarán en las generaciones avanzadas en ensayos replicados hasta que el número de líneas perdiendo la resistencia alcance un plateau o un máximo. Los materiales y métodos han sido descritos en el Reporte Anual del Proyecto de Arroz del 2001.

## **Resultados**

Un total de 292 plantas  $F_2$  resistentes al añublo provenientes de 87 cruzamientos diferentes y 147 familias fueron seleccionadas en el año 2001 (Cuadro 17). Las plantas resistentes fueron seleccionadas de cruzamientos donde la reacción predominante dentro de la familia  $F_2$  era susceptible, segregante (igual cantidad de plantas  $F_2$  susceptibles/resistentes), o predominando plantas  $F_2$  resistentes (Cuadro 17). La evaluación de las líneas  $F_3$  derivadas de las plantas resistentes  $F_2$  seleccionadas en el 2001 rindieron mas líneas resistentes (35.5%) cuando las selecciones fueron realizadas dentro de poblaciones  $F_2$  que fueron evaluadas como resistentes al añublo comparadas con aquellas que provenían de poblaciones segregantes o susceptibles. No hubo aparentemente diferencias significativas entre estos dos últimos grupos, los cuales rindieron 6.7 y 8.7 % de líneas  $F_3$  resistentes (Cuadro 17). Las poblaciones segregantes  $F_2$  rindieron mas líneas con una reacción intermedia al añublo que las poblaciones  $F_2$  susceptibles. Plantas  $F_4$  resistentes de cada uno de estos tres grupos de líneas fueron hechas en el 2002 y las líneas serán evaluadas en ensayos replicados en el 2003. Estos resultados están de acuerdo con aquellos obtenidos en el 2002 al inicio del presente estudio.

Un total de 1017 líneas  $F_4$  derivadas de plantas resistentes  $F_2$  seleccionadas en el 2000 fueron evaluadas en el 2002 en ensayos replicados (Cuadro 18). La mayor proporción de líneas resistentes (50.5%) se originó de aquellas líneas provenientes de poblaciones  $F_2$  donde el número de plantas resistentes predominaron. Sin embargo, esta proporción fue altamente similar a la proporción a la proporción de líneas resistentes provenientes de poblaciones segregantes  $F_2$  (48.2%, Cuadro 18). Es importante señalar que un número significativo de líneas resistentes (30.1%) provino de familias susceptibles  $F_2$ , sin embargo, la estabilidad de esta resistencia debe ser evaluada en el futuro y comparada con aquella encontrada en los otros dos grupos. El número de líneas resistentes derivadas de cruzamientos donde los tres padres tenían una reacción de resistencia al añublo tendieron a aumentar en la generación  $F_4$  (35.4%) comparado a la generación  $F_3$  (23%, Cuadro 18). Pocas plantas dentro de cada una de las 1017 líneas se seleccionaron y serán sembradas como líneas  $F_5$  en el 2003 junto con las líneas  $F_4$  provenientes



de los ensayos comenzados en el 2001. La evaluación de la estabilidad de la resistencia de estas líneas avanzadas continuará anualmente en ensayos replicados.

## **Discusión**

Nuestra hipótesis en este estudio es demostrar que aquellas líneas que se originaron en cruzamientos donde las poblaciones  $F_2$  muestren un mayor número de plantas resistentes, y las cuales muestren un mayor número de líneas hermanas resistentes, generarán líneas de arroz con una resistencia más estable en generaciones avanzadas. Adicionalmente, aquellas líneas resistentes avanzadas que se originan a partir de plantas  $F_2$  resistentes seleccionadas dentro de cruzamientos donde predominan plantas  $F_2$  susceptibles, serán menos estables. Nuestro razonamiento detrás de esta hipótesis es que poblaciones  $F_2$  que exhiban un número predominante de plantas resistentes llevan un mayor número de genes de resistencia incluyendo posiblemente genes menores. Las líneas resistentes avanzadas que se originen de estas poblaciones tendrán una mayor probabilidad de contener un mayor número de estos genes de resistencia y por lo tanto serán más estables. Aquellas poblaciones con pocas plantas  $F_2$  resistentes probablemente tendrán un menor número de genes de resistencia, y estas serán más fácilmente atacadas por el patógeno en generaciones tempranas. Si esta hipótesis es correcta, los mejoradores deberían evaluar las poblaciones  $F_2$  y eliminar aquellos cruzamientos donde predominen las plantas susceptibles. Esto les permitiría concentrar sus esfuerzos en aquellos cruzamientos que tengan una mayor probabilidad de producir líneas con una resistencia estable al añublo.

## **Actividades Futuras**

Se realizará el análisis de la reacción al añublo de los progenitores involucrados en todos los cruzamientos que den origen a las líneas de este estudio y se correlacionará con la reacción al añublo y la estabilidad de la resistencia de las líneas seleccionadas. Este estudio se encuentra en progreso y continuará por varios años para determinar los factores más asociados con la estabilidad de la resistencia.

**Cuadro 17. Estudio sobre la Estabilidad de la Resistencia al Añublo Basado en la Selección de Plantas F<sub>2</sub> Resistentes en Diferentes Poblaciones de Arroz en el 2001. Santa Rosa, Colombia**

Población	Cruces (No.)	Familias (No.)	Resistente F <sub>2</sub> Plants <sup>1</sup>	Evaluación Líneas F <sub>3</sub> en el 2002					
				Resistente		Intermedia		Susceptible	
				No.	(%)	No.	(%)	No.	(%)
<b>Reacción de campo en familias F<sub>2</sub></b>									
Susceptible	42	50	105	7	(6.7)	37	(35.2)	61	(58.1)
Segregante	45	49	92	8	(8.7)	48	(52.2)	36	(39.1)
Resistente	36	48	95	34	(35.8)	48	(50.5)	13	(13.7)
Total	87	147	292						

<sup>1</sup>Seleccionadas en el año 2001

**Cuadro 18. Estudio sobre la Estabilidad de la Resistencia al Añublo del Arroz basado en Plantas F<sub>2</sub> Resistentes Seleccionadas de diferentes Poblaciones en el Año 2000. Santa Rosa, Colombia**

Población Cruce/Familia	Cruces (No.)	Familias (No.)	Plantas F <sub>2</sub> Resistentes*	Evaluación de Líneas F <sub>3</sub> en el 2001						Líneas F <sub>3</sub> Resistentes**	Evaluación de Líneas F <sub>4</sub> 2002			
				Resistente		Segregante		Susceptible			Resistente		Susceptible	
				No.	(%)	No.	(%)	No.	(%)		No.	(%)	No.	(%)
<b>Progenitor Seleccionado</b>														
R/R/R	13	27	53	12	(23)	34	(64)	7	(13)	164	58	(35.4)	106	(64.6)
S/S/S	8	15	28	1	(4)	1	(4)	26	(92)	92	2	(2.2)	90	(97.8)
<b>Reacción de Campo de la Familia F<sub>2</sub> en el 2000</b>														
Susceptible	27	50	89	32	(36)	37	(42)	20	(22)	289	87	(30.1)	202	(69.9)
Segregante	27	47	79	45	(57)	27	(34)	7	(9)	276	133	(48.2)	143	(51.2)
Resistente	18	30	60	46	(77)	12	(20)	2	(3)	196	99	(50.5)	97	(49.5)
<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>169</b>	<b>309</b>							<b>1017</b>				

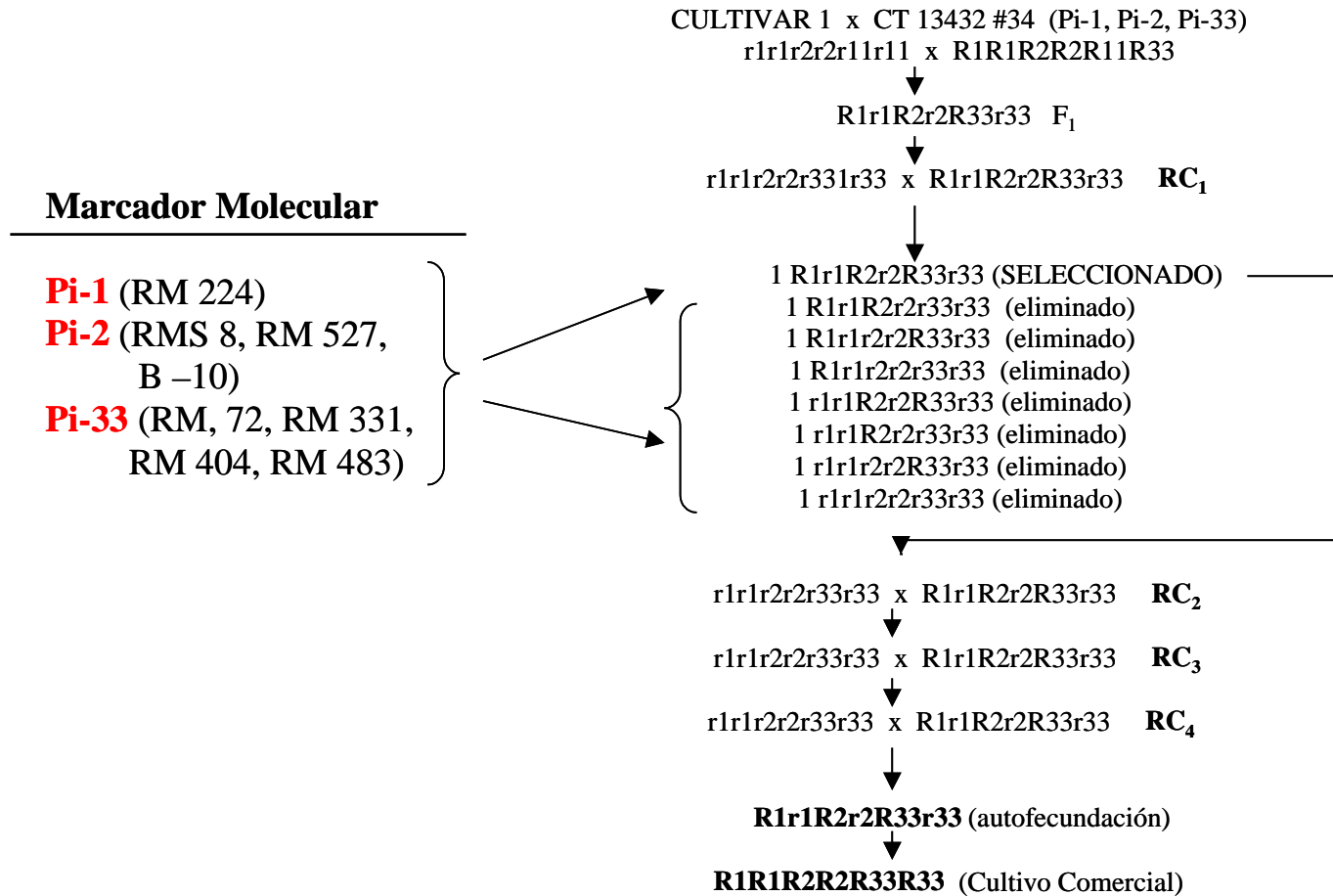
\* Seleccionadas en el 2000

\*\* Seleccionadas en el 2001



**Figura 1. Resistencia Completa al Añublo del Arroz en la Línea Isogénica CT 13432-34 conferido por la Combinación de los Genes de Resistencia Pi-1+Pi-2+Pi-33**

**Figura 2. Procedimiento del Retrocruzamiento para la Incorporación de los Genes de Resistencia Pi-1, Pi-2, Pi-33**





### 3.3. Caracterización de la Interacción Plaga-Hospedero

#### 3.3.1. Evaluación y Desarrollo de Germoplasma Resistente al Virus de la Hoja Blanca y su Vector *Tagosodes orizicolus*

Por el incremento de nuevas líneas por parte de los mejoradores, se ha hecho necesario un óptimo funcionamiento de todo el proceso de mantenimiento y conservación de las colonias de *T. orizicolus* tanto de insectos sanos como virulíferos, éstos son utilizados además, en ensayos, tanto a nivel de invernadero como en campo.

Las evaluaciones de líneas de arroz por resistencia al VHB es parte de las estrategias de mejoramiento que son usadas por el CIAT, FLAR y muchos programas nacionales. El CIAT es la única institución que tiene la capacidad de evaluar grandes volúmenes de materiales por su resistencia al VHB, las cuales se realizan dos veces al año en condiciones de campo. En este reporte se incluyen las evaluaciones del segundo semestre del 2001 y el primer semestre de 2002.

Cuadro 1. Germoplasma Evaluados al Virus de la Hoja Blanca y al Daño Mecánico de *Tagosodes orizicolus*

Evaluación	Total
Virus Hoja Blanca	20055
<i>Tagosodes orizicolus</i>	1589

Las evaluaciones realizadas para la resistencia al VHB, fueron similares a las del 1999 (20952), año en el cual se probaron mayor número de materiales a esta enfermedad.

#### 3.3.2. Estudio sobre Mecanismos y Genética de la Resistencia de *Tagosodes orizicolus* y el Virus de la Hoja Blanca

- **Comparación de Tres Colonias de *Tagosodes orizicolus***  
*R. Meneses, M. Triana, L. Calvert*

#### Resumen

Tres colonias diferentes de *T. orizicolus* se compararon en condiciones de campo para su habilidad de transmitir el VHB. En condiciones de campo no hubo diferencias notables entre las tres colonias con respecto a los rangos de transmisión del VHB.

## **Introducción**

Hay diferencias en la agresividad de las diferentes colonias de *T. orizicolus*. Con respecto a las últimas evaluaciones, hay evidencia que la colonia de CIAT Palmira tiene buena habilidad para transmitir VHB comparada con las colonias de los años anteriores. Esto ha dado resultados en los que las variedades con resistencia intermedia al VHB fueron afectadas hasta el rango donde ellas fueron susceptibles. Desde entonces estas son las variedades control ó testigos en la evaluación masal para resistencia al VHB y esto ha dificultado la calificación de los materiales. Aunque esto se ha corregido bajando el número de vectores, se han iniciado un número de estudios para entender mejor las interacciones entre el virus, vector y las variedades.

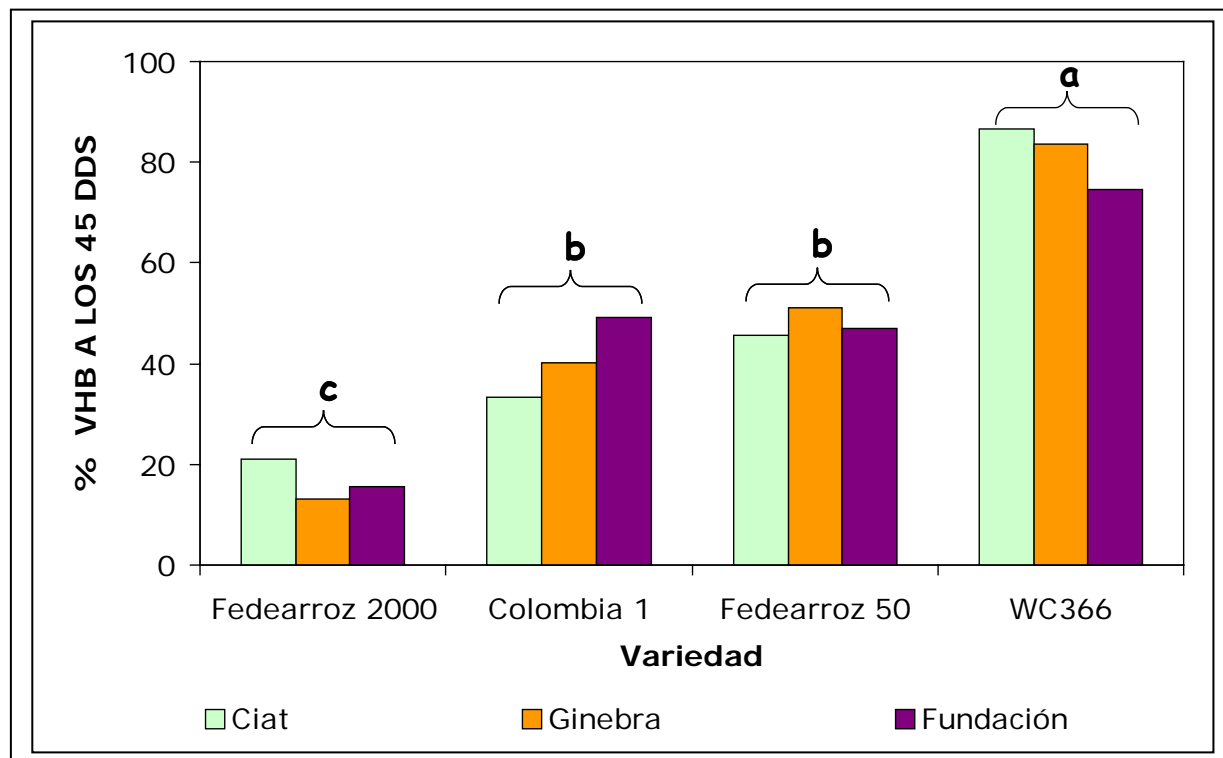
## **Materiales y Métodos**

Tres colonias de *T. orizicolus* se desarrollaron y mantuvieron en jaulas dentro de los invernaderos. Los insectos fueron colectados en el Valle del Cauca para desarrollar la colonia Ginebra, y de la Costa Atlántica se desarrolló la colonia Fundación. La tercera colonia, CIAT Palmira se desarrolló hace tres años utilizando insectos de una colonia anterior con insectos colectados de Tolima y el Valle del Cauca. La variedad de arroz Fedearroz 2000 altamente resistente al VHB, las variedades con resistencia intermedia: Fedearroz 50 y Colombia 1 como también la línea susceptible WC 366 fueron utilizadas para este estudio. El diseño experimental consistió en cuatro repeticiones de cada tratamiento en parcelas de 1 x 1 metro con 7 surcos y estas parcelas se cubrieron con una malla fina de nylon. Las parcelas se infestaron con aproximadamente un insecto por planta a los 15 días después de sembradas y se fumigaron 5 días después de la infestación. Cada planta de los tres surcos interiores de la parcela se evaluó por la presencia y ausencia de síntomas de VHB a los 30 días después de la infestación.

## **Resultados y Discusión**

Con la evaluación a los 30 días después de la infestación, se observó que la incidencia de VHB fue significativamente diferente entre Fedearroz 2000, las variedades con resistencia intermedia Colombia 1 y Fedearroz 50 y la susceptible WC 366 (Figura 1). No hubo diferencias significativas entre el nivel de infección con el VHB de las colonias CIAT Palmira, Ginebra y Fundación. Además, no hubo tendencias hacia alguna de las variedades por el vector y el virus en condiciones de campo. Para la evaluación en campo parece que el número de vectores y el porcentaje de insectos positivos al VHB son los factores clave en el control de la presión de la enfermedad.





**Figura 1. Comparación de tres colonias de *Tagosodes orizicolus* relacionada con su habilidad para transmitir el Virus de la Hoja Blanca.**

• **Preferencia por Oviposición sobre Diez Líneas de Arroz usando Alimentación Forzada**

M. Triana, R. Meneses y L. Calvert

**Resumen**

La sogata es una plaga importante del arroz y es el vector del VHB. Con objeto de entender mejor los componentes de resistencia para ambos: insecto y virus se determinó la preferencia por oviposición y la longevidad de hembras. Hay una relación estrecha entre longevidad y número de huevos ovipositados. Se presentó una tendencia a la oviposición de huevos que puede estar asociada con las variedades que tienen resistencia al VHB. De las cuatro variedades que muestran resistencia al VHB, sólo Colombia 1 fue preferida como hospedero para el insecto. Todas las seis líneas de arroz susceptibles al VHB fueron preferidas por el insecto. La menos preferida fue Fedearroz 50, la cual tiene resistencia intermedia al VHB. Este ensayo podría contribuir a la resistencia en campo al VHB para ayudar a mantener bajas las poblaciones del vector.

## **Introducción**

Con objeto de entender los factores principales de la resistencia a *T. orizicolus*, se han realizado diferentes estudios concernientes a la longevidad, estudios de preferencia, ciclos de vida y otros factores. Diez diferentes líneas de arroz se han seleccionado como una colección base y se han utilizado como parentales en cruces específicos para entender mejor la genética y desarrollar estudios moleculares para los componentes de resistencia a *T. orizicolus* y VHB. Este estudio se enfocó en la influencia de la oviposición sobre las líneas de arroz y la longevidad de los insectos.

## **Materiales y Métodos**

Las variedades utilizadas en este estudio fueron: Cica 8, Oryzica Llanos 5, Colombia 1, Oryzica 1, Fedearroz 50, IR 8, Bluebonnet 50, WC 352 (CT10871-1-CA-1-M), WC366 (IR65598-27-3-1) y Fedearroz 2000. Diez plantas de cada variedad con 25 días de edad fueron puestas individualmente dentro de un tubo de acetato. Se colocaron sobre cada planta una pareja de insectos adultos recién emergidos. Esta fue transferida a nuevas plantas de la misma variedad cada ocho días hasta la muerte de la hembra. Las plantas fueron examinadas utilizando microscopio y se contabilizó el número de huevos ovipositados. El experimento se replicó tres veces en el tiempo utilizando un diseño completamente al azar. Las variables: número de huevos ovipositados y longevidad se analizaron por ANOVA (programa SAS).

## **Resultados**

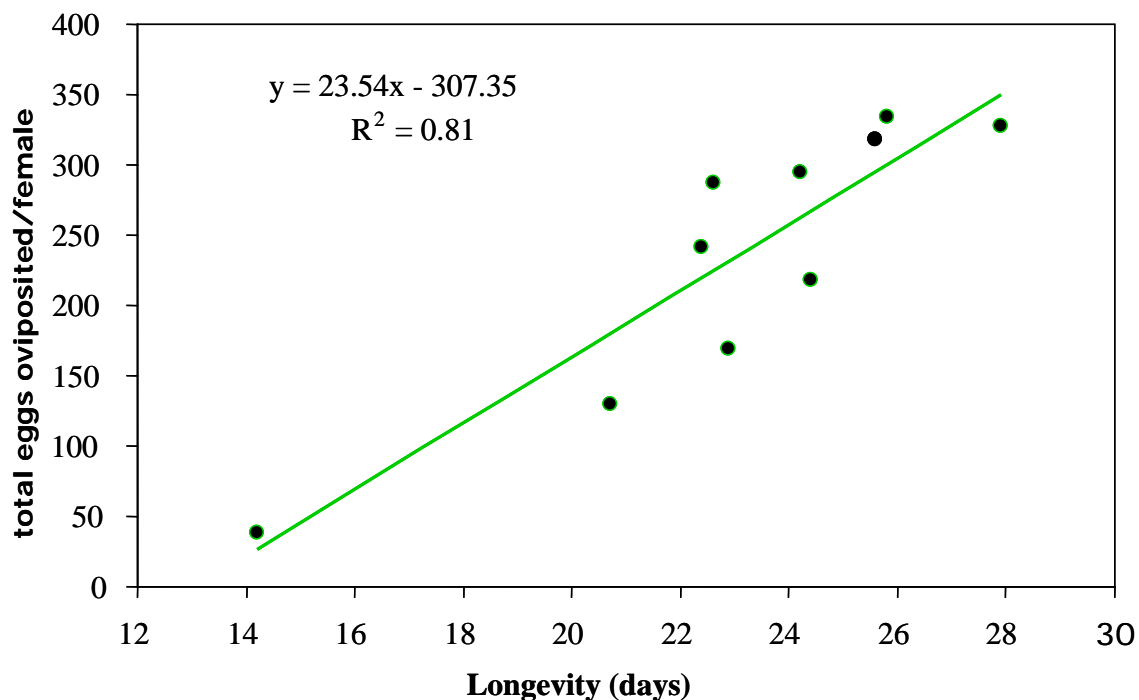
Para la mayoría de las variedades en este estudio, no hubo diferencias significativas tanto para la oviposición como para la longevidad. Colombia 1, WC 352, Bluebonnet 50, IR 8, WC 366 y O. Llanos 5, estuvieron en el grupo de las susceptibles para ambas variables (Cuadro 1). No se presentaron diferencias significativas entre Cica 8, Colombia 1 y WC 352 para el número de huevos pero sí para la longevidad. Las variedades Oryzica 1 y Fedearroz 2000 tuvieron un efecto altamente significativo sobre el número de huevos y fueron más resistentes que el grupo susceptible. Existe menos variación para la longevidad con Oryzica 1 de la que se presenta en el grupo susceptible y sólo Fedearroz 2000 fue diferente de Colombia 1 y WC 352. La variedad Fedearroz 50 tuvo el menor número de huevos ovipositados con un promedio de 38.3 y la longevidad de hembras tuvo como promedio 14.2 días. La longevidad de los insectos sobre Fedearroz 50 es aproximadamente 10 días menor y el número de huevos fue menos que un 20% del promedio para las variedades susceptibles.

**Cuadro 1. Estudios de Preferencia de *T. orizicolus* en Pruebas de Alimentación Forzada sobre Diez Variedades de Arroz, Año 2002**

<b>Variedades</b>	<b>Promedio de número de huevos por hembra</b>	<b>Promedio de longevidad de hembras en días</b>
Colombia 1	333.7a	25.8 a
WC 352	327.5 a	27.9 a
Bluebonnet 50	318.4 ab	25.6 ab
IR-8	294.4 ab	24.2 ab
WC 366	287.4 ab	22.6 ab
Oryzica llanos 5	241.7 ab	22.4 ab
Cica 8	217.8 b	24.4 ab
Oryzica 1	169.1c	22.9 ab
Fedearroz 2000	129.6 c	20.7 b
Fedearroz 50	38.3 d	14.2 c

1. Letra diferente indica que los resultados presentan diferencias significativas a un nivel de 0.05 según prueba de Duncan.

Se determinó la relación entre el número de huevos ovipositados y la longevidad de las hembras (Figura 2). En el análisis de correlación se obtuvo el factor  $R^2 = 0.81$ .



**Figura 2. Correlación entre el total de huevos ovipositados y la longevidad de las hembras de *Tagosodes orizicolus***

## Discusión

En el grupo de las variedades susceptibles para estos tratamientos que son componentes de resistencia para Sogata estuvieron Colombia 1 y O. Llanos 5. Esto confirma otros estudios que indicaron que algunos componentes de resistencia para VHB son diferentes de los componentes de resistencia para *T. orizicolus*. Oryzica 1 y Fedearroz 50 tienen resistencia intermedia para VHB y Fedearroz 2000 tiene un alto nivel de resistencia. Las otras tres variedades tuvieron un bajo nivel de oviposición comparado con el resto de las variedades. Este estudio contribuye a la resistencia en campo para el virus y el insecto para ayudar a reducir las poblaciones del insecto. Estos resultados son consistentes con estudios previos incluidos en nuestro reporte del año pasado y esto nos brindó la confianza que se necesita para incluir este ensayo en estudios de marcadores moleculares. Los resultados también son importantes por las implicaciones sobre el efecto en las poblaciones de *T. orizicolus* en áreas donde se siembran en gran proporción estas variedades. Especialmente en el caso de Fedearroz 50, se necesita vigilancia para observar si nuevos biotipos se han adaptado a estos cultivares.

- **Evaluación del Efecto del VHB sobre el Rendimiento de Diez Líneas de Arroz**

L. Calvert, M. Triana, L. Reyes (Fedearroz), y R. Meneses

## **Resumen**

Se ha dicho que el método de evaluación al VHB no ha producido resultados consistentes. Este experimento fue el centro de foco porque parece que aún las variedades intermedias fueron susceptibles al VHB. Un análisis cuidadoso de esta enfermedad mostró que a diferentes fechas ó edades de siembra bajo una alta presión de la enfermedad, las variedades intermedias fueron fáciles de distinguir de las variedades susceptibles, especialmente en el campo. Así mismo, este nivel de presión de la enfermedad destaca el excelente progreso que se ha hecho desarrollando nuevas variedades con resistencia al VHB. Fedearroz 2000 fue claramente superior a la fuente primaria de resistencia Colombia 1. Fedearroz 2000 se evaluó y seleccionó como una línea avanzada bajo alta presión de la enfermedad. Esto confirma que un proceso de evaluación en el cual las líneas avanzadas se someten a alta presión de la enfermedad, es una metodología de evaluación apropiada y que los resultados han excedido las expectativas para producir variedades mejores que las fuentes usadas como parentales.

## **Introducción**

El año pasado reportamos los ensayos en campo de diez variedades de arroz infestadas con insectos vectores del VHB en cuatro edades diferentes de siembra. Este reporte incluye la información sobre el rendimiento de estas líneas. (Ver Informe Anual 2001)

## **Métodos y Materiales**

Las variedades evaluadas fueron: CICA 8, Oryzica Llanos 5, Colombia 1, Oryzica 1, Fedearroz 50, IR 8, Bluebonnet 50, CT10871-1-CA-1-M, IR65598-27-3-1 y Fedearroz 2000. Se sembraron tres réplicas por cada tratamiento en bloques con parcelas randomizadas de 2 m<sup>2</sup>. Los materiales fueron infestados con *T. orizicolus* a los 7, 14, 21 y 28 después de siembra con un nivel de 1 insecto/planta utilizando una colonia con el 70% de insectos virulentos. Los controles ó testigos fueron parcelas no infestadas con *T. orizicolus*. A los 30 días después de la infestación, las parcelas fueron evaluadas visualmente utilizando una escala de 1 a 9 (IRRI). Los análisis se hicieron con ANOVA utilizando los datos de rendimiento de las cuatro edades de infestación y las parcelas testigos que no fueron infestadas con vectores de VHB.

## **Resultados**

Colombia 1 ha sido utilizada como fuente de resistencia al VHB, aunque ella no es inmune y puede ser infectada especialmente durante el estado de emergencia. Se aumentó la dosis que se midió en el número de vectores utilizados en la infestación y se pudo incrementar la incidencia del VHB. Utilizando la colonia CIAT Palmira se determinó que la transmisión de VHB fue eficiente, las líneas de arroz en este ensayo se sometieron a una alta presión de la enfermedad. Casi todas las variedades tuvieron una reacción como si fueran susceptibles al VHB, con todas las edades evaluadas. Así mismo los datos de rendimiento y de incidencia se

presentaron como valores globales con las cuatro edades de infestación y como promedios para ambas variables. Las líneas WC 352, IR-8, WC366, Bluebonnet 50, Cica 8 y O. Llanos 5 formaron un grupo de líneas que fueron susceptibles al VHB, la enfermedad causó alto nivel de pérdidas en rendimiento (Cuadro 2). Las variedades con resistencia intermedia como Colombia 1, Oryzica 1, y Fedearroz 50 mantuvieron pérdidas sustanciales de rendimiento pero estas variedades mostraron más resistencia cuando la infestación fue tardía. Oryzica 1 mostró un rango de 9.0 cuando se infestó a los siete días después de siembra y el rendimiento fue de 1.8 t/ha, comparado con un rango de enfermedad de 7.7 y un rendimiento de 4.6 t/ha cuando se infestó a los 28 días después de siembra. La única variedad con alto nivel de resistencia al VHB, fue Fedearroz 2000. Presentó reacción intermedia de 5.6 y 5.4 a los 7 y 14 días después de siembra, respectivamente y una calificación de resistencia de 3.2 y 2.6 a los 21 y 28 días después de siembra. El único tratamiento que tuvo pérdidas en rendimiento fue con la infestación a los 7 días después de siembra con un rendimiento de 5.8 t/ha. A los 14, 21, y 28 días de siembra los rendimientos fueron 8.6, 7.9 y 9.0 t/ha, respectivamente comparados con un rendimiento de 10.1 toneladas en el testigo Fedearroz 2000 sin insectos.

**Cuadro 2. Promedio Global de la reacción al VHB y el rendimiento de diez variedades de arroz infestadas a los 7,14,21 y 28 días después de siembra.**

Variedades	Infestación con 1 insecto vector/ planta		Testigos (0 insectos / planta)	
	VHB	t/ha	VHB	t/ha
WC 352	9.0 a*	0.7 g	0.8 e	6.0 d
IR 8	9.0 a	0.8 g	0.7 e	8.0 bc
WC 366	9.0 a	1.1 g	0.8 e	6.1 d
Bluebonnet 50	8.6 ab	1.4 g	0.9 e	8.1 bc
Cica 8	8.5 ab	1.6 g	0.8 e	7.6 c
O. Llanos 5	9.0 a	1.6 g	0.7 e	9.0 b
Colombia 1	8.5 ab	3.1 f	0.4 ef	9.0 b
Oryzica 1	8.3 bc	3.8 ef	0.5 ef	9.0 b
Fedearroz 50	7.9 c	4.3 e	0.4 ef	8.4 bc
Fedearroz 2000	4.2 d	7.8 c	0.0 f	10.1 a

\* Promedios seguidos por la misma letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (0.05%) en prueba de Duncan.

## Discusión

Esto confirma que las líneas de arroz con resistencia al VHB son menos afectadas cuando la infestación ocurre tardíamente después de la siembra. También la infección temprana causa pérdidas en rendimiento. El alto nivel de presión de la enfermedad en este experimento destaca las diferencias entre las variedades resistentes como también en las variedades susceptibles. Fedearroz 2000 fue mucho más resistente que Colombia 1 la fuente tradicional de resistencia al VHB. Fedearroz 2000 se consideró como una nueva fuente de resistencia al VHB que puede usarse como parental para este ensayo. También se puede seleccionar como el parental más importante para el estudio de marcadores moleculares para identificar genes involucrados en la resistencia al VHB.

### 3.3.3. Nivel de Daño en Variedades de Arroz, Ocasionado por *Tagosodes orizicolus* diferentes Porcentajes de Virus

R. Meneses y M. Triana

#### Resumen

Este estudio se hizo para determinar el umbral económico del virus de la hoja blanca. El umbral dependió altamente de la variedad y del nivel de presión de la enfermedad utilizado en este estudio, hubo pérdidas en rendimiento significativas para las variedades susceptibles y las variedades con niveles intermedios de resistencia al VHB. La variedad Fedearroz 2000 altamente resistente tuvo menos enfermedad y el rendimiento no disminuyó significativamente comparada con los testigos. Los umbrales económicos y los niveles de infestación dependen de la presión de la enfermedad y la variedad. Esta información se utilizará para refinar la estrategia del manejo integrado para VHB.

#### Introducción

El virus de la hoja blanca virus (VHB) es transmitido por *T. orizicolus*. Este insecto también causa daño directo al arroz. La interacción del insecto /virus y su efecto sobre el rendimiento necesita ser entendida para cada variedad para diseñar estrategias de manejo integrado de plagas. En Colombia, la variedad Fedearroz 50 es sembrada en más del 60% del área y ella tiene resistencia tanto al VHB como a *T. orizicolus*. Por lo tanto con la liberación de esta variedad, los niveles de VHB han descendido notablemente y no ha permitido que se incremente el problema en más áreas de Colombia. Sin embargo, esta es una variedad con un nivel intermedio de resistencia al VHB y una alta presión de la enfermedad ha sido la causa potencial de pérdidas en esta variedad. Este estudio ha permitido determinar a qué nivel de insecto / virus se causan reducciones significativas en el rendimiento en variedades con diferentes niveles de resistencia. Esta información es necesaria para determinar los umbrales de daño económico, para ayudar a desarrollar guías ó establecer cuando se deben usar medidas de control. Este tipo de información se necesita para ayudar a reducir el uso de plaguicidas, a bajar los costos de producción y disminuir la contaminación del ambiente como también a asegurar que la enfermedad de la hoja blanca no ocasione pérdidas económicas.

#### Materiales y Métodos

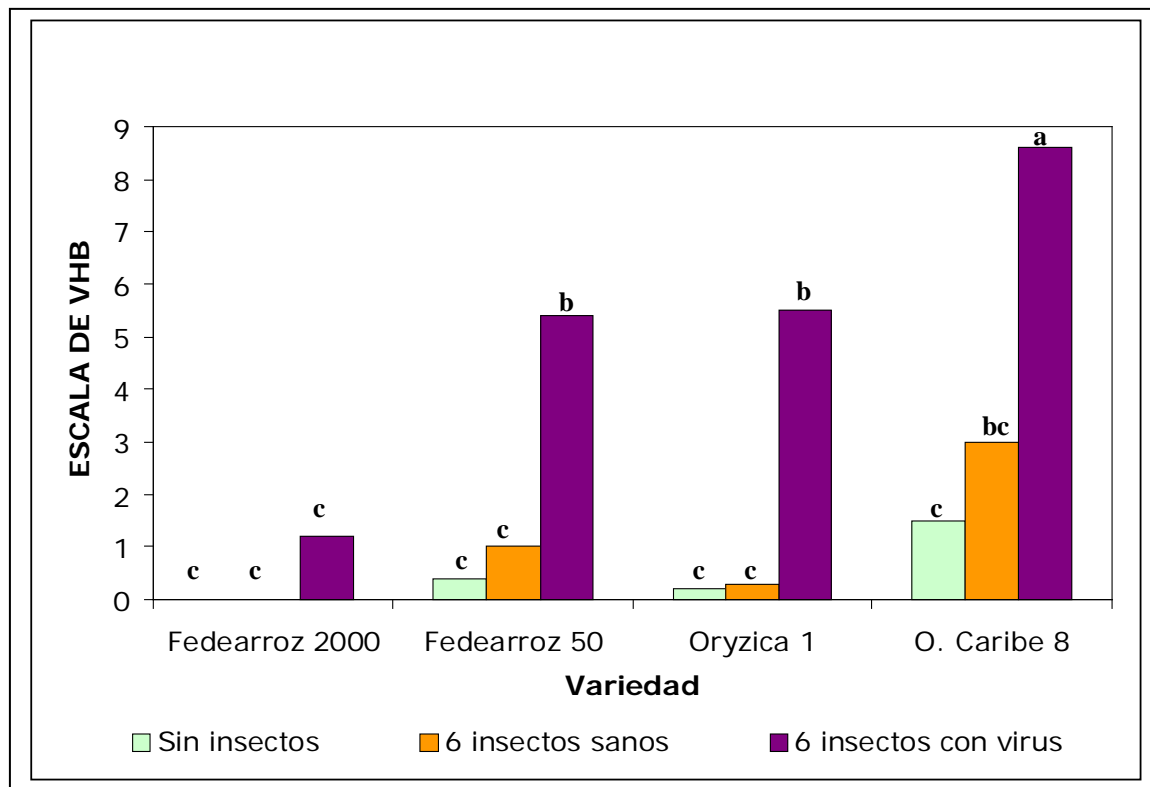
Cada variedad se sembró a una densidad de 3 g/ surco en parcelas de 1.95 X 1.50 m (12 surcos de 1.5 metros de largo) con 3 réplicas por tratamiento. A los 15 días después de siembra, cada parcela se cubrió con jaulas de nylon y se infestaron con adultos de *T. orizicolus*. Después de 5 días, las parcelas se trataron con insecticida para eliminar los insectos. Las variedades Fedearroz 50, Fedearroz 2000, Oryzica 1 y O. Caribe 8 fueron infestadas con niveles de 6 *T. orizicolus* (sanos y con 25% de virulencia) y un Testigo sin insectos. Para cuantificar el porcentaje de plantas infectadas con VHB, se contó el número total de plantas y el número de plantas con síntomas de VHB. Las evaluaciones para VHB se hicieron a los 20 días después de la infestación con los vectores. El rendimiento de cada tratamiento fue calculado con el promedio de la cosecha de las parcelas calculando el peso de



la semilla sobre el 14% de humedad. Para determinar la significación de los tratamientos se hizo análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple.

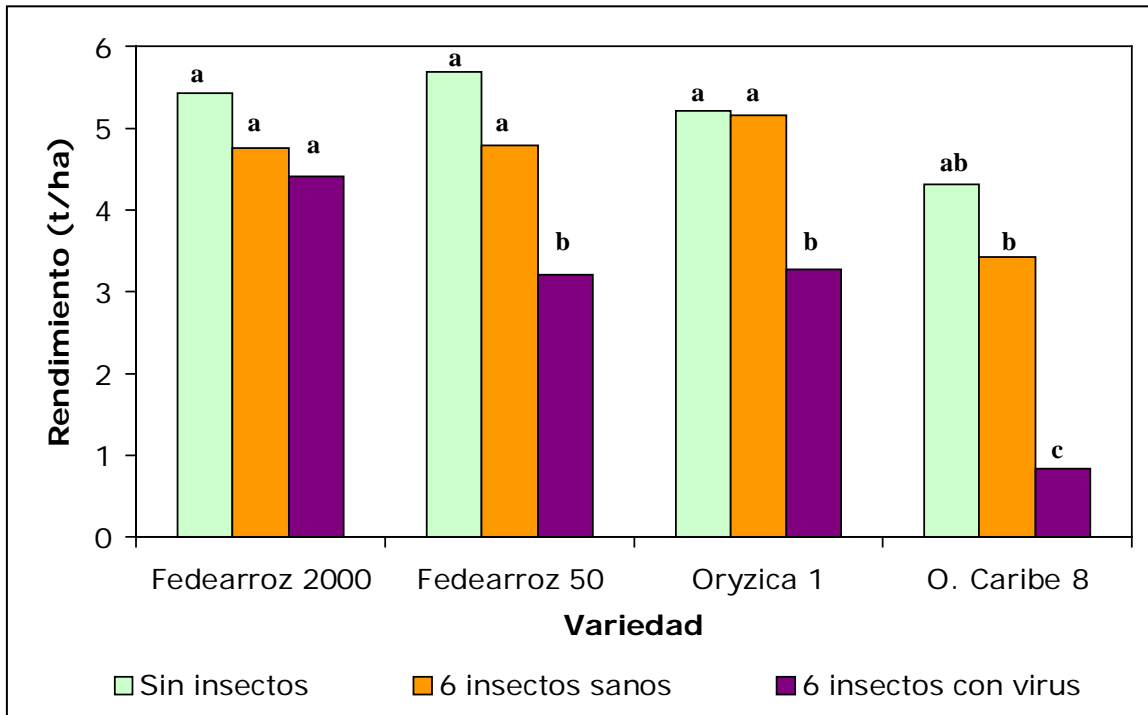
### **Resultados y Discusión**

Dos colonias diferentes (virulífera y normal) se utilizaron en este experimento para determinar si el insecto sólo causa reducciones de rendimiento al nivel de 6 insectos por planta. La colonia se mantuvo libre de virus con un bajo número de vectores, y se presentó algo de transmisión especialmente en la variedad susceptible. No obstante las dos colonias tuvieron diferentes rangos de transmisión. En las variedades intermedias al VHB como Fedearroz 50, el nivel de infección fue de 5.5, y en Oryzica 1 el nivel fue de 5.4 y en la variedad susceptible O. Caribe 8, el rango fue 8.6 (Figura 3). La diferencia entre el tratamiento con virus y el tratamiento con el insecto fue estadísticamente significativa. En comparación, Fedearroz 2000 tuvo un rango de 1 y no hubo diferencias significativas entre tratamientos.



**Figura 3. Comparación de la incidencia de VHB utilizando cuatro variedades de arroz que fueron infestadas con *Tagosodes orizicolus* de una colonia con muy baja incidencia de VHB y otra donde el 25% de los individuales llevaban VHB. El grupo testigo no se infestó con insectos.**

Aunque el tratamiento con el insecto no afectó el rendimiento en una manera estadísticamente significativa para algunas de las variedades (Figura 4), hubo una ligera reducción en el rendimiento en tres de las cuatro variedades. Tampoco hubo una diferencia significativa en el rendimiento de Fedearroz 2000 en algunos de los tratamientos, pero el rendimiento fue más bajo en el tratamiento con virus. Hubo reducciones significativas en el rendimiento con los tratamientos con virus para las otras tres variedades. Para la variedad susceptible O. Caribe 8, hubo 80.7% de reducción en rendimiento comparado con el tratamiento testigo. Para las variedades con resistencia intermedia como Fedearroz 50 y Oryzica 1, tuvieron reducciones en rendimiento del 43.2 y 37.0%, respectivamente, comparadas con los tratamientos testigos. Los resultados del estudio sugieren que las prácticas de manejo pueden ser útiles sobre la base de la categoría de resistencia de VHB. Oryzica 1 y Fedearroz 50 han reaccionado en la misma forma con el mismo nivel de presión de la enfermedad.



**Figura 4. Comparación del rendimiento de cuatro variedades de arroz que fueron infestadas con *Tagosodes orizicolus* de una colonia con muy baja incidencia de VHB y otra donde el 25% de los individuales llevaban VHB. El grupo testigo no se infestó con insectos.**

La información en este estudio se utilizará para refinar las estrategias de manejo integrado para prevenir pérdidas en el rendimiento y el uso indebido de plaguicidas para el control de VHB. Normalmente hay tres clasificaciones para la resistencia al VHB. Hay susceptible, resistencia intermedia y alta resistencia. Estos resultados preliminares indicaron que los niveles de umbrales para daño económico son similares para variedades con la misma clasificación. Esto podría llevar a una recomendación hecha por la categoría y se simplificaría la estrategia de manejo integrado para el complejo de *T. orizicolus* y VHB.

- **Entendiendo la Interacción entre VHB, *T. orizicolus* y Variedades de Arroz**

L. Calvert, R. Sedano, I. Lozano, M. Cuervo, R. Meneses,  
M. Triana, J. Silva, M. Duque.

## Resumen

Un Estudio fue hecho de dos colonias de *T. orizicolus* y su habilidad para transmitir RHBV. Después de cinco días sobre plantas individuales, cada insecto fue probado para RHBV y el título viral fue cuantificado. Hubo una correlación entre la cantidad de virus en el insecto y su habilidad para transmitir RHBV. La colonia más antigua fundada hace tres años, tuvo un más alto y significativo porcentaje con alto título viral comparado con la colonia que fue establecida hace menos que un año. Es probable que esto ocurriera por la presión de selección del virus. Los insectos que no pueden tolerar altos niveles de virus son eliminados

como la colonia es mantenida sobre muchas generaciones. Esto explicaría por qué la colonia aparenta ser más agresiva en lo que respecta a la transmisión de RHBV.

## Introducción

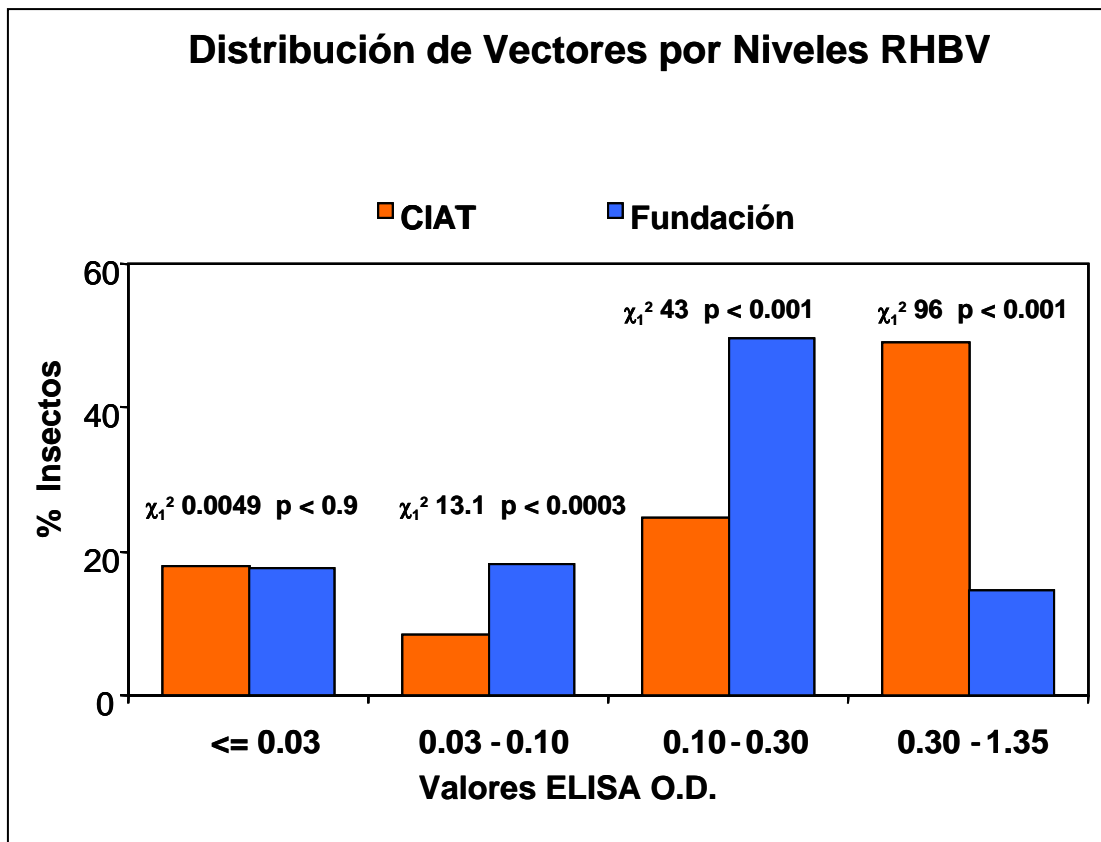
El virus, el vector y el hospedero son todos componentes importantes en la interacción dinámica de la epidemia RHBV. Hay varios reportes concernientes al efecto de la dosis, los cuales indican que incrementando el número de vectores/planta se causa un incremento en la tasa de transmisión. Sin embargo, en años recientes, es claro que no todas las fuentes virulentas de *T. orizicolus* son iguales en su habilidad para transmitir RHBV, y hay evidencia circunstancial que esto no es solo una función del porcentaje de vector en la colonia. Para complementar el estudio de campo, nosotros comparamos tres colonias de *T. orizicolus* en un estudio controlado usando un individuo/planta. La idea fue establecer si las dos colonias eran similares en su habilidad para transmitir RHBV y para mejorar el entendimiento de los componentes que influyen la transmisión.

## Materiales y Métodos

Dos colonias de *T. orizicolus* fueron usadas en este estudio. La colonia de CIAT Palmira y la Colonia de CIAT Caribe las cuales fueron descritas en la sección “Comparación de tres colonias de *T. orizicolus*”. Las colonias fueron mantenidas en Bluebonnet 50 y los insectos de las colonias originales fueron probados usando ELISA para la presencia de RHBV. Las tres fuentes de arroz usadas fueron Fedearroz 2000, la cual es altamente resistente, Fedearroz 50, la cual tiene resistencia intermedia y WC 366, la cual es altamente susceptible al RHBV. Las plántulas fueron cubiertas por tubos de acetato e infestados con un insecto de *T. orizicolus* por planta 15 días después de plantadas. Después de 5 días, 100 insectos por cada variedad fueron colectados y evaluados para HBV. Los valores de ELISA menores que 0.03 fueron considerados negativos, 0.03 a 0.1 fueron considerados de bajo título, 0.11- a 0.3 como virus medio, y arriba de 0.3 como título alto. Treinta y cinco (35) días después de que los insectos fueron removidos se evaluaron para RHBV. Pruebas de Chi cuadrado fueron hechas para el análisis de los niveles del virus en las colonias originales. Para entender las interacciones, un análisis CATMOD (SAS package) fue desarrollado para los factores de nivel de virus en los insectos, fuentes de los insectos (Colonias), y las variedades de arroz.

## Resultados

**El Estado de Dos Colonias de *T. orizicolus* para el Nivel de RHBV.** Cuando los insectos fueron colectados directamente de las colonias, aproximadamente el 18% de los individuos fueron negativos para RHBV. En el rango de títulos bajos y medios, estuvo el más grande porcentaje de individuos positivos para RHBV en la colonia de CIAT Caribe que en la colonia de CIAT Palmira (Figura 5). Esto fue al revés para el grupo con alto título de virus, donde el 49% de los individuos en la colonia CIAT Palmira tuvo alto título de virus comparado con 14.5% de individuos de la colonia CIAT Caribe. Cuando comparamos ambos grupos usando un análisis de Chi cuadrado, exceptuando las muestras negativas, las diferencias entre el porcentaje de saltadores en cada grupo (bajo, medio, y alto en cuanto al título viral) fueron estadísticamente significativas.



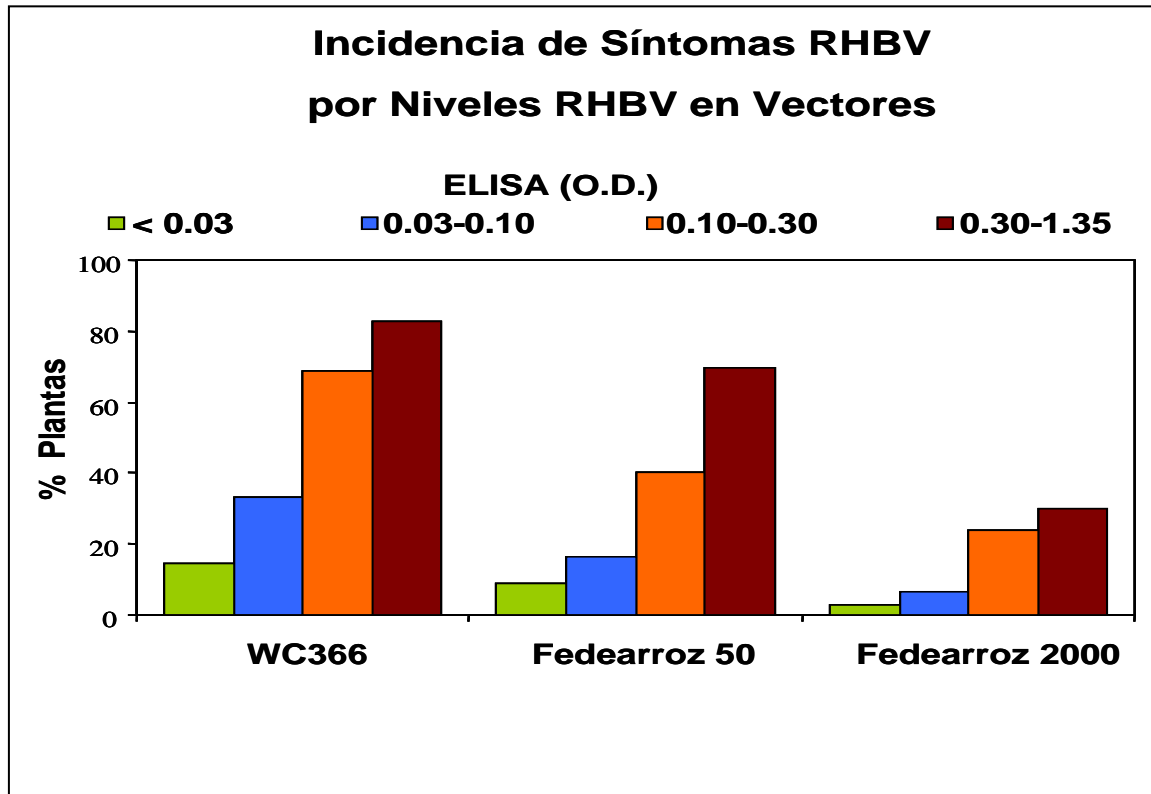
**Figure 5. Distribución de Individuos como una Función de la Carga Viral y por los Valores de ELISA Determinados para las Dos Colonias de *T. orizicolus***

### **Interacción del Título Viral en el Insecto y las Variedades**

Los insectos que fueron positivos para RHBV de ambas colonias tuvieron una distribución homogénea en las variedades;  $\chi^2$  0.204 P=0.9. La eficiencia de la transmisión se incrementó con el título de los insectos (Figura 6). Cuando agrupamos todas las tres variedades, los insectos con alto título RHBV (0.3) tuvieron una tasa de transmisión de 59.7%, insectos con títulos medios (0.1-0.3) tuvieron una tasa de transmisión de 43.7%, insectos con títulos bajos (0.03-0.1) tuvieron una rata de transmisión de 18.6% y aquellos que fueron determinados negativos tuvieron una tasa de transmisión de 9.0%. La transmisión de insectos en los cuales RHBV no puede ser detectado fue inesperada. En ningún caso, hubo una fuerte correlación entre el título viral y la tasa en la cual los vectores fueron capaces de transmitir RHBV.

Hubo notables diferencias en la incidencia de la transmisión viral en las tres variedades. En la variedad más susceptible, los insectos con títulos medio y altos fueron vectores cercanamente iguales, mientras que en la variedad de resistencia intermedia Fedearroz 50, insectos con alto

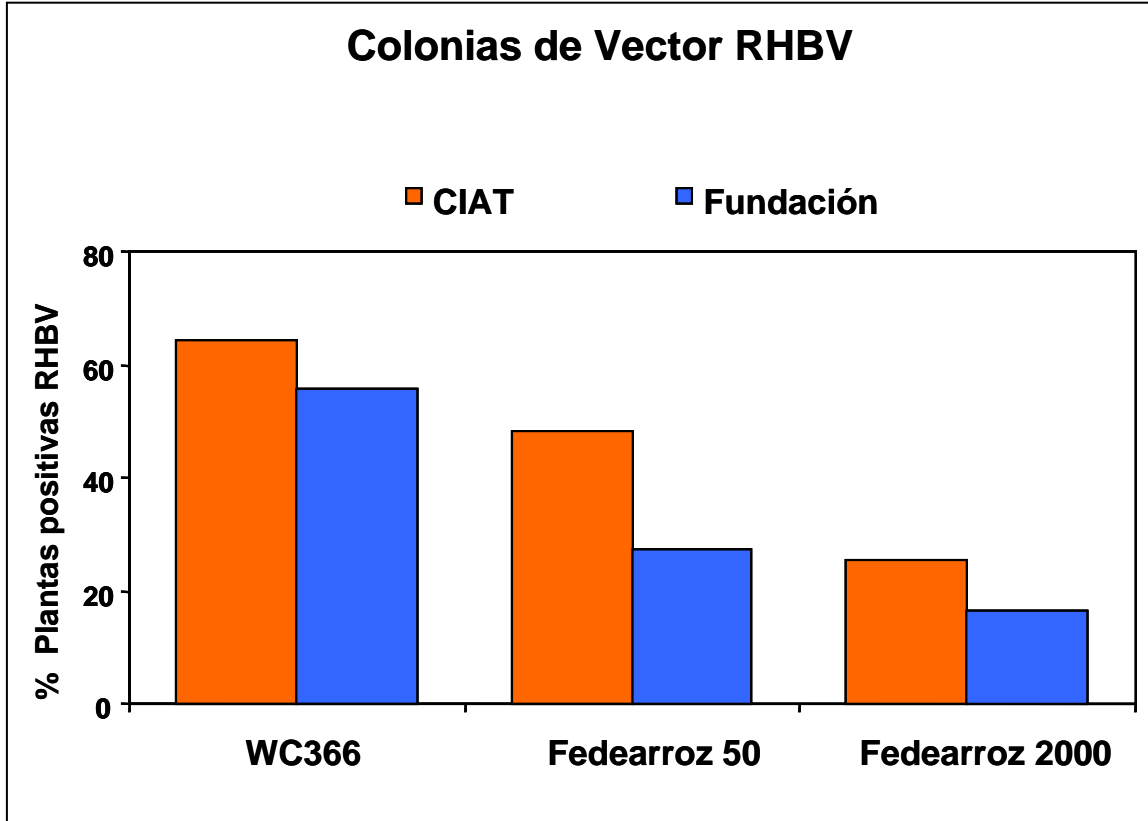
título fueron significativamente mejores en su capacidad de transmitir RHBV que aquellos con títulos medio y bajo. Para la variedad más resistente Fedearroz 2000 insectos con títulos medios y altos tuvieron igual habilidad para transmitir RHBV aunque en una proporción mucho más baja que las otras variedades. Esto sugiere que la dosis de virus fue el más importante factor para romper la resistencia de variedades con un nivel intermedio de resistencia al RHBV.



**Figura 6. Interacción de Título Viral en el Vector (ELISA O.D. Valor) Variedades y el Porcentaje de Plantas que llegaron a ser Infectadas con RHBV**

#### La Colonia y su Influencia en la Transmisión Viral

Para la variedad susceptible WC-366 y la altamente resistente Fedearroz 2000, la fuente del insecto no importa. Para la variedad con resistencia intermedia Fedearroz 50, la fuente fue importante. La colonia CIAT Palmira causó un nivel más alto de infección que la colonia CIAT Caribe (Figura 7) y usando un análisis Chi cuadrado este fue significativamente diferente:  $\chi_1^2 10.57 P=0.001$ .



**Figura 7. Interacción de la Colonia y las Variedades. Solo la Interacción donde la Colonia causó un Efecto Significativo fue en la Variedad de Resistencia Intermedia al RHBV, Fedearroz 50**

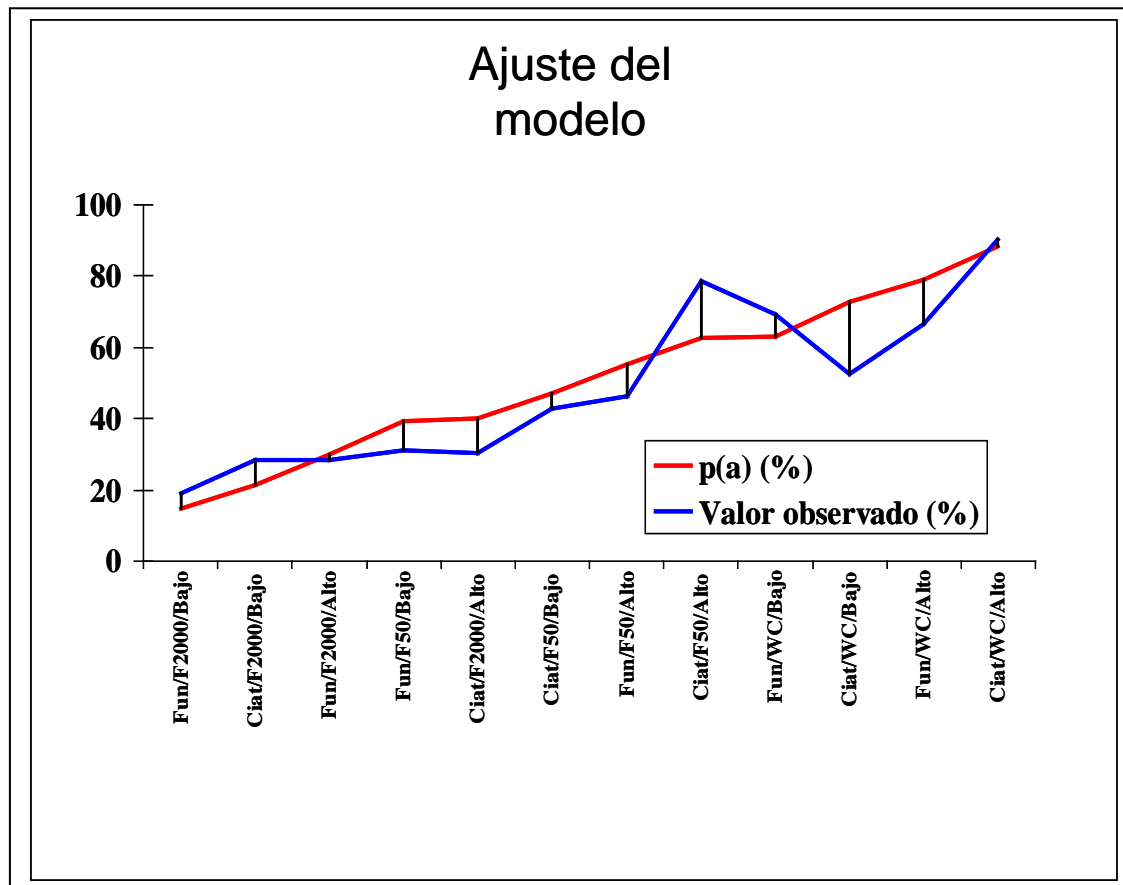
#### **Estimación de la Probabilidad de que una Planta sea Infectada con RHBV**

Del análisis del ensayo, la probabilidad [p(a)], que una planta podría llegar a ser infectada con RHBV cuando es infestada con un solo insecto, depende de los siguientes factores principales: la colonia de insectos (C);  $\chi_1^2$  4.38 P=0.036, la línea de arroz (M);  $\chi_2^2$  32.85 P=0.0001 y el nivel del título de los insectos (S);  $\chi_1^2$  20.49 P=0.0001. En este modelo, las interacciones entre los factores no contribuyen de una manera que fuese estadísticamente significativa (p>0.13). Usando el grupo de bajo título como línea base, el título medio causó un incremento de 19% y el título alto causó un incremento de 22% en plantas que fueron RHBV positivas. También, insectos de la colonia CIAT Palmira contribuyeron para un 5.6% de incremento en las plantas RHBV positivas comparados con los insectos provenientes de la colonia Caribe. La variedad también fue muy importante y la línea susceptible WC 366 tuvo 22% más de incidencia de RHBV comparado con Fedearroz 50 y Fedearroz 2000 que contribuyen de modo similar a explicar el incremento de las plantas infectadas. La incidencia

de transmisión puede ser explicada en cada factor principal el cual puede ser calculado como un factor de probabilidad.

En este experimento un modelo aditivo fue probado para ver si sería capaz de predecir la incidencia de RHBV. Los factores principales de colonia (C), línea de arroz (M), y título viral (S) fueron sumados para dar un valor de probabilidad para el porcentaje de transmisión [p(a)] de RHBV:  $p(a) = \beta + C + M + S$ ; donde  $\beta$  es un valor intrínseco. Las predicciones del modelo pueden ser comparadas con los resultados experimentales (Figura 8).





**Figura 8.** La correlación entre el nivel anticipado de infección de RHBV (probabilidad) y los valores experimentales. Los cuadrados son los valores anticipados, los puntos son los valores observados. Los tratamientos fueron ordenados por los valores de probabilidad anticipados para infectar. Los factores son CIAT o CAR (Colonia), las líneas de arroz Fedearroz 2000 (F2000), Fedearroz 50 F50), WC 366 (WC), y en niveles de título viral del vector como alto o bajo.

## Discusión

En orden para entender las interacciones entre el hospedero, el vector y el virus, nosotros necesitamos conocer la importancia de diferentes componentes. Este experimento intenta cuantificar esos componentes. Los principales factores fueron la variedad y el título del virus en cada insecto. La fuente de insectos también fue importante. Esto fue también tendiente a cuantificar el efecto de dosis. Hay varios reportes que incrementando el número de vectores, incrementa la tasa de transmisión de RHBV. Este estudio indica que el título viral en cada individuo contribuye al efecto de dosificación. Un modelo fue desarrollado para predecir la tasa de transmisión con base en los componentes principales. En orden para incrementar nuestra confianza en este modelo experimentos adicionales necesitan ser realizados.

Este estudio tiene diferentes usos. Primero está siendo usado para entender mejor nuestras colonias en orden que nosotros anticipar mejor que número de insectos se requieren para ser usados para ensayos de selección para RHBV. Este estudio ha incrementado nuestro entendimiento de la variación entre colonias de *T. orizicolus* y ahora necesita ser incorporado a nuestra metodología de evaluación.

El modelo desarrollado también será usado en el esfuerzo para predecir la probabilidad de epidemias de RHBV. Esta información generada puede ser usada para determinar umbrales de los niveles que permitan una lista más precisa de recomendaciones para prevenir la intervención y abuso de pesticidas debido al RHBV. El tercer uso de este estudio será en desarrollar un marcador molecular para resistencia al RHBV. Resistencia no es en blanco y negro. Esta es una interacción entre el vector, el virus y la línea de arroz. Plantas individuales aún de las más resistentes variedades comerciales pueden llegar a ser infectadas RHBV. La clave para desarrollar los marcadores será la evaluación biológica. En este esfuerzo un modelo predictivo indicando la probabilidad que una planta sea infectada será necesario.

### **Agradecimientos**

En orden alfabético, nosotros agradecemos al grupo de Entomología de Arroz que mantiene las colonias, Efrén Córdoba, Mauricio Morales y Rodrigo Moran. Nosotros también queremos expresar el reconocimiento por la colaboración de Natalia Villarreal y Ana Cecilia Velasco.

### **3.3.4. Manejo Integrado de Plagas**

En este aspecto se continuó con la capacitación y entrenamiento de agricultores, asistentes técnicos e investigadores en los diferentes aspectos del Manejo Integrado de Plagas (MIP), resaltando el curso efectuado en Villavicencio donde se tuvo una asistencia de 72 especialistas.

En estos cursos se les orientó hacia nuevas estrategias del MIP con el objetivo de disminuir las aplicaciones de plaguicidas químicos, la contaminación del medio ambiente y protección de la salud de los trabajadores.

### **3.4. Sistemas de Producción en los Llanos Orientales**

#### **3.4.1. Ensayos Regionales para Liberar la Línea 30 como Nueva Variedad**

M. Châtel, Y. Ospina, F. Rodríguez, V.H. Lozano,  
D. Guzmán, C.P. Martínez, J. Borrero

##### **Colombia**

En el año 2002, el CIAT y CORPOICA se unieron para lanzar la “Línea 30” o CIRAD 409. Estas pruebas de eficiencia fueron instaladas en la Estación Experimental La Libertad, Corpoica Regional 8 y en varias fincas de agricultores en la altillanura Colombiana. Estos resultados están en proceso de análisis para formalizar dicho lanzamiento.

#### **3.4.2. Sistemas de Rotación de Arroz con Otros Cultivos**

- **Producir Arroz de Secano Intercalado con Siembras Nuevas de Café**

A. Moreno, M. Châtel, E.P. Guimarães, Y. Ospina, J. Borrero

##### **Resumen**

Producir arroz de secano en las laderas de la zona cafetera colombiana es importante para la seguridad alimentaria y para el aprovechamiento de la tierra en la etapa de levante de los cafetales, sin que se afecte su producción. Con tal propósito y para conocer el efecto de intercalar ciclos sucesivos de arroz en siembras nuevas de café, se efectuó un experimento en las Estaciones Experimentales La Catalina, Pereira-Risaralda y Naranjal, Chinchiná-Caldas.

Los tratamientos resultaron del arreglo factorial aumentado: densidades de arroz y arreglo espacial del café. Los materiales sembrados fueron la variedad de café denominada Colombia y la línea CT-10069-27-3-1-4 (CIRAD 445) de arroz de secano.

En La Catalina y en Naranjal, el café no afectó la producción de arroz. En La Catalina, la producción de café varió según su arreglo espacial. En Naranjal, el arroz no afectó la producción subsecuente de café

**Palabras claves:** Arroz de secano, café, cultivos intercalados.

##### **Introducción**

La producción de alimentos básicos en la zona cafetera colombiana es deficitaria, excepto el plátano. En consecuencia, es conveniente pensar en soluciones que permitan proporcionar una mejor seguridad alimentaria como también mejorar la fuente de los ingresos de los caficultores. Los sistemas de cultivos de café intercalando cultivos semestrales en la etapa de establecimiento del café son una opción razonable para reducir la inseguridad alimentaria y los costos de producción del café antes de la primera cosecha del mismo. También es un factor importante para una mejor utilización de la tierra. Al contar, por resultados de trabajos

anteriores, con una variedad de arroz de secano adaptada a la zona de media altitud, se consideró relevante estudiar el sistema de cultivo de arroz de secano intercalado con siembras nuevas de café.

## **Materiales y Métodos**

### **Materiales**

**Localización.** Este experimento, se realizó en dos estaciones experimentales del Centro Nacional de Investigación de Café (CENICAFÉ): Estación Experimental La Catalina, Pereira-Risaralda; a 1310 m de altitud, 4° 45' Norte y 75° 44' Oeste y Estación Central Naranjal, Chinchiná-Caldas; a 1425 m de altitud, 4° 58' Norte y 75° 39' Oeste.

**Material vegetal.** En 1993, se introdujo por primer vez el arroz de secano en la zona cafetera colombiana. Se experimentaron líneas de arroz de secano, desarrolladas para las condiciones de sabanas de Colombia por el proyecto CIAT/CIRAD. Después de haber realizado experimentos de comportamiento durante 1993 y 1994 (Moreno et al, 1996) en tres localidades, se seleccionó la línea CT10069-27-3-1-4 (CIRAD 445), por su productividad y su tolerancia al frío de altitud media. Para el cultivo de café, se utilizó la variedad Colombia, por su buena productividad y resistencia a la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.).

### **Métodos**

**Diseño Experimental.** Mediante un arreglo factorial aumentado 3x3+1, se conformó un grupo de diez tratamientos con tres (3) niveles de distancia de siembra del café (1.00x1.00, 1.42x1.42 y 2.00x1.00m) y tres (3) densidades de siembra del arroz (60, 80 y 100 Kg de semilla/ha). Para que la población de café fuera igual en todos los arreglos espaciales (10.000 plantas/ha), se sembró una planta por sitio en el arreglo 1x1m y dos plantas por sitio en las distancias de siembra de 1.42x1.42 y 2.00x1.00 m. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cinco repeticiones en parcelas divididas, donde la distancia de siembra del café fue la parcela principal y las densidades de siembra del arroz las sub-parcelas.

**Variables de Respuesta.** Para el arroz se midió la producción de arroz cáscara. Para el café se midió la producción de cereza y se transformó a Kg/ha de café pergamino seco.

**Sistema de Siembra del Arroz.** Se realizó siembra directa del arroz al chorrillo con número de surcos variando de acuerdo con el arreglo espacial del café. Así se sembraron 3, 4 y 6 surcos en los arreglos 1.00x1.00m, 1.42x1.42m y 2.00x1.00m, respectivamente.

**Manejo del Cultivo.** Los dos cultivos se manejaron de forma independiente de acuerdo con las exigencias y prácticas agronómicas de cada uno. La fertilización se hizo según los resultados de análisis de suelo, tanto al café como al arroz. La primera siembra del arroz se hizo inmediatamente después de haber sembrado el café, se sembró con mínima labranza y se le aplicaron, en cada una de las siembras, 25 kg./ha de P a la siembra y 80 kg./ha de N, siendo un tercio a la siembra, un tercio a inicio de macollamiento y un tercio a inicio de la floración. La cosecha se realizó manualmente cortando únicamente las panículas, aportando al suelo los residuos de cosecha lo que proporciona una cobertura muerta al suelo. Se sembraron colinos

de café de seis meses de edad, con el siguiente plan de fertilización: 150, 200, 250 y 300 kg./ha de urea a los treinta días, cinco, nueve y trece meses respectivamente después del trasplante. De los 18 meses en adelante, cada seis meses se le aplicaron 700 kg/ha del fertilizante grado 17-6-18-2.

## **Resultados y Discusión**

### **Producción de Arroz de Secano (Cuadro 1)**

Los resultados muestran que la línea CT-10069-27-3-1-4 (CIRAD 445) de arroz de secano está adaptada a las condiciones de laderas. Se corrobora que si es posible seleccionar para las condiciones de frío de altitud media, por lo menos hasta 1400m, líneas desarrolladas para las condiciones de sabanas.

**La Catalina: 1310 m de Altitud.** El análisis de varianza, no mostró efecto del café sobre la producción del arroz en ninguna de las dos siembras y tampoco entre las densidades de arroz. El rápido y buen desarrollo de las plantas de arroz, les permitió competir con las del café, hasta cubrirlas totalmente. Una densidad de 60 kg/ha de semilla de arroz es suficiente para lograr buenas producciones. Estos resultados, indican la factibilidad agronómica del sistema arroz intercalado con café, al poder sembrar dos ciclos seguidos de arroz con una producción acumulada de aproximadamente ocho (8) ton/ha. De otra parte, al hacerse manual la cosecha del arroz, cortando sólo las panículas, el aporte de residuos de cosecha al suelo retarda la aparición de las arvenses y evita la erosión de los suelos de ladera.

**Naranjal: 1425 m de Altitud.** En cada uno de los arreglos espaciales de la siembra del café, la producción del arroz no fue afectada por sus diferentes densidades de siembra. Sin embargo, los diferentes arreglos espaciales de siembra del café afectaron en ambos ciclos la producción del arroz, de tal manera que las mejores producciones en el primer año 1996 (4250 kg./ha) se dieron en el arreglo 1.42x1.42m y en el año 1997 (5712 kg./ha) ocurrió con el de 1.00x1.00m. Se observa también que, independientemente del arreglo del café, la densidad de siembra y el número de surcos del arroz, la producción de éste fue más elevada en el segundo ciclo de cultivo que en el primer ciclo, con un incremento del 26%. Esto es posiblemente debido al aprovechamiento de los residuos de fertilización de la primera siembra. En consecuencia, al intercalar arroz con siembras nuevas de café son suficiente 60 kg/ha de semilla y el número de surcos de arroz no debe ser mayor de tres en los arreglos espaciales al cuadro del café para una optimización de la producción de arroz en el segundo cultivo.

**Cuadro 1. Producción de Arroz de Secano Intercalado con Siembras Nuevas de Café. La Catalina y Naranjal**

Café	Arroz de secano		Producción de Arroz Cáscara (kg./ha)					
			La Catalina			Naranjal		
10.000 plantas/ha	Densidad (kg./ha)	No. Surcos	Ciclo 1996	Ciclo 1997	Promedio	Ciclo 1996	Ciclo 1997	Promedio
1.00x1.00m (Una planta)	60	3	4275	3866	4070	3338	5931	4634
	80	3	4541	4100	4320	3256	5469	4362
	100	3	4728	4293	4510	3342	5736	4539
1.42x1.42m (Dos plantas)	60	4	4184	3768	3976	4158	4140	4149
	80	4	4285	3855	4070	4201	4769	4485
	100	4	4216	3796	4006	4389	4626	4507
2.00x1.00m (Dos plantas)	60	6	4542	4102	4322	3659	4283	3971
	80	6	3764	3354	3559	3562	4386	3974
	100	6	3694	3269	3481	3934	4549	4241
<b>Media general</b>			<b>4248</b>	<b>3822</b>	<b>4035</b>	<b>3760</b>	<b>4876</b>	<b>4318</b>

### Producción de Café (Cuadro 2)

La literatura indica que en Colombia, la producción del café en monocultivo no se afecta por el arreglo espacial ni por el número de plantas por sitio cuando se siembran 10.000 plantas/ha (Mestre y Salazar, 1995). En ambos sitios del experimento del cultivo intercalado con arroz de secano, la respuesta de la producción de café varió según su arreglo espacial.

**La Catalina.** En este experimento, la mayor producción (promedio de tres cosechas de 7566 kg/ha de café pergamino) ocurrió en el arreglo 1.00x1.00 m y una planta por sitio. La reducción, del 30 al 25%, de la producción del café por la asociación con el arroz en los arreglos espaciales más amplios, se explica porque al haber más surcos de arroz entre las calles del café, el arroz tuvo mayor competencia con las plantas de café, y llegó a cubrir totalmente las plantas de café, disminuyendo la disponibilidad de luz. Esto se puede manejar en favor del café, reduciendo el número de surcos de arroz, ya que anteriormente se mostró que no hubo diferencias de producción de arroz por densidad de siembra ni por el número de surcos. Una marcada diferencia se observó entre las producciones de café de 1998 frente a las de 1997 y 1999. Esto se debe a la bienalidad del café existiendo alternancia de una cosecha baja con una alta o viceversa.

**Naranjal.** Al igual de lo que sucedió en La Catalina, los mejores rendimientos (promedio de dos cosechas de 8253 kg/ha de café pergamino) se dieron en ambos ciclos de cosecha del café, en el arreglo 1.00x1.00 m y una planta/sitio. La reducción de la producción del café por la asociación con el arroz en los arreglos espaciales más amplias, se explica de la misma manera que anteriormente. De igual forma, la marcada diferencia que se observa entre las producciones de café de 1999 y 2000, se debe a la bienalidad del café.

**Cuadro 2. Producción de Arroz de Secano Intercalado con Siembras Nuevas de Café. La Catalina y Naranjal**

Café	Arroz de Secano		Producción de Café Pergamino Seco ( kg/ha)						
			La Catalina				Naranjal		
10.000 plantas por ha	Densidad (kg/ha)	No. de surcos	Ciclo 1997	Ciclo 1998	Ciclo 1999	Promedio	Ciclo 1999	Ciclo 2000	Promedio
1.00x1.00m (Una planta)	60	3	4940	11231	5668	7280	10031	7823	8927
	80	3	5953	10217	6650	7606	9994	5790	7892
	100	3	5981	10686	6770	7812	9271	6608	7940
1.42x1.42m (Dos plantas)	60	4	1681	3497	1210	2129	5762	4099	4930
	80	4	1506	4198	1333	2346	5396	3483	4439
	100	4	1932	4154	1177	2421	5220	3287	4253
2.00x1.00m (Dos plantas)	60	6	1461	3277	1249	1996	4752	2960	3856
	80	6	1303	3076	1153	1844	6770	3274	5022
	100	6	1401	3228	1082	1904	5863	3239	4551
<b>Media general</b>			<b>2906</b>	<b>5952</b>	<b>2921</b>	<b>3926</b>	<b>7266</b>	<b>4879</b>	<b>6072</b>

### Conclusión

El arroz de secano se introdujo en 1993 como posible cultivo alimenticio por primera vez en la zona cafetera en el año 1993. Nunca anteriormente se había sembrado en las condiciones de altitud en la zona andina de Colombia. Se experimentaron diferentes líneas de arroz de secano desarrolladas en Colombia por el proyecto CIAT/CIRAD para las condiciones de sabanas de los Llanos Orientales y se identificó la línea CT-10069-27-3-1-4 (CIRAD 445) como la de mejor potencial agronómico, por su productividad y tolerancia al frío.

Los resultados más significativos del estudio indican que la producción media de arroz se sitúa entre 3760 y 4736 kg/ha de arroz cáscara, dependiendo del año y del sitio de evaluación. Las producciones más altas se pueden alcanzar con una densidad de 60 kg/ha de semilla, distribuida en 3 surcos. La mejor producción de café con un promedio de 8253 y 7566 kg/ha de café pergamino seco por cosecha en Naranjal y en La Catalina respectivamente, se alcanzó con un arreglo espacial de 1x1m con una planta por sitio. Con estos resultados, se corrobora que en los sistemas de cultivos intercalados, el arreglo espacial de las especies es importante para lograr los mejores beneficios biológicos, agronómicos y económicos. Así, se puede reducir la competencia de los cultivos a niveles bajos.

El cultivo intercalado del arroz de secano en siembras nuevas de café, permite una excelente producción de este cereal, sin afectar la producción subsecuente del café. Por lo tanto permite el auto abastecimiento y posible venta de excedentes de producción, generando ingresos adicionales a los productores de café. Además, al intercalar un cultivo semestral en las calles del café en su etapa de establecimiento, se permite un mejor uso de la tierra y una producción sostenible del café.

## **Actividades Futuras**

- Llevar al conocimiento de la comunidad cafetera los resultados alcanzados. Se establecieron contactos con el Dr. José María Astaiza, Director Ejecutivo del Comité de Cafeteros del Cauca, quien estuvo de acuerdo con socializar los resultados que ya se tienen con el personal del Comité, en agosto 2002.
- Lanzar oficialmente la línea de arroz CT-10069-27-3-1-4 (CIRAD 445)

## **Bibliografía**

1. Mestre M., A.; Salazar., J. N. Producción de cafetales establecidos con una y dos plantas por sitio. *Avances Técnicos CENICAFÉ (Colombia)* No. 213:1-2. 1995.
2. Moreno B., A. M.; Guimarães, E. P.; Châtel, M.; Borrero, J. Evaluación de la producción y adaptación de materiales de arroz en la zona cafetera. *CENICAFÉ (Colombia)* 47(3):167-171. 1996.
3. N'Goran, K.; Snoeck, J. Cultures vivrières associées au Caféier en Côte d'Ivoire. *Café, Cacao, The (Francia)* 31(2):121-134. 1987.



### 3.5. Capacitación e Información

#### 3.5.1. Entrenamiento a Profesionales

##### Tesis

1. Silvio James Carabalí. Tesis de Maestría: “Efecto de dos ciclos de selección recurrente sobre la calidad de grano de dos poblaciones desarrolladas para condiciones de riego” Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Febrero 2000-Diciembre 2002. Presidente de Tesis Dr. César Martínez.
2. Carolina Castaño Rodríguez. Tesis de Pregrado: Identificación de QTLs para rendimiento y sus componentes en una población de DHs derivada del cruce Caiapo/*O. glaberrima*. Mayo 2001 a Abril 2002. Presidente de Tesis Dr. César Martínez.
3. Johanna Echeverry Rico. Tesis de Pregrado: Caracterización de germoplasma de arroz y poblaciones derivadas de cruces interespecíficos a la resistencia al virus de la necrosis rayada (RSNV). Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Abril 2001- Octubre 2002. Presidente de Tesis Dr. Fernando Correa.
4. Fabio Escobar Rioja. Tesis de Maestría: Caracterización de la estructura genética del patógeno del arroz *Rhizoctonia solani*. Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Enero 1999-Diciembre 2002. Presidente de Tesis Dr. Fernando Correa.
5. Andrea María Garavito E. Tesis de Maestría: Evaluación del mecanismo de resistencia viral de una planta transgénica de arroz. Universidad de los Andes de Bogotá. Julio 2001-Diciembre 2002. Presidente de Tesis Dr. Lee Calvert.
6. Yolima Ospina. Tesis de Maestría: Respuesta a la selección y a ciclos de recombinación en la población de arroz (*Oryza sativa* L.) de secano PCT-4. Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Cali, Colombia, 2002. Presidente de Tesis Dr. Marc Châtel.
7. Gustavo Adolfo Prado Patiño. Tesis de Maestría: Estudio de la herencia de la resistencia de las líneas isogénicas (C101 LAC y C101 A51) y uso de marcadores moleculares asociados a la resistencia. Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Enero 2001-Diciembre 2002. Presidente de Tesis Dr. Fernando Correa.
8. Mónica Triana. Tesis de Maestría: “Caracterización de los mecanismos de resistencia a Tagosodes en algunas variedades de arroz”. Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Febrero 2001-Julio 2003. Presidente de Tesis Dr. César Martínez.
9. Sandra Patricia Valdéz Gutiérrez. Tesis de Pregrado: Caracterización de germoplasma de arroz y poblaciones derivadas de cruces interespecíficos a la resistencia al virus de la necrosis rayada (RSNV). Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Abril 2001-Octubre 2002. Presidente de Tesis Dr. Fernando Correa.
10. José Alejandro Vargas (FEDEARROZ). Tesis de Maestría: “Comparación de dos esquemas de selección de plantas de arroz para alto rendimiento en generaciones tempranas en el sistema de arroz riego en Colombia”. Universidad Nacional Seccional Palmira. Febrero 2001-Febrero 2003. Presidente de Tesis Dr. César Martínez
11. Johanna Patricia Villamizar Ruíz. Tesis de Pregrado: Identificación de cambios genéticos en el hongo *Pyricularia grisea* Sacc. Asociados a la pérdida de resistencia en líneas/variedades de arroz *Oryza sativa*. Universidad Nacional de Colombia Seccional Palmira. Mayo 2001-Octubre 2002. Presidente de Tesis Dr. Fernando Correa.

### 3.5.2. Publicaciones

#### Publicaciones Referenciadas

1. J.L. Fuentes, F.J. Correa-Victoria, F. Escobar, L. Mora, M.C. Duque, J.E. Deus, y M.T. Cornide. Análisis de la Diversidad Genética de Poblaciones del Patógeno del Añublo del Arroz en dos Localidades en Cuba. Revista: Biotecnología Aplicada. Aceptado para publicación en Octubre 22 de 2002.
2. Nguyen, VT, Bay D. Nguyen, Surapong Sarkerung, Cesar Martinez, Andrew H Paterson, Henry T Nguyen. Mapping genes controlling Al tolerance in rice: Comparing different genetic backgrounds. 2002. Molecular Genetics and Genomics. Published on line June 07/02.
3. Thomson M.J., Tai T.H., McClung A.C., Hinga M.H., Lobos K.B., Xu Y., Martínez C., McCouch S.R. 2002. Mapping quantitative trait loci for yield components, and morphological traits in an advanced backcross population between *Oryza rufipogon* and the *Oryza sativa* Jefferson. Submitted to Theoretical and Applied Genetics.

#### Capítulos en Libros

1. Châtel, M. 2001. Rice Improvement Using Conventional Breeding and Gene Pools and Populations with Recessive Male-Sterile Genes. Annual Report CIRAD/CIAT. CIRAD/CIAT Document. October 2001.

#### Otras Publicaciones

1. Hernaiz, L. S.; Alvarado, A. R.; Châtel, M.; Borrero, J. (2001). Creación de la población PQUI-1 desarrollada con tolerancia al frío mediante selección recurrente en arroz. Agricultura técnica (Chile) 60:195-199.
2. Hernaiz, L. S.; Alvarado, A. R.; Châtel, M.; Ospina, R. Y. (A ser publicado a finales del 2002). Creación de la población PQUI-2 desarrollada con tolerancia al frío para selección recurrente en arroz. Agricultura técnica (Chile).
3. Marassi, M. A.; Marassi, J. E.; Châtel, M.; Borrero, J. Avances en el desarrollo de poblaciones de arroz en Argentina. Published May 2002 in the electronic review: e-campo.com. <http://www.e-campo.com>.
4. Châtel, M.; Ospina, Y. Mejoramiento genético avanzado de arroz. Mejoramiento poblacional con androesterilidad genética recesiva. INIA Quilamapu-Chile, Marzo 8, 2002.
5. Châtel, M. Los Recursos Genéticos de Arroz del CIRAD. Mejoramiento convencional. Impacto en América Latina. II Taller internacional de arroz de secano. CIAT Santa Cruz, Marzo 4-9, 2002.
6. Moreno B., A. M.; Châtel, M. El Arroz de Secano, una Nueva Opción para la Diversificación de la Agricultura en la Región Cafetera de Colombia. II Taller internacional de arroz de secano. CIAT Santa Cruz, Marzo 4-9, 2002.
7. Ospina, Y.; Châtel, M.; Rodríguez, F.; Lozano, V.H. El Mejoramiento Poblacional del Arroz de Secano para las Sabanas Colombianas. II Taller internacional de arroz de secano. CIAT Santa Cruz, Marzo 4-9, 2002.

8. Fernando Correa-Victoria, Didier Tarreau, Cesar Martinez, Fabio Escobar, Gustavo Prado, Girena Aricapa. 2002. Studies on the rice blast pathogen, resistance genes, and implications for breeding for durable blast resistance in Colombia. Abstracts.3rd International Rice Blast Conference. 11-14 Septiembre 2002. Tsukuba, Japan p64.
9. C.P.Martinez, P.Moncada, J.Lopez, A.Almeida, G.Gallego, J.Borrero, MCDuque, F.Correa, C.Bruzzone and J.Tohme. 2002. Utilization of new alleles from wild rice species to improve cultivated rice in Latin America. Abstracts International Rice Conference.16-20 September 2002,Beijing, China. p271.
10. M.J, Thomson, E.M. Septiningsih, K.R. Trijatmiko, J.Alcala, C.Martinez, A.McClung, S. Moelpojawiro, and S.R.McCouch.2002. Targeting functional nucleotide polymorphisms (FNPs) underlying QTL introgressed from *O.rufipogon*. Abstracts International Rice Conference 16-20 September 2002,Beijing, China. p71.
11. Châtel, M.; Ospina, Y.; Rodriguez, F.; Guimarães, E.P.; and LAC Cooperators. Los Recursos Genéticos para el Mejoramiento Poblacional del Arroz. Proyecto Colaborativo CIRAD/CIAT/LAC NARS. II Encuentro Internacional de arroz. La Habana-Cuba, July 10-12, 2002.
12. Guimarães, E.; Châtel, M. Enhancing Genetic Diversity in Rice Production in Latin America through Population Improvement. International Rice Commission (IRC) Meeting held in Bangkok, Thailand, July 23-25, 2002.
13. Châtel, M.; Mendez del Villar P.; Ferreira, C.M.; de Raissac, M. Perspectivas del sector arrocero en América Latina. Primero Congreso da Cadiea Produtiva de Arroz. VII Reunião de Pesquisa de Arroz-RENAPA. Florianópolis-Brazil. August 20-23, 2002.
14. F. Correa-Victoria, D. Tharreau, C. Martinez, M. Vales, F. Escobar, G. Prado, and G. Aricapa. Identification of gene combinations for developing durable rice blast resistance in Colombia. International Rice Congress. 16-20 September 2002, Beijing, china.
15. F. Correa-Victoria, D. Tharreau, C. Martinez, F. Escobar, G. Prado, and G. Aricapa. Studies on the rice blast pathogen, resistance genes, and implications for breeding for durable blast resistance in Colombia. 3rd. International Rice Blast Conference. 11-14 September, 2002. Tsukuba, Japan.
16. Fernando Correa. Identificación de combinaciones de genes en arroz para el desarrollo de resistencia durable a *Pyricularia grisea*. 2do. Encuentro Internacional de Arroz. 10-12 de julio de 2002, La Habana, cuba.
17. C.P.Martinez, P.Moncada, J.Lopez, A.Almeida, G.Gallego, J.Borrero, M.C.Duque, F. Correa, C.Bruzzone, J.Tohme, and Z.Lentini. 2002. Gene Technology: Expanding Genetic Diversity and Adding Value to rice. Invited Key Note Speaker. RicEU Conference. Torino, Italy, June 6-8, 2002.
18. Hurtado M. Elizabeth. Recopilación Bibliográfica Investigadores del Proyecto de Arroz del CIAT, 1971-2002. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Co. 336p.
19. Calvert, L.A., Reyes, L., Meneses, R., Cruz, M, and Triana, M. Desarrollo de resistencia varietal al Virus de la Hoja Blanca de arroz en Colombia. Presentation for Socolem July 2002 Short Article

### **3.5.3. IP-4 Sitio Web – María Nelly Medina**

A inicios de Mayo de 2002 CIAT lanzó un nuevo formato para su Sitio Web. Este formato es más amigable y contiene más información útil para nuestros socios que la versión anterior. El Sitio Web del Proyecto Arroz está tanto en inglés como en español para suplir las necesidades de la mayoría de nuestros visitantes. Hemos incluido afiches, panfletos y manuales sobre temas de investigación que muestran el trabajo estratégico y proporcionan mejor acceso a esta información. Se ha hecho también un esfuerzo por mantener actualizado este sitio con información relevante sobre contactos, publicaciones, actividades de investigación en CIAT como también sobre eventos del sector arrocero. Esperamos que encuentre útil el sitio Web del proyecto de arroz.

<http://www.ciat.cgiar.org/riceweb/index1.htm>

<http://www.ciat.cgiar.org/riceweb/esp/inicio.htm>

### **3.5.4. Participación en Talleres y Congresos**

1. Reunión interna del Proyecto Arroz. CIAT. Noviembre 5-6, 2002. Presentaciones de trabajos realizados durante el año. Participantes: 40.
2. Curso de Manejo Integrado y Producción de Arroz. Convenio CIAT/MADR, Villavicencio, Colombia. Noviembre 12-14, 2002. Participantes: 50.
3. Visita a los trabajos colaborativos que se realizan con FEDEARROZ en Montería, Saldaña y Meta.

**Meta 4**  
**Gramíneas y Leguminosas**  
**Tropicales**

## Logros sobresalientes de la Investigación

### Progreso significativo en el Programa de Mejoramiento de *Brachiaria*

**Limitantes bióticos.** Durante años se suponía que la resistencia a una especie de salivazo generalmente se aplicaba a otras especies. Se mostró en los informes anteriores que éste no es el caso, y que la resistencia puede ser específica a la especie. Con base en los resultados obtenidos en los años anteriores, en 2002 se desarrolló una estrategia exitosa para la clasificación simultánea, pero independiente, de grandes conjuntos de genotipos (~1000) para resistencia a tres especies claves colombianas de salivazo (*Aeneolamia varia*, *Aeneolamia reducta* y *Zulia carbonaria*). Se propagaron tres plantas de varios clones de *Brachiaria* que fueron infestadas simultáneamente, cada una con una de las tres especies de salivazo. Por tanto, se hizo una evaluación independiente de resistencia a cada una de las especies de salivazo. La resistencia se evaluó con base en las calificaciones de daño y supervivencia ninfal, determinadas para los clones con calificación de daño media baja. Aproximadamente el 90% de los genotipos se eliminaron con base en esta clasificación preliminar sin repeticiones; el 10% se están probando de nuevo en trabajos con repeticiones para confirmar la resistencia. De nuevo, cada clon es evaluado independiente y simultáneamente para resistencia a *A. varia*, *A. reducta* y *Z. carbonaria*. En la población sexual 2001, 32 híbridos mostraron calificaciones de daño que no difirieron de aquéllos registrados con el control resistente normal (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu). Algunos de los híbridos seleccionados mostraron niveles de antibiosis (supervivencia reducida de ninfas) a *A. varia*, *A. reducta* y *Z. carbonaria* que eran significativamente mejores que en cv. Marandu. Esta es la primera vez que se tiene información de genotipos de *Brachiaria* que combinan un nivel alto de resistencia antibiótica a tres especies diferentes de salivazo.

**Limitantes abióticos.** Este año, como parte del proyecto central co-patrocinado por BMZ/GTZ, Alemania, se continuó en el esfuerzo de separar los componentes fisiológicos y genéticos de resistencia a aluminio (Al) en *Brachiaria*. La investigación anterior había indicado que *B. decumbens* podría excluir iones fitotóxicos de Al de los de ápices de la raíz usando un mecanismo para la destoxicación externa por los ácidos orgánicos. Se encontró evidencia, por primera vez, que la densidad de carga superficial de los ápices radiculares de *B. decumbens* resistente al aluminio actúa como un mecanismo genérico para evitar la absorción de aluminio fitotóxico y otros tóxicos catiónicos. Los esfuerzos en la caracterización fenotípica de la población de *B. ruziziensis* x *B. decumbens* resultó en la identificación de algunos híbridos superiores a *B. decumbens* en la producción de raíces finas, en la presencia de un nivel tóxico de aluminio en la solución nutritiva. Este trabajo también indicó que cultivar estolones enraizados en el tratamiento de Al y seleccionar genotipos con raíces largas y delgadas podría ser una forma efectiva para descartar segregantes no-adaptados por el programa de mejoramiento de *Brachiaria*. Usando el procedimiento de selección para evaluar la resistencia a Al, se identificaron dos híbridos sexuales (SX 01NO3178 y SX01NO7249) y un híbrido apomítico (BR99NO/4132) con un nivel mayor de resistencia a Al que el del padre sexual, BRUZ/44-02. Estos híbridos sexuales se están usando en el programa de mejoramiento para generar híbridos superiores que combinen varios atributos deseables. La evaluación de campo por más de 3 años en los Llanos Orientales de Colombia, en épocas secas y de lluvias, de la mayoría de los híbridos promisorios de *Brachiaria* y de accesiones, indicó que, el híbrido de *Brachiaria* FM9503-S046-024 se adapta bien a las condiciones de suelo ácido en épocas secas y su desempeño superior se relaciona con su habilidad de absorber grandes cantidades de nutrientes, particularmente Ca y Mg de suelos de baja fertilidad.

## **Nuevas alternativas de gramíneas y leguminosas se liberaron para los Llanos de Colombia**

CIAT y CORPOICA, con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura de Colombia, han estado evaluando en los últimos cinco años varias opciones de gramíneas y leguminosas para las sabanas bien drenadas (suelos ácidos con fertilidad muy baja) y para la región del Piedemonte (suelos ácidos con un nivel moderado de fertilidad). Algunas tecnologías de forrajes que se evaluaron son: (1) gramíneas mejoradas por su alta capacidad de carga animal y tolerancia a la sequía; (2) leguminosas herbáceas de uso múltiple para la recuperación de pasturas degradadas, cultivos de cobertura en plantaciones y abono verde en los sistemas de cultivo-ganadería; y (3) leguminosas arbustivas para los sistemas de corte y acarreo en las fincas de lechería. La estrategia seguida ha sido evaluar las diferentes tecnologías forrajeras en estación experimental y en finca. Un resultado muy importante del trabajo colaborativo entre CIAT y CORPOICA en el Llanos Orientales fue la liberación en 2002: de una gramínea (*Brachiaria brizantha* cv Toledo) para los sistemas de engorde en el Piedemonte; una leguminosa herbácea (*Desmodium heterocarpon* subsp *ovalifolium* cv Maquenque) para la recuperación de pasturas degradadas en las sabanas bien drenadas y como cultivo de cobertura en las plantaciones; y una leguminosa arbustiva (*Cratylia argentea* cv Veranera) para corte y acarreo o ensilaje en lecherías en el Piedemonte. Se produjeron boletines técnicos y se distribuyeron entre los investigadores, capacitadores y agricultores interesados. Además, la semilla básica se entregó a CORPOICA para establecer parcelas comerciales y de multiplicación.

## **Resultado 4.1: Desarrollo de genotipos de gramíneas y leguminosas con altos atributos forrajeros**

### **Aspectos sobresalientes**

- La variabilidad de la DIVMS en híbridos de *Brachiaria* parece ser menor que lo previsto, no obstante, con el uso de la técnica de Espectroscopia Cercana al Infrarrojo o NIRS es posible detectar pequeñas diferencias en DIVMS entre genotipos.
- Se confirmó que existe una correlación alta en la actividad de saponinas entre muestras sucesivas de *Brachiaria* y que existe variabilidad entre los híbridos producidos en el programa de mejoramiento.

### **Selección de genotipos de *Brachiaria* por alta digestibilidad y otros atributos de calidad**

**Evaluación de híbridos de *Brachiaria* según su digestibilidad** P. Avila, J.W. Miles y C. Lascano (CIAT)

#### **Justificación**

En el programa de mejoramiento de *Brachiaria*, actualmente en progreso, el objetivo principal ha sido generar resistencia a salivazo y una mejor adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad. En relación con los atributos de calidad, por ej., DIVMS y proteína cruda, los esfuerzos se han orientado hacia el mantenimiento de la calidad de las líneas de mejoradas de *Brachiaria* por lo menos igual a la de *B. decumbens* cv. Basilisk, el cultivar más ampliamente sembrado en América tropical.

Esta estrategia se justifica porque con el actual sistema in vitro no es posible manejar la cantidad de genotipos (más de 3000) generados anualmente por el programa de mejoramiento. Sin embargo, con el uso de NIRS es ahora posible analizar muchas muestras en el Laboratorio de Calidad de Forrajes, obteniendo buenas curvas de calibración.

En 1999 se desarrolló una ecuación basada en NIRS, encontrándose que los parámetros resultantes de su aplicación tenían alta precisión, según lo indicaba el bajo error estándar (0.98) de calibración. Además, las estimaciones de DIVMS de algunas muestras usando NIRS tuvieron una correlación alta ( $r = 0.89$ ) con los valores de DIVMS obtenidos con el procedimiento in vitro de dos fases (Tilley y Terry). Al finalizar 2000 se probó la curva de calibración NIRS con hojas de 176 híbridos de *Brachiaria* que forman parte de una población (*B. ruziziensis* tetraploide x *B. brizantha* cv. Marandu) usada para desarrollar marcadores moleculares para digestibilidad. Los resultados mostraron una correlación alta ( $r = 0.84$ ) entre los valores de DIVMS observados y los estimados usando NIRS.

En 2001 se determinó el efecto de la edad rebrote de la planta en la precisión de la ecuación de NIRS para estimar DIVMS en *Brachiaria*. Los valores de DIVMS variaron entre 68% y 80% para muestras con 51 días de rebrote y entre 71% y 83% en las muestras con 71 días, lo que indica el poco efecto de la madurez en DIVMS de *Brachiaria*. En estos trabajos se encontraron altas correlaciones (entre  $r = 0.73$  y  $0.80$ ) entre los valores de DIVMS en laboratorio y los valores predichos con NIRS en los dos conjuntos de muestras. Estos resultados además confirmaron que la ecuación de NIRS desarrollada para seleccionar híbridos de *Brachiaria* por DIVMS es adecuada ya que resulta en una alta correlación con los valores de DIVMS medidos en laboratorio y los valores previstos tiene relativamente un bajo error estándar.

También se detectó una correlación muy baja entre valores de DIVMS obtenidos en muestras de una misma población de *Brachiaria* en diferentes épocas. Así, los resultados en tres muestreos sucesivos de la misma población, mostraron mayores correlaciones que las muestras previas, pero seguían siendo bajas (entre  $r = 0.4$  y  $0.5$ ,  $P < 0.05$ ). Esto sugirió la necesidad de tomar muestras de plantas reproducidas a



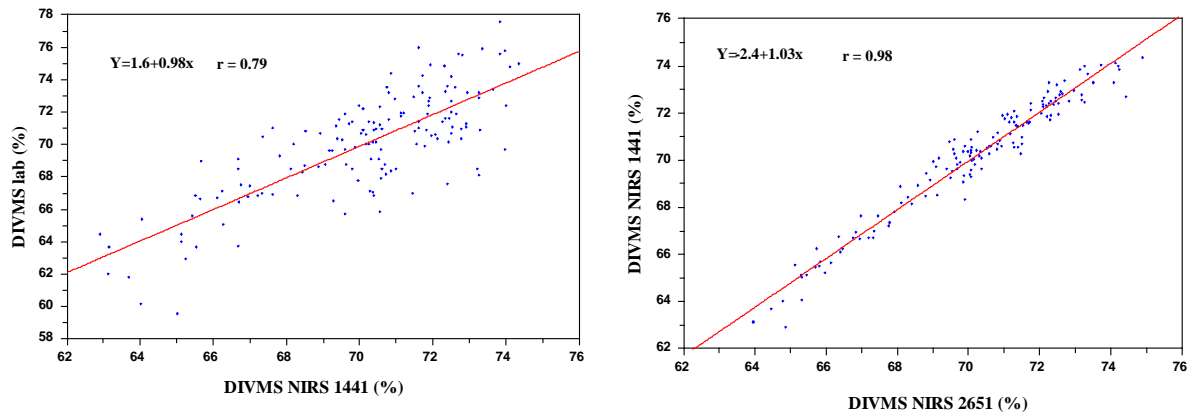
partir de la población de *Brachiaria* usada para desarrollar marcadores moleculares para calidad y otras características.

### Materiales y métodos

Se tomaron muestras de hojas de 50 híbridos de *Brachiaria* plantados en tres repeticiones en potes. Todas las muestras fueron secadas en horno a 50 °C y después de molidas en tamiz de 1 mm se analizó su DIVMS usando NIRS y el método in vitro de dos fases. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) tomando las repeticiones y los genotipos como fuentes de variación. También se hizo un análisis de correlación entre los valores de DIVMS obtenidos con dos ecuaciones de calibración usadas en NIRS y los valores de DIVMS obtenidos en el laboratorio.

### Resultados y discusión

Los resultados indicaron, como se esperaba, que la DIVMS medida en el laboratorio tenía una correlación alta ( $r = 0.79$ ,  $P < 0.001$ ) con la DIVMS estimada con NIRS (Figura 1, izquierda). Además, mostraron una correlación alta ( $r = 0.98$ ,  $P < 0.0001$ ) entre los valores de la DIVMS calculados con las dos ecuaciones de NIRS desarrolladas en el Laboratorio de Calidad de Forrajes del CIAT (Figura 1, derecha).



**Figura 1.** Relación entre valores de DIVMS obtenidos en el laboratorio y los valores de DIVMS obtenidos con NIRS (izquierda) y entre los valores de DIVMS obtenidos con NIRS usando dos ecuaciones de calibración (derecha).

El ANOVA realizado con los datos de DIVMS estimados con NIRS mostró que el efecto de las repeticiones no fue significativo ( $P > 0.39$ ), pero que las diferencias debidas al genotipo sí lo fueron ( $P < 0.05$ ). Los valores de la DIVMS de los 50 genotipos de *Brachiaria* evaluados variaron desde 65.6% hasta 73.3%, los cuales son menores que los esperados de acuerdo con los resultados de estudios anteriores. También fue interesante observar que las diferencias en la DIVMS entre dos progenitores [(*B. brizantha* cv. Marandu (70.4%) y *B. ruziziensis* (69.0%)] utilizados en el programa de mejoramiento no fueron significativas. Estos resultados indican que las diferencias en DIVMS entre los híbridos de *Brachiaria* pueden ser menores que lo esperado, pero que con la técnica del NIRS se pueden detectar diferencias aun pequeñas en DIVMS entre los genotipos de *Brachiaria*.

La selección para mejorar la calidad de los forrajes se justifica si la varianza genética para las características de calidad es mayor que la varianza resultante a partir de la interacción del genotipo con el ambiente (G x A). Los trabajos previos en el CIAT con accesiones de *B. brizantha* y *B. decumbens* habían mostrado que la varianza en la DIVMS causada por el genotipo era cuatro veces mayor que la ocasionada por la interacción G x A.

De estos resultados se puede concluir que se justifica la selección de híbridos de *Brachiaria* por su DIVMS usando la técnica del NIRS, aunque la variabilidad de la digestibilidad parece ser menor que la esperado. Una de las ventajas del híbrido *Brachiaria* cv. Mulato es su alta producción y contenido de proteína cruda (PC) en relación con los cultivares comerciales, por tanto, los híbridos se deben evaluar también para PC. La evaluación para DIVMS y PC en el programa de mejoramiento de *Brachiaria* se llevará a cabo una vez se defina un protocolo de muestreo en el campo.

### **Selección de accesiones seleccionadas e híbridos de *Brachiaria* por su contenido de saponinas**

P. Avila, C. Lascano, J.W. Miles y G. Ramírez (CIAT)

#### **Justificación**

Tomando como base la hipótesis de que las saponinas son las responsables de la fotosensibilización ocasionada por en *B. decumbens*, el año inmediatamente anterior se determinó la presencia o ausencia de estos compuestos en accesiones e híbridos de *Brachiaria*. Los resultados (ver Inf. Anual 2000 y 2001) mostraron las diferencias en la actividad de las saponinas entre las accesiones de *Brachiaria* incluidas en el ensayo. La actividad estos compuestos fue muy alta en el cultivar comercial (cv.) *B. decumbens* CIAT 606, siendo tan alta como la encontrada en el control positivo. En contraste, en *B. humidicola* y *B. brizantha* cv. Marandu, que son la fuente de resistencia a salvazo en el programa de mejoramiento, dicha actividad fue baja. Los resultados del 2001 también mostraron que la actividad de las saponinas en los nuevos híbridos de *Brachiaria* era más variable que la encontrada en 2000. De los 10 nuevos híbridos incluidos en la prueba, siete tuvieron muy baja actividad saponina y similar a la registrada en uno de los progenitores (*B. brizantha* CIAT 6789) usado en el cruce.

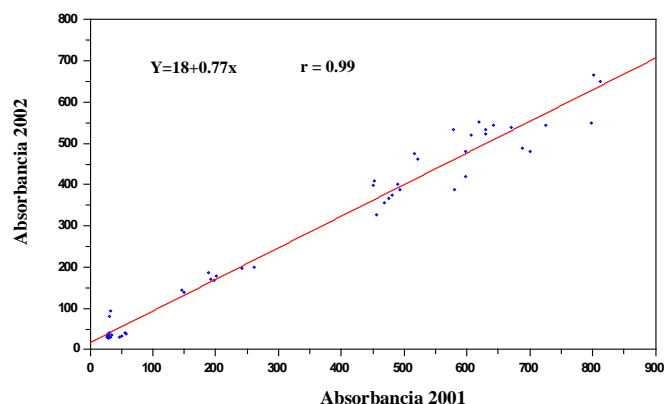
En 2002 el interés fue determinar la actividad de las saponinas en híbridos de *Brachiaria* escogidos al azar de una población de *B. brizantha* cv. Marandu (apomíctica) x *B. ruziziensis* (sexual) usada para desarrollar marcadores moleculares en trabajos con salvazo, apomixis y digestibilidad.

#### **Materiales y métodos**

Con el fin de determinar el nivel de saponinas se muestreó una población híbrida F<sub>1</sub> (hermanos) (> 230), biparental (tetraploide, *B. ruziziensis* sexual-x-*B. brizantha* CIAT 6294 cv. Marandu]. El procedimiento de laboratorio para estimar la actividad de las saponinas en las muestras del forraje se basa en la hemólisis de las células rojas de la sangre obtenidas de conejos, con una solución extractora (80% de metanol acuoso) a partir de muestras libres de grasa (0.1 g) de los forrajes en evaluación. En el Laboratorio de Calidad de Forrajes se utilizó una dilución 1:20 para determinar la absorbancia en un espectrofotómetro. Como controles negativos (niveles bajos de saponinas) se usaron hojas de trigo, y como controles positivos (niveles altos) hojas del árbol *Entorolubium ciclocarpum* (Orejero).

#### **Resultados y discusión**

Se encontró una alta correlación significativa ( $r = 0.96$ ,  $P < 0.001$ ) entre los valores de la absorbancia registrados en 2000 y 2001, y entre los valores registrados en 2001 y 2002 ( $r = 0.98$ ,  $P < 0.0001$ ) (Figura 2). Sin embargo, los resultados en el Cuadro 1 indican que los valores de absorbancia registrados en las mismas accesiones e híbridos de *Brachiaria* cosechados en 2001 y 2002 eran similares en magnitud en algunos grupos, pero no en otros. Parecería, de los resultados de 3 años consecutivos, que dos de los progenitores (*B. decumbens* CIAT 606 y *B. brizantha* CIAT 6780) usados en el programa de mejoramiento de *Brachiaria* tienen niveles muy contrastantes de saponinas, lo que se refleja en la variabilidad de la actividad de las saponinas medida en los híbridos incluidos en la prueba. La concentración alta de saponinas en *B. decumbens* es consistente con las observaciones de fotosensibilización en ganado y ovejas alimentadas con esta gramíneas.



**Figura 2.** Relación entre valores de absorbancia en dos años consecutivos relacionados con la actividad de las saponinas en diferentes genotipos de *Brachiaria*.

**Cuadro 1.** Actividad de las saponinas en accesiones e híbridos de *Brachiaria* en muestras cosechadas en dos años consecutivos.

Clasificación	Muestra de forraje	Absorbancia (2001)	Absorbancia (2002)	Significancia
Muy alta	<i>E. cyclocarpum</i> (Control)	762	548	*
	<i>B. decumbens</i> CIAT 606	695	485	**
Alta	Híbridos:			
	1084-3	631	548	*
	1084-10	808	658	**
	<i>B. ruziziensis</i> CIAT 26164	630	528	**
	Híbridos:			
Intermedia	1092-5	624	537	NS
	1092-15	520	469	*
	1094-15	602	501	*
	Híbridos			
	1092-14	451	404	**
Baja	1092-2	491	395	**
	1092-3	589	405	**
	1092-11	462	342	*
	1094-19	478	371	**
	Híbridos			
Muy baja	1092-1	251	200	*
	1092-4	195	183	NS
	1092-13	196	170	*
	1083-7	149	142	NS
	Paja de trigo (Control)	28	32	NS
	<i>B. humidicola</i> 16871	49	32	**
	<i>B. brizantha</i> 6780	56	40	**
	Híbridos			
	1078-31	28	35	NS
	1079-18	30	35	NS
1081-25	31	29	NS	
1093- 31	31	86	*	
1095- 4	29	38	*	
1097- 6	33	39	NS	

\*\* P < 0.01    \* P < 0.05

De estos resultados se concluye que es más que justificada la selección de híbridos de *Brachiaria* tomando en cuenta la presencia de saponinas. No obstante, como se indicó el año inmediatamente

anterior, es necesario acondicionar un protocolo de laboratorio para que el procedimiento de selección sea más rápido y permita cuantificar la concentración de saponinas en poblaciones de *Brachiaria*. Todavía no ha sido posible estandarizar un procedimiento de laboratorio o establecer una colaboración con un laboratorio especializado para investigar la naturaleza química de las saponinas, por tanto, el próximo año se calibrará la técnica NIRS para medir la actividad de las saponinas en *Brachiaria*.

## **Evaluación de la calidad y la producción animal potencial de leguminosas seleccionadas**

### **Aspectos sobresalientes**

- Se determinó que la enzima proteolítica (Ficina) es útil para estudiar los efectos relativos de los taninos condensados en la degradación de la proteína en leguminosas tropicales.
- Se demostró que con el suministro durante la época seca de ensilaje de *Cratylia* (*Cratylia argentea*) y heno de Caupi empacado en bolsas es posible aumentar entre 10% y 20% la producción de vacas en pastoreo.

### **Efecto de la neutralización de los taninos en las leguminosas sobre la degradabilidad in vitro de la proteína** N. Narváez y C. Lascano (CIAT)

#### **Justificación**

Se ha demostrado mediante ensayos in vivo que los taninos condensados influyen en la degradabilidad de la fracción proteica de leguminosas tropicales en el rumen lo que resulta en menor producción de amoníaco y en una proporción mayor de proteína sobrepasante. Sin embargo, los experimentos in vivo son costosos y demandan tiempo para su realización, lo que limita su uso en la clasificación de especies de leguminosas en términos de la degradabilidad de la proteína. Los investigadores han usado por mucho tiempo el método conocido de dos fases de Tilley y Terry para estimar la digestibilidad del nitrógeno en las leguminosas. Los resultados han mostrado que con tal de que se apliquen los factores de corrección para la presencia de N microbiano, el método es sensible a la presencia de taninos en las leguminosas.

No obstante, una desventaja del método in vitro de dos fases es la necesidad de mantener un animal fistulado como una fuente de líquido ruminal, lo cual no siempre es posible en algunos laboratorios de calidad de forrajes. El interés en el estudio fue adaptar un protocolo publicado por Poos-Floyd et al., (1985) en J. Dairy Science 68:829-839 que permitir usar una enzima proteolítica para clasificar las leguminosas con base en la degradabilidad de la proteína.

#### **Materiales y métodos**

En el Valle de Cauca, Colombia, se cosecharon hojas de leguminosas arbustivas con taninos (*Leucaena leucocephala*, *Clitoria fairchildiana* y *Bauhinia* sp.) y sin taninos (*Gliricidia sepium* y *Erythrina fusca*). Varias muestras de 600 mg de MS de estas hojas fueron tratadas con PEG (6 mg de PEG/100 mg de MS) y con agua (control). Las muestras fueron pesadas y colocadas en tubos de ensayo con una solución bufer (15 ml) en baño de incubación (39 °C) durante 2 horas con el fin de humedecerlas completamente. Este tratamiento en solución bufer fue seguido de la adición de 10 ml de Ficina (enzima proteolítica extraída del látex de *Ficus glabrata* -Sigma Chemical No F-3266 de 0.5 unidades/mg) obtenida por la dilución de 4.3 g de la enzima en 1 lt de solución bufer. Después de 1 h de la incubación, los tubos se remojaron y los contenidos se filtraron en papel Whatman no. 41. El análisis de proteína (N x 6.25) se realizó en el sobrenadante y el residuo sólido en cada tubo.

#### **Resultados y discusión**

La degradabilidad de la proteína en las hojas de especies sin taninos fue mayor que en las de especies con taninos (Cuadro 2). Se encontraron, también, diferencias en la degradabilidad de la proteína entre las especies sin taninos, siendo superior en *G. sepium* que en *E. Fusca*. En las leguminosas con taninos la

adición de PEG al medio resultó en altos incrementos (de 2 a 6 veces) en la proteína degradada por la enzima proteolítica usada en el ensayo. El análisis de correlación entre la proteína degradada por la enzima y el contenido de taninos en las leguminosas demostró, como se esperaba, una relación negativa alta ( $r = -0.83$ ,  $P < 0.001$ ).

En este estudio, se evaluó también el efecto de madurez de las hojas en la degradabilidad de la proteína (datos no incluidos en este informe) y se encontró que la degradabilidad por la enzima era más baja en las hojas maduras, independientemente de las especies y la adición de PEG.

**Cuadro 2.** Proteína de leguminosas (tejido inmaduro de la hoja) con y sin taninos degradados por una enzima proteolítica (Ficin) bajo incubación en un baño de agua.

Tratamiento	Leguminosas sin taninos		Leguminosa con taninos		
	<i>G. sepium</i> (Proteína degradada, %)	<i>E. fusca</i>	<b>L. leucocephala</b>	<i>C. fairchildiana</i>	<i>Bauhinia</i> sp (Proteína degradada, %)
-PEG	58 a*	45 b	15 e	13 e	2 f
+PEG	56 a	46 b	29 d	37 c	27 d

\*Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ).

En este estudio, el rango de valores de degradabilidad de proteína en el ensayo con Ficina fue considerablemente más bajo que los valores observados en otros estudios in vitro e in vivo, en los cuales fueron evaluadas leguminosas similares con y sin PEG. En consecuencia, a partir de estos resultados parece que el uso de una enzima proteolítica, como Ficina, sólo es útil para determinar los efectos relativos de los taninos en la degradabilidad de la proteína de leguminosas tropicales.

### Producción de leche de vacas alimentadas con suplementos basados en leguminosas

P. Avila, C. Lascano, M. Peters y L. H. Franco (CIAT)

#### Justificación

En el Proyecto de Forrajes del CIAT se están desarrollando alternativas forrajeras para la alimentación de ganado en la época seca. Una de ellas es la leguminosa arbustiva *C. argentea* (Cratylia) que ha mostrado alta tolerancia a la sequía en varias regiones tropicales donde ha sido evaluada. Los agricultores en las zonas secas de ladera de América Central han venido usando Cratylia principalmente en sistemas de corte y acarreo. Algunos productores progresistas conservan los excedentes de forraje de esta leguminosa, que ocurren en la época de lluvias, usando la tecnología convencional de ensilado. El uso de este ensilaje para la alimentación de los animales en la época seca les ha permitido reemplazar la compra de suplementos lo que a su vez, ha tenido un impacto favorable en la economía de la explotación ganadera.

En el Proyecto de Forrajes también se han venido evaluando diferentes leguminosas anuales, tales como Caupí (de IITA) y Lablab (de CSIRO), como abonos verdes en sistemas cultivos-ganadería. Además, existe el interés por determinar el valor nutritivo de estas leguminosas utilizadas como heno en época seca, cuando son cosechadas en estados de prefloración y después de la cosecha de los granos.

En la literatura existe abundante información sobre la producción y la utilización de ensilado y heno pero, en la mayoría de los casos, la tecnología disponible no está al alcance de los pequeños productores, ya que existe una alta dependencia de maquinaria como tractores y cosechadoras mecánicas de forraje. Por tanto, se están investigando tecnologías alternativas tales como ensilaje y heno empacados en bolsas, que podrían ser más apropiados para los sistemas ganaderos de estos productores. En esta sección, se

informan los resultados de alimentar con ensilaje de *Cratylia* y Caupí vacas de ordeño pastoreando *Brachiaria decumbens* en la temporada seca.

## Materiales y métodos

**Ensilado de *Cratylia* en bolsas.** Para la fabricación de este ensilado, se cosecharon en forma manual rebrotes de 4 meses de un banco de esta leguminosa cultivada en Quilichao, los cuales se pasaron a través de una picadora eléctrica. El material resultante fue colocado en bolsas plásticas de 0.52 m x 0.89 m y se agregaron 10 kg/100 kg de MS de melaza para mejorar la fermentación. El forraje en las bolsas (17 kg/bolsa) se mezcló completamente con la melaza antes de compactarlo y almacenarlo en un lugar oscuro a temperatura ambiente (Foto 1).



**Foto 1.** Ensilaje de *Cratylia* después de 3 meses de empacado en bolsas plásticas.

**Heno de Caupí.** Para este ensilado se cosecharon manualmente plantas enteras de caupí en prefloración (8 semanas después de sembradas), las cuales fueron picadas con una picadora eléctrica de forraje. El forraje picado se secó durante 3 días al sol y después se colocó en bolsas de polipropileno (0.57 m x 0.90 m) (Foto 2). Las bolsas, con aproximadamente 8 a 9 kilos de heno secado al sol, se guardaron a temperatura ambiente durante 30 días, antes de ser suministrado como alimento a vacas lecheras.



**Foto 2.** Heno de caupí empacado en bolsas de polipropileno.



**Foto 3.** Vacas pastando *Brachiaria decumbens* en la época de lluvias.  
(Estación CIAT-Quilichao)

### Resultados y discusión

La calidad del ensilaje y el heno suministrados aparece en el Cuadro 3. Es evidente que el heno de Caupí presentó una calidad muy buena como lo indican su alta digestibilidad (89%) y contenido de proteína cruda (PC) (22%), y el bajo contenido de fibra (22% FND). Por otro lado, el ensilaje de Cratylia presentó un alto contenido de PC (18%), pero su digestibilidad fue más baja (57%) debido al mayor contenido de fibra (44% FND) cuando se comparó con el heno de caupí.

**Cuadro 3.** Composición química y digestibilidad de heno de Caupí y ensilaje de Cratylia conservados en bolsas y utilizados como suplementos para alimentar vacas lecheras.

Componente	Heno de Caupí	Ensilaje de Cratylia
MS (%)	94.3	37.5
Proteína cruda (%)	22.0	18.0
Fibra detergente neutra (%)	19.1	44.1
DIVMS (%)	88.6	56.5

Los resultados en el Cuadro 4 indican que el consumo de heno de caupí por las vacas fue superior que el del ensilaje de Cratylia, pero que la diferencia no se manifestó en un resultado significativamente superior en la producción de leche. No obstante, el suministro del suplemento como ensilaje o heno resultó en un aumento entre 11% y 18% en producción de leche, en comparación con la producción de vacas que no recibieron suplemento.

Estos resultados confirman los hallazgos anteriores que indicaban que con el uso de ensilaje de Cratylia producido con métodos convencionales –en silos tipo trinchera compactados con tractor– los productores pueden reemplazar los concentrados para suplementar vacas en la época seca y, por consiguiente, aumentar sus ingresos.

**Cuadro 4.** Producción de leche de vacas pastando *Brachiaria decumbens* en la época seca y suplementadas con ensilaje de *Cratylia* y heno de caupí en bolsas.

Tratamiento	Suplemento ofrecido (kg de MS/kg de PV)	Suplemento Consumido (kg of MS/kg de PV/d)	Producción de leche (l/vaca/d)
<i>Solo Brachiaria</i>	–	–	5.6 b*
<i>Brachiaria</i> + ensilaje de <i>Cratylia</i>	50.2	37.3	6.2 a
<i>Brachiaria</i> + heno de caupí	57.3	52.3	6.6 a

\*Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ).

El uso de ensilaje y heno en bolsas plásticas es una tecnología muy apropiada para pequeños productores que tienen pocas vacas de ordeño. Esta tecnología simple también podría ser atractiva para productores pequeños que no poseen ganado, pero que se podrían beneficiar de la venta de este tipo de productos a ganaderos que necesiten alimento extra para sus animales durante la época seca. Aún es necesario explorar el mercado potencial de ensilaje en bolsas en los sistemas de minifundio en las zonas de ladera de Honduras y Nicaragua para poder, así, empezar a evaluar la viabilidad y economía de esta tecnología con los productores.

Se están evaluando accesiones de Caupí suministradas por IITA, principalmente como abonos verdes en sistemas de cultivos anuales en los llanos y zonas de ladera de Centroamérica. Se considera que los materiales de Caupí de doble propósito desarrollados por IITA podrían ser de interés para los pequeños ganaderos en esta región, utilizados como heno de alta calidad para la alimentación de los animales en la época seca. Los resultados de los experimentos con vacas lecheras muestran claramente que el suplemento en la época seca con cantidades pequeñas de heno de estos materiales permite producir 1 lt más de leche por día. Igualmente es necesario evaluar con la participación de los ganaderos la viabilidad y las ventajas económicas de la producción de heno con leguminosas anuales de alta calidad.

## Evaluación de la calidad y la producción animal potencial de especies seleccionadas de gramíneas

### Aspecto sobresaliente

- La producción de leche con un nuevo híbrido de *Brachiaria* resistente a salvazo (*Aeneolamia varia*) fue tan alta como la obtenida con el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato y superior que con las accesiones comerciales *B. brizantha* cv. Toledo y *B. decumbens* cv. Basilisk.

**Producción de leche con nuevas accesiones e híbridos de *Brachiaria*** P. Avila, C. Lascano y J.W. Miles (CIAT)

### Justificación

En experimentos anteriores se había demostrado que la producción de leche con el híbrido comercial de *Brachiaria* cv. Mulato era mayor que con *B. brizantha* cv. Toledo y *B. decumbens* cv. Basilisk. También fue interesante observar que los valores de nitrógeno ureico en la leche (MUN) fueron dos veces mayores con el cv. Mulato en comparación a los otros dos cultivares de *Brachiaria*, lo que sugiere una mayor concentración de PC en el forraje en oferta del primero. En 2002 se completaron dos experimentos de pastoreo a corto plazo para comparar la producción de leche con el nuevo híbrido de *Brachiaria* (FM 9503-5046-024) resistente a salvazo (*A. varia*) versus la producción de leche registrada en los cultivares liberados (cvs. Mulato y Toledo).



## Materiales y métodos

Se efectuaron dos ensayos de pastoreo en la época de lluvias (febrero a mayo, 2002) utilizando 2 vacas/ha. En cada uno de ellos se dispusieron en un Cuadrado Latino de 3 x 3 seis vacas (3 Holstein y 3 cruzadas de Cebú) que se encontraban en la mitad del período de lactancia, para medir la producción de leche en pasturas que fueron cortadas 3 a 4 semanas antes del pastoreo. Cada período de pastoreo fue de 14 días, de los cuales 7 fueron para ajuste al tratamiento y 7 para medir la producción de leche, los parámetros de composición y producción de leche y los atributos de la pastura.

En el primer experimento se incluyeron los tratamientos siguientes: T1 = *B. brizantha* cv. Toledo (control), T2 = híbrido de *Brachiaria* cv. Toledo, y T3 = híbrido de *Brachiaria* 4624. Los tratamientos en el segundo experimento fueron: T1: *B. brizantha* cv. Toledo, T2: *B. decumbens* cv. Basilisk y T3: híbrido de *Brachiaria* 4624.

## Resultados y discusión

Los resultados no mostraron una interacción significativa del grupo de vacas y el tipo de pasturas sobre la producción de leche, por tanto, en el Cuadro 5 sólo se presentan los valores promedios a través de los tipos de vaca 5.

En el primer experimento, la producción de leche fue superior en vacas en pasturas del híbrido *Brachiaria* cv. Mulato y en el nuevo híbrido *Brachiaria* FM 9503-5046-024, en comparación con los resultados obtenidos con *B. brizantha* cv. Toledo, recientemente liberado. En el segundo experimento, se observó también que la producción de leche fue superior en el nuevo híbrido *Brachiaria* FM 9503-5046-024, en comparación con *B. decumbens* cv. Basilisk y *B. brizantha* cv. Toledo.

**Cuadro 5.** Producción de leche de vacas en pasturas contrastantes de *Brachiaria* (Estación CIAT Quilichao).

Tratamientos	Producción de leche (l/vaca/d)	Grasa (%)	MUN (mg/dL)
<b>Experimento 1</b>			
<i>B. brizantha</i> cv. Toledo	6.0 b*	4.2	6.2 b
Híbrido de <i>Brachiaria</i> cv. Mulato	6.7 a	4.2	10.4 a
<i>Brachiaria</i> híbrido FM 9503-5046-024	7.1 a	4.3	12.1 a
<b>Experimento 2</b>			
<i>B. brizantha</i> cv. Toledo	5.1 b	4.6	5.9 b
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	5.5 b	4.3	7.2 a
Híbrido de <i>Brachiaria</i> 4624	6.1 a	4.2	8.2 a

\* Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ).

Como se observó en los experimentos anteriores, el MUN fue mayor en las vacas en pasturas de *Brachiaria* cv. Mulato y en el nuevo híbrido *Brachiaria* FM 9503-5046-024, en comparación con *B. brizantha* cv. Toledo. Estos valores más bajos de MUN han sido consistentemente asociados con una baja concentración de PC en el tejido de la hoja de *B. brizantha* cv. Toledo, particularmente cuando las pasturas no son sometidas a pastoreo intenso.

Los resultados de este año confirman que el híbrido *Brachiaria* cv. Mulato tiene una calidad superior que los cultivares comerciales. También es interesante observar que el híbrido *Brachiaria* FM 9503-5046-024, con resistencia al salivazo (*A. varia*), parece tener una calidad similar al híbrido comercial *Brachiaria* cv. Mulato, como lo refleja la producción de leche alcanzada. Este nuevo híbrido se encuentra actualmente bajo evaluación regional y se está poniendo especial atención a su potencial para producir semillas.

## **Resultado 4.2: Desarrollo de genotipos de gramíneas y leguminosas con reacción conocida a plagas y enfermedades e interacción con los organismos simbióticos**

### **Genotipos de *Brachiaria* resistentes a salivazo y otros tipos de estrés bióticos**

#### **Aspectos sobresalientes**

- Se evaluaron aproximadamente 800 clones preseleccionados de la población tetraploide sexual de *Brachiaria* por su reacción a tres especies de salivazo.
- Se seleccionaron 32 clones de *Brachiaria* para cruzamiento, entre aproximadamente 800 clones sexuales, y dos de estos 800 clones mostraron un nivel excepcionalmente alto de resistencia antibiótica a tres especies de salivazo (*A. varia*, *A. reducta* y *Zulia carbonaria*). Esta es la primera vez que se reportan híbridos que combinan antibiosis a tres especies diferentes de este insecto.
- Ningún híbrido de *Brachiaria*, entre un conjunto de aproximadamente 100 híbridos experimentales sexuales x apomíticos, fue resistente a cualquier especie de salivazo.
- Se desarrollaron técnicas basadas en bioquímica (isoenzimas) y ADN (RAPD) para identificar ninfas de diferentes especies de salivazo.
- Se progresó en la comprensión de los mecanismos de resistencia a *A. reducta* y se comenzaron estudios sobre cómo las infestaciones múltiples de salivazo pueden afectar los niveles de resistencia en genotipos seleccionados de *Brachiaria*.
- Se continuó la selección en el campo para resistencia a tres especies principales de salivazo en el Caquetá.

**Desarrollo de una nueva población híbrida de *Brachiaria* por resistencia a salivazo** J.W. Miles, A. Betancourt y F. Feijoo (CIAT)

#### **Justificación**

A medida que una población sexual tetraploide heterogénea de *Brachiaria* fue mejorada mediante selección recurrente intrapoblacional por resistencia a salivazo, tolerancia a aluminio (Al), resistencia a *Rhizoctonia* y DIVMS, se cruzaron clones seleccionados con polen de progenitores apomíticos élite para generar grandes poblaciones híbridas, a partir de las cuales se probaron clones apomíticos élite para desarrollar el estado cultivar. La comparación de las familias híbridas generadas usando una diversidad de progenitores de polen Ap –accesiones élite de CIAT de *B. brizantha*– permitirá la identificación de aquellos progenitores de polen que producen híbridos superiores cuando se cruzan con la población sexual. Uno o un número pequeño de estos apomíticos pueden ser usados como testigos para el mejoramiento futuro de la población sexual basada en el desempeño en pruebas de cruzamiento (Miles, 1995, 1997).

#### **Materiales y métodos**

Se seleccionaron 41 clones sexuales tetraploides a partir de un ciclo SX99 de la población sexual tetraploide por su desempeño agronómico general y subsecuente reacción a una sola especie de salivazo (*A. varia*). Se plantaron propagulos vegetativos de estos clones espaciadamente distribuidos (aproximadamente 5 x 5 m) en semilleros de 15 accesiones de *B. brizantha* establecidas previamente durante el segundo semestre de 2000 en CIAT-Popayán. La semilla polinizada en forma abierta fue cosechada durante 2000 y 2001. Un conjunto pequeño, más o menos equilibrado de 14 progenies híbridas Sx X 14 AP se conservaron en Colombia para observación. En mayo de 2002 fueron trasplantados aproximadamente 1700 plántulas en el campo en CIAT-Quilichao. El resto de la semilla híbrida producida fue enviada a México a principios de 2002. Las plántulas se produjeron en México y aproximadamente 4000 se establecieron en el campo en julio de 2002.

## Resultados y discusión

Los 15 progenitores de polen (Ap) de este conjunto de familias fueron escogidos de accesiones de *B. brizantha* con alta producción en la época seca, en los ensayos regionales hechos en Colombia entre 1996-1999. Las observaciones preliminares en estas familias realizadas en CIAT-Quilichao permitieron identificar cuatro entre 14 progenitores Ap que produjeron progenies híbridas generalmente superiores. Estos se evaluarán posteriormente para seleccionar uno, o quizás dos, de los clones apomícticos de prueba para el mejoramiento futuro de la población por la selección en el desempeño en las pruebas de cruzamiento.

Este semillero fue cosechado en julio de 2002 y actualmente se están evaluando su capacidad y vigor de rebrote. En octubre, se evaluarán el conjunto de semillas, se cosecharán las semillas de polinización abierta (para pruebas de progenie en 2003) y después se preseleccionarán las que pasan a la próxima fase de evaluación por reacción al salivazo y *Rhizoctonia*, tolerancia a Al y DIVMS. Se espera para el 2004 disponer de un conjunto pequeño de híbridos apomícticos promisorios en fase avanzada de selección, utilizando las semillas cosechadas del ensayo de progenie en 2003.

## Identificación de genotipos de *Brachiaria* resistentes a salivazo

C. Cardona, G. Sotelo, y J. W. Miles (CIAT)

### Justificación

Como en los años anteriores, la evaluación por resistencia a salivazo recibió atención especial. La identificación correcta de híbridos resistentes es un paso esencial en el proceso de mejoramiento de cultivares superiores de *Brachiaria* en CIAT. En 2002 se evaluaron más de 1400 genotipos bajo condiciones de casa de malla y en el campo. Tomando como base los resultados obtenidos en 2001 y 2002, se desarrolló una estrategia exitosa para la evaluación simultánea, aunque independiente, por resistencia a este insecto de tres especies claves de *Brachiaria*.

Actualmente, se está haciendo una selección cíclica de 2 años de duración en una población sexual tetraploide sintética con el fin de mejorar los niveles de resistencia a salivazo y otros atributos. Mediante observaciones cada 8 a 10 meses en plantas de cada ciclo de población segregante cultivadas en el campo, se propagó un número manejable (~1000) de selecciones para la evaluación de reacción a salivazo. Debido a la reacción diferencial de los genotipos huéspedes de *Brachiaria* a diferentes especies de salivazo, la selección se está conduciendo ahora con tres o cuatro especies.

### Materiales y métodos

Se preseleccionaron aproximadamente 800 clones individuales teniendo en cuenta su desempeño general durante 2001 en ensayos en el campo en CIAT-Quilichao y Matazul (Puerto López, Meta). Estos clones se propagaron para producir tres propagulos por clon. Un propagulo de cada clon fue infestado con una de tres especies de salivazo (*A. varia*, *A. reducta* o *Z. carbonaria*), de manera que el conjunto entero de los 800 clones fue evaluado simultáneamente para reacción a estas tres especies. Con base en esta primera evaluación no-replicada, se seleccionaron 84 clones para una evaluación replicada más refinada, incluyendo nuevamente de manera independiente y simultánea las tres especies de salivazo. Se usaron los procedimientos normales de infestación artificial y la evaluación por resistencia al insecto, inicialmente se evaluó el daño en la planta, utilizando una escala desde 1 = ningún daño hasta 5 = planta muerta. La supervivencia ninfal se determinó entonces para los clones con calificaciones de bajo promedio de daño. En los ensayos de campo se establecieron 379 híbridos SX x AP (series BR01) como plantas solas espaciadas. De estos, inicialmente fueron preseleccionados 98 de acuerdo con los resultados en la evaluación visual para someterlos a la selección preliminar con tres especies de salivazo.

Las pruebas para resistencia fueron realizadas con *A. varia*, *A. reducta*, *Zulia carbonaria*, *Z. pubescens* y *Mahanarva trifissa*, que son las especies más importantes que afectan las pasturas de *Brachiaria* en

Colombia y otros países en América Latina. Estos materiales fueron comparados totalmente con 4 a 6 controles caracterizados por su resistencia o susceptibilidad a *A. varia*. Las plantas fueron infestadas con un número conocido de huevos (normalmente 6 ó 10) de las especies de salivazo respectivas permitiendo que la infestación avanzara sin interferencia hasta que todas las ninfas alcanzaran el Quinto (V) instar o emergiera el adulto. Los síntomas en la planta (normalmente 6 ó 10 por genotipo) se calificaron usando la escala de daño (1 = ausencia, 5 = muerte de la planta), desarrollada en años anteriores.

Se cálculo el porcentaje de supervivencia de ninfas y los materiales fueron seleccionados según la calificación en la escala baja de daño (< 2 en la escala 1-5) y el porcentaje reducido de supervivencia de ninfas (< 30%). A partir de un ensayo no-replicado se seleccionó inicialmente un alto número de semilleros. La resistencia de todos estos materiales, calificados como resistentes o de resistencia intermedia, fue reconfirmada en pruebas replicadas y los susceptibles fueron descartados. Todos los datos fueron analizados estadísticamente.

### Resultados y discusión

La actividad más importante en 2002 fue la evaluación de la resistencia a *A. varia*, *A. reducta* y *Z. carbonaria* de aproximadamente 800 clones individuales preseleccionados por J. Miles de acuerdo con el desempeño general en los ensayos de campo en CIAT-Quilichao (Cauca) y Matazul (Meta). De cada clon se evaluó una planta en forma independiente y simultánea por su resistencia a *A. varia*, *A. reducta*, y *Z. carbonaria*. La selección se basó en la escala de daño, encontrándose que ninguno de los 83 híbridos apomícticos x sexuales mostró un nivel aceptable de resistencia a cualquiera de las especies de salivazo probadas. El promedio de daño en este grupo de clones fue estadísticamente igual al encontrado en los controles susceptibles. En contraste, los nuevos híbridos sexuales (SX01) mostraron, como un grupo, un nivel de resistencia comparable al de los controles resistentes (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Escala de daños en clones sexuales x apomícticos y sexuales (SX01) evaluados por resistencia a tres especies de salivazo en 2002.

Grupo	<i>Aeneolamia varia</i>		<i>Aeneolamia reducta</i>		<i>Zulia carbonaria</i>	
	Número	Daño* (promedio)	Número	Daño (promedio)	Número	Daño (promedio)
Controles susceptibles <sup>a</sup>	2	4.8 a**	2	4.9 a	2	4.5 a
Híbridos sexuales x apomícticos	83	3.9 a	82	4.0 a	82	3.7 a
Híbridos controles <sup>b</sup>	2	3.6 ab	2	2.6 b	2	2.3 b
Híbridos sexuales (SX01)	725	2.6 b	728	2.8 b	689	3.1 ab
Controles resistentes <sup>c</sup>	2	1.3 b	2	2.2 b	2	3.2 ab

a CIAT 0606 y BRX-44-02

b BR99NO/4132 y FM95NO/4624

c CIAT 36062 y CIAT 6294

\* Calificación del daño promedio en una escala 1 = ausencia, 5 = muerte de planta.

\*\* Promedios en una columna seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) por el análisis *F* de contrastes arbitrarios de Scheffe.

Teniendo como base esta prueba no-replicada se seleccionaron 86 clones para reconfirmación en pruebas replicadas en vivero. De nuevo, se evaluaron independiente pero simultáneamente por resistencia a *A. varia*, *A. reducta* y *Z. carbonaria*. Se usaron seis repeticiones por genotipo y cada planta fue infestada con seis huevos del insecto. Inicialmente la resistencia fue evaluada usando la escala para calificación de daño. La supervivencia ninfal se determinó para los clones con promedio bajo de daño en la escala. Se seleccionaron 30 clones SX01 por resistencia a las tres especies de salivazo que fueron utilizados por el mejorador para establecer un bloque de recombinación. En promedio, los 30 híbridos mostraron daños

que no difirieron de aquellos registrados en el control más resistente, CIAT 36062. Como grupo, los híbridos seleccionados mostraron niveles de antibiosis (supervivencia reducida de ninfas) a *A. varia*, *A. reducta* y *Z. Carbonaria*, siendo significativamente mejores que los niveles encontrados en el control comercial resistente, CIAT 6294 (Marandú). La antibiosis a *A. varia* y *A. reducta* fue alta pero significativamente más baja que en CIAT 36062, el control más resistente. La antibiosis a *Z. carbonaria* fue similar que la encontrada con CIAT 36062 (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Escala de daño y porcentaje de supervivencia ninfal en 30 clones sexuales de *Brachiaria* seleccionados por resistencia a tres especies de salivazo.

Grupo	Escala de daños <sup>a</sup>			Porcentaje de supervivencia ninfal		
	<i>A. varia</i>	<i>A. reducta</i>	<i>Z. carbonaria</i>	<i>A. varia</i>	<i>A. reducta</i>	<i>Z. carbonaria</i>
30 híbridos SX01 seleccionados	1.9 b	1.6 c	2.1 c	16.8 c	17.0 c	38.1 b
CIAT 36062 <sup>b</sup>	1.4 b*	1.2 c	1.6 c	2.8 d	0 d	30.6 b
CIAT 6294 <sup>b</sup>	1.6 b	2.9 b	3.5 b	33.3 b	33.4 b	69.4 a
BRX-44-02 <sup>c</sup>	5.0 a	5.0 a	4.6 a	61.1 a	80.6 a	47.2 ab
CIAT 0606 <sup>c</sup>	4.7a	4.8 a	4.4 a	77.8 a	72.2 a	50.1 ab

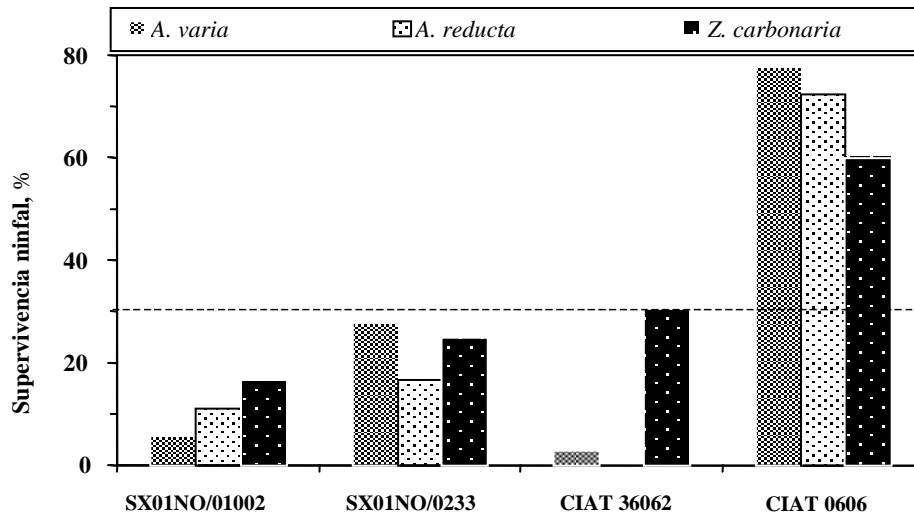
a En una escala 1-5 (1 = sin daño; 5 = planta muerta)

b Control resistente

c Control susceptible

\* Las medias en una columna seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) por el análisis *F* de contrastes arbitrarios de Scheffe.

En la Figura 3 se ilustran los niveles más altos de resistencia tipo antibiosis de las tres especies identificadas en SX01NO / 0102 y SX01NO/0233. En el Cuadro 8 se presenta el listado de híbridos sexuales seleccionados por resistencia a las especies de salivazo.



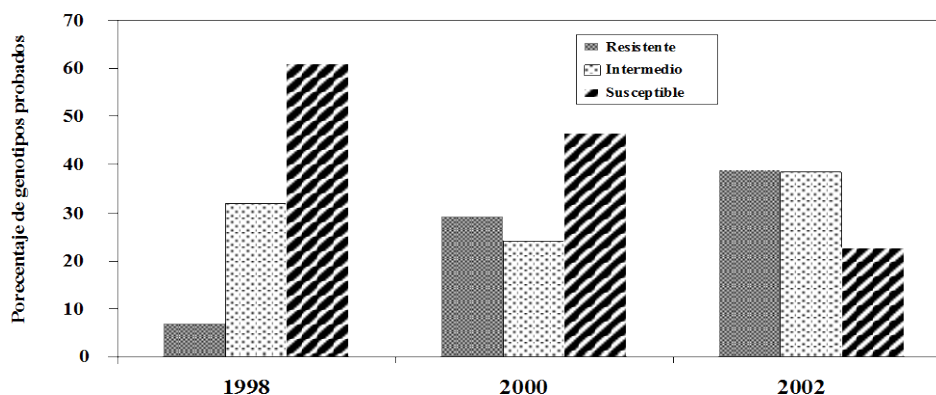
**Figura 3.** Niveles de resistencia tipo antibiosis a tres especies de salivazo en dos híbridos seleccionados SX01 de *Brachiaria* en 2002. CIAT 36062 es un híbrido apomítico usado como control resistente normal. CIAT 0606 es el cultivar *B. decumbens* susceptible, ampliamente cultivado en América Latina. La línea punteada representa el punto de corte para la evaluación de resistencia tipo antibiosis.

**Cuadro 8.** Híbridos sexuales de *Brachiaria* (SX01) seleccionados en 2002 por resistencia alta e intermedia tipo antibiosis (< 30% de supervivencia ninfal) (31%-50% supervivencia ninfal) a una o más especies de salivazo.

Alta resistencia combinada a <i>A. varia</i> , <i>A. reducta</i> , y <i>Z. carbonaria</i>	Alta resistencia combinada a <i>A. varia</i> y <i>A. reducta</i>	Resistencia combinando a <i>A. reducta</i> y <i>Z. carbonaria</i>
SX01NO/ 0102	SX01NO/0067	SX01NO/0263
SX01NO/0233	SX01NO/0159	SX01NO/0760
	SX01NO/0446	SX01NO/1186
	SX01NO/0465	SX01NO/2209
	SX01NO/0878	SX01NO/2420
	SX01NO/1647	SX01NO/2722
	SX01NO/2017	SX01NO/4099
	SX01NO/2619	
	SX01NO/2683	
	SX01NO/3168	
	SX01NO/3615	
	SX01NO/4423	
	SX01NO/4506	
	SX01NO/4785	

Otras selecciones:  
 SX01NO/1090: por combinar resistencia intermedia a *A. varia* y *A. reducta*.  
 SX01NO/1111: Por combinar resistencia intermedia a *A. varia* con alta resistencia a *A. reducta*.  
 SX01NO/1175: por combinar resistencia intermedia a *A. varia* y *A. reducta* con alta resistencia a *Z. carbonaria*.  
 SX01NO/3390 y SX01NO/4467: por alta resistencia a *A. reducta* solamente  
 SX01NO/3439: por resistencia intermedia a *A. reducta*  
 SX01NO/4861: por alta resistencia a *Z. carbonaria* solamente

El trabajo continuo con salivazo ha permitido detectar el progreso significativo en la incorporación de la resistencia al insecto. Para ilustrar este hecho, se usaron los datos obtenidos con *A. varia*, la especie más intensamente estudiada desde el principio del mejoramiento por el programa de resistencia a salivazo (Figura 4).



**Figura 4.** Progreso en la incorporación de resistencia a *Aeneolamia varia* en *Brachiaria*. Nótese el aumento estable en la frecuencia de genotipos resistentes y la disminución en la de genotipos susceptibles, como resultado de los ciclos continuos de selección.

**Evaluación en el campo de accesiones e híbridos de *Brachiaria* por resistencia a cuatro especies de salivazo** C. Cardona, G. Sotelo, J.W. Miles y W. Mera (CIAT)

En 2002 se continuó la selección en el campo de *Brachiaria* para resistencia a salivazo. Las metodologías utilizadas en estos trabajos fueron descritas en los informes anteriores. Se ha mencionado la confiabilidad de los sistemas según lo demuestra la alta correlación entre las evaluaciones de resistencia en casa de vegetación y en el campo, igualmente se demostró que la metodología se puede usar con todas las especies de salivazo. En ese año, en el Caquetá se hicieron nueve grandes ensayos de selección (cuatro con *A. varia*, dos con *M. trifissa* y tres con *Z. pubescens*).

En el Cuadro 9a se resumen los resultados de la evaluación de 44 híbridos sexuales (SX99), cuatro controles resistentes y dos controles susceptibles de *Brachiaria*. En general, la resistencia a *A. varia* fue alta. El promedio de daño en híbridos resistentes fue ligeramente superior que en los controles resistentes, pero significativamente inferior al promedio en los controles susceptibles. La relación de macollas por planta (número de macollas al finalizar la infestación/número de macollas al inicio) para los genotipos resistentes fue significativamente superior que en los controles susceptibles. Esto significa que en las macollas de los híbridos o en los controles resistentes CIAT 6294 (Marandú) y CIAT 36062 no ocurrió mortalidad. En contraste, los controles susceptibles CIAT 0606 y CIAT 0654 perdieron 80% y 86% de sus macollas, respectivamente. Se encontró una correlación negativa significativa ( $r = -0.774$ ,  $P < 0.001$ ) entre la escala de daño y las relaciones entre macollas antes y después de la infestación. En Caquetá se hizo un estudio similar en el campo (Cuadro 9b) con un conjunto de BR/híbridos calificados como resistentes a *A. varia* en condiciones de casa de vegetación en Palmira. En este caso, en tres ensayos consecutivos idénticos se compararon 32 híbridos vs. cuatro controles resistentes y dos susceptibles. En promedio, los híbridos mejorados por resistencia a *A. varia* mostraron un comportamiento tan bueno como el de los controles resistentes (Cuadro 9b).

**Cuadro 9a.** Resistencia en el campo a *Aeneolamia varia* en híbridos sexuales seleccionados de *Brachiaria* y en controles. Promedios de 10 repeticiones por genotipo.

Genotipo	Promedio de daño <sup>a</sup>	Relación de macollas <sup>b</sup>
Mejores híbridos		
SX99NO/2927	2.0	1.50
SX99NO/2115	2.0	1.43
SX99NO/1215	2.0	1.41
SX99NO/3690	2.0	1.34
SX99NO/2200	2.2	1.32
SX99NO/2173	2.0	1.31
SX99NO/2030	2.0	1.26
SX99NO/3770	2.0	1.19
SX99NO/0246	2.0	1.18
SX99NO/3564	2.0	1.16
Promedio	2.0 ab*	1.31 a
Controles susceptibles		
CIAT 0606	4.7	0.20
CIAT 0654	4.6	0.14
Media	4.6 a	0.17 b
Controles resistentes		
CIAT 6133	2.0	1.08
FM9503/4624	1.7	1.16
CIAT 36062	1.0	1.56
CIAT 6294	1.4	1.22
Promedio	1.5 b	1.25 a

**Cuadro 9b.** Resistencia en el campo a *Aeneolamia varia* en híbridos sexuales de *Brachiaria* y en controles. Promedios de un ensayo, 10 repeticiones por genotipo.

Genotipo	Promedio de daño <sup>a</sup>	Relación de macollas <sup>b</sup>
Mejores híbridos		
BR00NO/0587	1.5	4.99
BR00NO/0019	1.4	4.85
BR00NO/0425	1.4	4.67
BR00NO/0022	1.6	4.60
BR00NO/1392	1.5	4.44
BR00NO/0595	1.4	4.22
BR00NO/1076	1.4	4.15
BR00NO/1032	1.5	4.01
BR00NO/0106	1.5	3.83
BR00NO/1501	1.4	3.81
BR00NO/1281	1.6	3.65
Promedio	1.47 b	4.29 a
Controles susceptibles		
CIAT 0606	3.8	0.56
CIAT 0654	4.0	0.34
Media	3.9 a	0.45 c
Controles resistentes		
CIAT 6133	1.3	4.26
FM9503/4624	1.3	2.68
CIAT 36062	1.3	2.74
CIAT 6294	1.2	2.02
Promedio	1.27 b	2.92 b

a.Escala de daño de 1 a 5.

b.Macollas por planta al comienzo/macollas al final de la infestación.\*  $P < 0.05$

El promedio de la relación de macollas en los híbridos seleccionados fue significativamente mayor que en los controles resistentes reflejando, no sólo niveles de resistencia sino también un buen desempeño agronómico de estos nuevos híbridos. Nuevamente se encontró una correlación negativa y significativa ( $r = -0.678$ ,  $P < 0.05$ ) entre la magnitud del daño por salivazo y las relaciones de las macollas, lo que significa que el daño severo en el follaje refleja una capacidad más baja de la planta para recuperarse producir nuevos rebrotes.

En el Cuadro 10 se incluyen los resultados de otro conjunto de ensayos donde se comparó la resistencia en el campo de 38 híbridos seleccionados expuestos a *M. trifissa* y *Z. Pubescens*. En promedio, los híbridos resistentes expuestos a *M. trifissa* tuvieron un desempeño tan bueno como los controles resistentes, tanto en términos de daño como en tasas de macollamiento. Los mismos híbridos expuestos a *Z. pubescens* mostraron daños significativamente superiores y tasas de macollamiento inferiores que los controles resistentes.

Lo anterior significa que los niveles de resistencia a *Z. pubescens* no son tan altos como aquellos ya desarrollados por *M. Trifissa*. Esta última sigue siendo la especie para la cual la antibiosis en genotipos resistentes de *Brachiaria* es la más alta entre todas las especies de salivazo estudiadas en CIAT.

**Cuadro 10.** Resistencia en el campo a *Mahanarva trifissa* y *Zulia pubescens* en híbridos seleccionados de *Brachiaria* y en controles. Promedios de tres ensayos con *M. trifissa* y dos con *Z. Pubescens* con 10 repeticiones/genotipo por ensayo.

Genotipo	Promedio de daños <sup>a</sup>		Relación de macollas <sup>b</sup>	
	<i>M. trifissa</i>	<i>Z. pubescens</i>	<i>M. trifissa</i>	<i>Z. pubescens</i>
	Mejores híbridos			
BR00NO/1501	1.9	2.2	1.90	0.92
BR00NO/1733	1.8	2.2	1.85	0.96
BR00NO/1494	1.8	2.0	1.67	0.94
BR00NO/1392	1.9	2.1	1.66	0.93
BR00NO/1032	1.8	2.0	1.66	1.05
BR00NO/1372	1.7	2.2	1.56	0.96
BR00NO/0106	1.8	2.2	1.26	1.06
BR00NO/0604	1.9	2.3	1.47	0.98
BR00NO/0019	1.8	2.1	1.63	0.79
BR00NO/0078	1.8	2.3	1.60	0.89
BR00NO/0595	1.6	2.1	1.58	0.89
BR00NO/0587	1.7	2.1	1.56	0.90
Media	1.8 b*	2.1 b	1.62 a	0.93 b
	Controles susceptibles			
CIAT 0606	2.9	3.7	0.80	0.42
CIAT 0654	2.8	4.1	0.90	0.30
Promedio	2.8 a	3.9 a	0.85 b	0.36 c
	Controles resistentes			
CIAT 6133	1.9	1.7	1.54	1.03
FM9503/4624	1.8	1.2	1.46	1.17
CIAT 36062	1.7	1.3	1.71	1.36
CIAT 6294	1.5	1.0	1.40	1.15
Promedio	1.7 b	1.3 c	1.52 a	1.17 a

a. Escala de daño de 1 a 5. b. Macollas por planta al comienzo/macollas al final de la infestación.\*  $P < 0.05$ .

## Identificación de mecanismos de resistencia a salivazo en *Brachiaria*

### Aspecto sobresaliente

- Se detectó que bajo condiciones de campo, las infestaciones por dos o más especies de salivazo se puede presentar en una planta específica de *Brachiaria*.



**Efecto de infestaciones mixtas en la expresión de la resistencia** C. Cardona, G. Sotelo, A. Pabón, P. Fory y J. W. Miles (CIAT)

### **Justificación**

Durante años, se suponía que la resistencia a una especie de salivazo se aplicaba sin reservas a otras especies del insecto. En informes recientes se ha señalado que esto no es cierto y los mecanismos subyacentes de resistencia a una especie no necesariamente se aplican a otras. De allí la importancia de estudiar dichos mecanismos para cada especie y la necesidad de evaluar tantas especies de salivazo como sea posible, con el fin de determinar qué genotipos de *Brachiaria* resistentes se desarrollan bien bajo condiciones variables de crecimiento, incluso en áreas donde dos o más especies de salivazo coincidan. Al mismo tiempo, se encontró que la detección de infestaciones mixtas cuando los adultos no están presentes es poco confiable, debido a que es casi imposible diferenciar entre especies en estadios ninfales. En consecuencia, para estudiar la expresión de la resistencia cuando se presentan poblaciones mixtas de salivazo fue necesario primero, desarrollar técnicas seguras para identificar las especies.

### **Materiales y métodos**

En un campo de *B. decumbens* cv. comercial localizado en el Caquetá (300 m.s.n.m.) se tomaron muestras de salivazo cada mes durante 1 año. Las ninfas fueron recolectadas en plantas individuales y se enviaron para análisis en el laboratorio del CIAT.

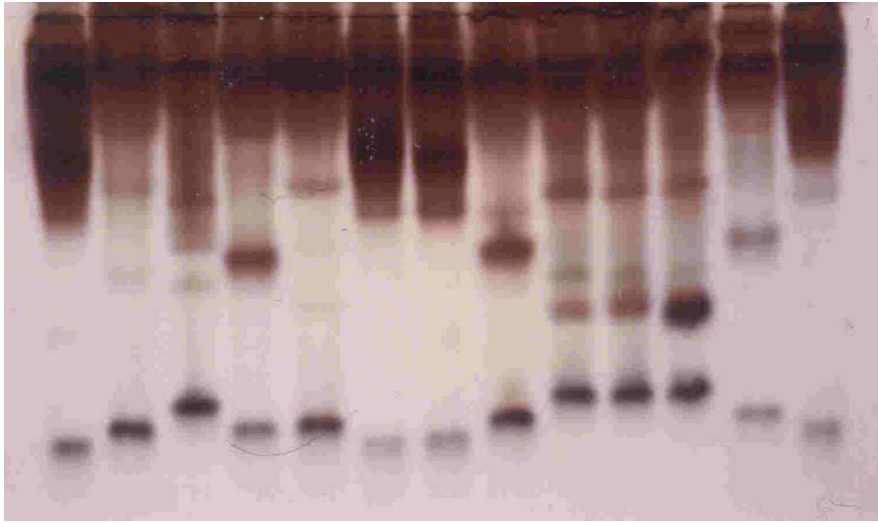
Una vez se desarrollaron las técnicas confiables para identificar las especies de salivazo en fases inmaduras, se estableció una serie de ensayos para medir cómo especies diferentes de este insecto afectan las expresiones de resistencia en genotipos seleccionados por su reconocida resistencia o susceptibilidad a varias especies de salivazo. Se midió el efecto de la infestación de una sola especie vs. la combinación de dos o tres especies en diferentes proporciones, usando un diseño de parcela dividida en el cual la especie de salivazo fue la parcela principal y los diferentes genotipos las subparcelas.

**Resultados y discusión.** Los mejores patrones electroforéticos de isoenzima se obtuvieron con el uso de estereasas  $\alpha$ - $\beta$  (Figura 5). También se obtuvo excelente diferenciación entre las especies por medio del análisis RAPD-PCR (Figura 6). Esto permitió descubrir que en los campos comerciales de *B. decumbens* se pueden presentar infestaciones de ninfas de varias especies de salivazo en una misma planta. La Figura 7 muestra que las plantas individuales en el Caquetá pueden ser afectadas por una, dos o tres especies diferentes que atacan simultáneamente.

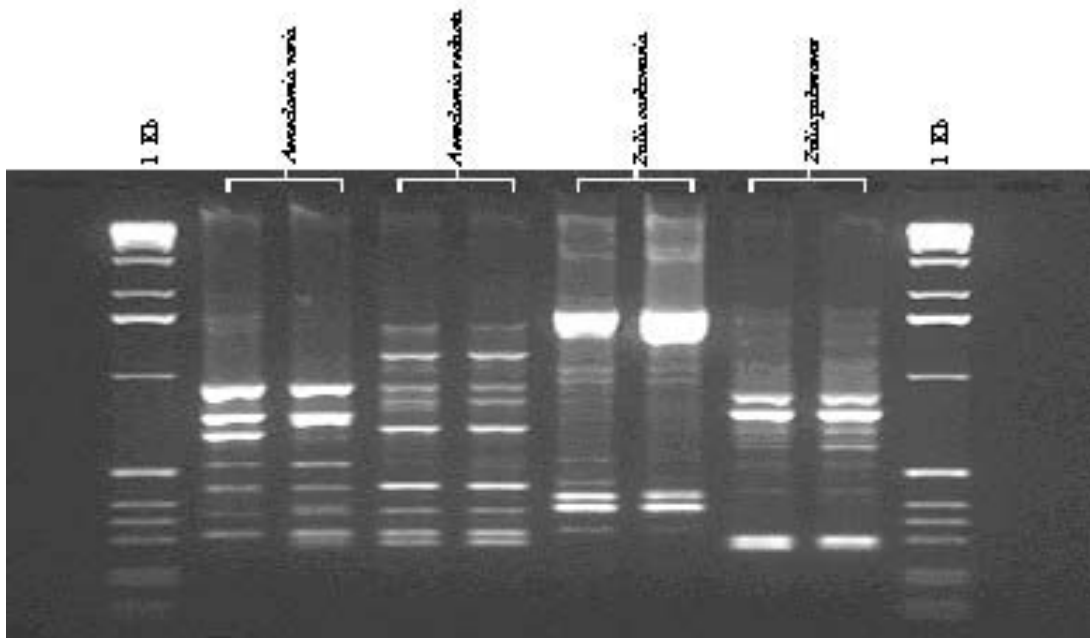
La posibilidad de identificar las especies con precisión también permitió medir el porcentaje de supervivencia de especies diferentes cuando se hacían infestaciones con dos o más especies. El trabajo en la expresión de la resistencia, afectada por ataques simultáneos, todavía está en marcha y se informará por completo en 2003. Sin embargo, vale la pena resaltar algunos de los resultados para mostrar qué tan importante es determinar que la resistencia es amplia y que el trabajo de resistencia tiene en cuenta la existencia de especies de salivazo diferentes a *A. varia*.

En la Figura 8 se observa que cuando el genotipo resistente CIAT 36062 es expuesto a *Z. carbonaria* solo o en combinación con *A. varia* en proporciones diferentes, la calificación del daño aumenta y el genotipo se clasifica, entonces, como de resistencia intermedia en lugar de resistente. Cuando es expuesto a *Z. pubescens* solo o en combinación con *A. varia* se califica como resistente y la escala de daños es significativamente más baja que la obtenida con *Z. carbonaria* solo o en combinación con *A. varia*.

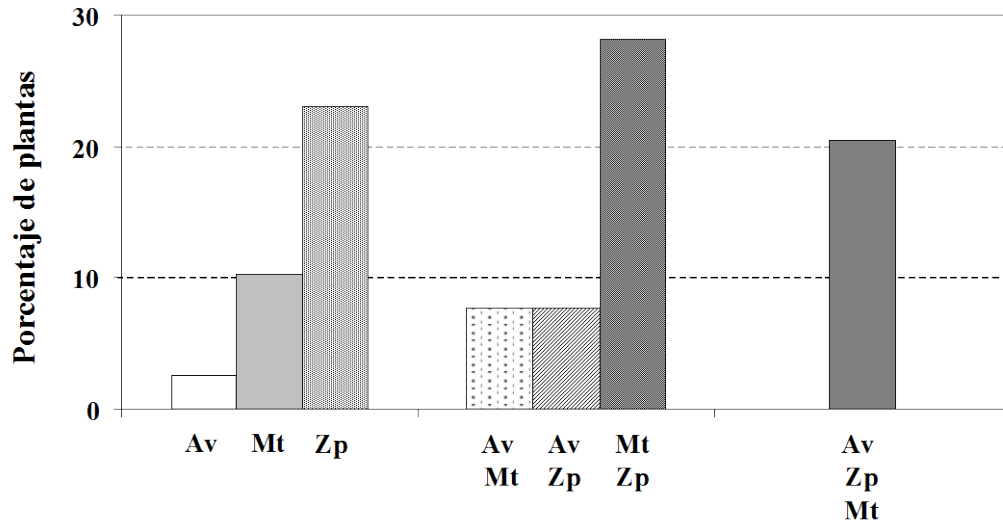
Por los resultados en trabajos anteriores (ver Informes Anuales 2002 y 2001) se sabe que la antibiosis a *A. varia* es la más alta seguida por la antibiosis a *Z. Pubescens* y, también, que no existe un nivel importante de antibiosis a *Z. carbonaria* en *Brachiaria* CIAT 36062. Esto puede explicar las diferencias significativas en términos de daño, como se muestra en la Figura 8.



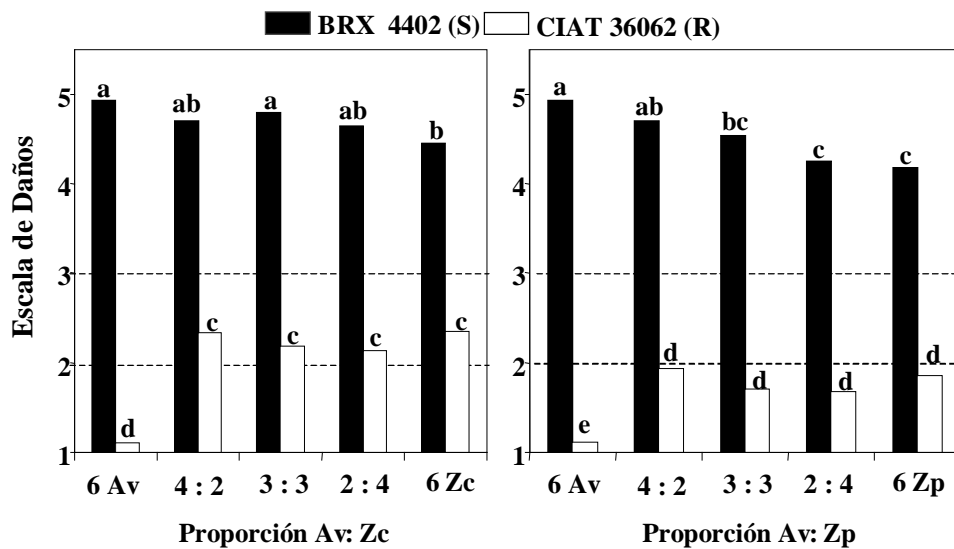
**Figura 5.** Patrones electroforéticos de estereasa  $\alpha$ - $\beta$  de ninfas de salivazo en el quinto instar. Líneas 1-3, ninfas recolectadas de crías en masa existentes de *Aeneolamia varia*, *Zulia pubescens* y *Mahanarva trifissa*, respectivamente. Todas las demás muestras se recolectaron de plantas individuales de *Brachiaria decumbens* en el Caquetá: 4-5, *Z. pubescens*; 6-7, *A. varia*; 8, *Z. pubescens*; 9-11, *M. trifissa*; 12, *Z. pubescens*; 13, *A. varia*.



**Figura 6.** Patrones RAPD-PCR (2 ng/ $\mu$ l, OPA-10) obtenidos con ninfas en el quinto instar de cuatro especies de salivazo (Kb, marcador molecular).

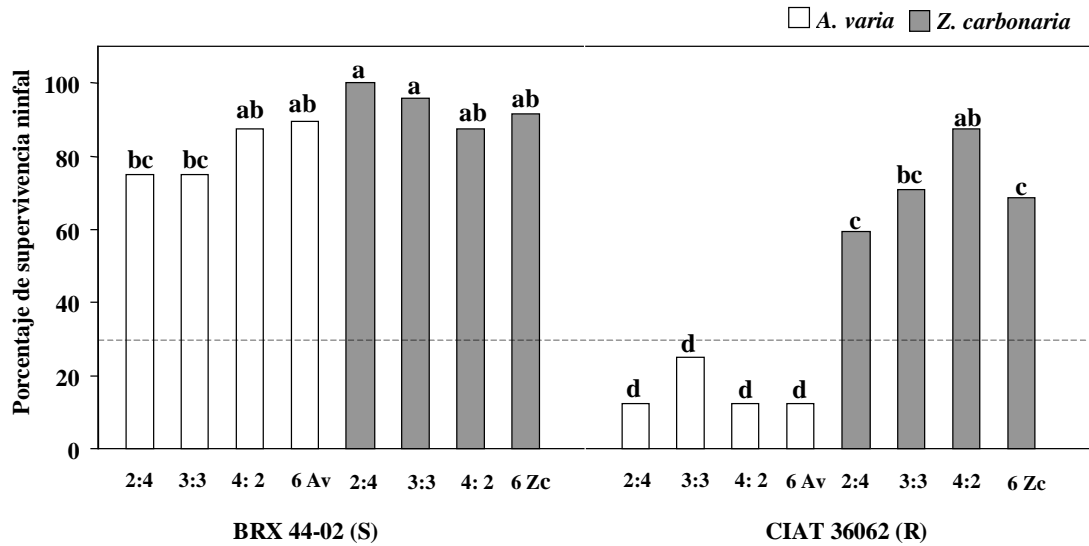


**Figura 7.** Composición de especies de salivazo en un de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk en el Caquetá. Se observa que las plantas individuales se pueden infestar con grupos puros o mixtos de ninfas de *Aeneolamia varia* (Av), *Mahanarva trifissa* (Mt) y *Zulia pubescens* (Zp). Igualmente una proporción significativa de plantas (21%) puede ser atacada hasta por tres especies diferentes.



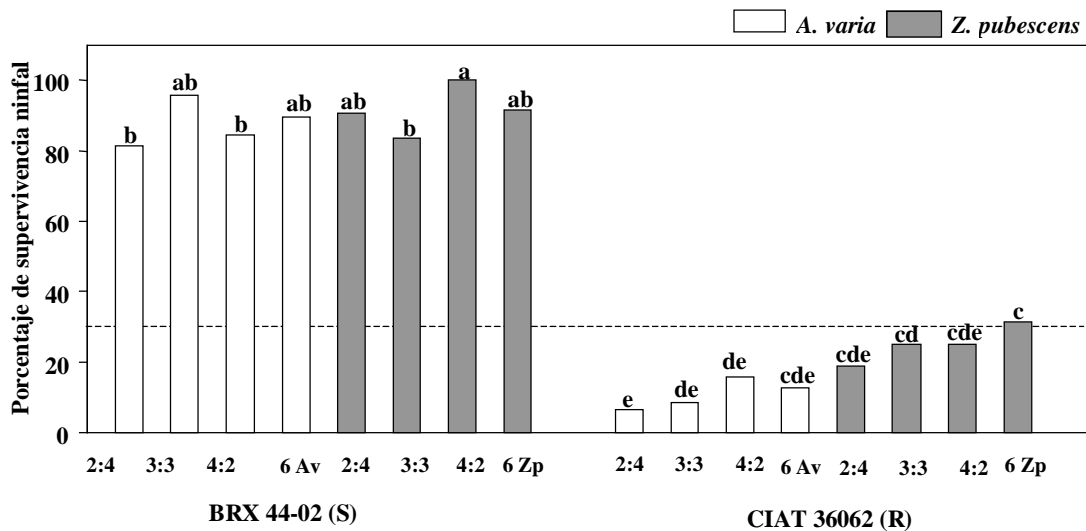
**Figura 8.** Escala de daños registrados en genotipos de *Brachiaria* susceptible (BRX-4402) y resistente (CIAT 36062) expuestos a ataques individuales o simultáneos de ninfas de *Aeneolamia varia* (Av), *Zulia carbonaria* (Zc) o *Zulia pubescens* (Zp). Las líneas punteadas representan los puntos de corte para la resistencia (< 2) y rangos intermedios (2 - 3) en una escala de daños 1 - 5. Las barras con letras iguales representan valores promedios no significativos al nivel de 5%.

El hallazgo más importante fue la identificación de efectos antibiosis significativos y diferenciales cuando las poblaciones mixtas de *A. varia* y *Z. carbonaria* se usaron en proporciones diferentes para infestar plantas del genotipo resistente *Brachiaria* CIAT 36062. En todos los niveles de infestación, la supervivencia de *A. varia* en este genotipo se redujo significativamente a niveles inferiores a aquellos representados para la tasa de resistencia (< 30% de supervivencia) (Figura 9).



**Figura 9.** Niveles de antibiosis (reducción en el porcentaje de supervivencia de ninfas) detectados cuando plantas de genotipos de *Brachiaria* susceptible (BRX-4402) y resistente (CIAT 36062) se infestaron con *Aeneolamia varia* o *Zulia carbonaria*, o combinaciones de ambos (*A. varia*:*Z. carbonaria*). La línea representa el nivel para la tasa de resistencia (< 30.0% de supervivencia). Las barras con letras iguales representan los valores que no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

Por el contrario, la supervivencia de ninfas de *Z. carbonaria* fue significativamente mayor, siendo superior al nivel de 50% usado para clasificar los genotipos como susceptibles. Cuando *A. varia* y *Z. pubescens* atacan simultáneamente, el mecanismo de antibiosis presente en *Brachiaria* CIAT 36062 afecta a ambas especies y la supervivencia estuvo por debajo del punto de corte para la tasa de resistencia (Figura 10).



**Figura 10.** Niveles de antibiosis (reducción en el porcentaje de supervivencia de ninfas) cuando plantas de genotipos de *Brachiaria* susceptible (BRX-4402) y resistente (CIAT 36062) se infestaron con *Aeneolamia varia* o *Zulia pubescens*, o su combinaciones (*A. varia*:*Z. pubescens*). La línea representa el nivel para la tasa de resistencia (< 30.0% de supervivencia). Las barras con letras iguales representan los valores que no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

Estos resultados apoyan la necesidad de caracterizar la resistencia de *Brachiaria* al mayor número posible de especies de salivazo. Por ejemplo, si un cultivar mejorado de *Brachiaria* que tiene resistencia tipo antibiosis a una especie, pero no a otra(s), es liberado en zonas donde coexisten ambas especies de salivazo, la antibiosis reducirá la población de una de ellas. Las especies de salivazo que no son afectadas por antibiosis estarán libres de competencia y se pueden volver más abundantes y agresivas; en consecuencia, no se habrá logrado mucho en términos de protección eficiente de la planta.

## **Control genético y marcadores moleculares para salivazo y el modo reproductivo en *Brachiaria***

### **Aspectos sobresalientes**

- La muerte celular programada y localizada, una tarea común para detener la propagación de patógenos, podría ser importante en la resistencia de *Brachiaria* a salivazo.
- La concordancia entre los resultados de la prueba de progenie y el marcador putativo de apomixis (marcador PCR N14) dio buenos resultados para 107 progenies en 2000 (94.4% de concordancia). Sin embargo, para 13 progenies en 2001, donde se tenían datos en N14, la concordancia fue menor del 50%.

### **Aislamiento y caracterización de secuencias asociadas con la resistencia a salivazo en *Brachiaria***

C. Romero, I.F. Acosta y J. Tohme - Proyecto SB-2 (CIAT)

#### **Justificación**

El salivazo es la plaga más dañina en *Brachiaria* en América tropical. Uno de los métodos para el control de este insecto es el uso de cultivares que sean naturalmente resistentes. Existe interés en elucidar la base molecular de resistencia a salivazo en *Brachiaria*. A nivel del genoma se han aislado secuencias que tienen fuertes similitudes con los genes de resistencia (genes R) llamados RGA (genes análogos con resistencia; ver Informe Anual BRU, 2001). Debido a la necesidad de establecer el perfil de la expresión de los genes implicados en la resistencia, el genotipo resistente se somete al ataque de larvas del insecto, siguiendo dos enfoques: (1) buscar específicamente los elementos probablemente involucrados en el reconocimiento del insecto y la activación de la resistencia y, (2) buscar información acerca de la propia respuesta de defensa.

**Mapeo de RGAs de *Brachiaria brizantha*.** Se desarrollo una aproximación al gen candidato para caracterizar los sitios de rasgos cuantitativos (LRC) de resistencia a salivazo en *Brachiaria*. Con base en las fuertes similitudes estructurales entre los genes-R de la familia NBS-LRR (Nucleotide Binding Site-Leucine Rich Repeat), que incluye la parte principal de Genes-R clonados, se habían aislado RGAs usando *primers* degenerados como objetivos en regiones altamente conservadas (Informe Anual, BRU-2001). Ahora, estas secuencias de RGA se han utilizado como marcadores moleculares para determinar si son parte de los LRC en la resistencia a salivazo.

#### **Aislamiento de secuencias diferencialmente expresadas en plantas resistentes infestadas con salivazo.**

Para obtener secuencias relacionadas con el proceso de defensa, se utilizó una técnica diferencial que permite aislar fragmentos de cADNs inducidos por el ataque de insectos en una variedad resistente. La información de la secuencia de estos fragmentos se usa para proponer una hipótesis sobre su posible función en la respuesta de defensa para acercarse al mecanismo de resistencia.

#### **Materiales y métodos**

Se diseñaron *primers* específicos para cada una de las 8 clases de RGA establecidas previamente (Informe Anual, BRU-2001) para usar RGAs como marcadores moleculares basados en PCR. Cinco de las 8 clases fueron marcadores polimórficos informativos entre las variedades resistentes y susceptibles (*B. brizantha*

CIAT 6294 y *B. ruziziensis* BR4x44-03, respectivamente). Uno de estos marcadores basados en PCR es una Secuencia Polimórfica Amplificada Dividida (CAPS), mientras que los otros representan marcadores moleculares dominantes (presencia/ausencia).

Estas clases polimórficas se evaluaron en una población derivada de un cruce interespecífico de *B. ruziziensis* BR4x44-03 X *B. brizantha* CIAT 6294. Esta población contiene 215 individuos que han sido registrados fenotípicamente por resistencia a una de las especies más extendidas de salivazo (*A. varia*), y que han sido utilizadas para construir un mapa genético (Informe Anual, BRU-2001). Los RGAs se localizaron en este mapa usando marcadores (Lander, 1987). El análisis de la correlación entre la segregación de RGAs y la calificación de la resistencia se hizo con QGENE (Nelson, 1997).

Para aislar las secuencias expresadas diferencialmente en una variedad de *Brachiaria* (CIAT 36062) resistente cuando se infestó con salivazo, se empleó una técnica muy sensible conocida como la Cadena de Substracción de Diferencial (CDD) (Luo et al., 1999). Las secuencias expresadas de plantas tratadas y no tratadas se pusieron en hibridación y las secuencias comunes a ambos estados se suprimieron. Esto se logró por rondas sucesivas de hibridación con un enriquecimiento subsecuente de las secuencias expresadas sólo en plantas tratadas.

Para este ensayo se utilizaron dos grupos de plantas del genotipo CIAT 36062 cultivadas bajo condiciones similares. Un grupo se infestó con larvas de *A. varia* y el otro no se trató. La infestación se hizo en las raíces superficiales, según Cardona (1999) (Foto 4).

Estas se recolectaron en fases diferentes del desarrollo de la infestación (1-30 días) de ambos grupos, y el ARN total se extrajo de las raíces superficiales con el reactivo Trizol®. Se hicieron dos grupos de ARN que representan dos poblaciones de genes expresadas en cada condición durante ese tiempo y se denominaron ‘verificador’ (infestado) y ‘controlador’ (no infestado). Se sintetizó un cADN de doble banda el equipo de síntesis SMART cADN (Clontech) según las instrucciones del fabricante. El cADN se digirió entonces con *DpnI* y se ligó con los conjuntos del adaptador diferente para cada grupo de cADN para hacer su amplificación subsecuente por el PCR posible.



**Foto 4.** Unidades del sistema de infestación consistentes de propagulos de tallos simples con raíces superficiales profusas. Este substrato sirve como sitio de alimentación para las ninfas de salivazo.

Se ejecutaron dos experimentos por separado de hibridación con *buffers* diferentes: SSH (Diatchenko, 1996) y DSC (el Luo et al., 1999), siguiendo los parámetros de hibridación y PCR sugeridos por Luo et

al. (1999). Después de cada ronda de hibridación, el nivel de substracción se verificó por PCR. Con el *buffer* SSH se hicieron tres rondas de hibridación; pero se utilizó el *buffer* de DSC, se realizaron cuatro rondas. Se consideró que los productos PCR de la última ronda de hibridación tenían secuencias diferencialmente expresadas del verificador; por consiguiente, se clonaron en conjunto, y una colección de 96 clones se obtuvo de ambos tipos de hibridación. Se obtuvieron secuencias para las colecciones completas y se buscaron homologías en el Banco de Genes, usando los algoritmos BLASTN y BLASTX (Altschul et al., 1997).

## Resultados y discusión

**Mapeo de RGAs de *B. brizantha*.** La segregación de cinco marcadores de RGA en la población mapeada de *B. ruziziensis* BR4x44-03 X *B. brizantha* CIAT 6294 no mostró asociación significativa con el rasgo de interés (resistencia a *A. varia*). El valor explicativo más alto para el fenotipo de resistencia fue del 5%, correspondiente a RGA 5B. Algunos marcadores de AFLP usados en la construcción de este mapa marco de trabajo muestran mejores asociaciones (25%) con resistencia a salivazo (Informe Anual, BRU-2001). A pesar del tamaño pequeño de tales marcadores (oscilando entre 100-300 bp), se intentó hacer una secuencia en la búsqueda de candidatos para genes R; sin embargo, no se encontró homología aparente (datos no incluidos). Además, estas regiones que contienen QTL no están saturadas en los marcadores moleculares; por tanto, pueden contener secuencias del tipo RGA que no se aislaron del conjunto que se intentaba mapear. Por consiguiente, el próximo paso es definir nuevas clases de RGAs aisladas de fuentes menos complejas de ADN, tales como cADN o la colección genómica dispuesta que está construyéndose actualmente en el Proyecto SB-02. De esta manera, se esperan obtener secuencias de RGA más diversas y representativas que se pueden incluir en una región genómica implicada en la resistencia de *Brachiaria* a salivazo.

**Aislamiento de secuencias expresadas diferencialmente en plantas resistentes infestadas con salivazo.** Se construyeron dos 'colecciones de substracción' usando DSC, según los métodos antes descritos. Se supuso que estas colecciones contenían secuencias que se expresaban exclusivamente en plantas resistentes de *Brachiaria* expuestas a salivazo. Es muy probable que tales fragmentos de cADN correspondan a genes involucrados en respuesta a la resistencia al ataque del insecto. El análisis de la secuencia de 171 clones (Cuadro 11) reveló 35 secuencias con homología conocida, cuatro proteínas hipotéticas (PH), dos proteínas desconocidas y 16 secuencias sin homología.

Se aislaron secuencias que participan en la respuesta a la defensa medida por genes-R estudiada en otros sistemas de la planta (Figura 11) y se encontraron secuencias relacionadas de Respuesta Hipersensible (RH) (Cuadro 11). Esto sugirió que la muerte celular programada localizada, una tarea común para detener la propagación de patógenos, también es importante en la resistencia a salivazo. Este acontecimiento provoca una respuesta hormonal que alerta a la planta entera; por consiguiente, se encontraron secuencias que son parte de las trayectorias del etileno, jasmonate y ácido salicílico activadas durante la resistencia (Cheong, 2002).

Esta evidencia animó la búsqueda de secuencias tipo gene-R involucradas en el mecanismo de resistencia de la *Brachiaria*. Adicionalmente, se encontraron otros elementos generales de respuesta a la nutrición, el daño (Reymond, 2002) y el estrés (Cuadro 11), los cuales están bien correlacionadas con el tipo de ataque que el insecto ejecuta en la planta (lesión mecánica).

Desafortunadamente, también fue aislada una cantidad de clones redundantes que representan cuatro tipos de secuencias de rARN (información no incluida). Estas secuencias son un producto de síntesis cADN, aunque en este caso se utilizó un *primer* poly-T para ese paso. Una manera de prevenir esto, en experimentos futuros, es usar mARN como una base para la síntesis del cADN. Cuando se separaron los

productos finales de substracción en gel de poliacrilamide (información no incluida), fue posible observar entre 50 y 65 bandas diferentes para cada hibridación.

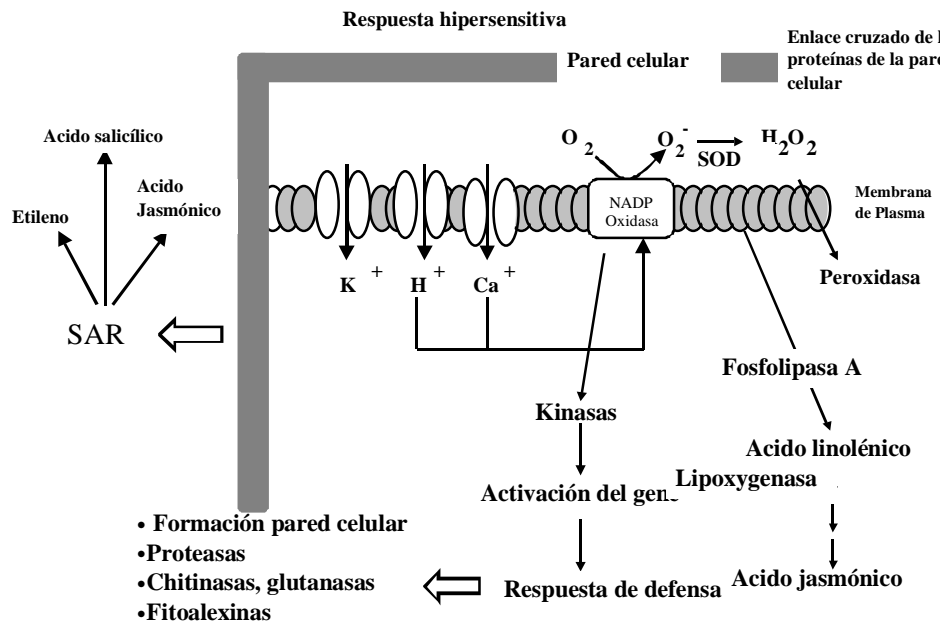
**Cuadro 11.** Grupos funcionales de secuencias expresadas diferencialmente. Algunas de ellas pueden ser parte de dos grupos porque siguen trayectorias que tienen cruzamientos.

Factores de transcripción	Proteínas hipersensitivas de respuesta
Caja MADS	Anhidrasa carbónica
PUR alpha 1	Proteinaza cisteina
SCARECROW	
	Trayectoria Jasmonate
Proteínas señaladoras	LOX 1 (lipoxigenasa)
Transportador dependiente de Ca	LOX 2 (lipoxigenasa)
Serina treonina kinasa	Fosfolipasa
Detoxificación	Proteínas inducidas por la lesión
Glutathione S conjugate ATPase	Grasaty desaturasa de ácidos grasos
LOX 1 (lipoxigenasa)	Glutathione S conjugate ATPase
LOX 2 (lipoxigenasa)	Beta glucanasa
Enzimas hidrolíticas	Proteínas no clasificadas
Glucanasa Beta	CAB (Clorofila a/b proteína de enlace)
	Clone RG 64 (secuencia asociada a Pi2)
Enzimas modificadoras de la pared celular	Proteína de desarrollo
Alpha tubulina	dTDP glucosa deshidratasa
Beta tubulina	Fructosa bifosfato aldolasa
Metiltransferasa	GTP- Dehidratasa
O-Metiltransferasa	HP 1
Xyloglucan endotransglycolasa	HP 2
	HP 3
Proteínas relacionadas con el estrés	HP 4
Proteína de aclimatación al frío y a estrés al agua	Proteína de enlace seguro
Retrotranscriptasa 1	Proteína desconocida1
Retrotranscriptasa 2	Proteína desconocida2
SAMS (S-adenosyl L-methionine synthetasa)	

Evidentemente, las colecciones-96 fueron muy pequeñas para representar bien el conjunto entero de secuencias diferenciales presentes después de la substracción, particularmente en este caso donde la concentración de productos con rARN- puede 'enmascarar' la clonación de los fragmentos menos abundantes. Sin embargo, se aplicó esta estrategia para hacer una inspección rápida de los contenidos y calidad de la substracción.

Ahora el objetivo es construir colecciones más grandes que excluyan fragmentos rARN por clonación de excisiones de tejidos de los geles poliacrilamidos. De esa manera, se espera ampliar la luz que el análisis inicial de los productos de la substracción ha emitido sobre los mecanismos de resistencia a salivazo en *Brachiaria*.





**Figura 11.** Esquema de los elementos de respuesta hipersensibles. Adaptado de: B. F. Matthews, sept. 2002, Expresión de los genes en las raíces de soya en respuesta al nemátodo Cyst de la soya, Soybean genomics & improvement, USDA -ARS. En: [http://www.ndsu.nodak.edu/virtual\\_genomics/conference\\_2002.htm](http://www.ndsu.nodak.edu/virtual_genomics/conference_2002.htm)

## Actividades futuras

Aislamiento y mapeo de nuevas secuencias de RGA a partir de fuentes de ADN menos complejas y selección de la secuencia final de las colecciones de sustracción

Cheong et al. (2002) encontraron que la expresión transitoria e inducida de la nutrición y las lesiones aparece en los genes 0.5-6 h después del tratamiento, precedida de la expresión sostenida de otros genes del efector. Esto condujo al diseño de un nuevo ensayo que incluirá un método de infestación más sutil y un nuevo experimento de sustracción para cubrir las primeras 24 h de posinfestación. De esta manera, se buscarán los elementos reguladores en dirección ascendente de las secuencias expresadas que fueron reportadas aquí. Tales elementos son de interés particular en la búsqueda del polimorfismo entre las variedades de *Brachiararia* susceptibles y resistentes.

La hibridación sustractiva realizada no permitió la detección de mecanismos constitutivos de resistencia. Por consiguiente, se planea realizar una hibridación sustractiva de cADNs a partir de una variedad susceptible y otra resistente, sometiénolas al ataque del insecto para averiguar si hay o no un mecanismo constitutivo de resistencia.

## Validación de etiqueta PCR de 'apo-locus' y aplicación inicial en el programa de mejoramiento de *Brachiararia*

Olga Giraldo, J. Tohme, J.W. Miles (CIAT)

### Justificación

Un marcador molecular seguro del locus de la apomixis facilitaría la evaluación del modo reproductivo en grandes poblaciones híbridas y mejoraría la eficacia del programa de mejoramiento. Hace 8 años fue identificado un marcador RAPD que se congrega con el modo reproductivo apomítico, pero aún no está claro si suficientemente sólido para el uso rutinario en el programa de mejoramiento.

## **Materiales y métodos**

Se probaron 123 híbridos (SX x AP) por progenie. Estos incluyeron 107 progenies BR00 y 16 progenies BR01. Para todas las progenies de BR00 y para 13 de las progenies de BR01 se determinó la presencia/ausencia del marcador N14.

## **Resultados y discusión**

La concordancia entre los resultados de la prueba de progenie y el marcador putativo de apomixis fue buena para las 107 progenies BR00 –se encontraron seis inconsistencia, o sea, 94.4% de concordancia–. Sin embargo, para 13 progenies BR01, donde se tenían datos en N14, la concordancia fue menor que 50%. Una condición adicional de las progenies BR01 fue que 14 de 16 (87.5%) se clasificaron como apomícticas o apomícticos facultativas, de acuerdo con la uniformidad de la progenie OP, en lugar de la segregación esperada 1:1. Aunque no se encontró explicación para estas anomalías, se sugiere, sin embargo, que el uso del marcador N14 para las determinaciones rutinarias del modo reproductor no es todavía posible.

## **Definición de interacciones entre hospederos y patógenos en *Brachiaria***

### **Aspectos sobresalientes**

- Con la nueva metodología de invernadero se encontró que 42 (11%) de los genotipos de *Brachiaria* tenían un nivel igual o superior de resistencia a *Rhizoctonia solani* que el control (*B. brizantha* CIAT 16320).
- Se determinó la variabilidad genética y patogénica de aislados de *Xanthomonas campestris* pv. *Graminis* que infectan *Brachiaria*.

## **Selección de híbridos de *Brachiaria* por resistencia al añublo foliar por *Rhizoctonia***

C. Zuleta, J. W.Miles y S. Kelemu (CIAT)

### **Justificación**

El añublo foliar causado por *Rhizoctonia solani* es una enfermedad importante de las especies de *Brachiaria*. La enfermedad puede causar daño significativo a los genotipos susceptibles. El patógeno tiene la habilidad de sobrevivir por períodos largos de tiempo en el suelo o en los restos de la planta en forma de esclerocios, los cuales se observan inicialmente como masas blancas en los tejidos infectados de la planta. Estos esclerocios se tornan de color castaño cuando maduran y se desprenden fácilmente hacia el suelo, formando así la fuente primaria de inóculo. Para el manejo eficiente de esta enfermedad un paso importante es la búsqueda de materiales resistentes. En 2001 se estandarizó y se mejoró mucho el método de inoculación artificial, reduciendo así la variabilidad de la reacción de la enfermedad entre las plantas dentro del mismo genotipo.

## **Materiales y métodos**

**Aislamiento del patógeno y preparación del inóculo.** El patógeno fue aislado de una planta enferma en campos de *B. brizantha* CIAT 6780. El hongo fue multiplicado en papa dextrosa-agar (PDA, Difco) en cajas Petri y se incubó a 28 °C. El aislamiento se mantuvo como esclerocios secos producidos en caldo de YSB (20 g de peptona, 20 g sacarosa, 5 g extracto de levadura en 1 lt de agua deionizada) a temperatura ambiente.

**Método de inoculación.** Las plantas fueron propagadas en forma vegetativa y se inocularon artificialmente 15 días después. La inoculación se hizo colocando discos miceliales frescos de *R. solani* cultivados en agar en los tallos a 2 cm, aproximadamente, sobre el nivel del suelo y se envolvieron con una película de parafina (Foto 5).



**Foto 5.** Plantas de *Brachiaria* inoculadas con *Rhizoctonia solani*



**Foto 6.** Cámara de humedad para el desarrollo de la enfermedad añublo foliar por *Rhizoctonia*.

Las plantas inoculadas se trasladaron a una cámara de humedad (Foto 6) con aplicaciones de nubes de agua durante una hora en la mañana y un tiempo igual en la tarde. Las temperaturas se mantuvieron a 30-35°C y las plantas se evaluaron 15 días después de la inoculación.

El desarrollo ascendente de la enfermedad se midió desde el punto de la inoculación. La evaluación visual de la enfermedad se hizo usando el método descrito por Horsfall y Barratt (1945 *Phytopathology* 35:655).

### **Resultados y discusión**

Los síntomas se desarrollaron totalmente 15 días después de la inoculación. Todos los materiales inoculados manifestaron uniformemente los síntomas de la enfermedad (Foto 7). El desarrollo ascendente de los síntomas a partir de los puntos de inoculación oscilaron desde 10.33 cm en los materiales resistentes hasta 37 cm en los susceptibles. Cuarenta y dos de los 381 materiales evaluados mostraron un desarrollo de la enfermedad bajo o igual al del control resistente *Brachiaria* CIAT 16320 (Figura 12).

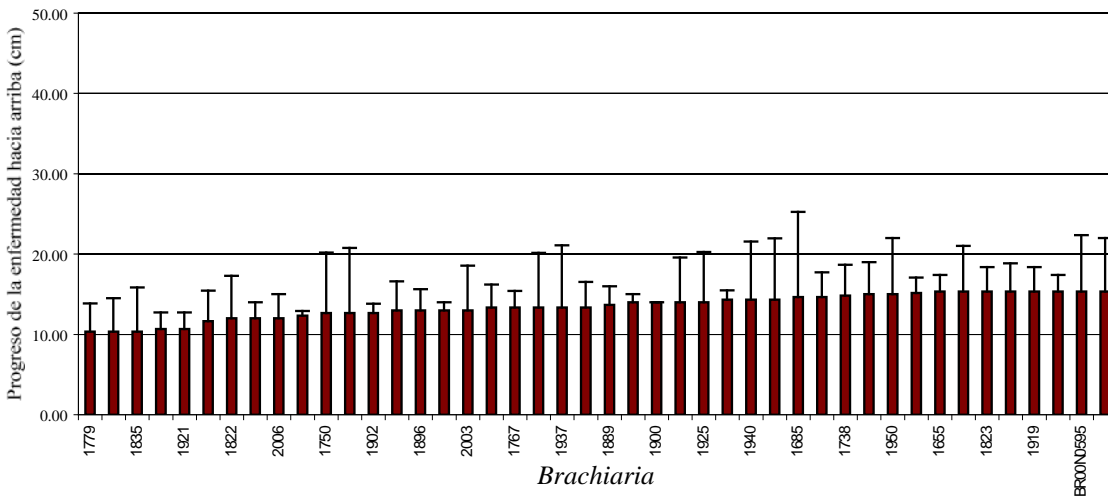
En la Figura 13 se muestra el rango de los genotipos cuando el avance de la enfermedad era ascendente y se aplicaban los métodos Horsfall y Barratt. Sin embargo, estos datos son preliminares y se requieren análisis más completos. Se debe tener en cuenta que la presencia del endofito *A. implicatum* es variable

entre genotipos y entre plantas del mismo genotipo. Además, las plantas usadas como destinatarias del polen de *Brachiaria* CIAT 16320, así como las mismas plantas donantes de polen, se examinaron para la presencia o ausencia de endófitos.

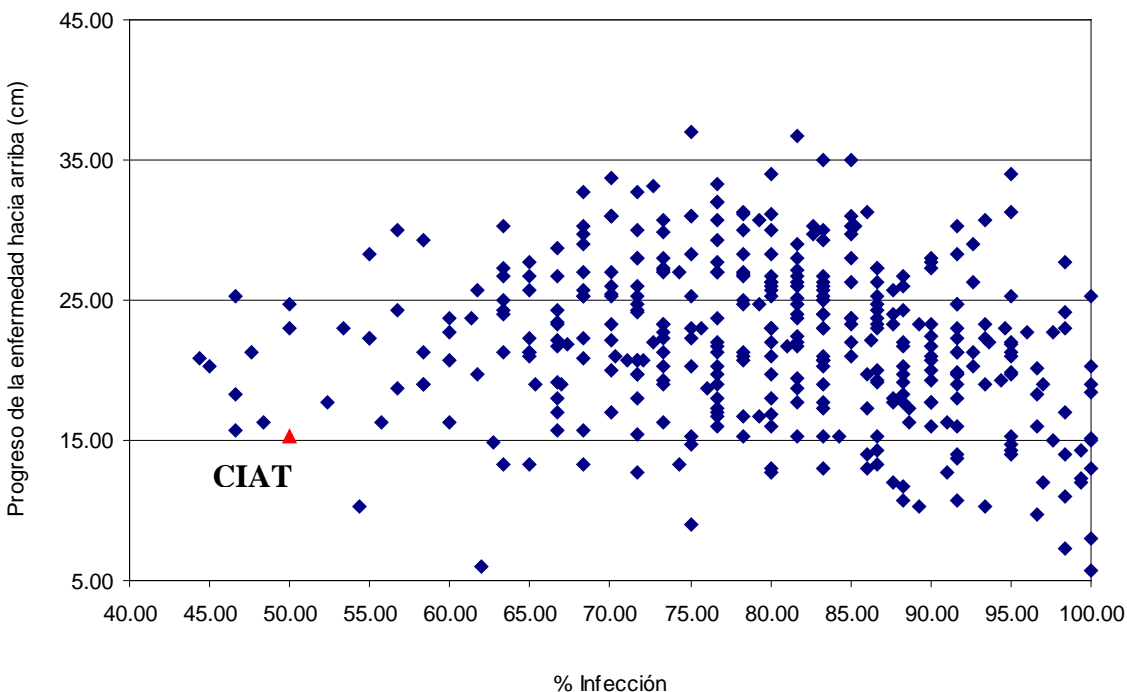


**Foto 7.** Síntoma de añublo foliar por *Rhizoctonia solani* en *Brachiaria*, 15 días después de la inoculación.

El nuevo método de inoculación junto con las condiciones de humedad mantenidas mejoraron la homogeneidad en la expresión de síntomas de la enfermedad en plantas del mismo genotipo. Como resultado de 42 % los 383 genotipos incluidos en la selección mostraron el mismo nivel o superior de resistencia en comparación con el control *Brachiaria* CIAT 16320.



**Figura 12.** Desarrollo de la enfermedad por *Rhizoctonia solani* en genotipos resistentes de *Brachiaria*. Medida como una progresión ascendente de los síntomas a partir del punto de inoculación de la planta.



**Figura 13.** Clasificación de genotipos de *Brachiaria* utilizando tanto las medición del desarrollo ascendente de la enfermedad como los métodos Horsfall y Barratt.

**Estudios de las condiciones para la producción de esclerocios y germinación de *Rhizoctonia solani***  
Tomoko Sakai (JICA, Japón) y S. Kelemu (CIAT)

**Preparación de los esclerocios.** Los esclerocios de *Rhizoctonia solani* CIAT 6780 fueron producidos en papa-dextrosa-agar (PDA, Difco) a 28°C. Los esclerocios fueron recogidos y separados de los discos miceliales, secados al aire en una cámara bajo condición estéril y ordenados por tamaño para uso posterior.

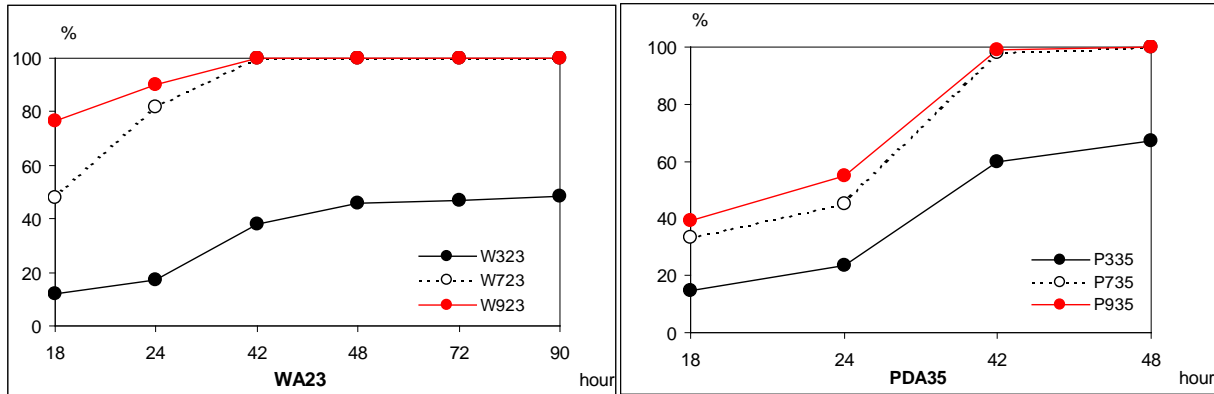
**Pruebas de germinación.** La germinación de los esclerocios fue medida en varios medios de cultivo, temperaturas y pH: en PDA, agar acuoso (WA; 20 g de agar granulado, 1 lt de agua destilada) y en agar Czapek-dox (2 g NaNO<sub>3</sub>, 1 g K<sub>2</sub>PHO<sub>4</sub>, 0.3 g MgSO<sub>4</sub> .7H<sub>2</sub>O, 0.5 g KCl, 0.01 g FeSO<sub>4</sub>, 30 g sacarosa y 20 g de agar, 1 lt de agua destilada más 1 ml de 1% de ZnSO<sub>4</sub> y 0.5% CuSO<sub>4</sub>). Cada medio de cultivo se ajustó a pH 3, 7 y 9. Para la incubación se usaron los tratamientos de temperatura de 23 °C, 30 °C y 35 °C. En cada plato se colocaron, en total, 50 esclerocios. La germinación en cada uno de ellos fue medida después de 18, 24, 42, 48, 72 y 90 h de incubación.

**Producción de esclerocios.** Para cada combinación del tratamiento temperatura de incubación x medio x pH se plantó un esclerocio en el centro de cada caja Petri. Después de 15 días de incubación, con el uso de pinzas se cosecharon de las mallas miceliales todos los esclerocios producidos en cada plato, se secaron con aire en un recipiente hermético y se pesaron. Todos los tratamientos constaron de dos repeticiones y los resultados se presentaron como valores promedio.

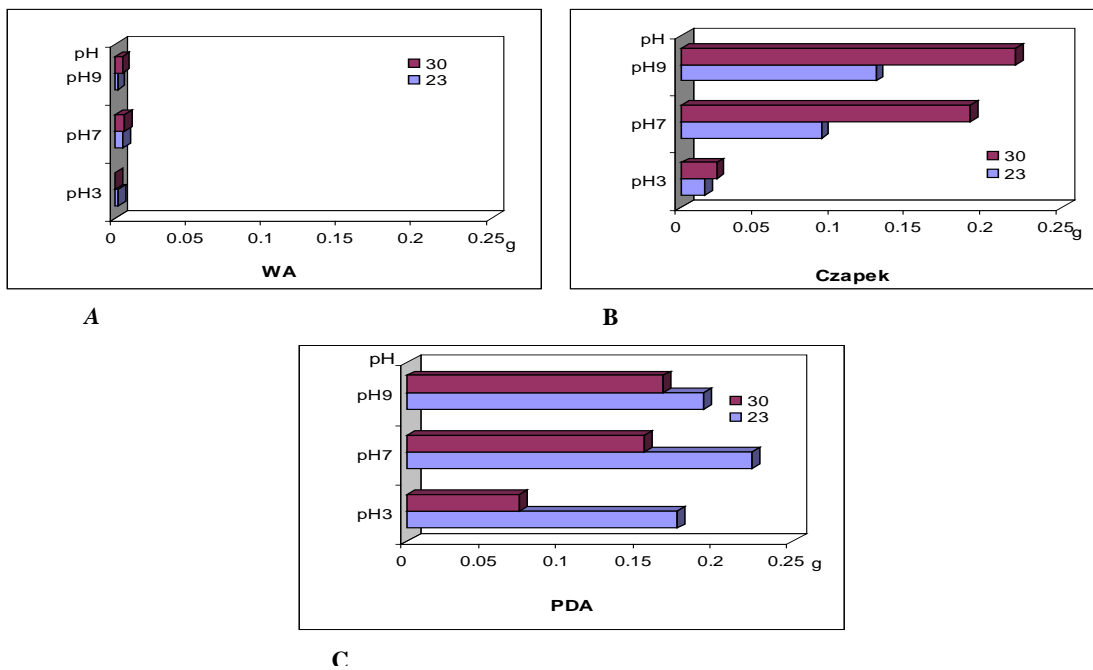
**Resultados y discusión**

La producción y tasa de germinación de esclerocios de *R. solani* fueron comparadas utilizando tres medios de cultivo x tres niveles de pH x tres combinaciones de temperatura de incubación. Los esclerocios de *R. solani* CIAT 6780 germinaron en todos los medios, aunque la germinación fue lenta en

los medios con pH 3 y 35 °C (Figuras 14, A-B). Aunque se produjeron discos miceliales a partir de esclerocios en germinación en todos los tratamientos, ninguno de ellos se produjo en algún medio x combinaciones de pH a 35 °C. En PDA se produjeron más esclerocios en bajas que en altas temperaturas, pero en agar de Czapek los resultados obtenidos fueron contrarios a aquéllos en PDA (Figura 15 A-C).



**Figura 14 A-B.** Porcentaje de germinación de esclerocios de *Rhizoctonia solani* en tres medios, temperaturas y pH. Observación: Las letras indican los medios, el número después de la letra indica el pH y los últimos dos números indican la temperatura. Por ej., P335 es para germinación de esclerocios en agar papa-dextrosa a pH 3 con una temperatura de incubación de 35°C.



**Figura 15 A-C.** Producción de esclerocios por *Rhizoctonia solani* CIAT 6780 en agar acuoso (A), Czapek (B) y papa-dextrosa (C) en tres valores de pH diferentes y dos temperaturas.

Los resultados indican que la germinación de esclerocios no es afectada por el valor nutritivo del sustrato, considerando que la producción de ellos es influenciada por los nutrientes. Se sabe, también, que el estado nutritivo afecta la virulencia de los esclerocios. La virulencia de las hifas a partir de la

germinación del esclerocio depende del tamaño y condición de éste, y la calidad y cantidad de la base nutritiva en el sustrato.

### **Marchitamiento bacteriano en *Brachiaria*** M. Rodríguez y S. Kelemu (CIAT)

En informes y publicaciones anteriores se describió el marchitamiento bacteriano de *Brachiaria* y su agente casual. *Xanthomonas campestris* pv. *graminis* infecta varias gramíneas forrajeras cultivadas. Algunos de los primeros síntomas de la enfermedad consiste en la aparición de bandas cloróticas/necróticas a lo largo de las hojas. Bajo condiciones severas, la planta entera toma una coloración amarilla y puede morir. Otro síntoma típico es el marchitamiento y el rizado de las hojas sin presencia de decoloración o lesiones, lo que produce la muerte rápida de la planta.

En varios sitios en Colombia fueron recolectados aislamientos de *X. campestris* pv. *graminis* para determinar su patogenicidad y diversidad genética.

### **Materiales y métodos**

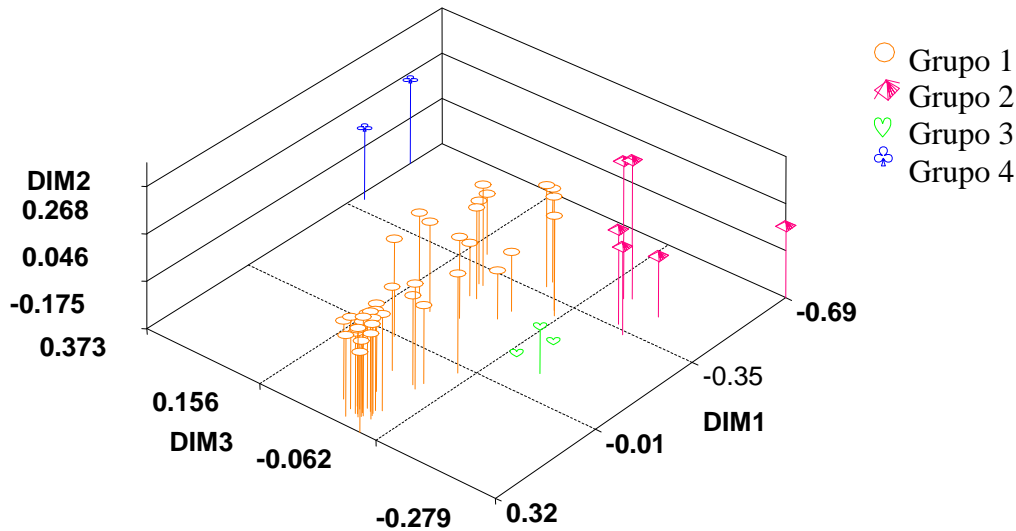
Con el fin de determinar la variabilidad genética se caracterizaron 51 colonias independientes de *Xanthomonas campestris* pv. *graminis* recolectadas en especies de *Brachiaria* naturalmente infectadas. Las muestras infectadas, con un marchitamiento o síntomas cloróticos a lo largo de las venas de las hojas, fueron recolectadas en campos de CIAT-Quilichao y Popayán. Las hojas fueron picadas en pedazos pequeños y la superficie se esterilizó con 1% de solución de NaOCl por 2 min y en 70% de etanol por 1 min. Después se enjuagaron con agua deionizada estéril y se maceraron en agua estéril. En el agar nutriente se colocó una serie de la dilución de la suspensión macerada para la selección posterior de colonias bacterianas independientes y su patogenicidad se confirmó inoculando un material susceptible (*Brachiaria* híbrido CIAT 36062). Las colonias seleccionadas se cultivaron en un caldo nutritivo a 28 °C con agitación (200 r.p.m.). A continuación fueron conservadas en solución con 30% de glicerol a -20°C. Los aislamientos de ADN se hicieron utilizando protocolos normales. Las amplificaciones de PCR se hicieron usando 8 cebadores (*primer*) arbitrarios (Cuadro 12). Las condiciones y el análisis estadístico de los datos fueron similares a los descritas por Kelemu et al. (1999) en *Europ. J. Plant Pathol.* 105:261-272.

**Cuadro 12.** Listado de cebadores (primers) de oligonucleótidos base 10 usados en este estudio.

Código	Secuencia
OPA- 1	CAGGCCCTTC
OPA- 2	TGCCGAGCTG
OPA- 3	AGTCAGCCAC
OPA- 4	AATCGGGCTG
OPAJ- 8	GTGCTCCCTC
OPAJ- 11	GAACGCTGCC
OPC-2	GTGAGGCGTC
OPD- 3	GTCGCCGTC

### **Resultados y discusión**

Las amplificaciones de ADN de 51 aislamientos de *X. campestris* con 8 cebadores (*primers*) generó un total de 228 bandas RAPD. El análisis de múltiple correspondencia generó cuatro grupos de aislamientos con una similitud promedio de 60% (Figura 16).



**Figura 16.** Análisis de correspondencia múltiple de aislados de *Xanthomonas campestris* pv. *graminis* recolectados en *Brachiaria*.

Aunque el número de aislamientos estudiados es pequeño, existe evidencia de que la variabilidad entre ellos es grande. La mayoría de los aislamientos fueron recolectados en campos del CIAT en Palmira. Se ha demostrado que el patógeno es transmitido por semillas y también vegetativamente (Inf. Anual-2001). Por tanto, es importante tomar las precauciones durante la siembra de los materiales.

### **Resultado 4.3: Desarrollo de genotipos de gramíneas y leguminosas con adaptación superior a limitantes edáficas y climáticas**

#### **Genotipos de *Brachiaria* y otras gramíneas y de *Arachis* con adaptación a factores edáficos**

##### **Aspectos sobresalientes**

- Se demostró por primera vez que la densidad de carga en la superficie de los ápices radiculares de *B. decumbens* resistente a aluminio (Al) actúa como un mecanismo genérico para evitar la absorción de aluminio y otros cationes fitotóxicos.
- La caracterización fenotípica de una población de *B. decumbens* x *B. ruziziensis* condujo a la identificación de unos pocos híbridos superiores que *B. decumbens* en la producción de raíces finas en presencia de un nivel tóxico de aluminio en solución.
- Usando un procedimiento de selección para evaluar la resistencia a aluminio, se identificaron dos híbridos sexuales (SX 01NO3178 y SX01NO7249) y un híbrido apomítico (BR99NO/4132) con un nivel superior de resistencia a Al que el padre sexual BRUZ/44-02.
- Se demostró que el híbrido de *Brachiaria* FM9503-S046-024 se desarrolló bien en el tercer año después del establecimiento en los Llanos Orientales de Colombia y su desempeño superior, 28 meses después del establecimiento, se asoció con su habilidad para absorber cantidades mayores de nutrientes, particularmente Ca y Mg de suelos de baja fertilidad.
- La investigación colaborativa bajo condiciones ambientales controladas en un Oxisol en cámara de crecimiento en Goettingen (Alemania), indicó que la accesión *Arachis pintoii* CIAT 22159 se adapta mejor a un bajo nivel de P, en comparación con el cv. comercial, *A. pintoii* CIAT 17434.



- Los resultados de un estudio de campo en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia mostraron que *A. pintoi* CIAT 22159 es superior al cv. comercial *A. pintoi* CIAT 17434 en términos de celeridad de establecimiento y potencial de rebrote.

**Adaptación edáfica de *Brachiaria*** P. Wenzl (CAMBIA, Australia), A.L. Chaves, M.E. Recio, J. Tohme, e I.M. Rao (CIAT)

La amplia adopción de cultivares de *Brachiaria* depende, entre otras ventajas, de su eficiencia para absorber nutrientes del suelo, particularmente P, N y Ca, y utilizarlos para crecimiento. Para desarrollar rápidamente cultivares, mediante la evaluación agronómica y el mejoramiento genético, fue necesario identificar los atributos de la planta que hacen posible la adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad. Los atributos de la planta parecen estar relacionados con diferentes estrategias para absorber y utilizar los nutrientes. Para integrar los atributos de la planta en los índices de selección es fundamental entender estas relaciones, las cuales se pueden usar para desarrollar procedimientos de selección rápidos y confiables para la evaluación y mejoramiento de germoplasma.

Como parte del proyecto central financiado por BMZ-GTZ de Alemania, se continuaron los esfuerzos para analizar los componentes fisiológicos y genéticos de resistencia a aluminio en *Brachiaria*.

### **Exploración de la densidad de carga en la superficie de ápices radiculares como un factor potencial que contribuye a la resistencia a aluminio de *Brachiaria decumbens***

#### **Justificación**

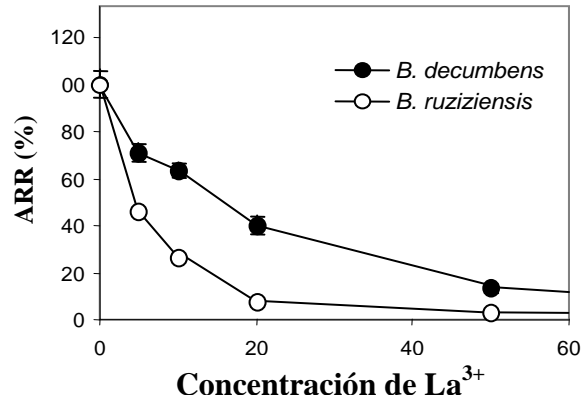
Existe una diferencia pronunciada en la resistencia a aluminio (Al) entre *B. decumbens* y *B. ruziziensis*. La investigación previa indicó que *B. decumbens* podría excluir los iones fitotóxicos de Al a partir de los ápices radiculares usando un mecanismo que no depende de la destoxificación externa por ácidos orgánicos. Con base en estos resultados se lanzó la hipótesis de que una densidad de carga menos negativa (o incluso positiva) en la superficie de los ápices radiculares podría ser un mecanismo muy eficiente en la exclusión de Al no-metabólico. Según esta hipótesis, *B. decumbens* también debe ser más resistente a otros tóxicos con diferentes propiedades físico-químicas (por ej., relación iónica) con tal de que sean cationes. Se presentan aquí los experimentos para evaluar la susceptibilidad de dos especies de *Brachiaria* a lanthanum ( $\text{La}^{3+}$ ) y otros iones lanthanidos utilizando el alargamiento relativo de la raíz (ARR) de las plántulas como una medida de resistencia.

#### **Materiales y métodos**

Las semillas de *B. decumbens* y *B. ruziziensis* se colocaron en germinadores con 200  $\mu\text{M}$   $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) por 4 a 5 días. Las semillas homogéneas con longitudes de la raíz entre 2 y 3 cm fueron transferidas a soluciones continuamente aireadas conteniendo 200  $\mu\text{M}$  de  $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) más una sal lantánida (cloruros de lanthanum, cerio o Iterbio). Las plántulas se desarrollaron en casa de vegetación durante 3 días. Al momento de la cosecha se midieron las longitudes de la raíces y el alargamiento de éstas se calculó substrayendo la longitud de la raíz al trasplante.

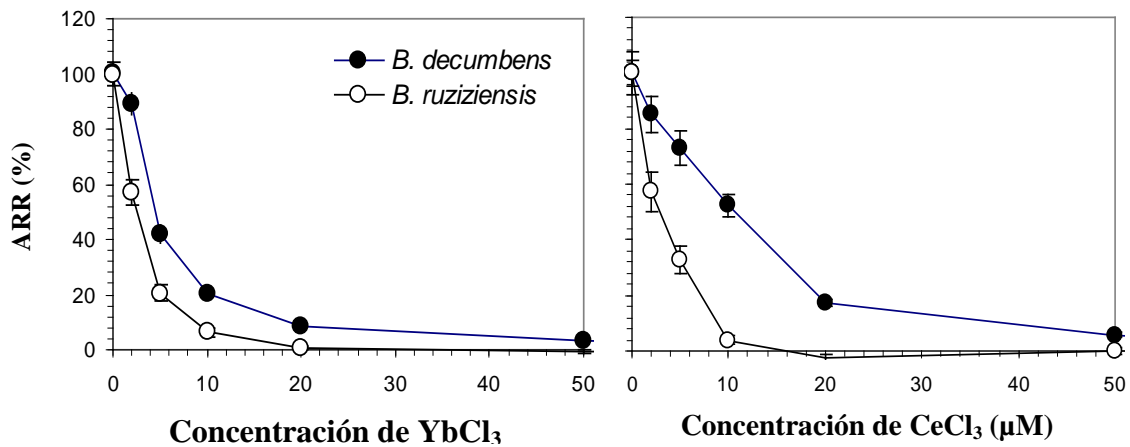
#### **Resultados y discusión**

Los resultados obtenidos con  $\text{La}^{3+}$  muestran que *B. decumbens*, resistente a Al, es más resistente a los iones de  $\text{La}^{3+}$  que *B. ruziziensis*, susceptible a este elemento (Figura 17). En otras especies de plantas evaluadas hasta ahora, los genotipos que difieren en su resistencia a los iones de  $\text{Al}^{3+}$  son igualmente susceptibles a  $\text{La}^{3+}$ . Otros iones lantánidos como  $\text{Yb}^{3+}$  y  $\text{Ce}^{3+}$  activaron una respuesta diferencial similar (Figura 18).



**Figura 17.** Alargamiento relativo de la raíz (ARR) de *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria ruziziensis* afectados por  $\text{La}^{3+}$  en la solución nutritiva. Los valores son promedios  $\pm$  ES de 12 plántulas.

Esta es la primera vez que se ha observado una resistencia general en plantas a tóxicos catiónicos trivalentes. Estos resultados son consistentes con la posibilidad de que la densidad de carga de la superficie en los ápices radiculares –la fuente principal de daño por Al– actúe como un mecanismo genérico para evitar la absorción de catiónicos fitotóxicos. Aún existe la posibilidad de que esta ‘resistencia cruzada’ se deba a otros factores. En este momento se tienen trabajos en progreso para evaluar la importancia de un mecanismo de resistencia a Al basado en la carga de la superficie radicular, en comparación con otros mecanismos.



**Figura 18.** Alargamiento relativo de la raíz (ARR) de *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria ruziziensis* afectados por dos cationes diferentes de lantánidos en la solución nutritiva. Los valores mostrados son promedios  $\pm$  ES de 12 plántulas.

Los resultados de estos experimentos pueden proporcionar ideas para analizar la resistencia a Al de *B. decumbens* en los mecanismos fisiológicos. Esto puede ser particularmente útil si el control genético del rasgo resulta ser complejo, lo cual puede ser el caso (ver sección: Identificación de individuos con resistencia contrastante a aluminio en la población híbrida de *Brachiaria ruziziensis*  $\times$  *Brachiaria decumbens*).

**Evaluación de atributos que contribuyen a la adaptación a suelos ácidos de una población de 274 híbridos de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*** M.E. Buitrago (U. del Valle), M.E. Recio, A.L. Chaves (CIAT), P. Wenzl (CAMBIA, Australia), J. Tohme, J.W. Miles, e I.M. Rao (CIAT)

### **Justificación**

En un experimento piloto se encontró que los híbridos de una población de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens* segregada para caracteres relacionados con la raíz son importantes para la adaptación a suelos ácidos. Estos incluyen el potencial de crecimiento de la raíz, o sea, la habilidad de las raíces para iniciar y alargarse en ausencia de nutrientes proporcionados externamente y la resistencia a Al (ver la sección: Identificación de Individuos con resistencia contrastante a aluminio en una población híbrida de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*). Por consiguiente, se extendió la evaluación fenotípica actual a la población híbrida completa disponible en el CIAT.

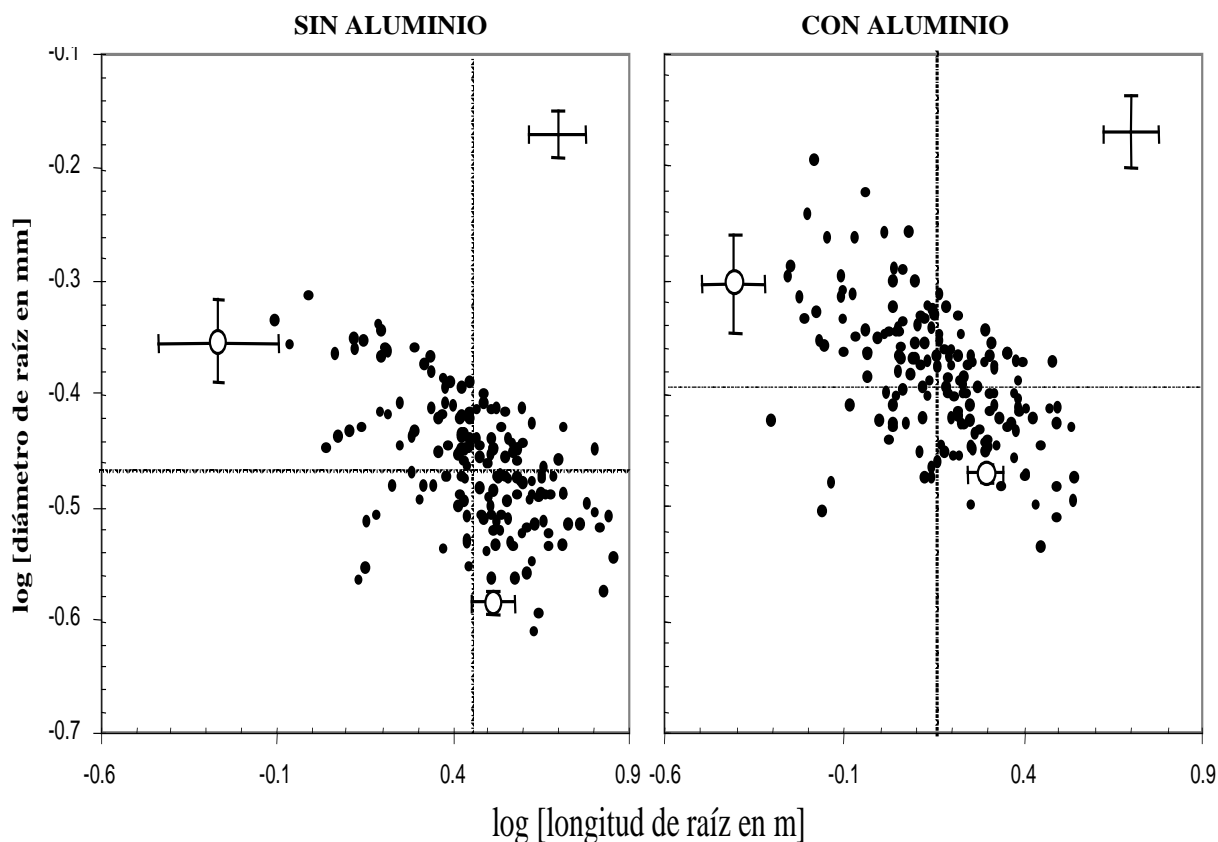
Los resultados de este experimento tendrán utilidad porque, primero, permitirán refinar un procedimiento de un solo paso de clasificación para desechar rápidamente los genotipos no adaptados a suelos ácidos y, segundo, los datos fenotípicos proveerán una base para el mapeo de QTLs que controlan los caracteres fisiológicos y morfológicos asociados con la adaptación a suelos ácidos. Esto último debe proporcionar una vía para implementar una selección asistida por marcadores para la adaptación a suelos ácidos en el futuro.

### **Materiales y métodos**

En condiciones de invernadero se utilizó durante 9 días una solución nutritiva de baja fuerza iónica para el enraizamiento de tallos cosechados de una población de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*. Los cortes de tallo de cada genotipo se agruparon en pares homogéneos. Un corte de cada par se usó para medir el crecimiento de la raíz en ausencia de Al (en 200µM CaCl<sub>2</sub>, pH 4.2), mientras que el otro se usó para medir el crecimiento en una solución idéntica, a la que se habían añadido 200µM de AlCl<sub>3</sub>. Las soluciones del tratamiento fueron cambiadas cada segundo día para minimizar las desviaciones del pH. En la cosecha, el día 21 después del traslado de los tallos a las soluciones, estos fueron separados de las raíces y secados para determinar su peso seco. Las raíces se pusieron durante 24 h, o hasta que se tiñeran, en una solución que contenía rojo neutro y azul de metileno. Después de enjuagarlas con agua, fueron escaneadas en un escáner plano. Las imágenes resultantes se analizaron con el software de análisis de imágenes WinRHIZO para determinar la longitud de la raíz y el diámetro promedio de ella. Este experimento todavía está en progreso y, hasta ahora, se han analizado totalmente tres ciclos de crecimiento, cada uno comprendiendo hasta tres pares de cortes de tallos por genotipo (más para los dos progenitores).

### **Resultados y discusión**

Se sabe que un sistema radicular extensivo que explore un gran volumen de suelo puede absorber más eficientemente los nutrientes relativamente inmóviles, tales como fósforo. Esta es una característica importante que le permite a las plantas crecer en suelos ácidos deficientes en nutrientes. Por consiguiente, los genotipos adaptados a estas condiciones deben tener raíces largas y delgadas, como aquellas que aparecen agrupadas en el extremo inferior derecho del gráfico cartesiano en el cual se presentan el diámetro (eje y) vs. la longitud de la raíz (eje x) (Figura 19). Para producir este gráfico, la longitud de la raíz y los datos de espesor fueron transformaron por logaritmos y se ajustaron por el efecto del peso seco del tallo cosechado, como se describe en la siguiente sección: Identificación de individuos con resistencia a aluminio contrastante en una población híbrida de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*. Los dos conjuntos de datos se colocaron uno contra otro, para determinar el crecimiento de los cortes de tallo tanto en ausencia como en presencia de Al (Figura 19).



**Figura 19.** Comparación de la longitud y el diámetro de la raíz de cortes de tallos enraizados a partir de una población híbrida de *B. ruziziensis* x *B. decumbens* cultivada en ausencia (panel izquierdo) y presencia de Al (panel derecho) en solución. Los valores de los dos progenitores aparecen con símbolos grandes (izquierda superior, *B. ruziziensis*; abajo derecha, *B. decumbens*). Los valores para los híbridos aparecen con símbolos pequeños. Las barras de error en la esquina superior derecha muestran los errores estándar promedio para las dos variables. Sólo aparecen en la Figura los híbridos para los cuales se tomaron, al menos, dos mediciones independientes.

En ausencia de Al, los tallos cosechados de los híbridos tuvieron longitudes de raíz entre 0.6 y 7.0 m. Mientras que el padre pobremente adaptado (*B. ruziziensis*) se situó en el extremo inferior del rango. Se observó también que un número significativo de híbridos produjo raíces más largas que *B. decumbens*, una especie bien adaptada (Figura 19, panel izquierdo). Sin embargo, los dos progenitores estuvieron cerca de los dos extremos del rango de los diámetros de la raíz (Figura 19, panel izquierdo). Como se esperaba, en presencia de Al el alargamiento de la raíz fue inhibido y éstas se tornaron más gruesas, como se observa en las diferencias de los promedios de las poblaciones en el panel derecho vs. izquierdo de la Figura 19.

El cultivo de los cortes de tallo enraizados en el tratamiento con Al y la escogencia de genotipos con las raíces largas y delgadas (Figura 19, panel derecho) podría ser un método de selección eficiente para desechar los segregantes no-adaptados en el programa de mejoramiento de *Brachiaria*. Es, sin embargo, importante tener presente también la evaluación por características deseables como el potencial de crecimiento de la raíz en ausencia de nutrientes externos + resistencia a Al + presencia de raíces delgadas intrínsecamente. No obstante, los componentes genéticos que controlan estos caracteres se pueden

dispersar completamente por los diferentes genotipos y podrían perderse si la prueba se aplica muy estrictamente.

Por estas razones, es aconsejable aislar ‘los componentes fisiológicos’ que contribuyen al crecimiento de la raíz en el tratamiento con Al. La realización de la misma prueba en ausencia de Al proporciona acceso al componente que permite a las plantas iniciar y elongar las raíces en ausencia de todos los nutrientes, excepto Ca, en el medio de crecimiento y al componente que es responsable inherente de presencia de las raíces delgadas (Figura 19, panel izquierdo). Una comparación para cada genotipo, entre la longitud de la raíz en presencia y ausencia de Al proporciona un acceso indirecto al componente fisiológico que gobierna la resistencia a Al (ver la sección: Identificación de individuos con resistencia contrastante al aluminio en un población híbrida de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*).

Actualmente se está acumulando información a partir de ciclos de crecimiento adicionales para aumentar la precisión con que se podrá ‘disectar’ el crecimiento de la raíz en aquellos componentes fisiológicos. Como consecuencia, el conjunto de datos fisiológicos se combinará con los datos genéticos para identificar QTLs asociados con estos rasgos.

**Identificación de individuos con resistencia a aluminio contrastante en una población híbrida de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*** A. Arango (U. Nacional), P. Wenzl (CAMBIA, Australia), J. Tohme, J.W. Miles e I.M. Rao (CIAT)

### **Justificación**

Los experimentos anteriores se estableció que existe una diferencia significativa en la resistencia a Al entre *B. decumbens* (resistente) y *B. ruziziensis* (susceptible). Debido a que las plantas reproducidas apomícticamente tienden a ser altamente heterocigóticas, se esperaba que los alelos que confieren la resistencia a Al en *B. decumbens* apomíctico segregaran en la población híbrida de *B. ruziziensis* × *B. decumbens*. El objetivo principal de este trabajo es usar esta población para aislar los genes cuya expresión esté asociada con la resistencia a Al.

Se presenta la información sobre la evaluación fisiológica de 38 individuos de esta población híbrida, que habían sido seleccionados usando datos de experimentos preliminares con híbridos resistentes y susceptibles a Al. Con base en los resultados de esta evaluación, se formarán dos grupos de individuos contrastantes para comparar los patrones de expresión de los genes en los ápices radicales, el sitio donde posible ocurre la acción de los mecanismos de resistencia a Al.

### **Materiales y métodos**

Cortes de tallos enraizados de cada genotipo se agruparon en pares homogéneos. Para medir la elongación potencial de la raíz se utilizó un tallo cortado de cada par que se colocó en una solución que contenía 200 µM de CaCl<sub>2</sub> (pH 4.2), el otro par se usó para medir el crecimiento en una solución idéntica, a la cual se habían agregado 200 µM de AlCl<sub>3</sub> (ver la sección anterior: Evaluación de la adaptación a suelos ácidos de 274 híbridos de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria decumbens*). El experimento consistió de diez ciclos de crecimiento independientes, cada uno hasta con nueve pares de cortes de tallo por el genotipo.

### **Resultados y discusión**

La inhibición del alargamiento de la raíz es un síntoma muy conocido de toxicidad por Al. La adición de Al a la solución basal que contiene sólo CaCl<sub>2</sub> tuvo un efecto pronunciado en el alargamiento de la raíz en la mayoría de los genotipos. Los análisis iniciales, sin embargo, indicaron que el efecto del Al era muy inconsistente, tanto dentro como entre los bloques.

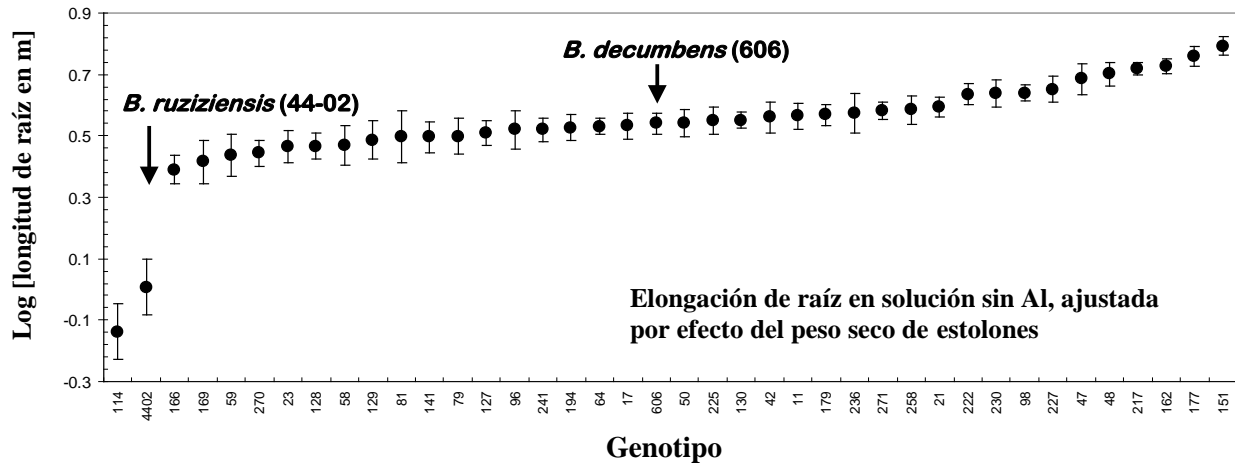
Varios factores pueden haber contribuido a esta variabilidad. Primero, el alargamiento de la raíz en una solución a la que le faltan todos los nutrientes, excepto Ca, depende considerablemente de las reservas (azúcares, nutrientes) presentes en los cortes de tallo. Se espera que aquellos tallos que tienen una biomasa mayor muestren, consecuentemente, un alargamiento superior de la raíz en ambos tratamientos. Segundo, los resultados anteriores sugieren que un buen estado nutritivo aumenta el nivel de resistencia a Al de las especies de *Brachiaria*. Esto puede reforzar el efecto positivo de la biomasa del corte de tallo en el alargamiento de la raíz en el tratamiento con Al. Tercero, es probable que los cortes de tallo tomados de las plantas con un buen estado nutritivo contengan más nutrientes por unidad de biomasa, ampliando así potencialmente el efecto de la biomasa de dicho corte en el alargamiento de la raíz en ambos tratamientos. Estas consideraciones resaltan la importancia del ajuste de los datos del alargamiento de la raíz por la biomasa del corte de tallo y por el estado nutricional de las plantas donantes. Esto último probablemente varía una manera impredecible entre los diferentes ciclos de crecimiento.

Todos los datos fueron transformados por logaritmo ya que los resultados de crecimiento tienden a distribuirse normalmente de esta manera. Esto mejoró la normalidad en la mayoría de los casos, según la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La regresión lineal de la longitud y el diámetro de la raíz vs. el peso seco de los cortes del tallo indicó un efecto altamente significativo ( $P < 10^{-25}$ ) para la primera, pero no para el último. Por lo menos 13% (tratamiento base) y 20% (tratamiento con Al) de la variación de los datos de longitud de la raíz podrían considerarse debidos al peso seco variable de los cortes de tallo. Por consiguiente, los datos de longitud de la raíz se ajustaron por el efecto de dicho peso, usando las regresiones lineales separadas para ciclos individuales de crecimiento, lo cual aumentó ligeramente el porcentaje de variación explicada.

Las longitudes de la raíz ajustadas de la mayoría de los genotipos se encontraron entre 2.5 y 6.3 m por corte de tallo (valores logarítmicos entre 0.4 y 0.8; Figura 20). Sólo *B. ruziziensis* (1 m) y el híbrido no. 114 (0.7 m) tuvieron raíces mucho más cortas. De manera interesante, casi la mitad de los híbridos tuvo raíces más largas que el padre adaptado a suelos ácidos, *B. decumbens*. Debido a esta variabilidad inherente, se espera que el alargamiento de la raíz en presencia de Al sea el resultado de una superposición de dos componentes fisiológicos: la habilidad de alargamiento de las raíces en ausencia de nutrientes externamente proporcionados más la resistencia a Al. Mientras esto podría ser ventajoso para desechar rápidamente los genotipos no-adaptados en un programa de mejoramiento, es necesario aislar el componente de desempeño global en el tratamiento de Al que es atribuible a la resistencia a este elemento. Esto es debido a que los experimentos planeados para aislar los genes se basan en la presunción de que los genotipos susceptibles no expresan genes que confieren la resistencia a Al. No obstante, la no diferenciación o ‘no disección’ de los dos componentes podría resultar en una clasificación errada de genotipos que expresan los genes con resistencia a Al como susceptibles, porque les falta (presumiblemente no relacionada) la habilidad de alargar las raíces en la ausencia de nutrientes.

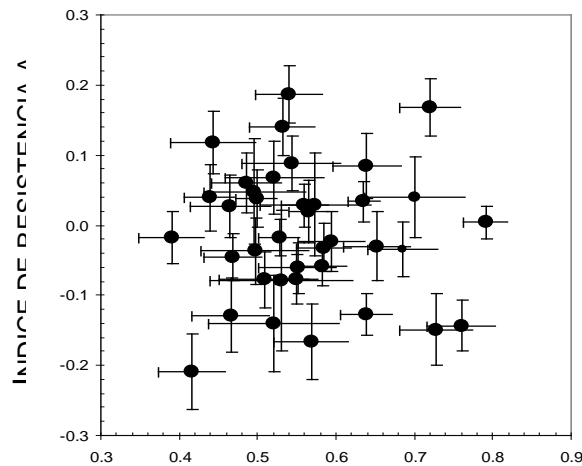
La resistencia al aluminio, por consiguiente, se cuantificó comparando el alargamiento de la raíz en el tratamiento con Al vs. el alargamiento en el tratamiento basal. Para cada par de cortes de tallo en que se habían dividido los dos tratamientos, se calculó la diferencia entre las longitudes de la raíz transformadas por logaritmo en los dos tratamientos (esto es equivalente a calcular la relación de longitudes de raíz sin transformación). Los dos genotipos con elongación pobre (114, 44-02) se excluyeron de este análisis, porque al momento de transferir los cortes de tallo en las soluciones de tratamiento ya se había presentado una fracción demasiado grande de su longitud de la raíz final. El efecto promedio de Al en el alargamiento de la raíz varió entre los ciclos de crecimiento (inhibición del 33% al 60%), quizás debido a las diferencias en el estado de los nutrientes en los cortes de tallo, tal como se explicó anteriormente. Mediante la substracción de la diferencia promedia en un ciclo de crecimiento particular (por ej., el efecto promedio de Al) de los valores individuales calculados para los pares de cortes de tallo, se lograron ajustes para los efectos específicos del ciclo de crecimiento, los cuales explican el 13% de la variación de

la diferencia entre las longitudes de raíz transformadas por logaritmo. El valor resultante se conoce como Índice de resistencia a Al. Si la resistencia a Al y la habilidad de alargamiento de las raíces en ausencia de nutrientes externos son componentes fisiológicos separados que se segregan independientemente, entonces, no debe haber correlación entre los índices de resistencia y el potencial de alargamiento de la raíz (longitudes de raíz transformadas por logaritmo en la ausencia de Al).



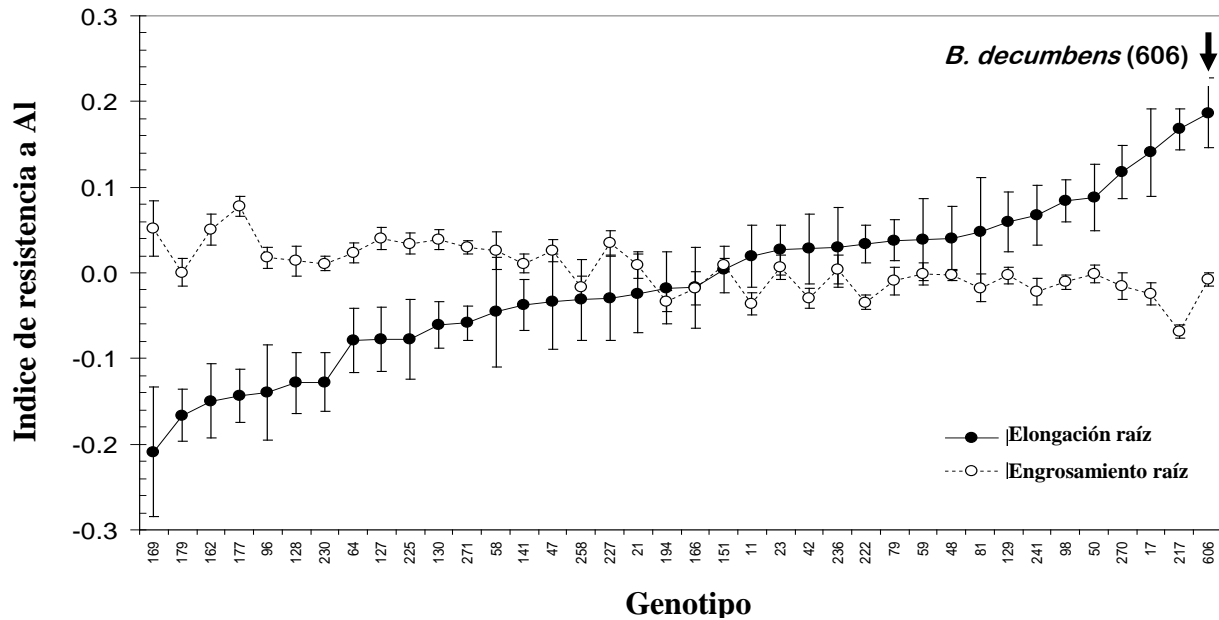
**Figura 20.** Longitudes de la raíz transformadas en logaritmos ajustadas al peso seco variable de cortes de tallo

Los genotipos se organizaron según su índice de resistencia a Al (Figura 21). La validez del enfoque en estos trabajos para cuantificar la resistencia a Al de los cortes de tallo parece confirmarse por dos resultados independientes. Primero, el padre resistente (*B. decumbens*) tenía el índice de resistencia a Al más alto (el padre susceptible a Al no pudo ser calificado debido a que el alargamiento de sus raíces fue muy pobre en el tratamiento base). Segundo, la evaluación de un síntoma de toxicidad diferente (inflamación lateral de las raíces) al causado por Al, demostró que las raíces de genotipos clasificados como resistentes tendieron a inflamarse menos que aquéllas de genotipos susceptibles ( $r = -0.88$ , Figura 21).



**Figura 21.** Falta de relación entre la resistencia a Al y el potencial de alargamiento de la raíz. Índice de resistencia a Al =  $\{\log[\text{longitud de la raíz en solución de Al}] - \log[\text{longitud de la raíz en solución basal}]\} - [\text{diferencia promedio para un ciclo de crecimiento particular}]$ . Alargamiento de la raíz en ausencia de Al =  $\log[\text{longitud de la raíz en el tratamiento basal}]$ . Todos los valores de la longitud de la raíz transformados por logaritmo han sido ajustados por el efecto del peso seco del corte de tallo.

Los resultados en la Figura 22 parecen confirmar esta presunción ( $r^2 = 0.02$ ) y subrayan la necesidad de disectar los dos componentes con el propósito de asociar los patrones de expresión del gene con cualquiera de los dos rasgos del componente.



**Figura 22.** Genotipos ordenados según su índice de resistencia a Al, calculado de los datos de longitud de la raíz. Un índice similar se calculó usando el grueso de la raíz y se incluye para comparación.

Del extremo superior e inferior del rango de índices de resistencia a Al se escogerán dos grupos de genotipos contrastantes para los experimentos siguientes sobre asociación de los patrones de expresión del gene con un fenotipo resistente a Al.

### Selección de híbridos de *Brachiaria* tetraploides mejorados, sexuales y apomícticos por resistencia a aluminio I. M. Rao, J. W. Miles, R. García y J. Ricaurte (CIAT)

#### Justificación

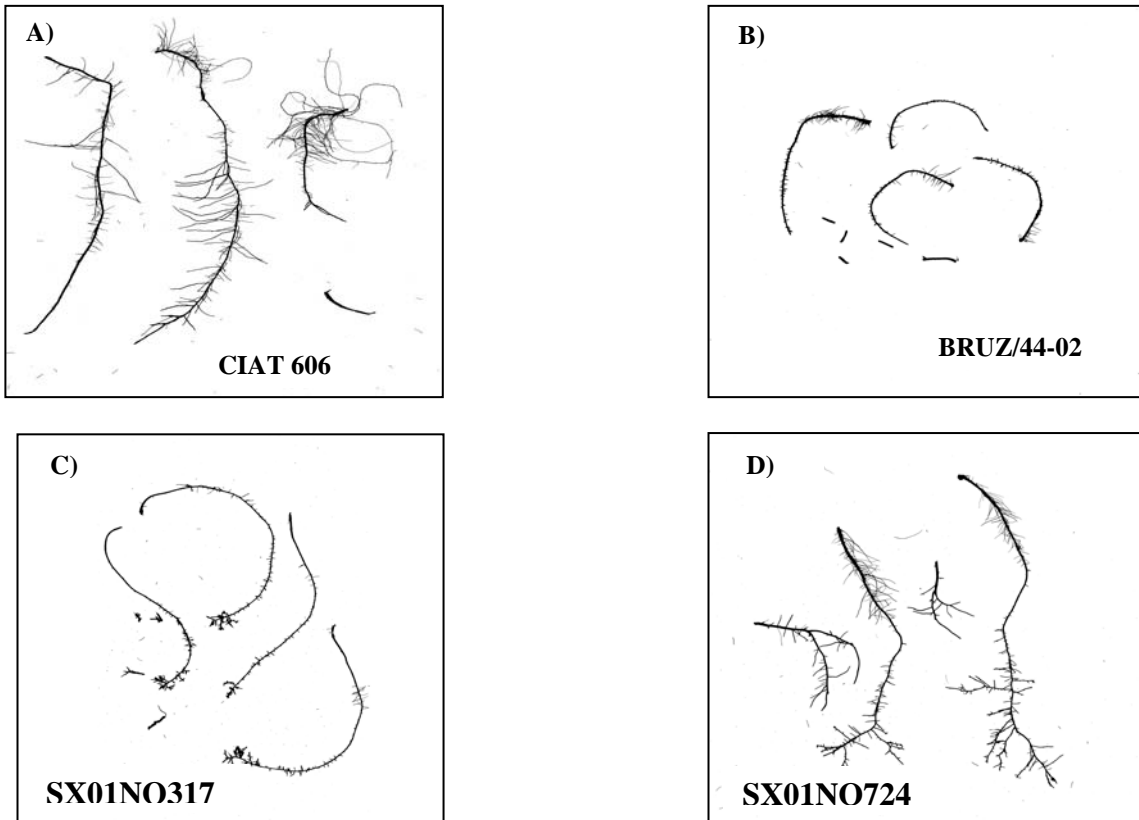
Durante los últimos dos años, se ha llevado a cabo un procedimiento de selección implementado por el programa de mejoramiento para identificar híbridos de *Brachiaria* resistentes a Al que fueron preseleccionados por su resistencia a salivazo. El año inmediatamente anterior se identificaron dos híbridos sexuales (SX 2349 y SX 497) con un nivel mayor de resistencia a Al que el del padre sexual, BRUZ/44-02. Con el apoyo parcial de BMZ-GTZ de Alemania y la empresa de semillas Papalotla de México, el proyecto inició la evaluación de la resistencia a Al de los híbridos sexuales de *Brachiaria* más promisorios y que son resistentes también a salivazo.

#### Materiales y métodos

Un total de 90 genotipos incluyendo tres progenitores (*B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294 y *B. ruziziensis* 44-02) fueron seleccionados para evaluación de resistencia a Al. Entre los 87 híbridos seleccionados, 84 eran sexuales y tres apomícticos (CIAT 36062, BR99NO/4132, FM9503-S046-024). Todos los híbridos eran resistentes a la infestación con salivazo y algunos sexuales eran resistentes a tres especies de salivazo (C. Cardona, comunicación personal, ver Resultado 2 y la Actividad 2.3 de este informe).



Los cortes de tallos fueron enraizados en una solución nutritiva iónica baja de  $\text{CaCl}_2$  ( $200\mu\text{M}$ ), seleccionados por la uniformidad y transferidos a una solución de  $200\mu\text{M}$   $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) y expuestos a 2 niveles de  $\text{AlCl}_3$  (0 y  $200\mu\text{M}$ ). La solución se reemplazó cada tercer día y la longitud y biomasa de la raíz fueron medidas después de 21 días de tratamiento con Al. La arquitectura de la raíz se midió usando el software WINRHIZO (Figura 23). Los resultados se presentan como valores promedios de tres experimentos. Actualmente se están procesando los resultados de dos experimentos adicionales.



**Figura 23.** Imágenes de la raíz de *Brachiaria*: (a) un padre apomítico (CIAT 606) resistente a Al, con un sistema de raíz fino; (b) padre sexual (BRUZ/44-02) susceptible a Al, con un sistema de raíz rústico; (c) híbrido sexual (SX01NO317) resistente a Al, con un sistema de raíz rústico; y (d) híbrido sexual (SX01NO724) resistente a Al, con un sistema de raíz fino. Las raíces fueron escaneadas después de 21 días de exposición a  $200\mu\text{M}$  de cloruro de aluminio con  $200\mu\text{M}$  de cloruro de calcio (pH 4.2) en la solución.

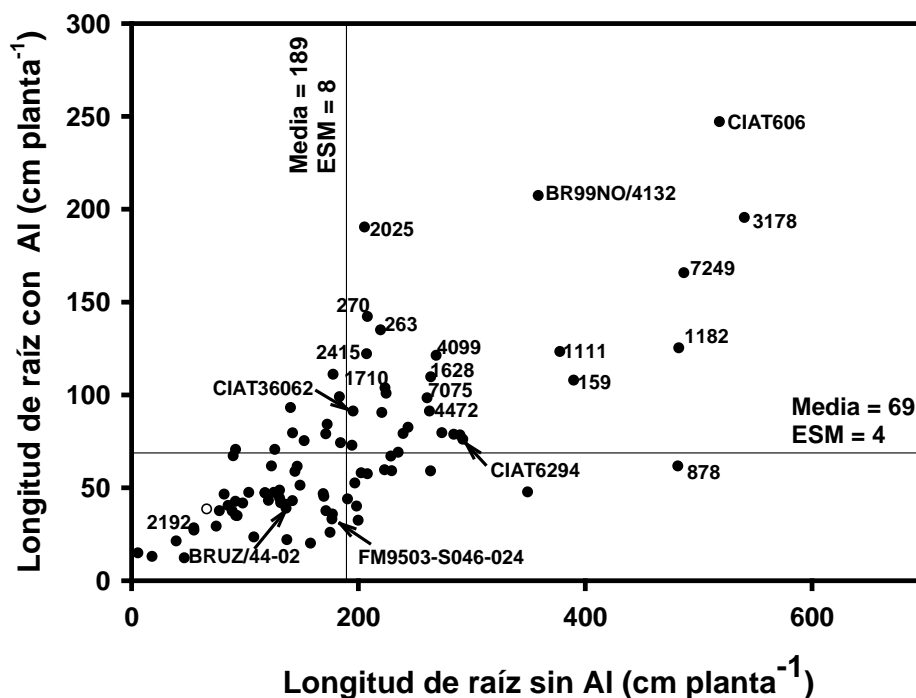
### Resultados y discusión

Como se observó antes, los resultados en la longitud total de la raíz por planta después de la exposición a 21 días con o sin nivel del tóxico de Al en la solución, indican que el padre *B. decumbens* CIAT 606 sobresale por su nivel de resistencia a Al (Figura 24). Entre los 87 híbridos probados, dos híbridos sexuales (SX 01NO3178 y SX01NO7249) y un híbrido apomítico (BR99NO/4132), mostraron un nivel mayor de resistencia a Al con base en la longitud total de la raíz por planta (Figura 24). Entre los dos híbridos sexuales, SX01NO3178 exhibió un sistema radicular rústico, mientras que SX01NO7249 presentó un sistema radicular fino y similar al del padre resistente, *B. decumbens* CIAT 606.

El nivel de resistencia a Al de estos dos híbridos sexuales fue notable, en comparación con el del padre sexual, BRUZ/44-02 (Figura 23). Otro híbrido sexual (SX01NO2025) también mostró un mayor nivel de resistencia, pero en ausencia de Al en la solución su longitud total de la raíz fue moderada. Es importante

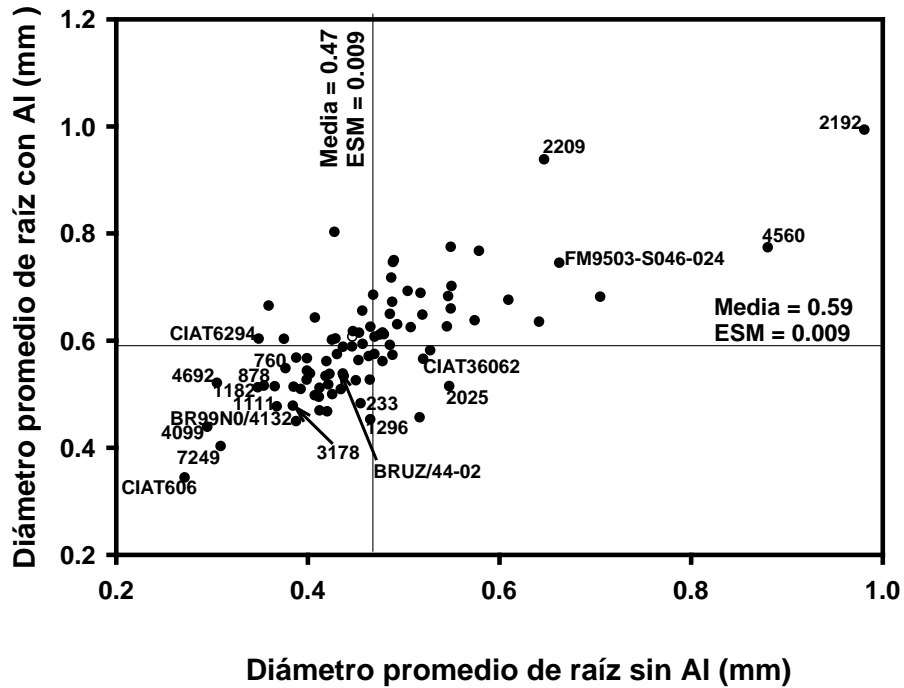
notar que en ausencia de Al en la solución, la longitud total de la raíz del híbrido sexual SX01NO3178 fue superior a la del padre *B. decumbens* CIAT 606. La exposición a Al disminuyó el valor promedio de la longitud total de la raíz de los 90 genotipos, de 189 a 69 cm por planta.

Uno de los híbridos apomícticos, FM9503-S046-024, que se desarrolló bien en el campo en los Llanos Orientales de Colombia, mostró menos alargamiento radicular, siendo éste rústico en la presencia o ausencia de Al (Figuras 24 y 25). Esto sugiere que algunos híbridos vigorosos con este tipo de raíces también pueden adaptarse bien a suelos ácidos (por ej., cv. Mulato) debido a su gran habilidad para absorber Ca y Mg. Aunque este tipo de híbridos se puede desarrollar bien durante la época seca, también pueden requerir de un nivel moderado de fertilidad en el suelo. La falta de un sistema radicular fino en estos híbridos puede limitar su adaptación a las condiciones infértiles de suelos muy ácidos.

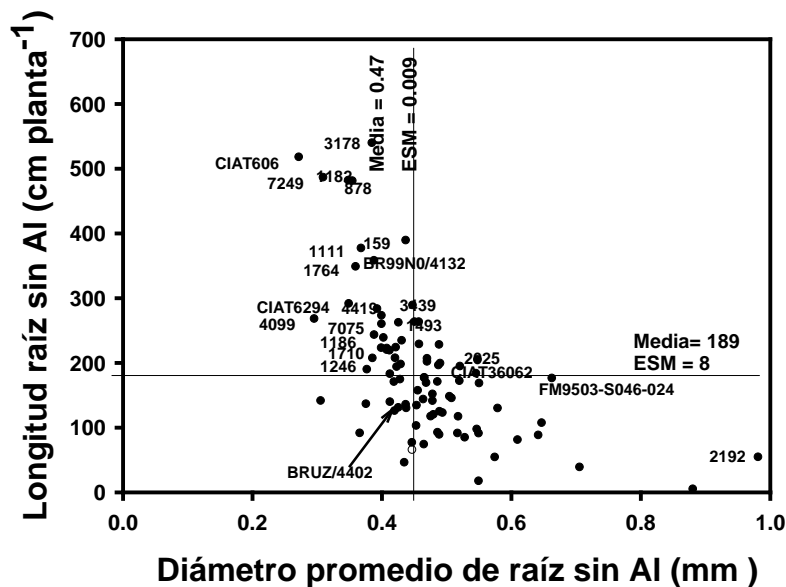


**Figura 24.** Identificación de híbridos sexuales de *Brachiaria* tolerantes a Al con base en la longitud total de la raíz. Los híbridos con las mayores longitudes radiculares, con o sin Al alto en la solución nutritiva, se identifican en el cuadro superior derecho. La longitud total de la raíz se midió después de la exposición a 0 ó 200  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$  con 200  $\mu\text{M}$   $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) durante 21 días. ESM = error estándar de la media.

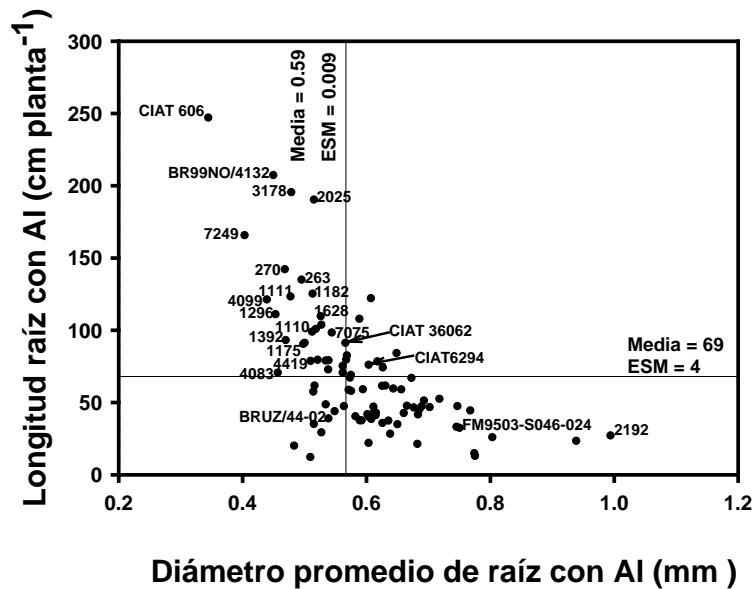
Los resultados mostraron que, el padre *B. decumbens* CIAT 606 presentó los valores más bajos en el diámetro promedio de la raíz en ambos tratamientos, con y sin Al (Figura 25). Ambos híbridos sexuales, SX01NO7249 y SX01NO4099, presentaron valores muy próximos a los de *B. decumbens* CIAT 606. El híbrido sexual SX01NO2192 mostró valores muy altos del diámetro radicular, aproximadamente 1 mm, con y sin Al en la solución. Los valores promedios del diámetro radicular disminuyeron de 0.59 a 0.47 mm con la exposición a Al en la solución nutritiva. La relación entre la longitud de la raíz y su diámetro sin Al en la solución nutritiva indicó que varios híbridos sexuales tenían valores promedios de diámetro radicular similares a los de CIAT *B. decumbens* 606, pero la longitud total de la raíz del híbrido sexual SX01NO3178 y *B. decumbens* CIAT 606 era mayor que el resto de los genotipos probados (Figura 26). En presencia de Al en la solución, este último cultivar fue sobresaliente al combinar la longitud total de la raíz con los valores más bajos de diámetro promedio de la raíz (Figura 27). Varios híbridos sexuales mostraron mayor nivel de resistencia al Al que los tres híbridos apomícticos CIAT 36062, BR99NO/4132, FM9503-S046-024.



**Figura 25.** Identificación de híbridos sexuales de *Brachiaria* tolerantes a Al con base en el diámetro promedio de la raíz. Los híbridos con los promedios más bajos (raíces finas), con o sin Al alto en la solución, se identifican en el cuadro inferior izquierdo. El diámetro de la raíz se midió después de la exposición a 0 ó 200  $\mu\text{M}$  de  $\text{AlCl}_3$  con 200  $\mu\text{M}$  de  $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) durante 21 días. ESM = error estándar de la media.



**Figura 26.** Relación entre la longitud total y el diámetro promedio de la raíz de 90 genotipos de *Brachiaria* sin la presencia de aluminio en la solución nutritiva. En el cuadrante superior izquierdo se identificaron los híbridos que desarrollan un sistema radicular más fino en ausencia de Al en la solución. La longitud total y el diámetro promedio de la raíz se midieron con la exposición a 0  $\mu\text{M}$  de  $\text{AlCl}_3$  con 200  $\mu\text{M}$  de  $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) durante 21 días. ESM = Error estándar de la media.



**Figura 27.** Relación entre la longitud total y el diámetro promedio de la raíz de 90 genotipos de *Brachiaria* con presencia de aluminio en la solución nutritiva. En el cuadrante superior izquierdo se identificaron los híbridos que desarrollan un sistema radicular más fino en presencia de Al en la solución. La longitud total y el diámetro promedio de la raíz se midieron con la exposición a 200  $\mu\text{M}$  de  $\text{AlCl}_3$  con 200  $\mu\text{M}$  de  $\text{CaCl}_2$  (pH 4.2) durante 21 días. ESM = error estándar de la media.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la clasificación por resistencia a tres especies de salivazo y en este estudio, se utilizaron 22 sexuales (SX01NO67, 102, 159, 233, 263, 446, 465, 878, 1090, 1175, 1186, 1710, 2017, 2420, 2619, 3168, 3178, 3390, 3439, 3615, 4506, 4785, 4861) en el bloque de cruzamiento para generar híbridos superiores que combinaran atributos deseables. Se identificaron dos híbridos sexuales (SX 01NO3178 y SX01NO7249) y un híbrido apomítico (BR99NO/4132) con mayor nivel de resistencia al Al que el del padre sexual, BRUZ/44-02.

### **Identificación de atributos de la planta en híbridos y accesiones de *Brachiaria* por su persistencia con suministro bajo de nutrientes** I. M. Rao, J. W. Miles, C. Plazas, J. Ricaurte y R. García (CIAT)

#### **Justificación**

En la Finca Matazul en los Llanos Orientales de Colombia se encuentra en desarrollo un trabajo con los objetivos principales: (1) identificar los recombinantes genéticos de *Brachiaria* con tolerancia a bajo suministro de nutrientes, y (2) evaluar los atributos de la planta que contribuyen a una mejor adaptación. Los resultados obtenidos de este estudio de campo, 15 meses después del establecimiento, indicaron que el híbrido *Brachiaria* FM9503-S046-024 tiene un desempeño sobresaliente, lo cual estaba asociado con su habilidad para absorber mayores cantidades de nutrientes en este suelo de baja fertilidad. En 2003 se continuará el monitoreo del desempeño de los recombinantes genéticos en estas condiciones.

#### **Materiales y métodos**

El ensayo fue establecido en julio de 1999 en un Oxisol franco arenoso. Se evalúan 12 entradas, incluyendo seis accesiones naturales (cuatro progenitores) y seis recombinantes genéticos de *Brachiaria*. El ensayo se estableció como un bloque al azar en un arreglo de parcela dividida con dos niveles de aplicación inicial de fertilizante (kg/ha) (bajo: 20P, 20K, 33Ca, 14 Mg, 10S; y alto: 80N, 50P, 100K, 66Ca, 28Mg, 20S y micronutrientes) como parcelas principales y los genotipos como subparcelas. Después de 28 meses (al finalizar la época seca en noviembre de 2002) se midieron la producción de

forraje verde y muerto, la composición y la absorción de nutrientes por los rebrotes. En julio de 2001, en la mitad del ensayo, se aplicó la fertilización de mantenimiento equivalente a 50% de la fertilización inicial.

### Resultados y discusión

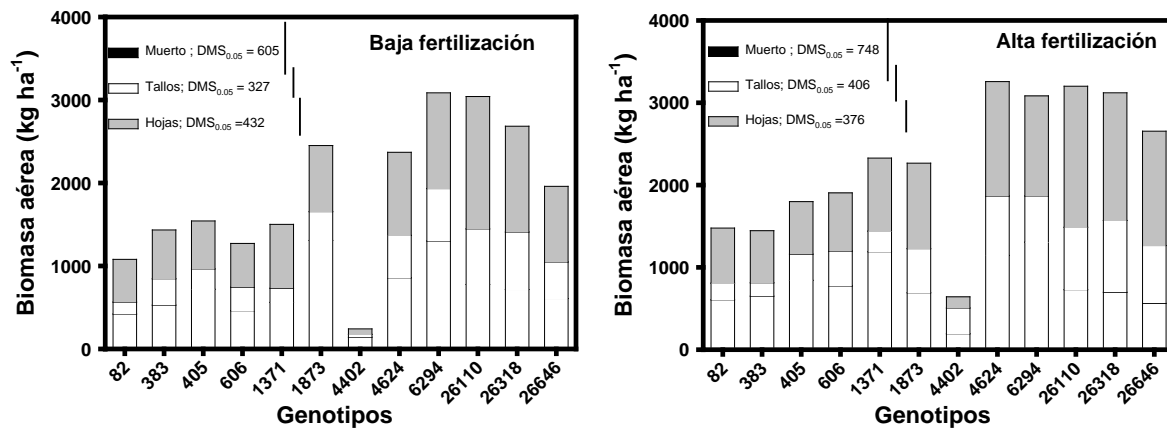
Como se esperaba, la aplicación de cantidades altas de fertilizante de mantenimiento 2 años después del establecimiento mejoraron la producción de forraje de la mayoría de los genotipos, en comparación con la aplicación baja de fertilizante (Cuadro 13). Veintiocho meses después del establecimiento, la producción de forraje verde con aplicación baja de fertilizante varió desde 404 hasta 2264 kg/ha. Se observaron valores altos de producción de forraje en tres accesiones (CIAT 26110, 26318 y 6294) y un recombinante genético resistente a salvazo, FM9503-S046-024, (Cuadro 13). Este último no sólo mostró un establecimiento rápido sino también un nivel alto y constante de producción de forraje en el tiempo con la aplicación inicial baja de fertilizante; igualmente respondió muy bien a la aplicación alta de fertilizante en términos de biomasa del brote verde y la producción de forraje total.

**Cuadro 13.** Variación en genotipos, como resultado de la aplicación de fertilizante, en la biomasa aérea, radio hoja:tallo y producción total de forraje de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenosos en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 28 meses después del establecimiento (noviembre de 2001). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo de <i>Brachiaria</i>	Biomasa verde en rebrote		Relación hoja:tallo		Producción total de forraje	
	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta
	(kg/ha)					
<b>Recombinantes:</b>						
BR97NO-0082	659	872	358	329	1079	1477
BR97NO-0383	907	795	185	388	1434	1445
BR97NO-0405	824	956	234	202	1542	1798
FM9201-1873	1144	1575	229	194	2451	2266
FM9301-1371	940	1139	453	354	1501	2328
FM9503-S046-024	1514	2112	196	193	2370	3257
<b>Progenitores:</b>						
CIAT 606	812	1132	186	167	1272	1905
CIAT 6294	1787	1777	182	217	3087	3083
BRUZ/44-02	404	898	197	043	968	1284
CIAT 26646	1352	2092	207	198	1959	2655
<b>Accesiones:</b>						
CIAT 26110	2264	2473	238	226	3041	3201
CIAT 26318	1968	2423	184	178	2684	3120
Media	1190	1483	237	224	1877	2265
DMS ( $P < 0.05$ )	734	710			1173	1232

Como era de esperar, el desempeño de uno de los progenitores, BRUZ/44-02, fue muy pobre en comparación con otros progenitores y recombinantes genéticos. Estos resultados son similares a aquéllos observados 15 meses después del establecimiento (IP-5, Informe Anual-2001). Los valores de la relación hoja:tallo fueron notablemente superiores en los recombinantes genéticos que en los progenitores y otras accesiones de germoplasma con ambos niveles de aplicación de fertilizante (Cuadro 13). Este es un atributo importante para mejorar la producción animal a través de las actividades de mejoramiento de

*Brachiaria*. Entre los recombinantes genéticos, FM9503-S046-024 sobresalió por su producción de biomasa de hoja verde con aplicación baja y alta de fertilizante (Figura 28).



**Figura 28.** Variación en genotipos de *Brachiaria* debido a la aplicación de fertilizante. Distribución de materia seca entre las hojas, tallos y biomasa muerta de los recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivadas en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Colombia. Los atributos de la planta se midieron 28 meses después del establecimiento (noviembre de 2001). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad 0.05.

La accesión *Brachiaria* CIAT 26110 sobresalió por su producción de biomasa foliar y su producción fue casi dos veces mayor que el valor promedio de 12 genotipos probados. Los resultados en el contenido de N en hoja y tallo indicaron que BRUZ/44-02 tenía una cantidad mayor de N por unidad de peso seco, pero su habilidad de absorber N en rebrotes fue más baja en comparación con otros progenitores y recombinantes genéticos (Cuadro 14).

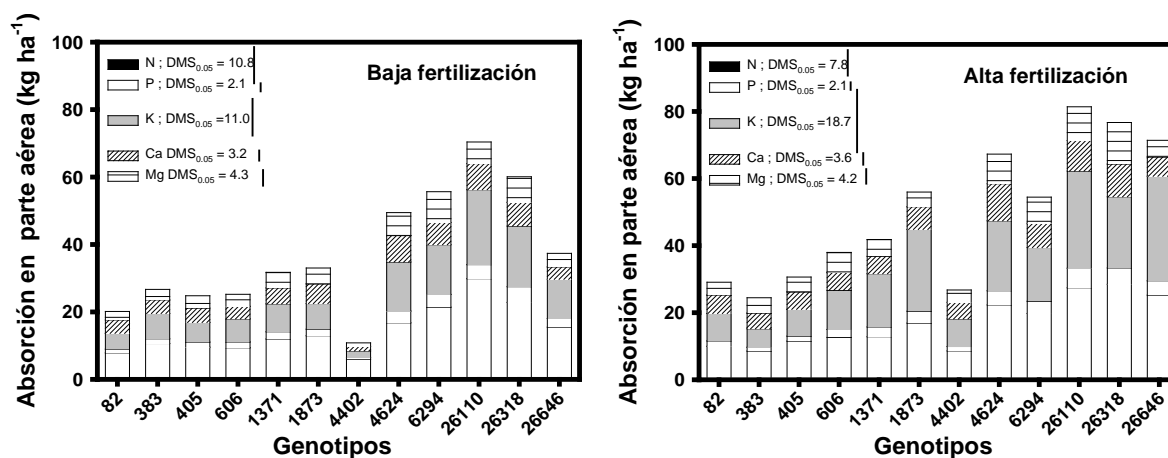
La absorción de N por el rebrote con el nivel bajo de fertilización fue mayor para las accesiones CIAT 26110 y 26318, un padre (CIAT 6294) y un recombinante genético (FM9503-S046-024). Este recombinante también fue sobresaliente por su habilidad para absorber altas cantidades de P, K, Ca y Mg en el nivel bajo de fertilización, en comparación con otros recombinantes genéticos (Cuadros 15 y 16; Figura 29). Entre los progenitores, dos accesiones de *B. brizantha*, CIAT 6294 y CIAT 26646, fueron superiores en la absorción de nutrientes a partir de ambos niveles de fertilización (Figura 29). La absorción de nutrientes en el rebrote de CIAT 26110 fue igualmente sobresaliente en ambos niveles de fertilización (Figura 29). Nuevamente, el recombinante genético FM9503-S046-024 fue sobresaliente por su habilidad para absorber mayores cantidades de Ca a partir de ambos niveles de fertilización. Esta habilidad (Cuadro 16) no sólo podría contribuir a su mayor persistencia suelos ácidos de baja fertilidad, sino que también a una mayor calidad del forraje y de producción animal.

Es importante notar que la producción de forraje verde estuvo asociada con los contenidos más bajos de Ca y K en el tallo en ambos niveles de fertilización (Cuadro 17). La producción de forraje verde con la fertilización baja mostró una relación negativa altamente significativa (-0.53\*\*\*) con el contenido de Ca en el tallo. Esta observación indica que hay una movilización eficiente de Ca desde el tallo hacia las hojas y, que al igual que la utilización eficiente de Ca para la producción de forraje verde, son mecanismos fisiológicos importantes para el mejor desempeño en el nivel bajo de fertilización. Los resultados de este estudio indican que el híbrido de *Brachiaria* FM9503-S046-024, además de su rápido establecimiento, presenta un buen desempeño 28 meses más tarde. Este desempeño se asoció con su habilidad para absorber altas cantidades de nutrientes, particularmente Ca y Mg, en suelos de baja fertilidad.

**Cuadro 14.** Variación en genotipos de *Brachiaria* por la aplicación de fertilizantes. Contenidos de N en la hoja y tallo, y absorción de N por los rebrotes de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenosos en Matazul, Colombia. Los atributos de la planta se midieron 28 meses después del establecimiento (noviembre de 2001). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Contenido de N de la hoja		Contenido N del tallo		Captación de N por el brote	
	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta
	(%)		(%)		(kg/ha)	
<b>Recombinantes:</b>						
BR97NO-0082	1.25	1.26	0.96	0.95	7.83	9.96
BR97NO-0383	1.28	1.36	0.96	1.13	10.62	8.53
BR97NO-0405	1.30	1.32	0.87	0.91	9.54	11.51
FM9201-1873	1.22	1.22	0.89	0.94	12.94	16.87
FM9301-1371	1.37	1.21	0.94	0.83	11.97	12.83
FM9503-S046-024	1.31	1.20	0.81	0.78	16.76	22.29
<b>Progenitores:</b>						
CIAT 606	1.27	1.23	0.95	1.03	9.36	12.60
CIAT 6294	1.36	1.26	0.88	0.82	21.38	19.75
BRUZ/44-02	1.52	1.17	1.39	0.89	5.96	8.59
CIAT 26646	1.29	1.33	0.93	1.06	15.47	25.22
<b>Accesiones:</b>						
CIAT 26110	1.45	1.26	0.94	0.81	29.84	27.43
CIAT 26318	1.28	1.33	0.92	0.87	22.82	28.45
Media	1.31	1.27	0.92	0.92	15.16	17.37
DMS ( $P < 0.05$ )	0.19	NS	0.16	0.23	10.83	7.81

NS = no significativo.



**Figura 29.** Variación de genotipos de *Brachiaria* por la aplicación de fertilizante. Absorción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Colombia. Los atributos de la planta se midieron 28 meses después del establecimiento (noviembre de 2001). Los valores DMS están al 0.05 del nivel de probabilidad.

**Cuadro 15.** Variación de genotipos de *Brachiaria* por la aplicación de fertilizantes. Contenidos de P en la hoja y tallo, y absorción de P en los rebrotes de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenosos en Matazul, Colombia. Los atributos de la planta se midieron 28 meses después del establecimiento (noviembre de 2001). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Contenido de P en la hoja		Contenido de P en el tallo		Absorción de P	
	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta
	(%)		(%)		(kg/ha)	
Recombinantes:						
BR97NO-0082	0.183	0.174	0.149	0.141	1.12	1.60
BR97NO-0383	0.178	0.146	0.145	0.14	1.39	1.13
BR97NO-0405	0.193	0.158	0.137	0.119	1.50	1.49
FM9201-1873	0.174	0.216	0.146	0.195	1.92	3.55
FM9301-1371	0.226	0.270	0.165	0.202	2.12	2.90
FM9503-S046-024	0.239	0.217	0.195	0.153	3.49	4.22
Progenitores:						
CIAT 606	0.208	0.194	0.219	0.212	1.70	2.37
CIAT 6294	0.224	0.229	0.178	0.184	3.79	3.64
BRUZ/44-02	0.142	0.168	0.128	0.142	0.55	1.31
CIAT 26646	0.210	0.215	0.174	0.180	2.58	4.29
Accesiones:						
CIAT 26110	0.188	0.234	0.168	0.231	4.18	5.82
CIAT 26318	0.222	0.207	0.217	0.196	4.66	4.88
Media	0.203	0.204	0.172	0.176	2.56	3.18
LSD ( $P < 0.05$ )	0.08	0.077	0.063	0.086	2.07	2.13

**Cuadro 16.** Variación de genotipos de *Brachiaria* por la aplicación de fertilizante. Absorción de K, Ca y Mg por los rebrotes de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenosos en Matazul, Colombia. Los atributos de la planta se midieron 28 meses después del establecimiento (noviembre de 2001). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Absorción de K		Absorción de Ca		Absorción de Mg	
	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta
	(kg/ha)					
Recombinantes:						
BR97NO-0082	4.69	8.21	3.97	5.47	2.51	3.82
BR97NO-0383	7.53	5.51	4.03	4.67	3.09	4.59
BR97NO-0405	5.82	7.99	4.24	5.17	3.68	4.47
FM9201-1873	7.62	24.40	5.81	6.77	4.72	4.37
FM9301-1371	8.31	15.91	4.70	5.16	4.63	5.03
FM9503-S046-024	14.53	20.86	7.83	11.07	6.84	8.81
Progenitores:						
CIAT 606	6.86	11.67	3.72	5.34	3.56	5.97
CIAT 6294	14.76	16.02	6.60	7.27	9.10	7.76
BRUZ/44-02	1.90	8.23	1.33	4.95	1.06	3.68
CIAT 26646	11.61	31.17	3.68	5.68	4.02	5.04
Accesiones:						
CIAT 26110	22.23	28.97	7.73	9.11	6.42	10.08
CIAT 26318	17.96	21.22	7.05	9.76	7.58	12.40
Media	10.95	17.05	5.29	6.78	5.02	6.45
LSD ( $P = 0.05$ )	10.96	18.72	3.18	3.61	4.29	4.20



**Cuadro 17.** Coeficientes de correlación (r) entre la producción de forraje verde (t/ha) y otras características del rebrote de genotipos de *Brachiaria* cultivados con aplicación de niveles altos y bajos de fertilizante en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia.

Rasgos de brote	Fertilización baja	Fertilización alta
Total (verde + muerta) biomasa del rebrote (t/ha)	0.95***	0.89***
Biomasa muerta parte aérea (t/ha)	0.69***	0.38**
Biomasa de la hoja (t/ha)	0.98***	0.96***
Biomasa del tallo (t/ha)	0.97***	0.91***
Contenido de N de la hoja (%)	0.18	-0.21
Contenido de P de la hoja (%)	0.28	0.41**
Contenido de K de la hoja (%)	0.22	0.27
Contenido de Ca de la hoja (%)	-0.15	-0.35**
Contenido de Mg de la hoja (%)	0.06	-0.11
Contenido de Al de la hoja (%)	-0.22	-0.39**
Contenido de N del tallo (%)	-0.26	-0.40**
Contenido de P del tallo (%)	-0.24	-0.36*
Contenido de K del tallo (%)	-0.44**	-0.36**
Contenido de Ca del tallo (%)	-0.53***	-0.38**
Contenido de Mg del tallo (%)	-0.12	-0.38**
Contenido de Al del tallo (%)	-0.33*	-0.33*

**Evaluación de híbridos promisorios de *Brachiaria* en los Llanos Orientales de Colombia** I. M. Rao, J. Miles, C. Plazas y J. Ricaurte (CIAT)

### Justificación

La clasificación en casa de malla y en campo de un alto número de híbridos de *Brachiaria* por resistencia a salivazo y adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad condujo a la identificación de algunos híbridos promisorios. Para este trabajo, fueron seleccionados cuatro de estos híbridos que se compararon con sus progenitores. El objetivo principal fue evaluar su crecimiento y persistencia en la finca Matazul, (Altillanura de los Llanos Orientales) con un nivel bajo de fertilización.

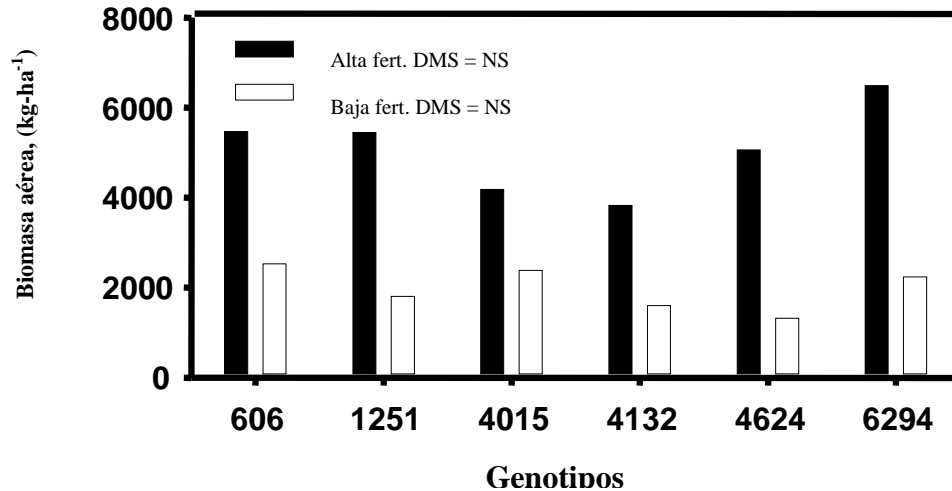
### Materiales y métodos

El ensayo en el campo se estableció el 31 de mayo de 2001 y en él se incluyeron cuatro híbridos de *Brachiaria* (BR98NO/1251; BR99NO/4015; BR99NO/4132; FM9503-S046-024) junto con dos progenitores (*B. decumbens* CIAT 606 y *B. brizantha* CIAT 6294). El ensayo se estableció en un bloque al azar en un arreglo de parcela dividida con dos niveles de aplicación inicial de fertilizante (kg/ha) (bajo: 20P, 20K, 33Ca, 14 Mg, 10S; y alto: 80N, 50P, 100K, 66Ca, 28Mg, 20S y micronutrientes) como parcelas principales y los genotipos como subparcelas, con tres repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 5 x 2 m. Cuatro meses después del establecimiento se midieron varios atributos de la planta, incluyendo la producción de forraje, la distribución en la parte aérea y las raíces de la materia seca, y la absorción de nutrientes.

### Resultados

*Brachiaria brizantha* cv. Marandu (CIAT 6294) sobresalió por la producción de biomasa aérea con la aplicación inicial de un nivel alto de fertilización (Figura 30). Este resultado era de esperar, ya que este progenitor es exigente en requerimientos nutritivos y, en general, responde bien a la aplicación inicial de dosis altas de fertilizante. BR99NO/4015 sobresalió por su adaptación a la aplicación inicial baja de fertilizante. Es importante notar que el progenitor *B. decumbens* mostró una excelente adaptación en el nivel de baja fertilización (Figura 30). El desempeño de los cuatro híbridos se monitoreará en los

próximos 2 años comparándolos con los dos progenitores en términos de producción de forraje y absorción de nutrientes.



**Figura 30.** Variación de genotipos de *Brachiaria* por la aplicación de fertilizantes. Producción de biomasa del rebrote de dos progenitores (CIAT 606, 6294) y cuatro recombinantes genéticos (CIAT 1251, 4015, 4132, 4624) de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 4 meses después del establecimiento (septiembre de 2001). Los valores DMS están al nivel de probabilidad del 0.05. NS = no significativa.

### Adaptación edáfica de *Arachis pintoi*

#### Determinación de la variación genotípica en *Arachis pintoi* por tolerancia al suministro bajo de P

N. Castañeda, N. Claassen (Universidad de Goettingen, Alemania), e I. M. Rao (CIAT)

#### Justificación

En Oxisoles y Ultisoles donde el contenido de fósforo (P) es bajo y se encuentra fuertemente fijado, la producción de forraje es limitada por el suministro de este nutriente. Estos suelos pueden no ser bajos en P total, pero la mayor parte de este nutriente se encuentra en formas muy poco solubles (fosfatos Fe/Al o Ca). Esto puede resultar en una baja absorción de P y un crecimiento pobre de la planta. El problema de esta baja absorción podría reducirse con la identificación y/o desarrollo de especies de plantas que puedan absorber P de fuentes poco solubles y con la aplicación de cantidades pequeñas de fertilizante fosfatados. Las plantas y los genotipos difieren en su habilidad para crecer bajo condiciones de bajo suministro de P, es el caso de las diferencias en el uso eficiente de P.

La eficiencia del uso de P de una especie o genotipo relativa a otra puede cambiar dependiendo de la forma del P fijado en el suelo. Las diferencias en la eficiencia de uso de P se pueden presentar de tres maneras: (1) eficiencia con la cual la planta utiliza el P para la producción final. Con frecuencia se conoce como el requerimiento interno de P y es la concentración necesaria de este nutriente en la planta para producir, por ej., el 90% de su rendimiento máximo; (2) eficiencia de absorción que es la habilidad del sistema radicular para absorber P del suelo y acumularlo en los rebrotes. Esto está dado por la cantidad de raíces y la absorción por unidad de raíz; y (3) la tasa de crecimiento de la parte aérea que puede afectar la eficiencia de uso de P, así, una planta con una tasa potencialmente alta de crecimiento en la parte aérea puede tener una alta demanda de nutrientes en el sistema radicular. O puede tener una concentración de P en la parte aérea tan baja como la de una planta con un potencial de crecimiento bajo, aunque la eficiencia de absorción sea la misma. Por tanto, pueden existir diferentes causas para las diferencias en la eficiencia de uso de P entre especies y genotipos.

Varios investigadores han propuesto que las diferencias en la eficiencia de absorción de P se basan en el tamaño y el tipo del sistema radicular, es decir, de la longitud, el radio y la densidad de los pelos absorbentes, como también de la tasa de crecimiento de la parte aérea que demanda la absorción P en la raíz. La absorción de P también puede ser afectada por los cambios químicos en la rizosfera, debido a los exudados de la raíz, por ej.: cambio de pH y ácidos orgánicos, entre otros. El efecto de la solubilización del P depende de la forma de fijación en el suelo. La solubilidad del fosfato de Al y Fe aumenta con el pH, mientras que la solubilidad de los fosfatos de Ca disminuye, incluso en rocas fosfóricas. Así, una especie de planta que es eficiente para movilizar Fe/Al-P puede no ser eficiente si la forma Ca-P predomina en el suelo. Además, la asociación de plantas con micorrizas vesículo-arbuscular mejora la absorción de P desde el suelo.

Los estudios de campo en Caquetá, Colombia, y en casa de vegetación en CIAT-Palmira indicaron una variación genotípica significativa en la absorción de P y su utilización por *A. pintoi*. Con el propósito de identificar los genotipos de esta especie eficientes en el uso de P y definir los mecanismos específicos que contribuyen a dicha eficiencia, se está haciendo un trabajo de tesis de doctorado por parte de un estudiante de la Universidad de Goettingen, en colaboración con el CIAT. En cámara de crecimiento se hicieron dos estudios con el fin de determinar las diferencias genotípicas entre 10 accesiones de *A. pintoi* en la absorción y la utilización de P en suelos con bajo contenido del nutriente. Los resultados del primer estudio se presentan continuación y los resultados del segundo se están procesando.

### **Materiales y métodos**

El ensayo en la cámara de crecimiento se hizo en el Instituto de Química Agrícola en Goettingen (Alemania). Para evaluar la eficiencia de uso de P de 10 accesiones de *A. pintoi* (CIAT 17434, 18747, 22172, 18744, 18748, 22160, 22155, 18751, 18745, 22159) se hizo un experimento en macetas con un Oxisol (arcilla 50%, carbono orgánico 0.35%,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  5.1,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  5.2, P-CAL 0.4 mg /100 g suelo y  $\text{P}_{\text{Bray II}}$  1.4 mg/100 g suelo, Fe/Al-P 788 mg  $\text{kg}^{-1}$  y Ca-P 330 mg  $\text{kg}^{-1}$ ; en una solución de suelo de pH 5.2 y 13 P de  $\mu\text{g l}^{-1}$ ). Los tratamientos se dispusieron en un diseño de bloque al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Como parcelas principales se utilizaron tres niveles de P y como subparcelas las accesiones de *A. pintoi*. En el tratamiento de suministro alto de P, sólo se utilizaron cuatro accesiones de *A. pintoi* (CIAT 17434, 18747, 22172, 18744). Entre las 10 accesiones evaluadas, *A. pintoi* CIAT 17434 es un cultivar comercial en América Latina.

Las macetas plásticas de 4 lt de capacidad fueron llenadas con 2.7 kg de suelo secado al aire a una densidad de  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$ . Se aplicaron tres niveles de P (0, 10 y 400 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) como  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . En cada maceta se hizo una aplicación base de nutrientes (mg  $\text{kg}^{-1}$ ): 100 N como  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 50 K como  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 40 Mg como  $\text{MgSO}_4$ , 0.2 B como  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.1 Mo como  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ . Dos semanas antes de la siembra se agregó agua para conseguir un grado hidrométrico de 25% con base en peso. Las semillas fueron colocadas directamente en las macetas, y para cada tratamiento se incluyó un testigo sin sembrar para medir las pérdidas de humedad del suelo por evaporación.

Las plantas fueron aporcadadas para mantener 4 plantas en cada maceta. La superficie del suelo en cada maceta se cubrió con una capa de arena de cuarzo (1 a 2 cm) para evitar la formación de una corteza en la superficie debido al riego. Las macetas se regaron diariamente para mantener el suelo con el 60% de su capacidad de retención de agua. La cámara de crecimiento se mantuvo a 25°C, con una densidad de flujo de fotones de  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y humedad relativa del 80% durante 16 h en el día; y a 20°C y 70% de humedad relativa durante 8 h en la noche.

En la cosecha, 90 días después de la siembra, se removió el cuarzo y se cosechó la parte aérea de las plantas para determinar su peso seco. Las raíces se separaron lavando el suelo en un cedazo con una malla de 200  $\mu\text{m}$ . Las raíces se limpiaron de cualquier material extraño y mediante centrifugación se

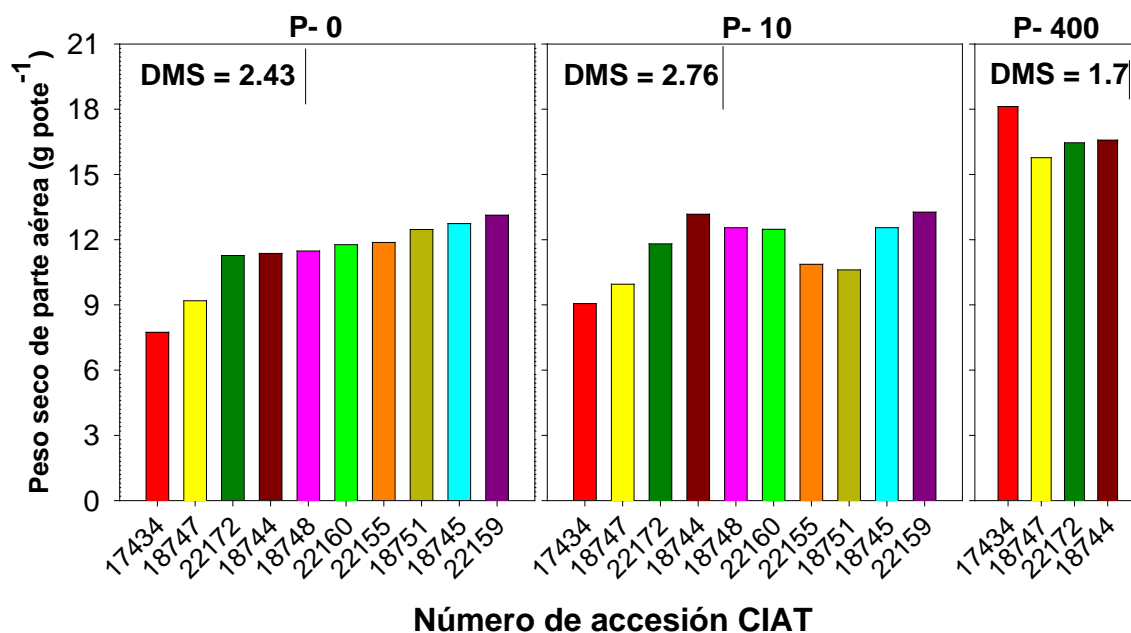
eliminó la humedad de la superficie antes de determinar su peso fresco. Las submuestras de raíz (0.5 g) se preservaron en etanol al 20%. Para medir la longitud de la raíz se usó el método de intersección lineal.

Para determinar la concentración de P en el tejido de la planta, las muestras se embebieron en HNO<sub>3</sub> y el P se determinó con el método de Molibdato-Vanadio. Se determinaron la absorción de P en la parte aérea, la eficiencia de absorción de P (mg de P absorbido en la biomasa aérea por unidad de longitud de la raíz), y eficiencia de uso de P (g de forraje producido por g de P total absorbido). Los datos se sometieron a un análisis de varianza usando el *software* SAS. Las diferencias mínimas significativas se calcularon por una prueba F ( $P < 0.05$ ).

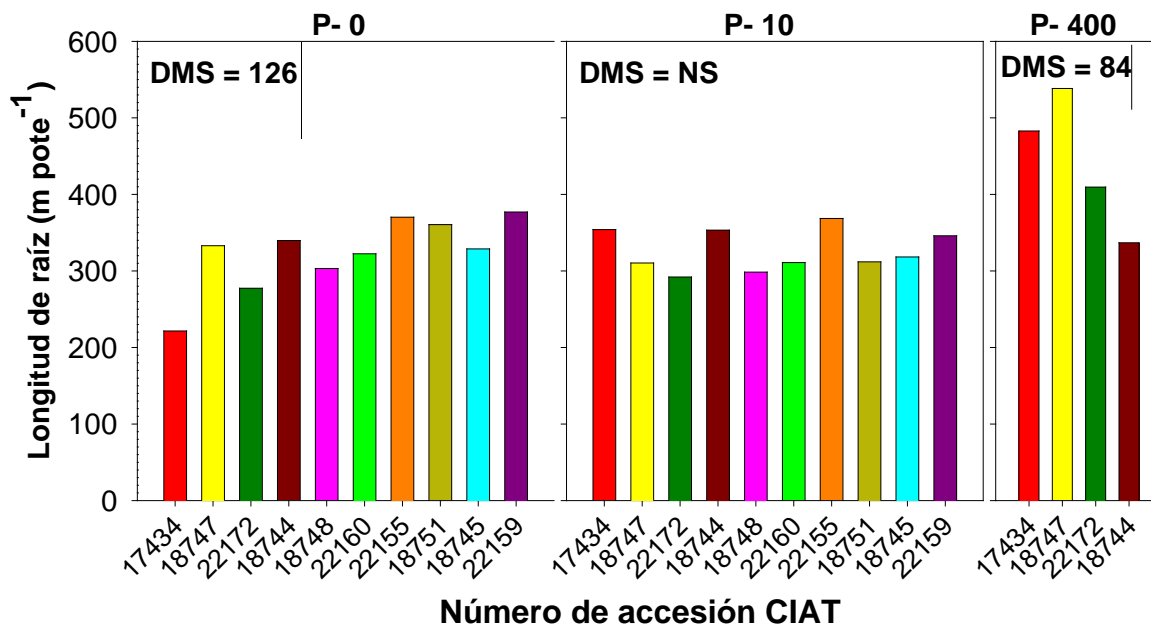
### Resultados y discusión

Cuando no se aplicó P ( $P = 0$ ) en un Oxisol, el cultivar comercial de *A. pinto* CIAT 17434 fue el menos productivo en términos de biomasa de la parte aérea, en comparación con las otras nueve accesiones (Figura 31). Entre las accesiones, sobresalió *A. pinto* CIAT 22159 en producción de biomasa de la parte aérea, siendo este resultado consistente con las observaciones de campo en un Oxisol de Carimagua. Con el nivel bajo de aplicación de P ( $P = 10$ ), *A. pinto* CIAT 22159 y 18744 fueron superiores a otras accesiones. No obstante, con la aplicación más alta ( $P = 400$ ), el cultivar comercial *A. pinto* CIAT 17434 fue sobresaliente, indicando su mayor demanda por P en el suelo.

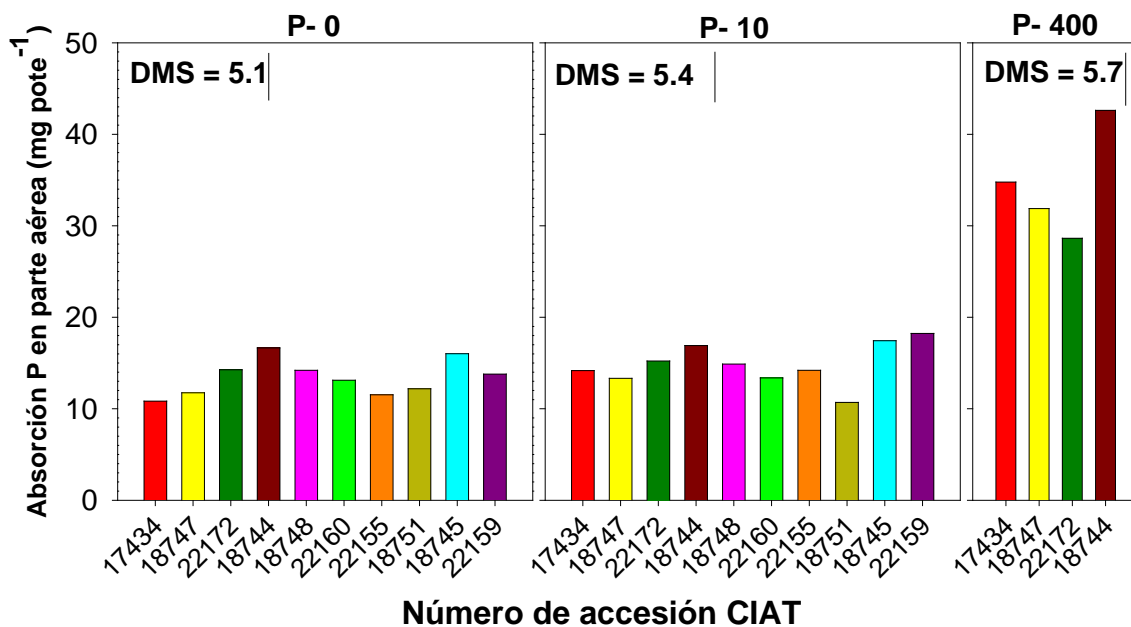
Los resultados en longitud total de la raíz mostraron que el mejor desempeño de *A. pinto* CIAT 22159 sin el suministro de P estaba relacionado con su habilidad para desarrollar un sistema radicular fino (Figura 32). Con bajo suministro de P, las diferencias en la longitud total de la raíz entre los diez genotipos fueron pequeñas. Pero con el suministro alto, la longitud total de la raíz de *A. pinto* CIAT 18744 fue notoriamente más baja que las de *A. pinto* CIAT 18747 y CIAT 17434, lo que indica la dependencia relativamente menor del primero del suministro alto de P en el suelo y, también, la mayor eficiencia en absorción de este nutriente por unidad de longitud de la raíz. Esto es evidente en los resultados que aparecen en la Figura 33 sobre absorción de P en la parte aérea de la planta.



**Figura 31.** Variación genotípica, debida el suministro de fósforo ( $P = 0$ ,  $P = 10$  y  $P = 400$ ), en la producción de biomasa de la parte aérea de diez accesiones de *Arachis pinto* cultivadas en una cámara de crecimiento durante 90 días en un Oxisol franco arcilloso. Los valores de DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.



**Figura 32.** Variación genotípica, debida al suministro de fósforo (P = 0, P = 10 y P = 400), en la longitud total de la raíz de diez accesiones de *Arachis pintoi* cultivadas en una cámara de crecimiento durante 90 días en un Oxisol franco arcilloso. Los valores de DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

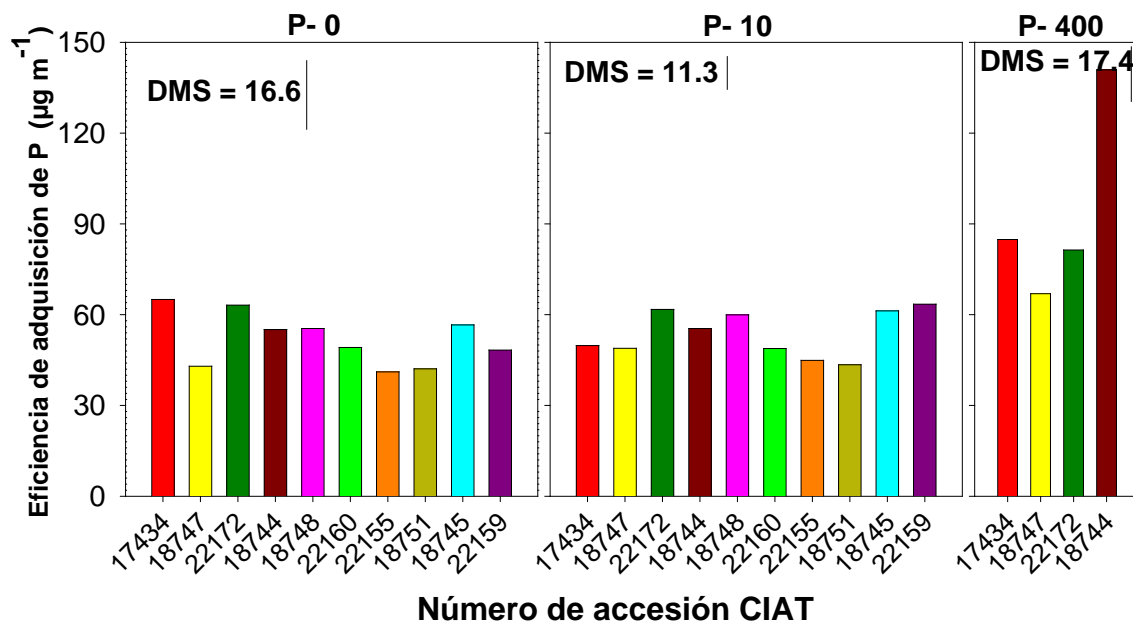


**Figura 33.** Variación genotípica, debida al suministro de fósforo (P = 0, P = 10 y P = 400), en la absorción de P en la parte aérea de diez accesiones de *Arachis pintoi* cultivadas en una cámara de crecimiento durante 90 días en un Oxisol franco arcilloso. Los valores de DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

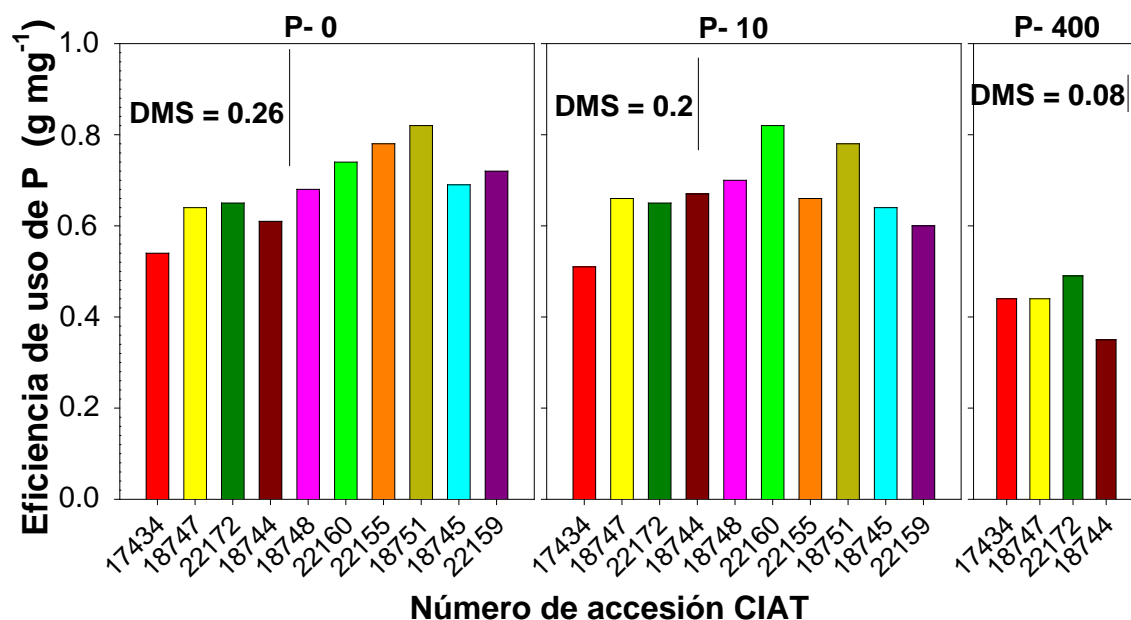
Las diferencias en absorción de P en la parte aérea entre los tratamientos P = 0 y P = 10 fueron pequeñas, sobresaliendo *A. pintoii* CIAT 18744 por las altas cantidades absorbidas en el tratamiento P = 0. La absorción de P en la parte aérea de *A. pintoii* CIAT 18744 fue mayor en la aplicación alta (P = 400), o que ocurrió con el valor más bajo de longitud de la raíz total, lo que indica su mayor eficiencia para absorber P por unidad de longitud de raíz (Figura 34). A un nivel bajo de P (P = 10), *A. pintoii* CIAT 22159 mostró una mayor habilidad para absorber P por unidad de longitud de la raíz. Este es un atributo importante que podría contribuir a su desempeño sobresaliente observado en ensayos en campo en Carimagua.

La eficiencia del uso de P, medida en g de biomasa aérea/mg de absorción total de P, del cultivar comercial *A. pintoii* CIAT 17434 con el tratamiento P = 0 fue notoriamente más baja que en las otras accesiones (Figura 35). Como era de esperar, la eficiencia del uso de P disminuyó con el aumento en el suministro de este nutriente en el suelo. Se observaron valores mayores de eficiencia del uso de P con los tratamientos *A. pintoii* CIAT 18751 y CIAT 22160 con P = 0 y P = 10, respectivamente.

Este estudio, realizado bajo condiciones de medioambiente controladas en una cámara de crecimiento, indicó que el cultivar comercial *A. pintoii* CIAT 17434 está relativamente menos adaptado a una baja disponibilidad de P en el suelo. Los resultados de este estudio también confirmaron los resultados anteriores obtenidos bajo condiciones de campo, en los cuales se encontró que la accesión *A. pintoii* CIAT 22159 está mejor adaptada a los bajos niveles de P disponibles en Oxisoles.



**Figura 34.** Variación genotípica, debida al suministro de fósforo (P = 0, P = 10 y P = 400), en la eficiencia de absorción de P de diez accesiones de *Arachis pintoii* cultivadas en una cámara de crecimiento durante 90 días en un Oxisol franco arcilloso. Los valores de DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.



**Figura 35.** Variación de Genotípica, debida al suministro de fósforo (P = 0, P = 10 y P = 400), en la eficiencia de uso de P de diez accesiones de *Arachis pintoi* cultivada en una cámara de crecimiento durante 90 días en un Oxisol franco arcilloso. Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

### Evaluación de accesiones promisorias de *Arachis pintoi* en los Llanos Orientales de Colombia

I. M. Rao, M. Peters, C. Plazas, y J. Ricaurte (CIAT)

#### Justificación

Tomando como base los resultados en estudios de campo realizados en Caquetá (Colombia) y en la evaluación multilocacional, se hizo un estudio de campo en dos sitios (Piedemonte y Altillanura) en los Llanos Orientales de Colombia para comprobar algunos atributos de un conjunto de ocho genotipos de *A. pintoi* con niveles bajo y alto de fertilización. El sitio en el Piedemonte se encuentra cerca a la estación experimental Carimagua y los suelos en esta región son relativamente más fértiles que en la Altillanura. El sitio en la Altillanura está localizado en la finca Matazul donde los suelos son franco arenosos relativamente infértiles. El objetivo principal de este trabajo fue identificar los atributos de la planta relacionados con la mejor adaptación de las accesiones más promisorias para los Llanos Orientales de Colombia.

#### Materiales y métodos

Un ensayo se estableció en mayo de 2001. En el Piedemonte se estableció en monocultivo; no obstante en esta zona se espera que esta leguminosa tenga usos múltiples como cobertura en plantaciones. Se incluyeron las accesiones *Arachis pintoi* CIAT 17434, 18744, 18747, 18748, 18751, 22159, 22160 y 22172). El ensayo se estableció como un bloque al azar con un arreglo de parcela dividida con dos niveles iniciales de fertilización (kg/ha) (bajo: 20P, 20K, 33Ca, 14 Mg, 10S; y alto: 80N, 50P, 100K, 66Ca, 28Mg, 20S y micronutrientes) como parcelas principales y los genotipos como subparcelas con tres repeticiones (Foto 8). Las diferencias genotípicas fueron determinadas 12 meses después del establecimiento y las parcelas se estandarizaron para evaluar el potencial de rebrote en ambos niveles de fertilización.

### Fertilizante inicial alto



### Fertilizante inicial bajo



**Foto 8.** Variación genotípica entre ocho accesiones de *Arachis pintoï* como respuesta a los niveles iniciales alto y bajo de fertilización. Llanos Orientales de Colombia.

### Resultados

En una evaluación visual 140 días después del establecimiento (Cuadro 18) se observó que en ambos niveles de fertilización *A. pintoï* CIAT 18751 mostró un establecimiento rápido y buen vigor. Pero con la aplicación alta de fertilizante la habilidad de cubrimiento del suelo del control comercial *A. pintoï* CIAT 17434 fue mayor que en las otras accesiones. En el tratamiento de baja fertilización, *A. pintoï* CIAT 18741 y 18751 fueron superiores en cubrimiento del suelo, en comparación con las demás accesiones.

**Cuadro 18.** Diferencias entre ocho accesiones de *Arachis pintoï* en vigor (%) y cubrimiento del suelo (%) 140 días después del establecimiento, como resultado de la aplicación de dos niveles de fertilización en un Oxisol franco arcilloso. Estación Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

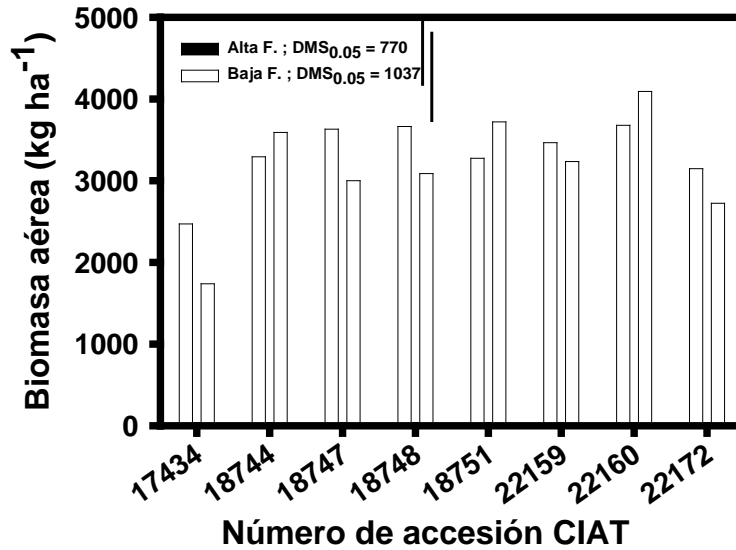
Germoplasma (Accesión)	Fertilización alta		Fertilización baja	
	Vigor <sup>a</sup>	Cubrimiento del suelo	Vigor	Cubrimiento del suelo
17434	4.0	93	3.6	90
18744	3.6	75	3.6	98
18747	3.6	75	3.6	100
18748	4.0	83	3.0	83
18751	4.3	90	4.0	100
22159	3.3	68	3.0	73
22160	3.3	45	3.0	60
22172	3.0	75	3.0	82
Media	3.6	76	3.4	86

a. Vigor: 1 = pobre; 5 = excelente.

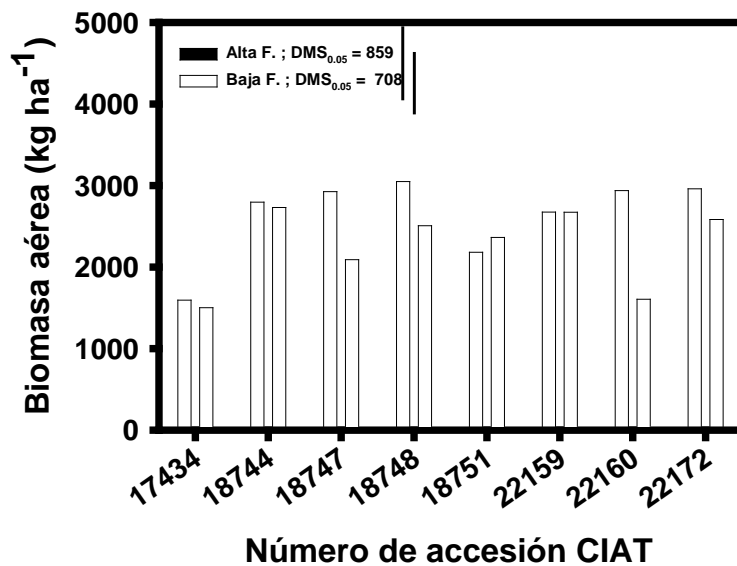
Doce meses después del establecimiento, la respuesta a la aplicación inicial de fertilizante fue mayor con el control comercial CIAT 17434 (Figura 36). Pero siete de las ocho accesiones se desempeñaron mejor que el control comercial en ambos niveles de fertilización. Tres meses después de la estandarización de las parcelas (12 meses después del establecimiento), los genotipos CIAT 18744 y CIAT 22159 sobresalieron por su potencial de rebrote con la aplicación inicial baja de fertilizante (Figura 37). Actualmente se están evaluando varios atributos de la planta, incluyendo la producción de forraje, la distribución de la materia seca en la parte aérea y las raíces, y la absorción de nutrientes. Este estudio de



campo indicó que la accesión *A. pintoii* CIAT 22159 es superior al cultivar comercial *A. pintoii* CIAT 17434 por su celeridad de establecimiento y potencial de rebrote.



**Figura 36.** Variación genotípica en la producción de forraje de ocho accesiones de *Arachis pintoii*, 12 meses después del establecimiento (5 de junio de 2002). Producción de forraje (kg/ha) por efecto de los niveles iniciales de fertilizante en un Oxisol franco arcilloso. Estación Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.



**Figura 37.** Variación genotípica en el potencial de rebrote (producción de forraje) de ocho accesiones de *Arachis pintoii*. Biomasa aérea (kg/ha) por efecto de los niveles iniciales de fertilizante en un Oxisol franco arcilloso. Estación Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. Las mediciones fueron hechas 79 días después de la estandarización de las parcelas (22 de agosto de 2002) con 12 meses de establecidas.

## **Genotipos de gramíneas y leguminosas identificados por tolerancia a la época seca**

### **Aspectos sobresalientes**

Se demostró que el desempeño superior en la temporada seca de *B. Brizantha* cv. Toledo (CIAT 26110), que conserva una alta proporción de hojas verdes durante la época seca moderada en los Llanos Orientales de Colombia, está asociado con la mayor absorción de nutrientes del suelo seco.

### **Tolerancia de *Brachiaria* a la sequía**

**Determinación de la variación genotípica en la tolerancia a la época seca de accesiones de *Brachiaria* y recombinantes genéticos en los Llanos Orientales de Colombia** I. M. Rao, J. W. Miles, C. Plazas, J. Ricaurte, y R. García (CIAT)

### **Justificación**

La baja cantidad y pobre calidad de alimento disponible durante la época seca es uno de los limitantes principales para la producción animal en regiones subhúmedas de América tropical. En un estudio de campo en la finca Matazul, Llanos Orientales de Colombia, se evaluaron las diferencias genotípicas debidas al estrés por sequía (de 4 meses de duración) de la mayoría de los recombinantes genético promisorios de *Brachiaria*. Los resultados durante los últimos 2 años indicaron que el mejor desempeño del híbrido *Brachiaria*, FM9503-S046-024, —que conservó una gran proporción de hojas verdes durante la época seca moderada— estaba asociado con los niveles más bajos de contenidos de K y N en las hojas verdes. Actualmente se está evaluando el desempeño los genotipos durante la época seca en el tercer año después del establecimiento.

### **Materiales y métodos**

El ensayo se estableció en julio de 1999 en un Oxisol franco arenoso e incluyó 12 entradas: seis accesiones naturales (cuatro progenitores) y seis recombinantes genéticos de *Brachiaria*. Entre las accesiones, *B. brizantha* CIAT 26110 fue identificada en trabajos anterior en Atenas (Costa Rica) como un genotipo excelente por su tolerancia a la época seca (hasta 6 meses). El ensayo se estableció en un bloque al azar en arreglo de parcelas divididas con dos niveles iniciales de fertilización (kg/ha) (bajo: 20 P, 20 K, 33 Ca, 14 Mg, 10 S; y alto: 80 N, 50 P, 100 K, 66 Ca, 28 Mg, 20 S más micronutrientes) como parcelas principales y los genotipos como subparcelas. Al finalizar la época seca en abril de 2002, 33 meses después del establecimiento, se midieron la producción de forraje verde y muerto, los nutrientes en la parte aérea y la absorción de estos. La fertilización de mantenimiento, equivalente a la mitad de la dosis inicial, se aplicó al comienzo de las lluvias en abril de 2001.

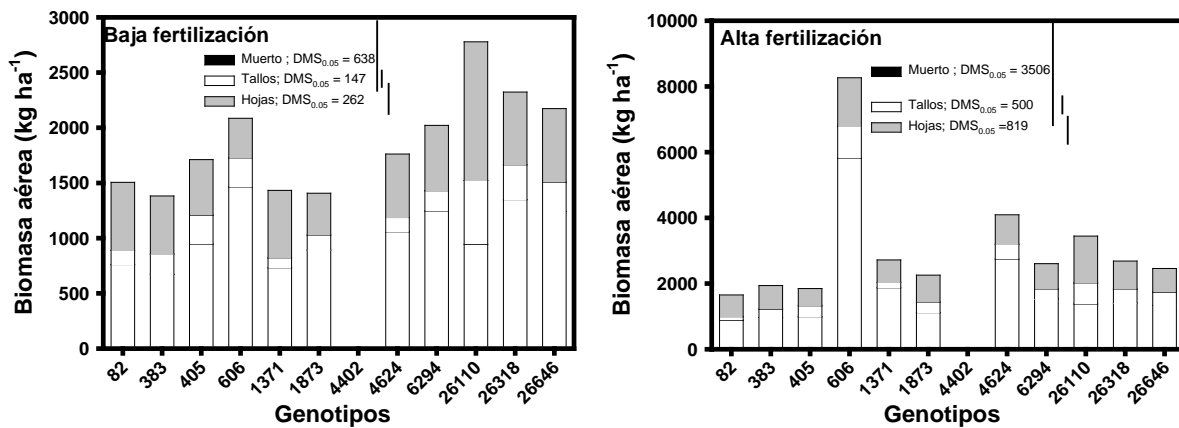
### **Resultados y discusión**

Los rendimientos de forraje con el tratamiento de alta fertilización fueron mayores que con el tratamiento de baja fertilización (Cuadro 19). Treinta tres meses después del establecimiento (4 meses después de la época seca), el rendimiento de forraje verde con fertilización baja varió entre 0 y 1834 kg/ha y el valor más alto se obtuvo con la accesión *B. brizantha* CIAT 26110. Esta accesión fue liberada en Costa Rica como cv. Pasto Toledo y es conocida por su tolerancia a la sequía. Entre los cuatro progenitores, *B. decumbens* cv. Basilisk (CIAT 606) resultó excelente en producción de forraje verde y biomasa muerta, cuando recibió la dosis alta de fertilizante. Un recombinante genético de *Brachiaria* resistente a salivazo, FM9503-S046-024, resultó superior a los demás híbridos por su mayor producción de biomasa verde y total de la parte aérea, particularmente con la aplicación alta de fertilizante. Como era de esperar, el desempeño de uno de los progenitores, BRUZ/44-02, fue muy pobre en comparación con otros progenitores y recombinantes genéticos, ya que casi no produjo forraje verde después de la época seca. Los valores de la relación hoja:tallo de los recombinantes genéticos BR97NO-0082 y FM9301-1371 fueron notoriamente superiores que en los otros genotipos. El desempeño sobresaliente de *B. brizantha*

cv. Toledo (CIAT 26110) con la aplicación baja de fertilizante se atribuyó, principalmente, a su habilidad de producir biomasa en las hojas verdes durante la época seca (Figura 38).

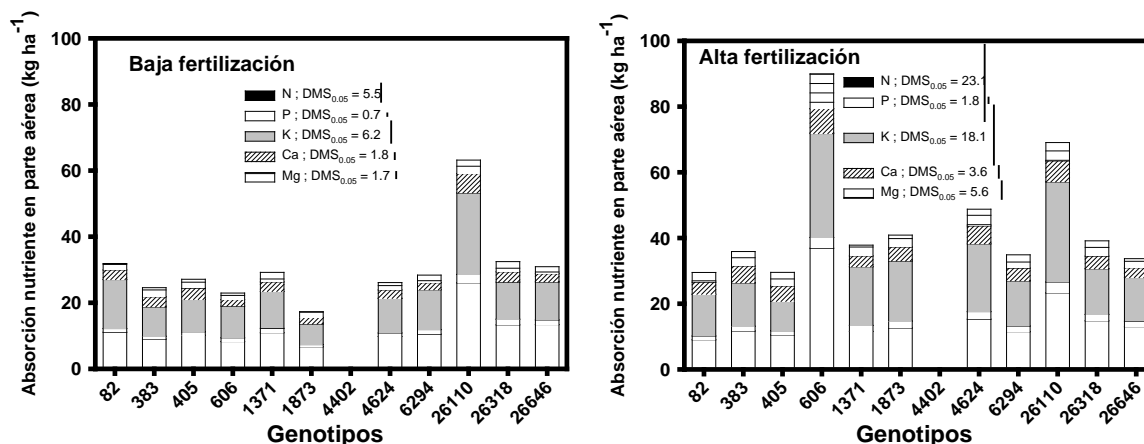
**Cuadro 19.** Variación genotípica de *Brachiaria* por la aplicación de fertilizantes. Biomasa verde y muerta de la parte aérea y producción total de forraje de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenoso en la finca Matazul, Colombia. Los atributos de la planta se midieron 33 meses después del establecimiento (al finalizar la época seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Biomasa verde en la parte aérea (kg/ha)		Relación hoja:tallo (kg/ha)		Producción total de forraje (kg/ha)	
	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta	Fertilización baja	Fertilización alta
Recombinantes:						
BR97NO-0082	745	771	4.82	6.14	1506	1654
BR97NO-0383	710	972	2.88	2.84	1382	1938
BR97NO-0405	765	858	1.92	1.58	1711	1847
FM9201-1873	516	1142	2.77	2.53	1407	2256
FM9301-1371	701	848	6.79	4.01	1433	2718
FM9503-S046-024	705	1348	4.42	2.00	1762	4092
Progenitores:						
CIAT 606	622	2444	1.37	1.53	2086	8264
CIAT 6294	776	1077	3.24	2.51	2022	2603
BRUZ/44-02	0	0	0	0	0	0
CIAT 26646	931	1126	2.51	1.81	2173	2460
Accesiones:						
CIAT 26110	1834	2069	2.17	2.22	2778	3445
CIAT 26318	974	1278	2.09	1.98	2323	2683
Media	773	1161	2.92	2.43	1715	2830
DMS ( $P < 0.05$ )	361	1300			843	4721



**Figura 38.** Variación genotípica de *Brachiaria* por efecto de la fertilización. Distribución de la materia seca entre las hojas verdes, tallos y biomasa muerta de los recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de *Brachiaria* cultivadas en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 33 meses después del establecimiento (al final de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Los resultados del contenido de N en hoja y tallo indicaron que las diferencias entre los recombinantes genéticos, progenitores y accesiones no eran significativas con la aplicación baja o alta de fertilizante (Cuadro 20). Con la aplicación baja de fertilizante, la absorción de N en la parte aérea fue mayor en *B. brizantha* CIAT 26110 (Cuadro 20; Figura 39). Con la aplicación alta de fertilizante, *B. decumbens* CIAT 606 mostró una alta absorción de N en la parte aérea. La absorción de P, K, Ca y Mg en la parte aérea también fue mayor con *B. brizantha* CIAT 26110 (Cuadros 21 y 22; Figura 39). Entre los progenitores, *B. decumbens* CIAT 606 fue superior en absorción de P, K, Ca y Mg con la aplicación de dosis alta de fertilizante.



**Figura 39.** Variación genotípica de *Brachiaria* por efecto de la fertilización. Absorción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) de los recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de *Brachiaria* cultivadas en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 33 meses después del establecimiento (al final de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

**Cuadro 20.** Variación genotípica de *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizantes. Contenido de N en hojas y tallos, y la absorción de N en la parte aérea de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 33 meses después del establecimiento (al fin de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Contenido de N en la hoja		Contenido de N en el tallo		Absorción de N por rebrote	
	Fertilización		Fertilización		Fertilización	
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
	Fertilización (%)		Fertilización (%)		Fertilización (kg/ha)	
<b>Recombinantes:</b>						
BR97NO-0082	1.51	1.26	1.34	0.88	11.07	9.02
BR97NO-0383	1.47	1.34	1.05	0.79	8.98	11.68
BR97NO-0405	1.51	1.53	1.04	0.79	1014	10.47
FM9201-1873	1.52	1.33	1.06	1.08	6.68	12.58
FM9301-1371	1.63	1.47	1.33	1.01	10.92	11.56
FM9503-S046-024	1.45	1.29	1.11	0.82	9.77	15.26
<b>Progenitores:</b>						
CIAT 606	1.72	1.41	1.07	1.01	8.25	36.88
CIAT 6294	1.47	1.12	0.92	0.89	10.48	11.47
BRUZ/44-02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CIAT 26646	1.64	1.31	0.89	0.9	13.38	13.0
<b>Accesiones:</b>						
CIAT 26110	1.58	1.28	1.13	0.79	26.01	23.28
CIAT 26318	1.65	1.31	0.91	0.82	13.29	14.78
Media	1.56	1.33	1.08	0.89	11.73	15.45
DMS ( $P = 0.05$ )	NS	NS	0.26	NS	5.46	23.1

ND = no determinado debido al tamaño pequeño de la muestra; NS = no significativo.

**Cuadro 21.** Variación genotípica de *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizante. Contenido de P en la hoja y tallo, y absorción de P en la parte aérea de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 33 meses después del establecimiento (al fin de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Contenido de P en hoja		Contenido de P en el tallo		Absorción de P en rebrote	
	Fertilización		Fertilización		Fertilización	
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
	Fertilización (%)		Fertilización (%)		Fertilización (kg/ha)	
<b>Recombinantes:</b>						
BR97NO-0082	0.16	0.16	0.136	0.124	1.12	1.15
BR97NO-0383	0.12	0.16	0.097	0.119	0.86	1.45
BR97NO-0405	0.15	0.17	0.096	0.098	1.07	1.30
FM9201-1873	0.13	0.17	0.103	0.135	0.65	2.12
FM9301-1371	0.18	0.23	0.153	0.188	1.34	1.83
FM9503-S046-024	0.16	0.20	0.132	0.112	1.06	2.31
<b>Progenitores:</b>						
CIAT 606	0.21	0.17	0.139	0.116	1.12	3.27
CIAT 6294	0.19	0.17	0.155	0.132	1.39	1.71
BRUZ/44-02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CIAT 26646	0.17	0.17	0.098	0.103	1.41	1.69
<b>Accesiones:</b>						
CIAT 26110	0.14	0.17	0.138	0.172	2.55	3.31
CIAT 26318	0.18	0.17	0.128	0.112	1.73	1.95
Media	0.16	0.18	0.126	0.128	1.30	2.01
DMS ( $P = 0.05$ )	0.042	NS	0.046	0.058	0.68	1.79

ND = no determinado debido al tamaño pequeño de la muestra; NS = no significativo.

**Cuadro 22.** Variación genotípica de *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizantes. Absorción de K, P y Mg en la parte aérea de recombinantes genéticos, progenitores y otras accesiones de germoplasma de *Brachiaria* cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 33 meses después del establecimiento (al fin de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Genotipo	Absorción de K		Absorción de Ca		Absorción de Mg	
	Fertilización		Fertilización		Fertilización	
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
	Fertilización (kg/ha)					
<b>Recombinantes:</b>						
BR97NO-0082	14.83	12.69	2.91	3.68	1.94	2.95
BR97NO-0383	8.88	13.20	3.08	5.14	2.76	4.39
BR97NO-0405	9.76	8.92	3.40	4.71	2.71	4.14
FM9201-1873	6.23	18.29	2.01	4.26	1.72	3.64
FM9301-1371	11.16	17.85	2.91	3.27	2.88	3.30
FM9503-S046-024	10.49	20.65	2.54	5.43	2.24	5.11
<b>Progenitores:</b>						
CIAT 606	9.61	31.63	1.99	7.64	1.95	10.50
CIAT 6294	12.05	13.75	2.13	3.89	2.32	4.05
BRUZ/44-02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CIAT 26646	11.48	13.26	2.51	2.99	2.12	2.76
<b>Accesiones:</b>						
CIAT 26110	26.47	30.46	5.84	6.40	4.10	5.59
CIAT 26318	11.22	13.89	3.12	3.85	3.07	4.66
Media	11.85	17.69	2.95	4.66	2.53	4.64
DMS ( $P = 0.05$ )	6.180	18.09	1.819	3.614	1.732	5.592

ND = no determinado debido al tamaño pequeño de la muestra.

El análisis de correlación entre la biomasa de la hoja verde producida en la época seca y otros atributos de la parte aérea indicaron que el mejor desempeño con la aplicación de ambos niveles de fertilización estaba asociado con la mayor biomasa del tallo, lo que indica la importancia de las reservas en esta parte de la planta para la producción de biomasa en la hoja verde (Cuadro 23). No se observaron relaciones significativas entre la biomasa de hojas verdes y el nivel de nutrientes en ellas.

Los resultados de este estudio de campo indicaron que el mejor desempeño de la accesión *B. brizantha* CIAT 26110 está asociado con la mayor absorción de nutrientes bajo condiciones de déficit de agua.

**Cuadro 23.** Coeficientes de correlación (r) entre la biomasa de la hoja verde (t/ha) y otros atributos de la parte aérea de genotipos de *Brachiaria* cultivados con aplicación baja o alta de fertilizante en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia.

Característica del rebrote	Fertilización	
	Baja	Alta
Producción de forraje verde (t/ha)	0.97***	0.99***
Producción total de forraje (verde + muerto) (t/ha)	0.79***	0.89***
Biomasa muerta (t/ha)	0.41**	0.82***
Biomasa del tallo(t/ha)	0.77***	0.93***
Contenido de N en la hoja (%)	-0.26	0.27
Contenido de N en la hoja (%)	0.14	-0.10
Contenido de K en la hoja (%)	0.02	-0.09
Contenido de Ca en la hoja (%)	-0.13	-0.32*

\*, \*\*, \*\*\* Significante a los niveles de probabilidad de 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

## Tolerancia a la sequía de híbridos promisorios de *Brachiaria* en los Llanos Orientales de Colombia

I. M. Rao, J. Miles, C. Plazas, y J. Ricaurte (CIAT)

### Justificación

La investigación anterior indicó que el desempeño sobresaliente del híbrido de *Brachiaria*, FM9503-S046-024, el cual mantiene una mayor proporción de hojas verdes durante la época seca moderada en los Llanos Orientales de Colombia, estaba asociado con los niveles de contenidos más bajos de K y N en las hojas verdes. El objetivo principal de este estudio de campo fue evaluar la tolerancia a la época de los nuevos híbridos de *Brachiaria* en comparación con sus progenitores, cuando se cultivan con un suministro bajo de nutrientes en la finca Matazul, Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia.

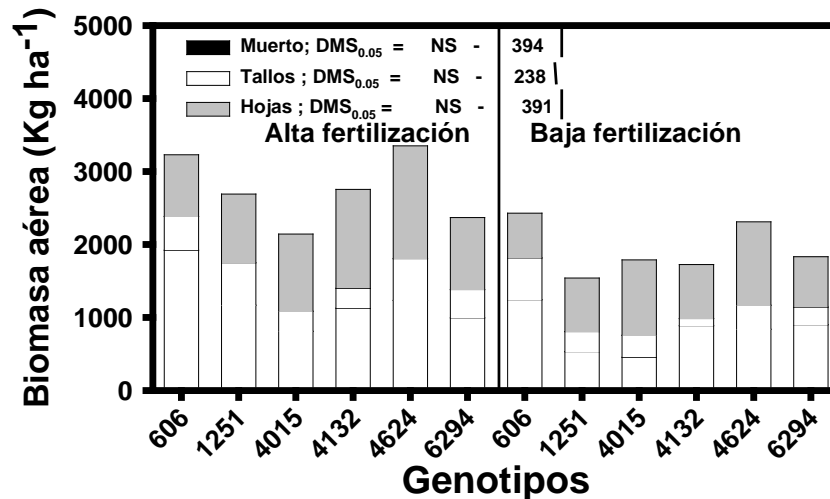
### Materiales y métodos

El ensayo fue establecido el 31 mayo de 2001 y en él se incluyeron cuatro híbridos de *Brachiaria* (BR98NO/1251; BR99NO/4015; BR99NO/4132; FM9503-S046-024) conjuntamente con dos progenitores (*B. decumbens* CIAT 606 y *B. brizantha* CIAT 6294). Se utilizó un bloque al azar en un arreglo de parcelas divididas con dos niveles iniciales de aplicación de fertilizante (kg/ha) (bajo: 20P, 20K, 33Ca, 14 Mg, 10S; y alto: 80N, 50P, 100K, 66Ca, 28Mg, 20S más micronutrientes) como parcelas principales y los genotipos como subparcelas, con tres repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 5 x 2 m.

Como atributos de la planta se midieron, al finalizar la época seca en abril de 2002 después de 4 meses de sequía, la producción de forraje, la distribución de materia seca y la absorción de nutrientes. El ensayo se manejó con pastoreo intensivo simulado cada 2 meses.

## Resultados

A los 11 meses después del establecimiento y 4 meses de época seca, la producción de forraje verde con aplicación baja de fertilizante varió entre 900 y 1400 kg/ha y el valor más alto de producción de forraje se observó en el híbrido 4624 (Figura 40). Las diferencias en la distribución de materia seca entre los híbridos y progenitores indicaron que el híbrido 4624 fue superior en producción de hoja verde en ambos niveles de fertilización, en comparación con otros híbridos evaluados.



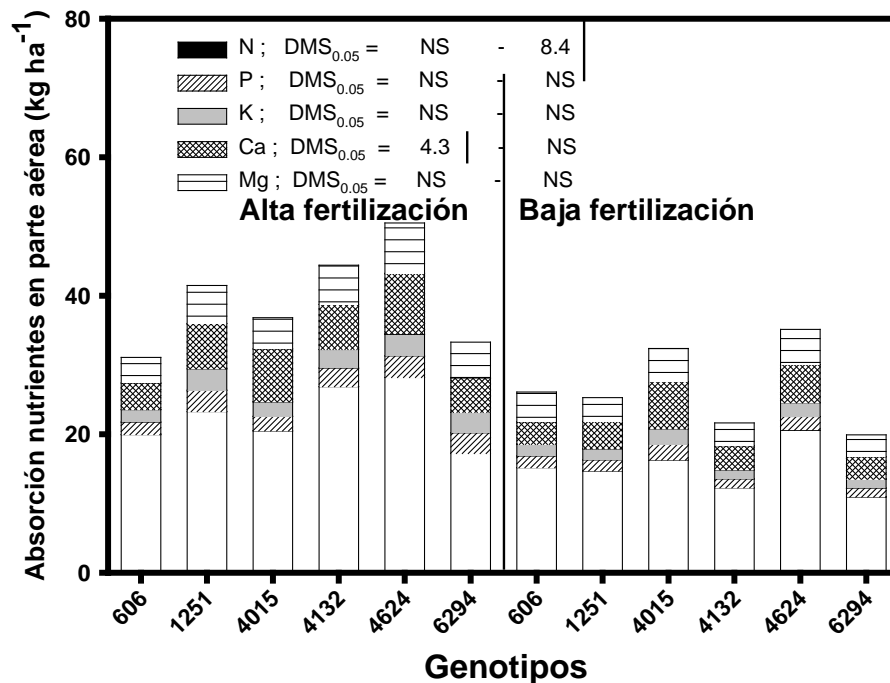
**Figura 40.** Variación genotípica de *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizantes. Distribución de la materia seca entre las hojas verdes, tallos y biomasa muerta de dos progenitores (*B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294) y cuatro recombinantes genéticos (*Brachiaria* 1251, 4015, 4132, 4624) cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 11 meses después del establecimiento (al final de la época seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

Lo anterior es consistente con los resultados obtenidos durante los últimos 3 años, en otro ensayo en el mismo sitio. Es importante notar que uno de los progenitores, *B. decumbens* CIAT 606, que es muy conocido por su adaptación a suelos de baja fertilidad, produjo una biomasa muerta mayor con ambos niveles de fertilización. Este podría ser un atributo importante para el reciclaje de nutrientes que contribuyen a una persistencia superior en condiciones de baja fertilidad, pero puede no ser un atributo deseable para el desempeño de animales mejorados.

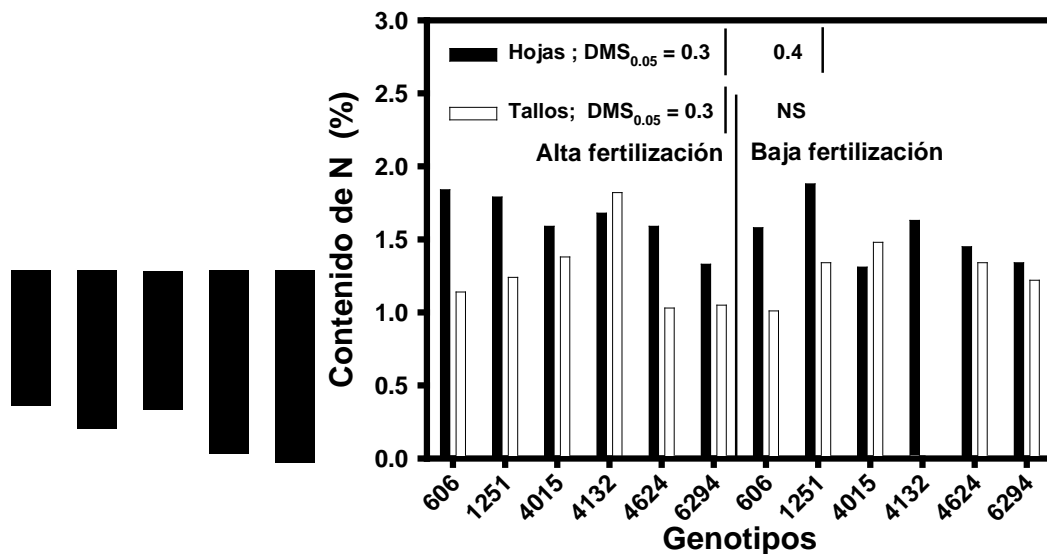
El patrón de distribución de materia seca del híbrido 4015 contrastó con el del padre *B. decumbens* CIAT 606. Este híbrido produjo muy poca biomasa muerta y la mayor parte de biomasa aérea era hojas verdes. Otro híbrido, 4132, presentó una biomasa del tallo notoriamente más baja, en comparación con la biomasa de hoja verde. El híbrido 4624 también sobresalió por su habilidad para absorber nutrientes, particularmente N y Ca, tanto en el nivel bajo como alto de fertilización (Figura 41).

Los resultados en la absorción de nutrientes también mostraron que *B. brizantha* CIAT 6294, conocida por su nivel moderado de adaptación a suelos ácidos, fue inferior a los cuatro híbridos probados en cuanto a su habilidad para absorber nutrientes del suelo, particularmente N. Durante las épocas secas de los próximos 2 años se evaluarán la producción de forraje y absorción de nutrientes de los cuatro híbridos, en comparación con los dos progenitores.

Los contenidos de N y P en la hoja verde y tallo también indican la buena calidad nutritiva del híbrido 1251 en ambos niveles de fertilización (Figuras 42 y 43).

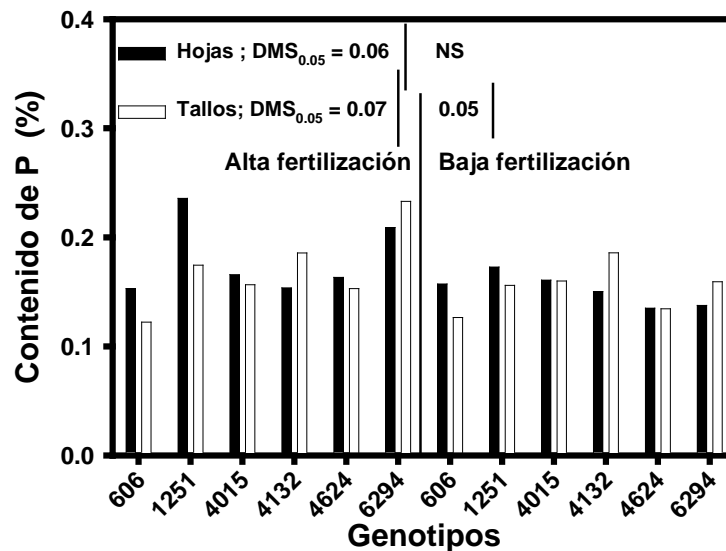


**Figura 41.** Variación genotípica de *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizante. Absorción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) de dos progenitores (*B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294) y cuatro recombinantes genéticos (1 *Brachiaria* 251, 4015, 4132, 4624) cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 11 meses después del establecimiento (al final de la época seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05. NS = no significativa.



**Figura 42.** Variación genotípica de *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizantes. Contenido de nitrógeno (N) en hojas y tallos de dos progenitores (*B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294) y cuatro recombinantes genéticos (*Brachiaria* 1251, 4015, 4132, 4624) cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 11 meses después del establecimiento (al final de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.





**Figura 43.** Variación genotípica *Brachiaria* debida a la aplicación de fertilizantes. Contenido de fósforo (P) en hojas y tallos de dos progenitores (*B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294) y cuatro recombinantes genéticos (*Brachiaria* 1251, 4015, 4132, 4624) cultivados en un Oxisol franco arenoso en Matazul, Llanos Orientales de Colombia. Los atributos de la planta se midieron 11 meses después del establecimiento (al final de la temporada seca, abril de 2002). Los valores DMS están en el nivel de probabilidad de 0.05.

#### **Resultado 4.4: En colaboración con instituciones nacionales de investigación productoras, se están evaluando y multiplicando gramíneas y leguminosas de desempeño sobresaliente**

##### **Aspectos sobresalientes**

- Se identificaron *P. maximum* cv. Mombasa, *B. brizantha* cv. Toledo y una accesión de caupí como líneas promisorias para uso múltiple en Haití.
- Se confirmó el alto vigor de la plántula, desarrollo de macollas y plantas del híbrido *Brachiaria* cv. Mulato en siembras en fincas en cinco países de los trópicos de América Latina.
- Se liberaron por Corpoica *B. brizantha* (CIAT 26110) cv. Toledo, *Cratylia argentea* (CIAT 18516 y 18668) cv. Veranera y *Desmodium heterocarpon* subsp. *ovalifolium* (CIAT 13651) cv. Maquenque para los Llanos Orientales de Colombia.
- Se observa una rápida adopción de *C. argentea* cv. Veranera por los pequeños productores en lecherías de los Llanos Orientales de Colombia, quienes está reemplazando los concentrados y reduciendo costos en la producción.
- El sistema doble propósito ha demostrado ser el más rentable para la producción en regiones bajas tropicales. En esta región, en sitios de ladera y con este sistema es posible producir a más bajos costos y obtener mayores ingresos en explotaciones grandes especializadas, en comparación con explotaciones medias y pequeñas.

## Evaluación de nuevas opciones de gramíneas y leguminosas para diferentes sistemas en los Llanos Orientales de Colombia

Se continuó con la evaluación de nuevas opciones de gramíneas y leguminosas para sistemas de producción ganadera en los Llanos Orientales. Para estos trabajos se cuenta con fondos del Ministerio de Agricultura (MADR) de Colombia.

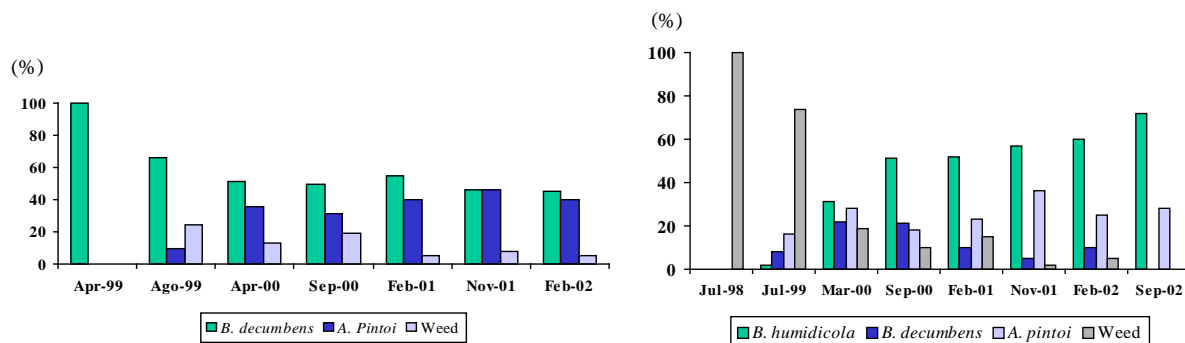
### Evaluación de leguminosas para recuperar pasturas degradadas C. Plazas, J.W. Miles, y C. Lascano (CIAT)

**En el Piedemonte.** En 1999 fueron seleccionadas cuatro fincas, —dos en la Altillanura y dos en el Piedemonte— para adelantar trabajos sobre recuperar pasturas degradadas de *Brachiaria* con *Arachis pintoii* (*Arachis*) y *Desmodium ovalifolium*, respectivamente.

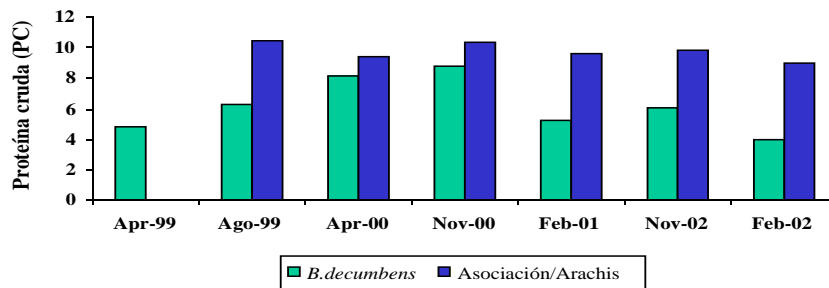
En el Piedemonte la introducción de *Arachis* para recuperar pasturas degradadas ha tenido mucho éxito, contrario a lo ocurrido en la Altillanura (sabana bien drenada) debido a la fertilidad más baja en los suelos de ésta región. Después de 4 años de pastoreo, la proporción de leguminosa en la pastura ha variado entre 10% y 40% en asociación con *B. decumbens* y entre 16 y 28% en asociación con *B. humidicola* (Figura 44).

Como era de esperar, el contenido de proteína cruda (PC) ha sido consistentemente superior en pasturas de gramíneas-leguminosas que en solo gramíneas, como se ilustra en la Figura 45. En la asociación *B. decumbens*-*A. pintoii* y solo gramíneas, el nivel de PC varió entre 9% y 10% en la primera y entre 4% y 9% en la segunda.

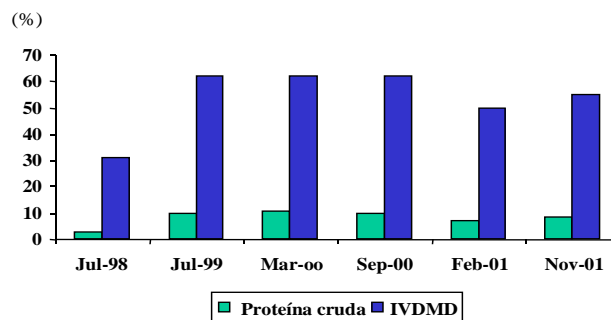
El nivel bajo de PC en *B. humidicola* en suelos de baja fertilidad se reconoce como un factor limitante de esta gramínea y como resultado el desempeño animal es bajo. Como era de esperar, la introducción de *A. pintoii* en pasturas de *B. humidicola* produjo niveles altos de PC en la época de lluvias (10%) y en la seca (6%-7%) (Figura 46).



**Figura 44.** Contenido de leguminosa en pasturas de *Brachiaria decumbens* (izquierda) y *Brachiaria humidicola* (derecha) evaluadas en el Piedemonte (Llanos Orientales de Colombia).



**Figura 45.** Proteína cruda en el forraje en oferta en pasturas de *Brachiaria decumbens* sola y en asociación con *Arachis pintoi*.



**Figura 46.** Proteína cruda y digestibilidad del forraje en oferta en una pastura de *Brachiaria humidicola* asociada con *Arachis pintoi*.

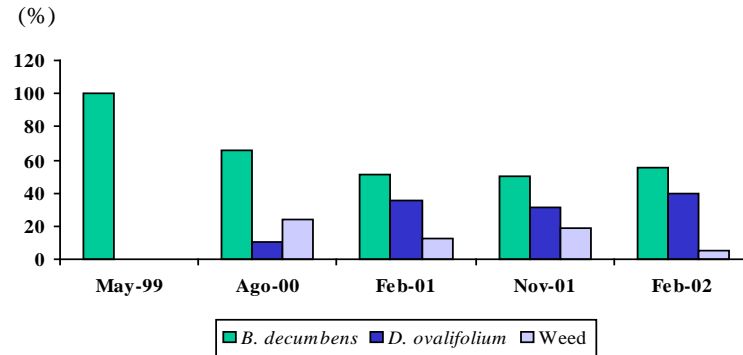
Una gran ventaja de las pasturas con *Arachis* en el Piedemonte ha sido su alta capacidad de carga animal; por ej., pasturas de *B. humidicola/A. pintoi* han mantenido hasta 2 animales/ha, lo que se considera más alto que la tasa promedio de carga (1 animal/ha) en la región. En pasturas *B. decumbens-A. pintoi* la carga promedio usada por los productores también ha sido muy alta (3.1 novillos/ha).

**En la Sabana bien drenada.** Después del poco éxito con la introducción de *A. pintoi* para recuperar pasturas degradadas en suelos bien drenados de baja fertilidad en la sabana (Altillanura), la atención se centró en *Desmodium ovalifolium* CIAT 13651 por su mejor adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad.

Desde mayo de 2000 se está evaluando la composición botánica de una pastura de *B. decumbens/D. ovalifolium* en una finca en los Llanos Orientales. El contenido de leguminosa en la pastura aumentó hasta en un 25% en la época lluviosa del año inmediatamente anterior, pero debido al pastoreo excesivo (5 animales/ha) el volumen de ésta disminuyó hasta 5% al final de la época seca de 2002 (Figura 47). No obstante, las observaciones recientes indican que la leguminosa está aumentando de nuevo como resultado de la lluvia y el pastoreo más suave.

En 2002, Corpoica liberó *D. ovalifolium* CIAT 13651 como cv. Maquenque para cubrimiento en plantaciones y recuperación de pasturas degradadas en los Llanos Orientales. El desafío en el futuro es asegurar una adopción alta de la tecnología por parte de los productores. Sin embargo, para que esto ocurra es necesario asegurar un suministro continuo de semillas. En este sentido se deben analizar varias

opciones: (1) cultivadores de palma de aceite que cultiven y comercialicen las semillas, y (2) desarrollar acuerdos de multiplicación y compra de semillas entre las compañías comercializadoras y los productores.



**Figura 47.** Contenido de leguminosa en una pastura de *B. decumbens* asociada con *D. ovalifolium* en una finca en un sitio bien drenado de los Llanos Orientales de Colombia.

**Evaluación de nuevas opciones de gramíneas para los Llanos Orientales de Colombia** C. Plazas, J.W. Miles y C. Lascano (CIAT)

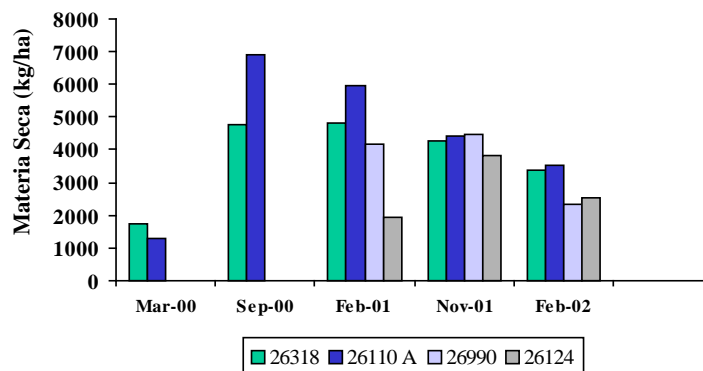
**En el Piedemonte.** En 2000 se estableció en una finca de ceba de ganado una pastura de *B. brizantha* CIAT 26110. Los resultados con ella han sido hasta ahora extraordinarios en términos de tasa de carga animal (3.4 animales/ha) y ganancia de peso vivo (600 g/novillo por día). El forraje en oferta ha variado entre 2600 y 4800 kg/ha de MS y el contenido de PC en el forraje en oferta entre 8% y 11%.

El excelente desempeño de *B. brizantha* CIAT 26110 en el Piedemonte fue una de las razones para que Corpoica justificará la liberación de este genotipo como cv. Toledo. Este cultivar es comercial en Brasil y se espera que la semilla suficiente esté próximamente disponible en el mercado colombiano.

**En las sabanas bien drenadas.** En 2000 se establecieron dos accesiones de *B. brizantha* (CIAT 26110 y 26318) en una finca de esta región, y en 2001 se establecieron dos nuevas accesiones de *B. brizantha* (CIAT 26990 y 26124). Los resultados en la producción de forraje en la época de lluvias indican que las accesiones 26990 y 26110 han sido superiores a las demás accesiones. En la época seca, el forraje en oferta también fue mayor en pasturas de la accesión 26110 (Figura 48).

Los resultados indican que los niveles de PC de las accesiones de *Brachiaria* evaluadas varían entre 4.5% y 6.5% y que el nivel más alto se encontró en CIAT 26990.

Con base en el desempeño de las accesiones de *Brachiaria* y la preferencia de los agricultores, se preseleccionaron tres accesiones (*B. brizantha* CIAT 26318, 26124 y 26990) para la multiplicación de semillas. Se espera que para principios de 2003 se tenga disponible una cantidad suficiente de semillas de las accesiones preseleccionadas para que Corpoica aumente el número de productores que prueben los nuevos materiales.



**Figura 48.** Forraje en oferta en pasturas con accesiones diferentes de *Brachiaria brizantha* en un sitio bien drenado de los Llanos Orientales de Colombia

### Evaluación de leguminosas como cobertura en plantaciones en los Llanos Orientales de Colombia.

C. Plazas, M. Peters, L.H. Franco, B. Hincapié (CIAT) y cultivadores de palma de aceite y caucho en los Llanos Orientales.

#### Justificación

En los Llanos Orientales de Colombia existe la necesidad de encontrar formas sostenibles para reducir la infestación de malezas en plantaciones de cultivos comerciales, mantener y mejorar la fertilidad del suelo, controlar la erosión y aumentar la biomasa de la fauna en el suelo. Actualmente existe la tendencia hacia promover sistemas de cultivos comerciales como el caucho y la palma aceitera. El grupo objetivo de esta promoción son los pequeños y medianos agricultores que quieren diversificar sus operaciones de cultivo. En las plantaciones de palma de aceite se alquilan parcelas hasta 5 ha a agricultores sin tierra para que manejen este cultivo con fines industriales.

En 1999, en el departamento del Meta, Colombia, se estableció un grupo de accesiones de leguminosas de las especies *A. pintoii*, *D. heterocarpon* subsp. *ovalifolium* y *Pueraria phaseoloides* bajo condiciones de sombra y a plena luz solar. Con base en los resultados iniciales, este trabajo se extendió para incluir la evaluación de diferentes métodos de establecimiento con el fin de lograr un cubrimiento más rápido de *D. heterocarpon* subsp. *ovalifolium* CIAT 13651, en comparación con el cubrimiento comúnmente usado en *P. phaseoloides*.

#### Materiales y métodos

En cultivos comerciales de caucho jóvenes y viejos y en plantaciones de palma aceitera se establecieron, tanto en Piedemonte como en sabanas, parcelas de 80 m<sup>2</sup> en bloques al azar con tres repeticiones de las leguminosas: *Arachis pintoii*: 17434, 18744, 18748, 22159, 22160 (10 kg/ha de semillas); *Desmodium heterocarpon* subsp. *ovalifolium* (*D. ovalifolium*): 350, 13105, 13110, 13651, 23762 (0.5 kg/ha); *Pueraria phaseoloides*: 8042, 9900 (3 kg/ha). Adicionalmente, se sembró una mezcla de *Arachis pintoii* CIAT 18744 y *Desmodium ovalifolium* CIAT 13651. Las mediciones incluyeron el porcentaje de cubrimiento y la producción de MS de las leguminosas y las malezas.

#### Resultados y discusión

En 2002 se continuó la evaluación de cobertura del suelo para medir la persistencia de las leguminosas bajo cultivo de caucho recientemente sembrado y en producción. En las plantaciones de caucho en producción, el cubrimiento del suelo por *A. pintoii* y *P. phaseoloides* fue muy reducido en 2002 en comparación con los años anteriores, llegando a ser menor que 15%. En contraste, *D. heterocarpon*

continuó cubriendo el suelo adecuadamente, especialmente la accesión *D. heterocarpon* CIAT 13651, alcanzando en 2002 un cubrimiento del suelo de 83%.

En las plantaciones de caucho más recientemente establecidas, caracterizadas por la penetración de luz más leve; en 2002 el cubrimiento del suelo por *Arachis pintoii* aumentó hasta 67% - 78%, mientras que el cubrimiento por *D. heterocarpon* y *P. phaseoloides* disminuyó en comparación con 2001. Sin embargo, el cubrimiento del suelo de *D. heterocarpon* CIAT 13651 (68%) fue similar a *A. pintoii* (Cuadro 24).

**Cuadro 24.** Cubrimiento del suelo de diferente leguminosas forrajeras bajo cultivo de caucho después de 2 y 3 años de sembradas en dos sitios en los Llanos Orientales de Colombia.

Leguminosas (Accesiones CIAT)	Porcentaje de cubrimiento bajo plantas de caucho en producción		Porcentaje de cubrimiento bajo plantas de caucho recién establecidas	
	Promedio 2001	Promedio 2002	Promedio 2001	Promedio 2002
<i>A. pintoii</i> CIAT 17434	33	5	35	67
<i>A. pintoii</i> CIAT 18744	64	13	63	78
<i>A. pintoii</i> CIAT 18748	50	7	47	68
<i>A. pintoii</i> CIAT 22159	43	13	62	70
<i>A. pintoii</i> CIAT 22160	44	7	67	67
<i>D. heterocarpon</i> CIAT 350	74	60	68	40
<i>D. heterocarpon</i> CIAT 13105	68	70	68	23
<i>D. heterocarpon</i> CIAT 13110	64	67	77	40
<i>D. heterocarpon</i> CIAT 13651	79	83	87	68
<i>D. heterocarpon</i> CIAT 23762	73	65	53	38
<i>P. phaseoloides</i> CIAT 8042	30	5	37	22
<i>P. phaseoloides</i> CIAT 9900	42	5	37	18
Asoc. <i>A. pintoii</i> - <i>D. heterocarpon</i>	81	50	87	77

En las plantaciones de palma de aceite se obtuvieron resultados similares. Mientras que, en la época de lluvias de 2002 el cubrimiento del suelo por *A. pintoii* y *P. phaseoloides* disminuyó hasta 55% y 37%, respectivamente, con *D. heterocarpon* el cubrimiento promedio del suelo fue de 71% y 85% en asociación de *A. pintoii* o con *D. heterocarpon*. En general, los resultados indican que *D. heterocarpon* subsp. *ovalifolium* CIAT 13651, debido al rápido establecimiento, su bajo costo y la alta persistencia es la mejor opción de cobertura del suelo para plantaciones de caucho y palma de aceite en los Llanos Orientales de Colombia. Por el contrario, *A. pintoii* y *P. phaseoloides* no persistieron bajo la competición por luz.

**Evaluación de abonos verdes en los Llanos Orientales de Colombia** C. Plazas, M. Peters, L.H. Franco, y B. Hincapié (CIAT)

### Justificación

Uno de los objetivos del Proyecto de Forrajes Tropicales es desarrollar abonos verdes alternativos para sistemas basados en maíz y arroz en los Llanos Orientales de Colombia. Se espera que las leguminosas adaptadas reduzcan la necesidad de insumos externos (herbicidas y fertilizantes) y aumentar, así, la competitividad de los cultivos.

### Materiales y métodos

Se seleccionaron dos tipos de abonos verdes potenciales. (1) Leguminosas de establecimiento rápido para ser usadas como abonos verdes incorporadas 80-90 días después de la siembra, y (2) leguminosas de lento establecimiento para ser utilizadas como mejoradoras de barbecho. Las especies y accesiones comparadas fueron:

### Abonos verdes

*Vigna unguiculata* (IT86D-716)  
*Vigna unguiculata* (IT6D-733)  
*Vigna unguiculata* (IT89KD-288)  
*Vigna unguiculata* cv. Cabecita negra.  
*Mucuna pruriens* CIAT 9349  
*Stylosanthes guianensis* CIAT 11844  
*Stylosanthes guianensis* CIAT 11833  
*Stylosanthes guianensis* CIAT 184  
*Stylosanthes guianensis* población 3

### Mejoradoras de barbecho

*Cajanus cajan* CIAT 913  
*Centrosema macrocarpum* CIAT 5713  
*Centrosema pubescens* CIAT 15160  
*Canavalia brasiliensis* CIAT 17009  
*Pueraria phaseoloides* CIAT 9900  
*Stylosanthes guianensis* CIAT 11844  
*Stylosanthes guianensis* CIAT 11833  
*Stylosanthes guianensis* CIAT 184

## Resultados y discusión

### Abonos verdes

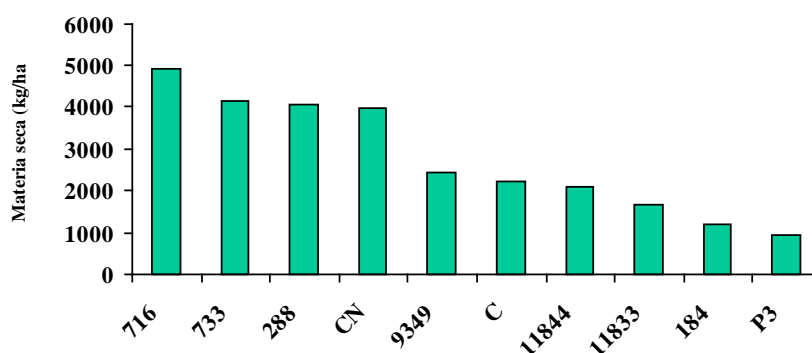
No se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre las accesiones de leguminosas en términos de habilidad para cubrir el suelo, vigor de planta y rendimiento de MS. Las coberturas de suelos más altas se encontraron con *Vigna unguiculata* (caupí) y *Mucuna pruriens* (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Cubrimiento del suelo y vigor de las plantas de leguminosas utilizadas como abonos verdes, 80 días después de la siembra., Corpoica La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Tratamiento	Cubrimiento del suelo (%)	Vigor (1-5)
<i>V. unguiculata</i> IT86D-716	100	4
<i>V. unguiculata</i> IT6D-733	100	4
<i>V. unguiculata</i> IT89KD-288	100	4
<i>Vigna unguiculata</i> local	99	4
<i>M. pruriens</i> CIAT 9349	100	4
<i>S. guianensis</i> CIAT 11844	78	4
<i>S. guianensis</i> CIAT 11833	73	4
<i>S. guianensis</i> CIAT 184	53	3.8
<i>S. guianensis</i> CIAT P3	74	3.8
Barbecho natural	95	3.7

Los mayores rendimientos de MS se obtuvieron con las accesiones de *V. unguiculata* (4 a 5 t/ha de MS) y *M. pruriens* CIAT 9349 (2.4 t/ha de MS) (Figura 49).

Tanto en 2001 como en 2002 no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en la producción de arroz después de la incorporación de los abonos verdes ni con la aplicación de 40 kg/ha de fertilizante nitrogenado. En 2001, la producción más alta de arroz se obtuvo después de *Mucuna pruriens* CIAT 9343, seguido por *V. unguiculata* IT6D-733. Los rendimientos de 3.5 t/ha de arroz después de los abonos verdes fueron comparables con los obtenidos con aplicaciones de 40 a 80 kg/ha de N. Por otro lado, los efectos residuales de los abonos verdes fueron muy bajos, según lo indican los rendimientos de arroz obtenidos en 2002, aunque fueron superiores que los obtenidos sin la aplicación de nitrógeno (Cuadro 26).



**Figura 49.** Producción de MS antes de la incorporación al suelo de diferentes leguminosas usadas como abonos verdes, 8 semanas después de la siembra. Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

**Cuadro 26.** Producción de arroz (kg/ha) después la incorporación de abono verde. C.I. Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Tratamiento	Producción de	Producción de
	arroz	arroz
	2001*	2002**
	Kg/ha	
<i>V. unguiculata</i> IT86D-716	3065	1254
<i>V. unguiculata</i> IT6D-733	3565	1139
<i>V. unguiculata</i> IT89KD-288	3286	1480
<i>Vigna unguiculata</i> local	3089	1257
<i>M. pruriens</i> CIAT 9349	3769	1062
<i>S. guianensis</i> CIAT 11844	2941	1294
<i>S. guianensis</i> CIAT 11833	3036	1296
<i>S. guianensis</i> CIAT 184	2956	1253
<i>S. guianensis</i> CIAT P3	3305	1179
Barbecho natural	3391	1267
NO	3247	980
N40	3296	2956
N80	3685	2782
N120	3641	3398
N160	2928	3948
N240	3631	3754

\* Después de la incorporación de leguminosa.

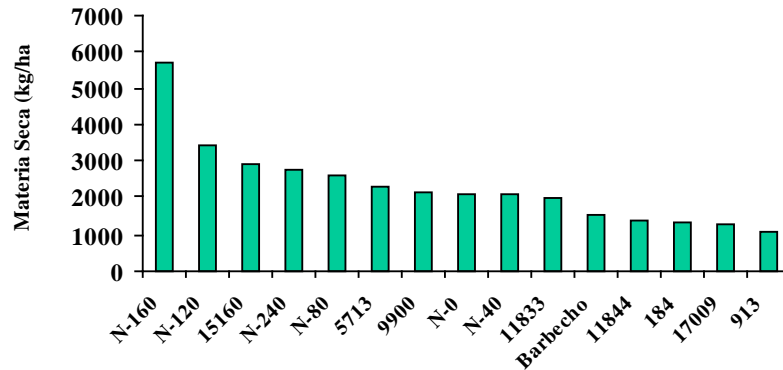
\*\* Efecto residual de abonos verdes incorporados en 2001.

**Mejora del barbecho. Los mayores cubrimientos del suelo (80% o más)** y la mayor competencia con malezas se observó con *Cajanus cajan* CIAT 913, *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009, *S. guianensis* CIAT 184, *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713, *S. guianensis* CIAT 11844 y *C. pubescens* CIAT 15160. Los rendimientos de MS más altos (41-58 t/ha) ocurrieron con *C. cajan* CIAT 913. Los rendimientos con *S. guianensis* CIAT 11844 y *S. guianensis* CIAT 184 variaron entre 7 y 9 t/ha de MS.

Los rendimientos más altos de arroz en parcelas sin fertilización adicional se obtuvieron en *C. pubescens* CIAT 15160 (2.8 t/ha de arroz), seguido por *C. macrocarpum* CIAT 5713 (2.2 t/ha) y *P. phaseoloides* CIAT 9900 (2.1 t/ha). Los rendimientos después de *C. pubescens* CIAT 15160 fueron superiores a los

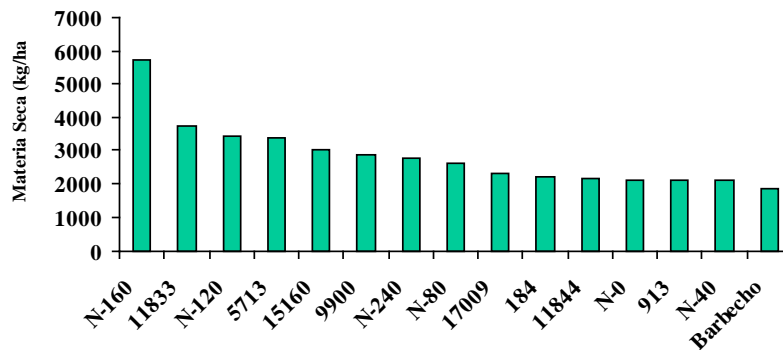


obtenidos con 40 ó 80 kg/ha de N; sin embargo, los máximos rendimientos en arroz (5.7 t/ha) se obtuvieron con una fertilización de 160 kg/ha de N (Figura 50).



**Figura 50.** Producción de arroz después de barbecho mejorado con leguminosas sin aplicación posterior de N, en comparación con la aplicación de N hasta 160 kg/ha. C.I. Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

La aplicación de 40 kg/ha de nitrógeno al arroz, además del barbecho, permitió aumentar la producción de arroz después de *S. guianensis* CIAT 11833 (3.7 t/ha) y *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713 (3.4 t/ha) (Figura 51). En conclusión, los abonos verdes a corto plazo pueden ser una opción para aumentar o mantener los rendimientos de arroz sin una aplicación alta de N.



**Figura 51.** Producción de arroz después de barbecho mejorado de leguminosas, con una aplicación de 40 kg/ha de N, en comparación con la aplicación hasta 160 kg/ha de N. C.I. Corpoica-La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

**Validación del híbrido CIAT 36061 cv. Mulato y CIAT 36062 en fincas de los Llanos Orientales**  
C. Plazas, J. W. Miles y C. Lascano (CIAT)

El híbrido CIAT 36061 cv. Mulato es un nuevo cultivar que presenta múltiples atributos, entre ellos, rápido establecimiento, excelente calidad nutritiva y resistencia a la sequía. No obstante, aún es necesario estudiar su potencial en sistemas de rotaciones agropastoriles en los Llanos Orientales de Colombia.

### Siembras de cv. Mulato con maíz en la Altillanura

En la hacienda Costa Rica (Altillanura), Llanos Orientales de Colombia, se establecieron en julio de 2001 quince hectáreas del híbrido CIAT 36061 cv. Mulato en asociación con un cultivo de maíz híbrido (Corpoica-108) en un Oxisol sobre una pastura degradada de *Brachiaria brizantha*. Este trabajo cuenta con el apoyo de la empresa privada (Semillas Papalotla) y de los productores propietarios de los terrenos. El suelo se preparó con un pase de cincel rígido y dos de rastra, con la aplicación de 2 t/ha de Cal y 2 t/ha de yeso. La gramínea fue sembrada con 100 kg/ha de Calfos y recibe la fertilización del cultivo de maíz para la Altillanura (Foto 9).

A la siembra el cultivo de Maíz recibió fertilización con 200 kg/ha de DAP, 50 kg/ha de KCl, 50 kg/ha de un fertilizante compuesto que contiene 2% de  $K_2O$ , 17% de  $MgO$ , 14% de S y 12% de  $SO_2$ , 50 kg/ha de Boro, 5 y 10 kg/ha de Coljap. A los 20 días recibió a voleo 150 kg/ha de KCl, 50 kg/ha de urea y 25 kg/ha de 'Granulit'. A los 40 días recibió 150 kg/ha de urea y 50 kg/ha de KCl.

El establecimiento tanto del cultivar como del maíz ha sido exitoso. Se espera cosechar el maíz al finalizar septiembre, cuando se realizará un pastoreo rápido, un descanso 30 días antes de iniciar el pastoreo controlado y dirigido.



**Foto 9.** Híbrido *Brachiaria* cv. Mulato (CIAT 36061) sembrada con un cultivo de maíz en una finca en la Altillanura colombiana. Nótese el buen crecimiento de la gramínea entre las hileras de maíz.. (Foto cortesía del Dr. John Miles)

### Siembra de Mulato en el Piedemonte

En Julio de 2001 en un Oxisol franco arcilloso en la finca La Isla (Piedemonte), Llanos Orientales de Colombia, se establecieron 7.5 has del híbrido CIAT 36061 cv. Mulato en un lote degradado de *Brachiaria decumbens*. El suelo fue preparado con dos pases de rastra, se aplicó herbicida (Round up) y se dio un pase de pulidor. Al momento de la siembra se aplicaron 250 kg/ha de Calfos. El establecimiento fue exitoso y a finalizar agosto se fertilizó con 50 kg/ha de triple-15 y 50 kg/ha de Urea (Foto 10).

Se espera que para mediados del mes de octubre se pueda realizar un pastoreo rápido para estimular el rebrote e iniciar los pastoreos controlados y dirigido.



**Foto 10.** Híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato (CIAT 36061) en el Piedemonte

### Utilidad de *Cratylia* en pequeñas explotaciones lecheras de los Llanos Orientales de Colombia

C. Plazas y C. Lascano (CIAT)

En el Piedemonte de los Llanos Orientales durante 2002 se continuó un proyecto financiado por Pronatta para validar la utilidad de *Cratylia argentea* (*Cratylia*) como fuente de forraje para vacas lecheras en fincas de pequeños productores. Un total de 14 fincas fueron seleccionadas para el establecimiento de bancos forrajeros con especies para corte y acarreo (11), para siembra de pasturas asociadas con gramíneas (2) y para la producción de semilla (9) (Cuadro 27). Se establecieron 6 ha de *Cratylia* para suplementar vacas lecheras en la época seca y 3.5 para producir semillas para venta entre productores.

**Cuadro 27.** Areas sembradas con *Cratylia argentea* para diferentes usos en fincas lecheras en los Llanos Orientales de Colombia.

Fincas	Corte y Acarreo (m <sup>2</sup> )	Producción de semilla (m <sup>2</sup> )	Franjas para pastoreo (m <sup>2</sup> )
Los Pinos		4360	
Bruselas	8400		
La Gloria		1800	
Morichal	1160		
La Isla	8640	3000	
Chaguani	8000	3000	30000
La Pata Rosa		10000	
Poco a Poco	5320		
Fecena	5700	2300	
Las Nieves	3000		
Paraíso	2150	2150	
Rancho Alegre	10000	1700	
Madrigal	3180		
El Hachón	4400	7000	
<b>Total</b>	<b>59950</b>	<b>35310</b>	<b>30000</b>

El rendimiento promedio de *Cratylia* para el segundo corte (rebrote de 70 días) que siguió a un corte de uniformidad varió entre las fincas y fue, en promedio, de 2 t/ha de MS en plantas con una altura promedio de 1.2 m.

Los agricultores que participan en el proyecto suplementan las vacas con *Cratylia* sola o en combinación con otros forrajes, incluyendo ensilaje de maíz. Algunos agricultores también han hecho ensilaje de *Cratylia* a partir de los excedentes de forraje producido en la época de lluvias. El contenido promedio de PC en el forraje de *Cratylia* es de 25%, siendo similar al encontrado en otras leguminosas arbustivas, como *Gliricidia sepium*, que son utilizadas por un número limitado de productores en la región.

La documentación en finca del efecto de suplementar *Cratylia* a vacas lecheras no ha sido posible, ya que los productores no permiten el registro de la producción en vacas sin acceso a *Cratylia*. Sin embargo, reconocen que gracias al uso de esta leguminosa hoy pueden producir leche en la época seca y sustituir el uso de concentrados comerciales sin afectar la producción de leche. También reconocen que *Cratylia* es importante para suplementar las vacas en épocas de lluvias intensas cuando el pastoreo es difícil y que los animales muestran mejor desarrollo corporal y ciclos de celo más sincronizados.

Un aspecto importante de este proyecto es la multiplicación de semillas de *Cratylia* a gran escala, suficiente para satisfacer la demanda creciente por productores dentro y fuera de la región. Una estrategia seguida consiste en motivar a los productores que participan en el proyecto para que produzcan semillas, pero esto no ha sido fácil por la falta de tradición que tienen en esta actividad. Igualmente se han hecho convenios con escuelas agrícolas rurales (8) para que produzcan semillas de esta leguminosa para su propio uso y para venta.

Finalmente, en este año como parte de la estrategia para promover el uso de *Cratylia*, se hicieron eventos que incluyeron días de campo (2) y seminarios (5) en el Piedemonte. Como resultado, la demanda por semilla ha crecido considerablemente y se debe resaltar que el proceso de adopción de esta leguminosa por los pequeños productores de los Llanos Orientales de Colombia está en proceso.

**Evaluación económica ex-ante de *Cratylia argentea* en sistemas de producción ganadera de doble propósito en los Llanos de Colombia** Federico Holmann (Consortio Tropicheche), Carlos Lascano, y Camilo Plazas (CIAT)

### **Justificación**

La producción en sistemas de doble propósito se practica en el 78% del inventario ganadero y con el se produce el 41% de la leche en América Latina tropical. Este tipo de explotación se encuentra principalmente en fincas pequeñas que dependen, en gran escala, de recursos forraje que presentan limitaciones nutritivas y, por consiguiente, restringen la productividad animal.

Las leguminosas forrajeras son una alternativa para mejorar la nutrición animal en los sistemas doble propósito. Este es el caso de la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* (*Cratylia*), caracterizada por su adaptación a un amplio rango de suelos, principalmente ácidos bien drenados de baja fertilidad, y por su capacidad para rebrotar durante la época seca. Sin embargo, el uso de *Cratylia* en sistemas de corte y acarreo en algunas regiones de los trópicos no es viable debido a los altos costos en mano de obra. En este estudio se evalúa el impacto de suplementar con *Cratylia* a vacas de ordeño tanto en el sistema de corte y acarreo como en pastoreo bajo directo en pasturas de *Brachiaria decumbens*.

El objetivo fue analizar el papel potencial de *C. argentea* en los sistemas de producción animal doble propósito en los Llanos Orientales de Colombia para reducir los costos de alimentación cuando: (1) se ofrece exclusivamente bajo sistemas de corte y acarreo al momento del ordeño; (2) mezclada con gramíneas o melaza en sistemas de corte y acarreo y ofrecida al momento del ordeño; y (3) bajo pastoreo

directo asociado con *B. decumbens* con dos densidades de siembra, 2500 y 5000 plantas/ha y tres frecuencias de reemplazo (cada 3, 4 ó 5 años).

### Materiales y métodos

Los datos se obtuvieron mediante entrevistas directas con 32 ganaderos localizados en Villavicencio, Meta, para comprender sus sistemas de producción, el uso de recursos, los precios de insumos y productos, y las prácticas de manejo. Se utilizó un modelo de programación lineal desarrollado en una hoja electrónica como una herramienta para evaluar los costos y ganancias ex-ante del uso actual y potencial de *Cratylia* bajo diferentes escenarios.

### Resultados y discusión

La situación actual muestra que el costo de producción de leche era aproximadamente de US\$0.18/kg vs. un precio recibido por leche de US\$0.20/kg para un margen neto del 11%. El precio de producción de carne era US\$0.64/kg peso vivo vs. un precio recibido de US\$0.74/kg para un margen neto del 16%. Sin embargo, debido al bajo volumen de leche y carne vendido anualmente por fincas representativas de la región, este margen neto representó un ingreso, promedio, de cerca de US\$952/finca por año, sin considerar el costo de oportunidad del trabajo de la familia. Como resultado, los sistemas de producción doble propósito eran poco rentables.

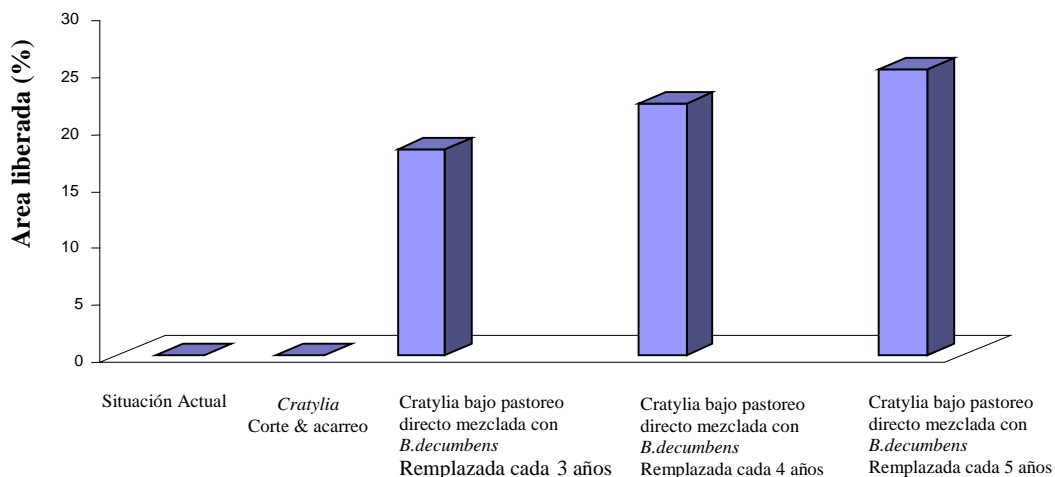
**Corte y acarreo.** La adopción de *Cratylia* bajo sistemas de corte y acarreo podrían reducir los costos de producción de leche y carne en un 7% cuando se suplementa con melaza, en un 11% si *Cratylia* se mezcla con gramíneas como pasto elefante cv. Napier, y en un 13% si se ofrece sola al momento del ordeño (Cuadro 28). Esto sugiere que el contenido nutritivo encontrado en *Cratylia* era suficiente para mantener la productividad actual sin la necesidad de proporcionar insumos adicionales como melazas y Napier en la dieta basada en *B. decumbens*.

**Cuadro 28.** Costo de producir 1 kg de leche bajo diferentes alternativas con la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* en los Llanos Orientales de Colombia.

Alternativa	Costo de producción de leche (US\$/kg)
Cratylia bajo sistema de corte y acarreo	
- Sola	0.162
- Mezclada con la gramínea cv. Napier	0.167
- Mezclada con melazas	0.174
Cratylia bajo pastoreo directo con una densidad de siembra de 2500 plantas/ha	
- Reemplazada cada 3 años	0.151
- Reemplazada cada 4 años	0.162
- Reemplazada cada 5 años	0.183
Cratylia bajo pastoreo directo con una densidad de siembra de 5000 plantas/ha	
- Reemplazada cada 3 años	0.155
- Reemplazada cada 4 años	0.167
- Reemplazada cada 5 años	0.192

**Pastoreo directo.** Los costos más bajos de producción se encontraron cuando se estableció *Cratylia* con una densidad de 2500 y no con 5000 plantas/ha. Similarmente, se obtuvieron costos más bajos de producción cuando la leguminosa fue reemplazada cada 5 años vs. cada 4 ó 3 años, ya que cuando el período de reemplazo es más corto, mayor es el precio de producción. Como resultado, el establecimiento de *Cratylia* para uso bajo pastoreo directo con una densidad de siembra de 2500

plantas/ha redujo el precio de producción de leche y carne en un 19%, cuando esta opción se reemplaza cada 5 años; en un 13% cuando la *Cratylia* se reemplaza cada 4 años; y en un 2% cuando se reemplaza cada 3 años. La adopción de *Cratylia* en sistemas de pastoreo directo asociado con *B. decumbens* no sólo hace posible reemplazar el uso de concentrados, sino que también permite liberar un 18% del área actual asignada a pasturas, si se reemplazara la *Cratylia* cada 3 años; y hasta en un 25% del área si la frecuencia de reemplazo fuera cada 5 años (Figura 52). Sin embargo, se tiene poca información disponible actualmente sobre el manejo agronómico de *Cratylia* bajo pastoreo directo. En consecuencia, es necesario llevar a cabo una investigación en fincas para determinar el período óptimo de reemplazo de *Cratylia* bajo sistemas rotacionales de pastoreo.



**Figura 52.** Proporción de área de la finca que se podría liberar como resultado de la adopción de alternativas de forraje basadas en *Cratylia argentea* en Villavicencio, Colombia.

### Análisis de la intensificación de sistemas de producción de leche en Colombia

Federico Holmann (CIAT), Libardo Rivas (CIAT), Juan Carulla (U. Nacional), Luis A., Giraldo (U. Nacional), Silvio Guzmán (Fund. Univ. San Martín), Manuel Martínez (U. de los Llanos), Bernardo Rivera (U. de Caldas), Anderson Medina (CIAT), y Andrew Farrow (CIAT)

#### Justificación

La lechería en Colombia ha sido una actividad dinámica durante los últimos 30 años. Durante la década de los 70 creció a una tasa anual de 4.7%, durante los 80 tuvo un crecimiento excepcional sostenido de 6.5%, y en los 90 la producción de leche creció a un 3.8% por año, produciendo en 2000 aproximadamente 5486 millones de litros de leche líquida. Este crecimiento permitió aumentar el consumo de leche de 57 litros per-cápita en 1970 a 130 litros en 2000, un aumento del 128%. El alto crecimiento en la producción de leche durante los 80 se debió, principalmente, a la incorporación de miles de hatos en el sistema de producción de doble propósito. En relación con el comercio, Colombia es básicamente autosuficiente en la producción de leche. Durante los 90 el país importó un promedio de 2% de su producción anual. Por otro lado, ha sido un exportador neta de carne durante las últimas dos décadas, pero con una pérdida clara de importancia relativa desde principios de los 90. En 1991, se exportó sólo el 5% de la producción doméstica. Desde entonces, las exportaciones han estado disminuyendo y desde 1996 las exportaciones son menores del 1% de su producción de carne total. Colombia tiene una capacidad comprobada de aumentar su producción de leche y de razones socioeconómicas para desarrollar el sector. No obstante, existe una discusión interna acerca de las

tecnologías más convenientes para lograr su desarrollo, y si éstas serán suficientes para hacer el sector competitivo dentro y fuera de la región, bajo un esquema de economía abierta y no subsidiada.

Los objetivos de este estudio fueron: (1) identificar y cuantificar el efecto de las tecnologías en el aumento de la productividad de leche en sistemas de lechería de doble propósito y especializados en diferentes regiones de Colombia; y (2) analizar la relación entre la productividad, el nivel tecnológico y la rentabilidad de esta actividad.

### **Materiales y métodos**

Los datos se obtuvieron de un estudio en 545 fincas durante el período febrero - noviembre de 2000 en cinco regiones distribuidas de la siguiente manera: (1) 145 fincas en las tierras bajas del piedemonte llanero (departamentos de Arauca, Casanare y Meta), (2) 116 en las tierras bajas de la región Caribe (departamentos de Atlántico, Guajira, Magdalena, Cesar, Bolívar y Córdoba), (3) 105 en las tierras medias del área cafetera (Quindío, Valle, Caldas y Risaralda), (4) 97 en las regiones de ladera de Antioquia, y (5) 82 fincas en las regiones de la sabana Cundiboyacense (departamentos de Cundinamarca y Boyacá). Estas cinco regiones producen más del 80% de la leche del país.

El estudio tuvo como objetivo cuantificar los insumos y productos para determinar los costos y los precios al nivel de la finca. Con estos datos se calcularon: (1) los costos variables de alimentación, mano de obra, salud, reproducción, fertilización e irrigación; (2) el ingreso bruto por venta de leche y carne, y (3) se caracterizaron las fincas según los niveles de productividad y prácticas de manejo. Los estudios se ejecutaron a través de la coordinación de las facultades de producción animal de la Universidad de los Llanos en las tierras bajas del piedemonte llanero, la Fundación San Martín en la región Caribe, la Universidad de Caldas en la zona cafetera y la Universidad Nacional (sedes de Medellín y Bogotá) en las regiones de Antioquia y de Cundinamarca y Boyacá.

### **Resultados y discusión**

Independiente del sistema de producción utilizado o la región donde se localizaban las fincas, el aumento en la competitividad estaba en relación directa con el tamaño del hato. Por consiguiente, cuando el tamaño aumentaba, el precio de producción por unidad de leche y carne disminuía, el ingreso neto por vaca aumentaba y el retorno anual al capital invertido mejoraba. Sin embargo, cuando el aumento en la competitividad se trató de asociar con la productividad, esta tendencia no se observó, lo que sugería que fincas muy productivas no necesariamente eran rentables (Cuadro 29). Además, estos resultados confirman el hecho que las economías de escala existen y tienen grandes implicaciones para el sector ganadero en Colombia, porque el 70% de los ganaderos productores de leche producen menos de 100 kg/día de leche. Así, rebaños menores producían leche a mayores costos teniendo gran desventaja para competir dado el tamaño de la escala en el cual operan. El sistema de producción más rentables en las tierras bajas tropicales (Llanos y regiones del Caribe) fue el doble propósito, mientras que en las regiones montañosas (zona cafetera, Antioquia y meseta Cundiboyacense) fue el sistema de lechería especializada. Como resultado, Colombia debe tener estrategias diferentes para la investigación y transferencia de tecnología para aprovechar más eficientemente las ventajas comparativas de cada región (Cuadro 30). Con respecto al cambio tecnológico, la adopción de pasturas mejoradas generó ganancias superiores (Cuadro 30) así como mayor productividad (Cuadro 31) en las cinco regiones. Además, la inversión en un mayor número de hatos en pastoreo dirigida a un uso más eficiente de las pasturas mejoradas para aumentar la calidad y cantidad de biomasa generó mayor productividad (Cuadro 31) en las cinco regiones y mejores ganancias, excepto en el Caribe (Cuadro 30).

**Cuadro 29.** Análisis multivariable conteniendo el costo de producción de leche, ingreso neto, retorno anual al capital invertido, y productividad de leche y carne por sistema de producción y región con base en el tamaño del hato.

Análisis multivariable por sistema de producción y región	Número de fincas por grupo	Tamaño del hato (no. vacas)	Costo de producción de leche (US\$/kg)	Ingreso neto (\$/vaca/año)	Retorno anual al capital invertido (%)	Productividad de leche (kg/ha/año)	Productividad de carne (kg/ha/año)
<b>Doble propósito</b>							
1	108	20	0.24	- 66	-0.7	894	140
2	21	35	0.21	58	1.3	2193	247
3	136	83	0.16	106	2.8	734	134
4	17	78	0.20	87	2.6	5472	173
5	13	337	0.13	164	6.0	636	140
6	5	730	0.13	82	6.1	226	78
<b>Lechería especializada</b>							
1	54	17	0.25	- 152	-2.9	9100	360
2	52	24	0.26	- 163	-3.7	2976	128
3	35	37	0.20	180	4.6	15760	262
4	24	62	0.18	227	6.0	7970	130
5	31	105	0.20	57	1.7	3090	79
6	13	159	0.16	413	6.2	14358	245
<b>Llanos</b>							
1	59	19	0.19	12	0.2	1099	178
2	30	23	0.30	-184	-1.9	742	75
3	9	45	0.08	463	8.5	662	392
4	29	56	0.16	61	1.0	728	109
5	5	56	0.28	-182	-1.7	1463	84
6	8	108	0.17	23	0.3	326	109
<b>Caribe</b>							
1	9	48	0.32	-130	-1.8	377	56
2	27	73	0.19	25	0.4	750	112
3	35	111	0.14	140	4.8	1028	151
4	17	175	0.11	253	8.8	758	152
5	10	528	0.15	84	2.9	410	116
6	1	926	0.10	280	9.0	108	80
<b>Zona Cafetera</b>							
1	13	8	0.30	-341	-3.6	9300	378
2	28	19	0.24	-55	-0.8	1460	186
3	18	28	0.24	-70	-0.8	10100	291
4	13	76	0.15	115	2.8	600	157
5	29	85	0.19	179	2.8	3800	99
6	1	265	0.15	210	3.1	6400	114
<b>Antioquia</b>							
1	14	13	0.29	-361	-9.6	8500	428
2	14	18	0.27	-195	-4.8	2370	105
3	36	26	0.25	48	2.7	20200	385
4	12	34	0.23	21	1.5	6090	153
5	10	113	0.20	90	1.7	2800	80
6	10	117	0.20	255	5.6	14600	197
<b>Meseta Cundiboyacense</b>							
1	10	10	0.25	-178	-4.7	4900	197
2	14	21	0.22	-86	-0.6	10600	263
3	18	38	0.19	25	0.5	2100	126
4	25	72	0.16	278	5.4	9400	183
5	7	170	0.15	567	7.9	15800	279
6	1	330	0.15	591	8.1	12,700	263



**Cuadro 30.** Variabilidad observada en rentabilidad, expresada como ingreso neto por vaca por año, como una función del cambio tecnológico en diferentes regiones de Colombia.

Cambio tecnológico	Categoría	Región				
		Llanos Orientales	Caribe	Cafetera	Antioquia	Meseta Cundiboyacense
Sistema de producción	Doble propósito	135 a*	111	11 b	53 b	145 b
	Lechería especializada	-140 b	ND	86 a	158 a	236 a
Cantidad de suplemento ofrecido (kg de materia seca/vaca por día)	Menos de 0.5	164 a	118 a	117 a	-457 c	238 b
	0.5 a 2.0	32 b	102 a	58 a	300 a	263 a
	Más de 2.0	-49 c	47 b	-46 b	39 b	163 c
Proporción de vacas en ordeño (%)	Menos de 60	118 a	72 c	-39 a	-27 b	212 a
	60 a 80	123 a	126 b	43 b	83 a	177 a
	Más de 80	178 a	234 a	67 b	86 a	242 a
Proporción de pasturas mejoradas establecidas en fincas (%)	Menos de 33	127 a	27 b	29 a	48 a	-358 a
	33 a 67	118 a	116 a	37 a	62 a	203 b
	Más de 67	167 a	121 a	49 a	135b	316 c
Frecuencia de ordeño (no. de veces/día)	Una vez	126 a	108 a	17 a	-68 b	173 a
	Dos veces	157 a	156 a	83 b	80 a	216 a
Fertiliza pasturas	No	148 a	140 a	39 a	130 a	266 a
	Sí	72 b	65 b	36 a	74 b	197 b
Irriga pasturas	No	131 a	121 a	42 a	119 a	189 a
	Sí	-107 b	79 b	7 b	-85 b	231 a
Manejo reproductivo	Servicio natural	127 a	128 a	53 a	68 a	177 a
	Ambos	131 a	51 b	1 b	131 a	213 a
	Inseminación artificial	123 a	195 a	16 b	62 a	226 a
Número de potreros en la finca	Menos de 10	126 a	102 a	-75 b	-4 c	158 b
	10 a 20	148 a	139 a	60 a	112 a	180 b
	Más de 20	194 b	83 a	58 a	102 b	255 a
Experiencia en la producción de leche (años)	Menos de 5 años	92 a	88 b	-42 b	66 a	144 a
	5 a 15	138 b	73 b	50 a	73 a	244 b
	Más de 15 años	162 b	136 a	78 a	91 a	236 b
Frecuencia de desparasitación (no./año)	Menos de 2	151 a	112 b	55 a	302 a	399 a
	2 a 3	111 a	179 a	30 a	59 b	173 b
	Más de 3	66 b	-14 c	-27 b	53 b	210 b
Frecuencia de tratamiento contra parásitos externos (no./año)	Menos de 6	249 a	139 a	40 b	140 a	201 a
	6 a 12	87 b	59 b	76 a	23 b	223 a
	Más de 12	135 b	98 b	-2 c	59 b	222 a
Tamaño del rebaño (no. vacas adultas/finca)	Menos de 30	101 b	48 b	-10 b	-11 b	88 c
	30 a 100	168 a	123 a	57 a	166 a	234 b
	Más de 100	227 c	109 a	87 a	217 a	422 a
Valor comercial de la tierra (US\$/ha)	Menos de 3000	145 b	114 a	37 a	114 a	143 b
	3000 a 6000	182 a	126 a	43 a	102 b	246 a
	Más de 6000	26 c	-51 b	25 a	3 c	232 a

\* Valores en cada cambio tecnológico en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren entre sí ( $P < 0.05$ ).

El uso de un suplemento estratégico a la dieta basal (forraje) tuvo efectos combinados. La mejor respuesta económica a la suplementación en las tierras bajas (Llanos y Caribe) es ofrecer cantidades pequeñas a las vacas en ordeño (es decir,  $<0.5$  kg MS/vaca por día) mientras que en las regiones de altura (zona cafetera, Antioquia y meseta Cundiboyacense) fue suplementar a las vacas en ordeño con cantidades moderadas de concentrado (entre 0.5 y 2 kg MS/vaca por día). El uso de la fertilizantes y riego aumenta la productividad pero no el ingreso, excepto en la región Cundiboyacense, lo que hizo pensar en la necesidad de invertir los recursos en la investigación para determinar la respuesta económica a varios niveles de N y métodos de irrigación basados en las especies de gramíneas utilizadas (Cuadros 30 y 31).

**Cuadro 31.** Variabilidad observada en productividad, expresada como producción de leche por vaca por día, como una función del cambio tecnológico en diferentes regiones de Colombia.

Cambio tecnológico	Categoría	Región				
		Llanos Orientales	Caribe	Cafetera	Antioquia	Meseta Cundiboyacense
Sistema de producción	Doble propósito	5.1 b*	4.2	8.4 b	12.7 a	11.0 b
	Lechería especializada	9.7 a	ND	9.6 a	14.2 a	14.0 a
Cantidad de suplemento ofrecido (kg de materia seca/vaca por día)	Menos de 0.5	4.8 c	3.9 b	5.1 c	10.0 b	9.0 c
	0.5 a 2.0	6.1 b	4.8 b	8.0 b	10.7 b	12.1 b
	Más de 2.0	8.2 a	7.0 a	12.5 a	14.5 a	17.2 a
Proporción de vacas en ordeño (%)	Menos de 60	4.9 b	4.3 a	6.9 b	16.0 a	13.1 ab
	60 a 80	5.7 a	4.1 a	9.1 a	14.1 b	12.0 b
	Más de 80	4.3 b	4.4 a	9.9 a	13.2 c	14.3 a
Proporción de pasturas mejoradas establecidas en las fincas (%)	Menos de 33	3.7 b	3.4 b	6.8 b	10.7 b	12.3 a
	33 a 67	5.2 a	4.2 ab	6.6 b	12.8 b	14.8 a
	Más de 67	5.7 a	4.4 a	9.4 a	15.1 a	19.1 b
Frecuencia de ordeño (no. de veces/día)	Una vez	5.1 b	4.1 b	4.8 b	8.9 b	10.5 b
	Dos veces	6.8 a	5.2 a	10.6 a	14.0 a	13.5 a
Fertiliza pasturas	No	5.0 b	4.1 a	5.0 b	8.6 b	10.8 b
	Si	5.9 a	4.4 a	9.9 a	14.2 a	13.9 a
Irriga pasturas	No	5.2 a	4.2 a	8.3 b	13.2 a	10.5 b
	Sí	5.9 a	4.2 a	11.6 a	16.3 a	15.6 a
Manejo reproductivo	Servicio natural	4.9 b	4.2 a	7.6 c	11.6 b	9.2 b
	Ambos	5.7 b	4.3 a	10.0 b	15.6 a	13.1 a
	Inseminación artificial	6.9 a	5.1 a	12.7 a	16.0 a	15.0 a
Número de potreros en la finca	Menos de 10	4.7 b	4.2 a	8.0 a	12.6 a	12.2 a
	10 a 20	5.3 b	4.2 a	8.3 a	14.4 a	13.6 a
	Más de 20	7.4 a	4.4 a	9.3 a	14.3 a	13.8 a
Experiencia en la producción de leche (años)	Menos de 5 años	4.9 a	3.7 a	10.3 a	16.0 a	13.9 a
	5 a 15	5.4 a	4.5 a	8.2 b	12.9 a	13.2 a
	Más de 15 años	5.1 a	4.2 a	8.2 b	13.9 a	13.1 a
Frecuencia de desparasitación (no./año)	Menos de 2	5.1 a	4.2 a	8.6 b	13.7 a	13.6 a
	2 a 3	5.7 a	4.2 a	8.0 b	15.1 a	11.2 b
	Más de 3	4.9 a	4.0 a	10.7 a	13.2 a	12.7 ab
Frecuencia de tratamiento contra parásitos externos (no./año)	Menos de 6	4.9 a	4.3 a	8.4 b	14.3 a	13.5 a
	6 a 12	5.2 a	4.0 a	8.3 b	14.0 a	13.1 a
	Más de 12	5.3 a	4.2 a	9.6 a	13.2 a	12.5 a
Tamaño del rebaño (no. vacas adultas/finca)	Menos de 30	5.2 a	3.6 a	8.9 a	12.4 b	11.9 b
	30 a 100	5.4 a	4.4 a	9.0 a	15.9 a	13.1 b
	Más de 100	3.5 a	4.1 a	7.5 b	14.3 a	16.1 a
Valor comercial de la tierra (US\$/ha)	Menos de 3000	5.0 a	4.2 a	6.9 c	12.7 b	8.9 b
	3000 a 6000	5.3 a	4.0 a	8.8 b	14.1 b	13.5a
	Más de 6000	5.5 a	5.8 a	12.4 a	16.2 a	15.1 a

\* Valores en cada cambio tecnológico en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren entre sí (P < 0.05).

El doble ordeño es una práctica de manejo que aumenta la productividad y la rentabilidad del hato. Sin embargo, en este último caso es necesario tener electricidad y equipos de enfriamiento para conservar la leche. Las fincas que hacen tratamientos de desparasitación internos y externos de ganado con baja frecuencia, obtienen mejores ingresos pero no son tan productivas cuando se comparan con las fincas que la practican con mayor frecuencia. Además, las fincas con más años de experiencia en la producción de leche tienen mayores ingresos pero no son más productivas (Cuadros 30 y 31). Esto indica que invertir en capacitación a productores con poca experiencia en la actividad pudiera tener un impacto grande en los ingresos del ganadero.

Comparando la evolución del sector lechero con los resultados 12 años atrás (Cuadro 32), se observa que la productividad de leche por hectárea aumentó en un 44% en los sistemas del doble propósito y en un 14% en los sistemas de lechería especializados. Este aumento redujo el costo de producción de leche en 16% en el primero y en 10% en el segundo sistema, debido a un aumento en la carga animal de 15% y 17%, respectivamente. Por otra parte la inversión en infraestructura y equipo, como adopción de pasturas mejoradas, mayor número potreros, picadoras de forrajes, equipo de irrigación y otros equipos ha permitido aumentos de 258% en los sistemas de doble propósito y de 37% en los especializados.

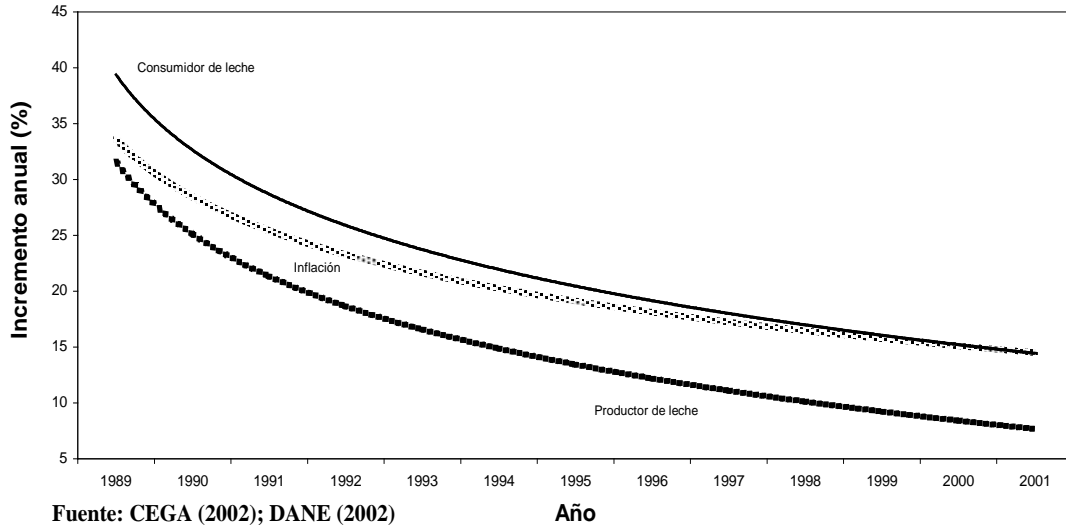
**Cuadro 32.** Evolución de los costos de inversión, producción, ganancia y precios en sistemas doble propósito y de lechería especializada en Colombia entre 1988 y 2000.

Parámetro	Sistema de producción de leche			
	Doble propósito		Lechería especializada	
	1988 <sup>a</sup>	2000	1988 <sup>a</sup>	2000
<b>Productividad</b>				
- Producción de leche (kg/ha/año)	453	654	4,132	4,708
- Producción de carne (kg/ha/año)	115	107	212	114
- Carga animal (UA/ha)	1.3	1.5	2.3	2.7
<b>Costo de producción</b>				
- Leche (US\$/kg)	0.19	0.16	0.21	0.19
- Carne (US\$/kg)	0.73	0.57	0.98	0.60
- Ambos (US\$/ha)	172	174	1,098	903
<b>Ganancia</b>				
- Ingreso bruto (US\$/ha por año)	239	223	1,906	1,153
- Ingreso neto	67	49	806	250
<b>Inversión (US\$/ha)</b>				
- Tierra	1828	2479	7120	5201
- Ganado	688	461	2,868	1042
- Facilidades y Equipo	117	419	1126	1544
- Total	2632	3,359	11,114	7786
Retorno anual a la inversión de capital (%)	4.2	2.7	6.8	2.8
<b>Precios del producto (US\$/kg)</b>				
- Leche	0.27	0.21	0.37	0.22
- Carne	1.02	0.82	1.71	1.24

<sup>a</sup> Adaptado de Aldana (1990). Las cifras de dinero a partir de 1988 se ajustaron a una constante de pesos colombianos de 2000 y expresados en dólares de USA a la tasa promedio de cambio del año 2000 de 2084 pesos colombianos por dólar. Las cifras de productividad se estimaron a partir del balance promedio de ambos sistemas, mejorado e intensivo, de doble propósito y lechería especializada.

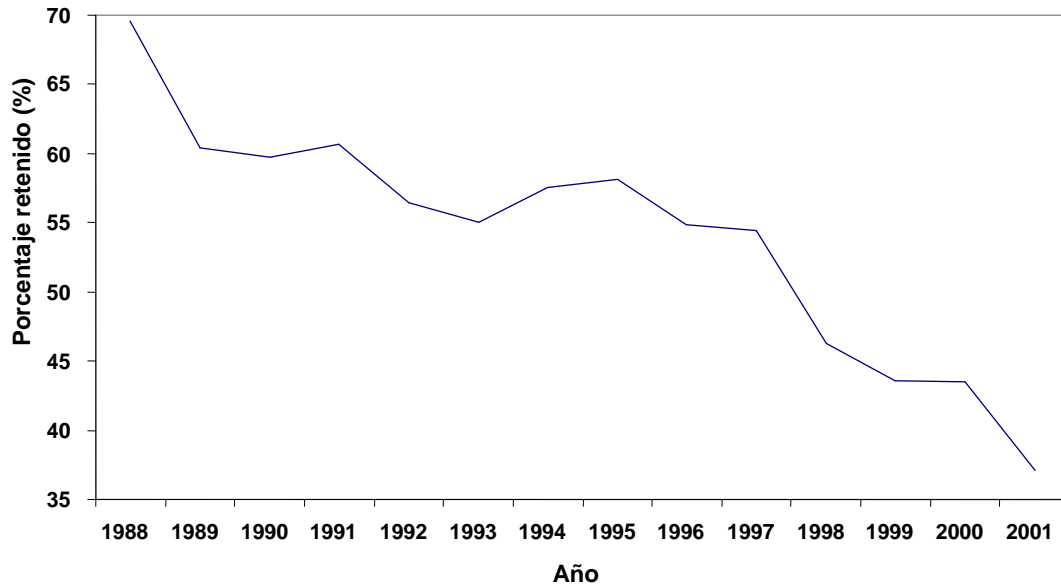
Sin embargo, el ingreso neto por hectárea durante este período disminuyó en un 27% en los sistemas doble propósito y en un 69% en las lecherías especializadas, debido a una reducción en el precio de la

leche al productor de 22% en el primero y de 41% en el segundo, debido a que los ajustes en el precio de la leche siempre estuvieron por debajo de la tasa de inflación (Figura 53). Por otro lado, la reducción en el precio de leche al productor nunca se tradujo en precios más bajos al consumidor porque los ajustes en este último eran inferiores que el ritmo de inflación (Figura 53). Por lo tanto, si los productores recibían un precio más bajo y los consumidores estaban pagando más, ¿quién se benefició?



**Figura 53.** Porcentaje del precio de la leche pagado en Colombia por el consumidor y que retiene el productor.

La Figura 54 muestra que el porcentaje del precio de la leche pagado por el consumidor y que retenían los productores. Como se muestra, este porcentaje bajó de 70% en 1989 a 37% en 2001. La porción más grande de esta diferencia se retuvo en las manos de un sector cuyo crecimiento había sido dramático en la última década: los supermercados.



**Fuente:** CEGA (2002); DANE (2002)

**Figura 54.** Tendencia en el ritmo de inflación e incrementos anuales y precio de leche al consumidor y al productor en Colombia.

Mediante entrevistas informales con gerentes de plantas procesadoras de leche y los supermercados en la ciudad de Cali, se determinó lo que los primeros piden a las plantas procesadoras de leche que: (1) las primeras dos entregas de producto lácteos sean gratis; (2) todos los gastos de anuncios y mercadeo deben ser pagados por las plantas productoras de leche cuyos productos estén en venta; (3) un descuento permanente del 5% en comparación al precio ofrecido a las tiendas pequeñas en barrios; (4) paguen por espacio un canon de arrendamiento dentro del supermercado igual a US\$400/m lineal; (e) paguen una cuota anual equivalente al 1.8% de ventas anuales estimadas en el supermercado.

La estrategia de las plantas lecheras ha sido traducir estos costos de mercadeo al productor. Igualmente, y como una reacción para bajar los márgenes de beneficios, las plantas lecheras empezaron en la década de los 90 a promover la instalación de tanques de enfriamiento de leche en las fincas para reducir los costos de transporte y recolección de la leche, favoreciendo a los productores grandes y medianos, en perjuicio de las fincas pequeñas.

Las agencias de desarrollo públicas y privadas en Colombia deben internalizar el hecho de que las políticas orientadas a los mercados estarán cada vez más orientadas hacia los supermercados. Si uno suma que en Colombia, tres o cuatro cadenas mandan hasta el 50% o más del sector de supermercados, la conclusión es que los programas y políticas de desarrollo necesitarán aprender a tratar con sólo un manajo de compañías gigantes. Este es un desafío grande que demanda una revisión urgente de las ideas y estrategias.

Se sugiere que la Asociación de Ganaderos de Colombia supervise estas relaciones de precio con el propósito de: (1) influenciar de una manera proactiva la cadena agroindustrial lechera para facilitar las negociaciones con las entidades públicas y privadas, (2) presentar a los artífices de la política la documentación apropiada del impacto de esta práctica de mercadeo en el sector ganadero en Colombia. Por otra parte, las nuevas reglas del juego podrían inducir un éxodo masivo de productores a corto plazo en un período relativamente corto de tiempo.

### **Liberación de forrajeras multipropósito para los Llanos Orientales de Colombia** C. Plazas, J. W. Miles, y C. Lascano (CIAT)

Como resultados de los trabajos conjuntos CIAT-Corpoica, co-financiados por el MADR, en 2002 fueron liberados por Corpoica los siguientes cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras para los Llanos de Colombia:

*Desmodium heterocarpon* subsp *ovalifolium* (CIAT 13651) cv. Maquenque

*Cratylia argentea* (CIAT 18516 y 18668) cv. Veranera

*Brachiaria brizantha* (CIAT 26110) cv. Toledo

Conjuntamente con las liberaciones se elaboraron y distribuyeron Boletines Técnicos (Foto 9) entre los investigadores, capacitadores y agricultores interesados. Cada Boletín incluye una descripción de las especies, los métodos de propagación y los usos alternativos, y el manejo. Los atributos principales de cada especie liberada para los diferentes sistemas de producción que prevalecen en los Llanos Orientales de Colombia se resumen a continuación:

***Desmodium ovalifolium* cv. Maquenque.** Leguminosa herbácea que se puede usar para la recuperación de pasturas degradadas o para cubrimiento en plantaciones (palma de aceite y caucho) en sabanas bien drenadas de baja fertilidad o en los suelos más fértiles del Piedemonte. Es una especie bien adaptada a suelos ácidos de baja fertilidad que produce semilla abundante y es muy persistente en pastoreo. El costo

de establecimiento de este cultivar es muy bajo debido a que las tasas de siembra varían entre 0.5 y 1 kg/ha para pasturas y cobertura, respectivamente.



**Foto 9.** Boletines Técnicos de cultivares forrajeros liberados por Corpoica y el CIAT para los Llanos Orientales de Colombia

***Cratylia argentea* cv. Veranera:** Leguminosa arbustiva que se puede usar en sistemas de corte y acarreo, para pastoreo directo o para hacer ensilaje en las sabanas bien drenadas con suelos de baja fertilidad o en el Piedemonte con suelos más fértiles. Los pequeños productores en lecherías del Piedemonte de los Llanos Orientales están adoptando rápidamente esta leguminosa por su alta tolerancia a la sequía que prevalece en esta región durante 3 meses.

***Brachiaria brizantha* cv. Toledo.** Gramínea de rápido establecimiento y crecimiento después del corte. Como resultado, las pasturas de cv. Toledo tienen una capacidad de carga muy alta, que es un atributo importante en el Piedemonte de los Llanos Orientales, donde los precios de la tierra son altos. Este cultivar es tolerante a la sequía pero requiere de una fertilidad media en el suelo. Por consiguiente, se recomienda para sistemas intensivos de lechería y engorde.

Para apoyar la liberación por Corpoica de las nuevas alternativas forrajeras, se proporcionó la semilla básica (20 a 30 kg) para la multiplicación por productores comerciales. Además, se está promoviendo la multiplicación de *D. ovalifolium* cv. Maquenque en plantaciones donde la leguminosa se está usando como cobertura y de *C. argentea* cv. Veranera por los productores que la usan para alimentar sus animales en la época seca.

Finalmente, en colaboración con el Grupo de Evaluación de Impacto del CIAT se completó un estudio para determinar los beneficios económicos ex-ante de las nuevas alternativas forrajeras liberadas y de otras alternativas aún en estudio. Los resultados del estudio se incluyeron en una publicación para distribución entre quienes toman las decisiones políticas en el Ministerio de Agricultura, investigadores de Colombia, capacitadores y agricultores.

Se distribuyó, también, una publicación adicional con los resultados pertinentes de estas nuevas alternativas evaluadas en fincas de los Llanos Orientales (Foto 10).



**Foto 10.** Boletines sobre atributos de las nuevas opciones forrajeras bajo evaluación en fincas de los Llanos Orientales (izquierda) y evaluación de su impacto ex-ante en fincas de la región (derecha)

**META 5.**  
**SISTEMAS DE INFORMACION**  
**GEOGRAFICA, SUELOS Y AGUAS**



## **SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA**

El presente informe corresponde a las actividades desarrolladas por el grupo de manejo de tierras en el marco del convenio 071. El grupo está conformado por las siguientes personas:

Nathalie Beaulieu  
Adriana Fajardo  
Yolanda Rubiano  
Marcela Quintero  
María Fernanda Jiménez  
Ovidio Muñoz  
Rogelio Pineda  
Jaime Jaramillo

En algunas de las investigaciones y productos aquí reportados, contamos con la participación y colaboración de las siguientes personas:

Gérard De Wispeleare CIRAD-EMVT  
Grégoire Leclerc CIRAD  
Mauricio Alvarez, CORPOICA  
Joao Pedro Cordeiro, INPE  
Juan Gabriel León CIAT  
Bruno Barbier (CIRAD)  
Libardo Rivas CIAT  
Edgar Amézquita CIAT  
Phanor Hoyos CIAT  
Jaime Bernal, CORPOICA  
Dimas Malagón IGAC  
Laila Chalela Alcaldía de Puerto López  
Nelson Delgado Alcaldía de Puerto López  
Nohemi Peñuela UMATA de Puerto López

## **Elaboración de planes de desarrollo agrícola comunitarios. Estudio de caso en cinco veredas del municipio de Puerto López - Meta**

### **Puntos claves**

- Análisis económico y espacialización de escenarios actuales y deseados
- Diseño y articulación de herramientas que permiten recrear y seleccionar los mejores escenarios teniendo en cuenta aspectos biofísicos y económicos
- Capacitación a las comunidades sobre formas de asociación, conceptos económicos básicos, manejo y planificación eficiente de cultivos
- Identificación de problemas relacionados con la producción y comercialización de sus productos y búsqueda de soluciones a corto, mediano y largo plazo
- Formulación de los planes de desarrollo agrícola comunitarios

### **Metodología y resultados**

Para hacer estudios piloto de generación y evaluación de escenarios productivos, el Convenio Colombia ha venido desarrollando un trabajo con comunidades en cinco veredas de Puerto López: Puerto Guadalupe, El Turpial, Humapo, la Victoria y Puerto Alicia.

Puerto Alicia se ubica sobre suelos de vega, sus agricultores tienen un cierto nivel de organización, hay diversidad en la producción y comercializan sus productos en Puerto López. El Turpial tiene sus tierras distribuidas entre las vegas del río Meta y la altillanura plana, son colonos que no tienen todavía títulos de propiedad de sus tierras y no tienen experiencia en asociación. Puerto Guadalupe ha logrado su desarrollo por su localización a orillas del río Meta y por ser la vía de acceso y comunicación con Remolino. Es un centro de intercambio y dotación de bienes para surtir las veredas cercanas. Recibe una población flotante de relativa importancia, dado su transporte fluvial por el río Meta, lo que ha favorecido su comercio, principalmente en la distribución de víveres y pescado. Los resguardos indígenas de Humapo y la Victoria poseen tierras comunales en las cuales desarrollan básicamente una agricultura de subsistencia.

Utilizando el Plan de Ordenamiento Territorial como aporte al conocimiento del ámbito biofísico del municipio, el SIG Map Maker y las herramientas CUFUCOL, ESCENARIOS, y GEOSOIL, que se articulan y generan varios planos de información, se pretende orientar al pequeño agricultor en la formulación de los planes de desarrollo agrícola comunitarios y a los tomadores de decisión en una metodología para realizar la gestión y el seguimiento de los proyectos productivos planteados.

Estas herramientas centralizan la información dispersa sobre cultivos y suelos, permitiendo cartografiar y evaluar económicamente escenarios productivos, lo que facilita al pequeño productor la planificación de su finca o comunidad de tal manera que obtenga una mayor eficiencia y sostenibilidad en el uso de sus recursos naturales, logre minimizar los costos de producción y genere empleo e ingresos.

El escenario corresponde a la planificación de diferentes usos del suelo como: cultivos, bosque, rastrojos, zonas de inundación, áreas de vivienda, cocheras, galpones, huertos, pastos nativos e introducidos, que el agricultor selecciona y agrupa de acuerdo con su interés. El establecimiento de estos cultivos se analiza para un periodo de 10 semestres.

Los usos pueden o no cambiar en los diferentes semestres. De ellos se conocen el área, los costos de implementación y mantenimiento, los rendimientos y el precio pagado al productor.

A partir de estos parámetros se genera para cada cultivo el análisis económico por semestre o el escenario total a lo largo de los 10 semestres. Igualmente se generan diferentes escenarios y se realizan comparaciones entre sí.

Los datos sobre costos de producción, rendimientos, precios pagados al productor y requerimientos de los cultivos provienen de la base de datos Cufrucol. Los datos sobre distribución espacial de los predios, usos actuales y características de los propietarios, vienen de mapas generados a través de levantamientos de campo con GPS y el uso de Map Maker. Sin embargo los datos pueden ser ingresados directamente a la herramienta escenarios sin necesidad de que provengan de una base de datos previamente establecida.

El análisis económico a nivel de uso, se basa en el cálculo de producción, ingreso bruto e ingreso neto. Para el caso de cada escenario se calcula la tasa interna de retorno (TIR) y con este parámetro se comparan entre sí los diferentes escenarios. Se efectúan análisis de sensibilidad al interior de cada escenario y se grafican cada uno de los parámetros económicos para el escenario o el conjunto de escenarios a través del tiempo.

Previo a la evaluación económica de las diferentes opciones, es preciso hacer una comparación entre la oferta ambiental de un sitio determinado y los requerimientos del cultivo. Esta selección de los cultivos adaptables a las condiciones de la zona es efectuada por GEOSOIL, herramienta que permite identificar que tipo de restricción a nivel de propiedades físico-químicas del suelo, o climáticas se tienen para la implementación de la opción seleccionada, brindando las correspondientes recomendaciones de manejo.

Como un proceso paralelo a la aplicación de las herramientas, se ha venido utilizando la metodología de planeación participativa VAP<sup>1</sup> para desarrollar una serie de talleres que tienen por objetivo la identificación de sus visiones de las condiciones deseadas de futuro y la correspondiente definición de las acciones a tomar y a pedir. Además de esto se ha dado capacitación en cuanto al liderazgo que deben asumir las comunidades para lograr las metas propuestas en los planes de desarrollo agrícola comunitarios.

Esta capacitación abarca la presentación de figuras jurídicas y formalización de agroempresas rurales, conceptos de microeconomía, conceptualización y evaluación de escenarios actuales y deseados, presentación de las herramientas y articulación de las mismas, reconocimiento de su entorno biofísico y sus problemas en la producción y

---

<sup>1</sup> Beaulieu, N., Jaramillo, J., Leclerc, G, 2002. Vision, actions and requests across administrative levels: A methodological proposal for strategic planning in territorial development. CIAT, Cali, Colombia, 28p. Internal Report.

comercialización de productos, pasos a seguir en la formulación de proyectos, estudio de mercados y estrategias de mercadeo.

En cuanto a los planes de desarrollo, actualmente se ejecutan dos proyectos pilotos a corto plazo, uno de secado de yuca en la comunidad del Turpial y otro de cultivo de maíz en las sabanas comunales de Puerto Guadalupe. Ambos proyectos tienen como objetivo común, la incorporación a la producción de nuevas tierras a través de sistemas adecuados de manejo, buscando el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo; el fortalecimiento de la asociatividad de los productores y su capacidad de gestión, y la facilitación de su vinculación a los mercados locales, regionales y nacionales.

### **Impacto esperado**

No obstante Puerto López haber sido elegido como sitio piloto para el desarrollo y prueba de las herramientas, estas deben ser extrapolables a otras regiones de Colombia, ajustando claro está, los datos a las condiciones biofísicas y socioeconómicas del lugar elegido. Las herramientas permiten formular escenarios y evaluarlos en el tiempo, planificando áreas destinadas a implementación de cultivos u otros usos en un lapso de 5 años. Este ejercicio permite que el agricultor planee y reflexione en cuales de las opciones que elige encuentra mayor sostenibilidad y rentabilidad en el tiempo. Con los talleres hemos contribuido a la capacitación en sistemas de asociación, capacidad de autogestión, sentido de pertenencia y cooperación entre pequeños productores y asociaciones que integran las comunidades

## **Buscando estrategias robustas a través de la evaluación económica *ex ante* de proyectos agrícolas bajo diferentes escenarios**

### **Puntos claves**

Hicimos una evaluación económica *ex ante* de diferentes estrategias de cultivos con agricultores de cinco veredas en el municipio de Puerto López. Este análisis fue hecho para escenarios contrastados de precios y de rendimiento, con el objetivo de encontrar estrategias robustas.

El criterio de “decepción” de Savage puede ser usado con otros indicadores para indicar la robustez económica de las estrategias de producción, y puede ser incorporado en un análisis multicriterio.

Una herramienta computarizada está en desarrollo, para facilitar este tipo de análisis para los usuarios que quieran hacer la evaluación de sus propios proyectos

### **Objetivos**

Proporcionar a los agricultores y agentes de asistencia técnica rural en Colombia una metodología y ejemplos de aplicaciones, que ayudará a escoger entre varias estrategias en condiciones inseguras de mercado y clima.

Desarrollar una metodología para identificar estrategias robustas, i.e. que producen buenos resultados bajo un rango de escenarios posibles, sin necesariamente ser la solución óptima para ninguno de los escenarios en particular (Vincke, 1998).

Contribuir a la planificación comunitaria de cinco comunidades del municipio de Puerto López, descrita en otra sección de este mismo informe.

### **Metodología**

Se recolectaron los datos necesarios para evaluar los costos de producción de varias opciones agrícolas en el municipio de Puerto López a través de entrevistas con agricultores, consulta de literatura publicada por CORPOICA, CCI y otras instituciones nacionales. Mucha de esta información fue incorporada a la base de datos CUFUCOL (Fajardo, 2001). Se calculó el valor presente neto y la tasa interna de retorno para varias estrategias propuestas por agricultores, en cada finca de las cinco veredas, El Turpial, Puerto Guadalupe, Puerto Alicia, Humapo y La Victoria.

Una estrategia es una combinación de opciones agrícolas, y una opción puede ser una combinación de varios cultivos en una rotación. En el caso del Turpial, se consideró también la posibilidad de implementar un sistema de irrigación para disminuir los riesgos de sequía inesperada a finales de la estación normalmente húmeda (León, 2002).

Para evaluar la viabilidad económica de diferentes estrategias bajo condiciones inseguras de precios y de clima, evaluamos y comparamos la rentabilidad económica de una serie de estrategias posibles bajo varios escenarios, resultado de la variación las condiciones externas. Si hay mercados para todos los productos, las condiciones externas que más influyen sobre la rentabilidad de los cultivos son los precios de venta para el productor y las

varias condiciones que pueden afectar el rendimiento, como el clima y la incidencia de plagas y enfermedades. Para formar escenarios contrastantes, se consideraron combinaciones de buenos precios, malos precios, buenos rendimientos y malos rendimientos. Sin embargo, en la consideración de la irrigación en El Turpial, se consideró la disponibilidad de agua para la irrigación como factor determinante en los escenarios. Para cada componente de los sistemas de producción, el rendimiento fue calculado a partir de un balance hídrico, y suponiendo una relación entre el rendimiento y la evapotranspiración relativa (León, 2002).

Se corrieron modelos de optimización considerando solo dos restricciones, el capital financiero disponible y el área total de tierra cultivable. En el caso de la consideración de la irrigación, los escenarios de poca disponibilidad de agua involucraron la inclusión de esta restricción también. Como primer grupo de estrategias a considerar, se incluyeron las que salieron óptimas en cada uno de los escenarios. Luego, se incluyó como restricción, para cada escenario, la imposibilidad de cultivar la opción más rentable. Como segundo grupo de estrategias, se consideraron las segunda mejores de cada escenario. Se volvían de nuevo a restringir la segunda opción más rentable en cada escenario para encontrar un tercer grupo. Luego se combinaron diferentes estrategias entre ellas para obtener unas que podrían presentar ciertas ventajas para los agricultores, como seguridad de alimentos.

Para cada estrategia bajo cada escenario, calculamos el valor presente neto, y luego calculamos el índice de decepción, que es la diferencia entre el valor obtenido y el de la estrategia optima para este escenario. Para cada estrategia, calculamos luego el valor máximo de este índice bajo todos los escenarios considerados. Según el criterio de Savage (Vallin et Van der Pooten, 2001), la estrategia más favorable es la que presenta el valor mínimo de la decepción máxima. Para encontrar estrategias robustas, se puede aplicar el criterio de Savage a todas las estrategias que garantizan una ganancia mínima en los escenarios más pesimistas.

## **Impacto**

Nuestro uso de estas metodologías de ayuda a la decisión con la UMATA y las comunidades es incipiente, pero esperamos que con las herramientas que les proporcionaremos (CUFRUCOL y ESCENARIOS), los agricultores y sus asociaciones podrán realizar sus propios análisis económicos, que podrían ser combinados con la evaluación de la sostenibilidad ambiental. Esto les ayudará a planificar hacia la rentabilidad económica y la sostenibilidad de sus explotaciones. La posibilidad de presentar tal análisis a las autoridades podría facilitar la obtención de créditos o la negociación de contratos de compra anticipada. Las técnicas de optimización pueden ayudar los agricultores a decidir cómo repartir recursos limitados, como tierra, capital y mano de obra, entre varias opciones.

## **Bibliografía y lecturas adicionales**

León, J.G. (2002). Méthodologie de recherche de stratégies robustes pour des projets d'irrigation communautaires; application pratique sur le village El Turpial en Colombie.

Mémoire de DEA en sciences de l'eau dans l'environnement continental, ENGREF, Montpellier, France. 93 p.

Philippe Vincke (1998). Robust solutions and methods in decision-aid. Institut de Statistique et de Recherche Opérationnelle, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique, IS-MG98 /01, 20 p.

VALLIN, P. et VANDERPOOTEN, D. (2000) Aide à la décision, une approche par les cas. Editions Ellipses, Paris.

## **Metodología de tratamiento de imágenes basadas en reglas lógicas, para facilitar el uso local de la teledetección para la planificación y el monitoreo.**

### **Puntos claves:**

Conceptualizamos una secuencia de etapas para facilitar la relación entre el análisis de las imágenes y la planificación local

Formalizamos una metodología de normalización radiométrica de las imágenes y el cálculo de índices a partir de ellas, para que instituciones nacionales puedan proporcionar productos útiles a los usuarios locales.

Desarrollamos una metodología para clasificar el uso de la tierra e identificar áreas de tierras potencialmente degradadas a partir de series temporales de imágenes multiespectrales

### **Objetivos**

Desarrollar una metodología que permita a las instituciones locales utilizar las imágenes de satélite para la planificación del uso de sus recursos naturales, lo que incluye el monitoreo y la evaluación

Desarrollar una metodología que permita a las instituciones nacionales proveer datos a las instituciones locales en un formato que ellos pueden utilizar.

### **Metodología**

El esquema para relacionar el tratamiento digital de las imágenes con la planificación está basado en la metodología de planificación visiones-acciones-pedidos (Beaulieu *et al.* , 2002 y Beaulieu *et al.* 2000). Las condiciones futuras deseadas son utilizadas para definir preguntas para el monitoreo y la evaluación, mientras las acciones y los pedidos son utilizados para definir las preguntas de focalización de las acciones. Las imágenes, combinadas con otras fuentes de datos, se usan luego para responder a estos dos tipos de preguntas, por ejemplo, respectivamente: “Que tan lejos estamos de las condiciones deseadas?. Porqué es así?. Que tan rápido nos estamos acercando o alejando?, “Cuáles son las opciones disponibles y las consecuencias de su uso?. ¿Dónde deberíamos implementar tal o tal opción?. Este esquema fue aplicado durante el plan de desarrollo municipal de Puerto López y en la reserva de Humapo y La Victoria en previsión de la elaboración del Plan de Vida del Cabildo.

La metodología que fue diseñada para ser usada por las instituciones nacionales fue aplicada a imágenes de Puerto López y de Carimagua. Para normalizar las imágenes radiométricamente las unas con las otras, se hace un primer cálculo aproximado de la reflectancia en función del número digital de las imágenes, tomando en cuenta los coeficientes de calibración de las imágenes, el ángulo zenital solar, la irradiancia solar, la distancia tierra-sol, y suponiendo que la transmitancia de la atmósfera es igual al coseno del ángulo zenital solar, como es sugerido por Chavez (1996). El resultado de esta primera aproximación se examina luego a través de los histogramas de las imágenes, y los valores obtenidos para muestras de agua clara, suelo desnudo y bosque. Si se nota que una corrección adicional es necesaria, se determinan los coeficientes aditivos y multiplicativos



para una banda, y se calculan los coeficientes de las otras bandas suponiendo un modelo de variación del efecto atmosférico en función de la longitud de onda (Chavez, 1988). Esta metodología es menos afectada por variaciones naturales en puntos “pseudo-invariantes” que los métodos estadísticos más comúnmente usados para las correcciones empíricas. En efecto, el objetivo no es hacer que las imágenes sean radiométricamente similares, sino lograr que las variaciones observadas correspondan a variaciones reales de las condiciones en campo y no a cambios en las características del sensor, la elevación solar o la atmósfera. De las cinco imágenes tratadas sobre Puerto López, solamente dos necesitaron una corrección adicional, y de las tres tratadas sobre Carimagua, solamente una.

Dos índices perpendiculares fueron calculados a partir de las bandas espectrales correspondiente al rojo y al próximo-infrarrojo (PIR) de cada imagen a partir de una transformación lineal sencilla. Los ejes del nuevo sistema de coordenadas son la “línea de suelo” y su perpendicular. La línea de suelos es una línea diagonal sobre la cual los valores de las muestras tienden a alinearse cuando se hace una gráfica de su reflectancia en Rojo vs PIR. La coordenada a lo largo de esta línea corresponde al índice de brillantez BRI. La coordenada a lo largo del eje perpendicular representa la distancia entre un punto y la línea de suelo, y aumenta con la actividad clorofiliana. Este último valor es equivalente al índice de vegetación perpendicular o PVI, propuesto por Richardson y Wiegand (1977). El uso combinado de estos dos índices PVI y BRI proporciona más posibilidades que el uso de un índice de vegetación solo, por que contiene la misma información que tienen las dos bandas originales. Los valores resultantes son unidades de reflectancia (%) Se hace esta transformación lineal para permitir, en el uso de reglas lógicas, cortar el espacio Rojo vs PIR con líneas diagonales en lugar de horizontales y verticales, lo que permite separar las formaciones vegetales más ágilmente.

Varias de las preguntas de planificación a las cuales se les buscan respuestas en imágenes satelitales requieren una cartografía del uso o la cobertura de la tierra, y de su variación en el tiempo. Sin embargo, es importante que los usuarios puedan elaborar sus propios mapas, ya que las preguntas pueden ser diferentes para cada usuario y dado que estos pueden incorporar conocimiento local que a menudo es desconocido por el técnico en procesamiento de imágenes.

Consideramos igualmente que los resultados de las clasificaciones basadas en reglas de decisión son más fáciles de interpretar que los provenientes de clasificaciones automatizadas. Para la identificación de áreas agrícolas, es a menudo necesario utilizar una serie de imágenes en el mismo año, para evitar confusiones entre cultivos muy verdes y bosques o plantaciones, o entre campos labrados y suelos permanentemente desnudos.

Se establecieron reglas de decisión para distinguir clases muy generales a partir de una sola imagen, y reglas para distinguir clases más precisas con una serie temporal de imágenes adquiridas en un periodo de un año. Para este último caso, las clasificaciones están basadas en valores máximos y mínimos de los índices PVI y BRI, para cada pixel, sobre el año. Los valores de los umbrales utilizados en las reglas lógicas son calculados a partir de las estadísticas calculadas con muestras de cada una de las clases consideradas. Las reglas de decisión, definidas a partir de la interpretación visual de las imágenes y de un conocimiento

del comportamiento espectral de los diferentes tipos de cobertura, están siendo enriquecidas mediante el uso de programas de partición recursiva.

## Resultados

Las preguntas que surgieron a partir del plan de ordenamiento territorial y el plan de desarrollo, y que pueden ser abordadas con las imágenes de teledetección, son las siguientes: Cuánta área está siendo utilizada para agricultura y qué tan rápido está aumentando esta área? ¿Dónde se están degradando los suelos y los pastizales? Hay disminución o regeneración de la cobertura boscosa en las reservas indígenas y otras reservas? ¿Dónde se podría hacer reforestación y quemas preventivas?

La serie de tres imágenes adquiridas sobre Puerto López entre 2000 y 2001 sirvió como “línea de base” para el Plan de ordenamiento territorial 2000-2009 y para el plan de desarrollo 2001-2004. Las imágenes de 1987 y 1988 tienen fechas de adquisición muy cercanas y no permiten distinguir el arroz del bosque inundado. Ya que no se puede hacer una comparación confiable de la cobertura agrícola entre 1988 y 2000, esta serie histórica fue de gran utilidad para observar las tendencias en los bosques de galería.

A partir de la serie de imágenes 2000-2001 se cartografiaron las siguientes clases, utilizando para ello reglas lógicas aplicadas a los valores mínimos y máximos de los índices PVI, BRI y reflectancia en el medio-infrarrojo:

- 1-Agua permanente
- 2-Agua ocasional o estacional
- 3-Vegetación densa y perenne (plantaciones o bosques)
- 4-Vegetación perenne medianamente densa (matorrales, plantaciones forestales jóvenes, frutales)
- 5-Áreas manejadas con quemas (generalmente sabanas)
- 6-Vegetación muy clorofiliana ocasional o estacional (cultivos o crecimiento vegetativo intenso durante la estación húmeda)
- 7-Suelos permanentemente desnudos
- 8-Suelos ocasionalmente o estacionalmente desnudos (pueden ser cultivos)
- 9-Vegetación poco densa con una brillantez permanentemente alta (entonces probablemente baja cobertura vegetal, residuos o materia orgánica, en el caso de suelos brillantes) con baja actividad clorofiliana
- 10- Vegetación poco densa con una brillantez permanentemente alta con actividad clorofiliana variable
- 11- Vegetación poco densa con una brillantez permanentemente baja (corresponden a menudo a *B. humidicola*, *B. dictyoneura* o sabanas que no han sido quemadas)
- 12- Vegetación poco densa con variaciones de la brillantez y la actividad clorofiliana
- 13-Cultivos irrigados o pantanos

Estamos en proceso de verificar la precisión de las clasificaciones obtenidas con base en datos de campo recolectados en 2001 y 2003. No obstante, aun se están ajustando los árboles de decisión en función de nuevos conocimientos adquiridos durante la verificación de campo y estudiando los resultados del uso de la partición recursiva sobre datos de

muestreo. Hemos obtenido precisiones muy altas cuando toleramos errores entre tipos de pastos (vegetación poco densa), permitiendo que las zonas agrícolas correspondan a las clases 3 o 4, y permitiendo a las humedales situarse en las clases 2, 3, 4 o 13. Los “errores” en la clasificación resultaron más que todo en una asignación equivocada de las clases de campo a las clases de la clasificación, dado que los datos de campo fueron adquiridos en una fecha mientras la clasificación toma en cuenta el comportamiento de la superficie en el tiempo.

La clase 6, cuando ocurre en sabanas, puede indicar áreas donde las quemadas preventivas podrían ser útiles en las reservas naturales, por que muestran la regeneración vegetativa en la estación húmeda o áreas de mayor humedad de los suelos. Sin embargo, la interpretación visual es necesaria para distinguir estas áreas de regeneración de las áreas agrícolas. Las clases 7, 8 y 9 pueden indicar pastos en procesos de degradación.

Los algoritmos de clasificación con reglas de decisión fueron desarrollados con el sistema de tratamiento de imágenes PCI y exportados luego al sistema SPRING desarrollado por el INPE en Brasil, de distribución gratuita, para que los conjuntos de datos y las herramientas de análisis puedan ser distribuidas a un rango amplio de usuarios. Varios cursos de entrenamiento fueron realizados en CIAT en Julio de 2002, con socios de CORPOICA y de la Universidad del Valle. Un curso básico de análisis de imágenes fue realizado en Villavicencio en noviembre de 2002.

### **Impacto previsto**

Las imágenes de teledetección pueden aportar mucho al manejo de los recursos naturales, apoyando esfuerzos de planificación, que incluyen el monitoreo y la evaluación. El uso de estas imágenes podría ser facilitado por redes que relacionarían profesionales, técnicos y diferentes tipos de usuarios a diferentes niveles administrativos, quienes pueden también compartir el costo y las responsabilidades de la adquisición de los datos. Varias de estas redes existen o están en proceso de creación. Esperamos que la metodología aquí expuesta facilitará el intercambio de información entre profesionales de diferentes instituciones.

### **Lecturas adicionales y referencias**

Beaulieu, N., Jaramillo, J., Leclerc, G. (2002). The vision-action-requests approach across administrative levels: a methodological proposal for the strategic planning of rural development. Internal report, CIAT/MTD, Cali/Montpellier, 30 p.

Beaulieu, N., De Wispeleare, G., and Leclerc, G. (2002). Rule-based image processing techniques to monitor environmental dynamics in support to local planning. Methodological Manual, available as an internal report, CIAT/MTD, Montpellier, France. 45 p.

Beaulieu, N., Leclerc, G., Alvarez, M., De Wispeleare, G., Jaramillo, J., Rubiano, Y., Fajardo, A., Muñoz, O., Peñuela, N., 2001. A Proposed Framework for Using Remote sensing Imagery to monitor environmental dynamics in support to local planning efforts.

Article presented at the Integrated Natural Resources Management workshop, Cali, Colombia, August 28-31, 2001, 15 p.

Beaulieu, N, Jaramillo, J., Fajardo, A., Peñuela, N. (2001). The use of Remote Sensing Imagery in support to Participatory Natural Resources Management: A case study in the indigenous reserve of Humapo and La Victoria. CIAT internal report, 19 p.

Chavez, P. S., Jr., 1988. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data, *Remote sensing of Environment*, 24:459-479, pp. 459-479.

Chavez, P.S. (1996). Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing* 62 (9): 1025-1036.

## “PLAN DE DESARROLLO 2001-2004, “Por la Reconciliación y Unidad de Puerto López” , disponible en CD-ROM

### Puntos claves:

- Con el apoyo del CIAT, el municipio de Puerto López desarrolló un plan concertado que será la carta de navegación del municipio durante los próximos tres años.
- El “PLAN DE DESARROLLO 2001-2004, “Por la Reconciliación y Unidad de Puerto López” será el instrumento que materializara el “Plan Básico de Ordenamiento Territorial” de Puerto López



### Objetivos

Para cumplir con la ley 152/94, las nuevas administraciones municipales deben elaborar el Plan de desarrollo municipal (PDM) en un periodo de cuatro meses de iniciada la administración. Normalmente la elaboración de estos planes ha sido contratada con consultores externos y no ha tenido un buen componente de participación ciudadana. Nosotros hemos promovido la transformación de estos ejercicios burocráticos en ejercicios de planificación estratégica participativos. Sin embargo esto solo es posible si la administración municipal se apropia de estos, para lo cual hemos desarrollado una metodología de planificación que puede ser utilizada por la propias administraciones municipales. Como estudio de caso en Puerto López, nos hemos ofrecido a facilitar el proceso, permitiéndole al municipio el desarrollo de su plan minimizando la dependencia de actores externos y maximizando la participación popular.

### Metodología

El Plan básico de ordenamiento territorial (POT) del municipio, aprobado en el 2000 contiene una serie de programas, proyectos y normas que deben desarrollarse durante el periodo de la presente administración. Para analizar estos, se realizaron una serie de reuniones con los funcionarios de la alcaldía quienes adicionaron algunos programas y proyectos que consideraron pertinentes. Un listado preliminar de programas fue seleccionado de cada uno de los temas del plan. A partir de estos se realizaron una serie de reuniones con las comunidades organizadas, uno en el área urbana, una para las comunidades de la parte occidental del municipio y otro para la parte oriental. La mayoría de los líderes comunitarios participaron en estas reuniones junto con un importante número de ciudadanos. La metodología de Visión - Acción – Pedidos (VAP) fue utilizada para facilitar las reuniones que se llevaron a cabo con la colaboración de la secretaria de

planeación de la alcaldía, la casa de la cultura y la UMATA. En cada reunión los participantes fueron divididos en cuatro subgrupos, cada uno de los cuales maneja dos o tres de los temas puestos a consideración (medio ambiente, agricultura, salud, educación, empleo, recreación, transportes, servicios públicos, cultura, patrimonio histórico y amenazas naturales). Para cada uno de los temas se les pidió que escribieran y discutieran las condiciones deseadas en un periodo de 10 años. Luego se les pidió que discutieran y definieran las acciones que ellos pueden tomar para alcanzar estas condiciones y las cosas que deberían pedir a otros tomadores de decisión, tanto para el área urbana como para el área rural, a la alcaldía o a niveles administrativos superiores. Para la última sección que se refiere a los pedidos, los participantes discutieron el contenido de la lista de programas y proyectos que presentó la alcaldía, complementándola con otros programas o proyectos que no habían sido incluidos. Cada subgrupo presentó sus resultados a la plenaria en donde se discutieron y adicionaron algunas consideraciones.

Una nueva reunión fue realizada con el consejo territorial de planeación para armonizar las propuestas surgidas en las reuniones previas con la población y los funcionarios de la alcaldía. Con el consejo se definieron entonces objetivos específicos y algunos indicadores para cada una de las acciones incluidas en el plan. Una vez este estuvo concluido fue presentado al consejo municipal en donde fue aprobado según acuerdo 15 de marzo 12 de 2002. Posteriormente fue enviado a la gobernación para el visto bueno respectivo.

## **Resultados**

El plan de desarrollo incluye un amplio diagnóstico ampliamente inspirado en la discusión de las condiciones deseadas y no en las condiciones actuales, obviamente basados en datos y estadísticas. Las diferentes visiones de futuro expuestas fueron muy compatibles y muy similares en todos los grupos de discusión. El plan incluye también una serie de propuestas de programas y proyectos con su correspondiente financiación.

El principal resultado de este esfuerzo ha sido la articulación de un instrumento de planificación de largo plazo (POT, 9 años) con un plan de acción de corto plazo (PDM, 3 años). La población, las asociaciones de productores, la alcaldía y la comunidad en general tienen argumentos técnicos para llevar el municipio hacia el futuro, considerando la sostenibilidad de los recursos naturales, el alivio de la pobreza, el incremento de la productividad en las zonas rurales y la solución de los principales problemas que son la salud y la educación.

Los indicadores definidos en el plan le permitirán al consejo territorial monitorear el progreso de las acciones planeadas y su efecto sobre el desarrollo del municipio.

## **Impacto previsto**

Este plan será una nueva herramienta que utilizando vínculos interactivos con el POT, podrá proporcionar a la comunidad una manera educativa de conocer y seguir el desarrollo del municipio.

Igual como sucedió con el plan de ordenamiento territorial de Puerto López (POT), los tomadores de decisión están considerando este como un ejemplo de como un plan puede desarrollarse y convertirse además en una herramienta educativa y de difusión.

El impacto más significativo de este ejemplo es cambiar la percepción de la gente de que si puede participar en la elaboración de los planes, cambiando ejercicios burocráticos por oportunidades reales de planeación participativa, y acercando a la población rural a los tomadores de decisión de diferentes niveles de toma de decisiones

## **“ Arboles”: herramienta para el apoyo en la toma de decisiones sobre el uso de la tierra en los llanos orientales (Puerto López, Meta).**

### **Objetivos:**

Desarrollar una metodología y una herramienta aplicando tanto el conocimiento y la experiencia del especialista como la información cartográfica disponible para hacer recomendaciones a los tomadores de decisiones sobre el uso adecuado de la tierra.

Proveer un ejemplo de esta metodología desarrollando esta herramienta en el municipio de Puerto López (Meta), la cual puede ser replicada en otros municipios o incluso a nivel departamental

Brindar a los tomadores de decisiones del Municipio de Puerto López (Meta), lugar donde los planes de gobierno han centrado mucho de sus proyectos de desarrollo agrícola, una herramienta que prevenga el uso insostenible del suelo.

### **Actividades:**

Contextualizar la herramienta en cuanto a las limitaciones biofísicas de los suelos de los Llanos Orientales, las características de la tierra que permiten evaluar las cualidades de la tierra y los usos de la tierra más apropiados dentro del marco de mejoramiento gradual de estos suelos basándose en el árbol de decisión desarrollado por el proyecto de suelos.

Estructurar un árbol de decisión en ACCESS mediante la programación de las reglas de decisión en Visual Basic, quienes permiten que la herramienta haga un diagnóstico y las respectivas recomendaciones de uso de la tierra según las características de la unidad cartográfica de suelo que sea seleccionada.

Articular el árbol de decisión de ACCESS con un SIG (Spring<sup>2</sup>) que permita localizar las áreas y espacializar los usos propuestos en el municipio de Puerto López teniendo como base los mapas de suelo disponibles (IGAC, 1978, 2000).

### **Resultados Preliminares:**

Para la estructuración de esta herramienta ha sido necesario realizar una etapa preliminar de contextualización. En este ejercicio se han detectado tres aspectos importantes a tener en cuenta en el producto esperado:

Limitación de la herramienta: Muchas herramientas para el apoyo de decisiones están limitadas a algunas tareas y a la información restringida a una decisión particular. Esto

---

<sup>2</sup> [SPRING - INPE](#)



funciona si las reglas de decisión están bien establecidas, la incertidumbre de datos es baja y los usuarios están bien informados.

**Adopción de la herramienta:** Si el sistema espacial de apoyo para la toma de decisiones es diseñado como una extensión de GIS y su propósito es adoptarlo y usarlo por una audiencia más amplia y menos técnica entonces el diseño de la herramienta debe ser sencilla y tiene que ser consistente con las necesidades y capacidades del usuario.

**Recursos y capital humano disponibles:** La pertinencia de utilizar GIS para la planeación regional de lugares en desarrollo se basa en la disponibilidad de: información, expertos y equipos apropiados para desarrollar los objetivos propuestos junto con una adecuada organización.

Estos tres aspectos quedan contrarrestados en este proyecto debido a la disponibilidad de información confiable que es el resultado de la experiencia y conocimiento de los especialistas en el área de interés sumado al uso de un SIG robusto de distribución gratuita (Spring) que pone al alcance de los tomadores de decisiones de diferentes niveles (local, regional y/o nacional) la herramienta propuesta.

Para estructurar esta herramienta se identificaron los siguientes parámetros (tabla 1):

**Unidad de la Tierra:** Para esta herramienta la unidad de la tierra serán las unidades de suelo del área descritas a una escala de 1:100.000 y se manejarán como polígonos dentro de SIG.

**Tipo de uso Tierra:** Teniendo en cuenta las limitaciones edafológicas de los suelos de los Llanos Orientales son muy pocos los tipos de uso de la tierra apropiados, sin embargo, por medio de una transformación de las propiedades del suelo susceptibles de cambio y con especificaciones técnicas particulares como lo son los procedimientos para la formación de una “capa arable”, se puede ampliar el espectro de usos potenciales de la tierra. Así, mediante el cambio de la profundidad para crecimiento radicular y las condiciones de manejo según el grupo textural y la pendiente se puede empezar con pastos y rotación de cultivos anuales y gradualmente incluir sistemas agroforestales y cultivos perennes e intercalados en la medida que se forme la “capa arable” y se mejoren las condiciones de fertilidad de los llanos orientales.

**Requerimiento de uso de la tierra:** Considerando las limitaciones descritas para los llanos orientales para el establecimiento exitoso de los sistemas de producción se escogió el grupo de textura, el espacio radical disponible para el crecimiento de las raíces y las condiciones de terreno favorables para la mecanización como los requerimientos fundamentales en el establecimiento de los cultivos, pastos y sistemas agroforestales siempre y cuando se cumplan con algunas condiciones de manejo.

**Cualidad de la Tierra:** En este caso es el “enraizamiento” y la “mecanización”.

**Características de la Tierra:** Se emplea para direccionar una ruta dada dentro de la estructura del árbol de decisión. Estas provienen de la información que se levanta en

campo o proviene de los estudios de suelos, y responden a los requerimientos y las cualidades de la tierra así:

**Tabla 1. Características de la tierra utilizadas en el árbol de decisión.**

<i>Requerimiento</i>	<i>Cualidad</i>	<i>Característica</i>
Grupo Textural	Enraizamiento	Clase Textural
Espacio para crecimiento radicular		Profundidad de enraizamiento
Condiciones de terreno para la mecanización	Mecanización	Pendiente (%)

De esta manera, el árbol de decisión es utilizado para decidir sobre el tipo de uso de la tierra según las características de un lugar en cuanto a textura, pendiente y profundidad de enraizamiento (modificable). La primera decisión que se toma a lo largo de esta herramienta es con respecto al tipo de textura debido a que de manera contraria a las otras propiedades, no puede ser modificada o adaptada por medio de condiciones de manejo específicas. Según el tipo de textura elegido, el cual corresponde a un grupo textural particular (suelos pesados, medios o livianos) se tendrá que tomar otra decisión según el % de la pendiente y de manera consecutiva en cuanto a tres rangos de profundidad efectiva.

Finalmente las diferentes combinaciones dan lugar a propuestas de arreglos productivos que se complejizan gradualmente en la medida que se mejora gradualmente el suelo a través de ciertas condiciones de manejo necesarias para construir una capa arable.

La herramienta "Arboles" funciona con información sobre textura, pendiente y profundidad efectiva proveniente del mapa de suelo o con los datos levantados directamente en campo. En el caso que se utilice la información cartográfica almacenada en el SIG Spring, las alternativas de uso de la tierra son recomendadas para la unidad de suelo que constituye un polígono en el SIG. Debido a que cada unidad de suelo corresponde por lo general a asociaciones de diferentes suelos que ocupan un porcentaje determinado dentro de la unidad, las alternativas propuestas son derivadas del análisis para cada uno de estos suelos y finalmente se espacializan las unidades de suelo relacionadas con los usos y el porcentaje en que estos pueden ser implementados.

Estos usos potenciales de la tierra se relacionan con los lugares más apropiados (unidades de la tierra) para su establecimiento los cuales son identificados espacialmente por medio del SIG Spring. La determinación de estos usos potenciales de la tierra se hace basándose en la experiencia y el conocimiento del especialista. De esta manera, se descarta desde el inicio la evaluación para los lugares que por condiciones biofísicas (suelo, geomorfología, cobertura vegetal) no son relevantes para el establecimiento de sistemas de producción sino para fines de conservación.

Luego de la contextualización de la herramienta se ha avanzado en el proceso de crear la herramienta en Access utilizando operaciones condicionales (figura 1). Esta herramienta

esta estructurada de manera que su base de datos pueda interactuar con el SIG Spring (Figura 2).

a). Ventana de Entrada Herramienta



b). Ventana de Entrada y Consulta de datos



c). Descripción Sistemas de Producción de cada suelo en una unidad.



d). Interpretación de usos según los porcentajes

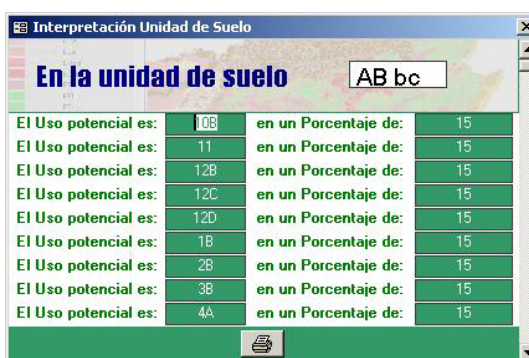


Figura 1. Ventanas de la Herramienta "ARBOLES" (Microsoft Acces).

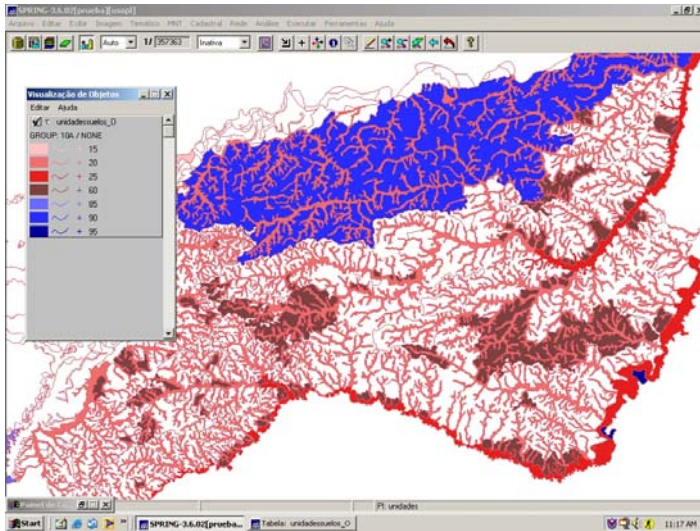


Figura 2. Ejemplo Visualización de alternativas de uso de la Tierra en Puerto López. Uso 10A (Forestal) y cada color corresponde al porcentaje en que puede ser implementado en esa unidad de suelo.

### **Impacto esperado:**

La versión final de esta herramienta será sometida a control de campo y se realizarán los ajustes necesarios. Luego, será divulgada con el fin de que sea adoptada por los tomadores de decisiones frente al uso de la tierra en los llanos Orientales.

"Arboles" esta diseñada con el fin de:

Proveer de alternativas sobre cuáles son los usos de la tierra más apropiados en el marco del mejoramiento gradual de los suelos y de una sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de producción en los ecosistemas de sabana tropical de Colombia.

Su estructuración y aplicación será útil para identificar las necesidades de investigación y focalizar los futuros proyectos en el área.

Adicionalmente, aportará una metodología útil para la estructuración de esta herramienta en otros lugares teniendo en cuenta los objetivos de los tomadores de decisiones, las limitaciones biofísicas y la disponibilidad de conocimiento y experiencia especialista.

### **Lecturas adicionales:**

Hoyos, P., Amézquita, E., Thomas, R., Beaulieu, N. & Rubiano, Y. 2001. Propuesta de un árbol de decisiones para el uso potencial y productivo de los suelos de la altillanura plana bien drenada. CD-ROM. Publicación Interna. CIAT.

Crossland, M.D., Wynne, B.E. & Perkins, W.C. 1995. Spatial decision support systems: An overview of technology and a test of efficacy. *Decision Support Systems*. 14 : 219-235.

Klosterman, R. 1995. The appropriateness of geographic information systems for regional planning in the developing world. *Comput. Environ and Urban Systems*. 19 (1) : 1-13.

FAO. 1985. Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO Montes 48. Roma.

## **Geosoil: banco georreferenciado de datos de suelos. Herramienta de soporte para la toma de decisiones.**

### **Puntos claves:**

Generación de Mapas Escala 1:100.000 mediante la transformación de los datos de los mapas de Suelos IGAC 2000 e IGAC 1978.

Generación de mapas derivados de geomorfología, erosión, riesgo inundaciones y fertilidad producto de la interpretación del nuevo mapa de suelos

Georreferenciación y espacialización de los cateos provenientes del levantamiento General de Suelos IGAC 2000.

Generación de mapas de Isolíneas para algunas propiedades físicas del suelo Escala 1:25000 en el paisaje de altillanura.

Análisis e interpretación de datos y elaboración de informe “Proyecto de Tesis” Aprobado con el número 038 Universidad Nacional de Colombia.

Rediseño de la base de datos GEOSOIL

Variabilidad espacial de las características físicas del suelo mediante análisis

Geoestadístico en Spring. Presentación realizada en el Encuentro Nacional de Usuarios de Herramientas SIG.

Articulación de la herramienta con COFRUCOL y ESCENARIOS

Validación de la herramienta GEOSOIL con el equipo técnico de suelos de CORPOICA de Villavicencio y Bogotá e introducción de nuevos parámetros e interpretaciones tomando en cuenta las sugerencias de los evaluadores de la Herramienta.

### **Objetivo**

Desarrollo de un banco georreferenciado de datos de suelos como una herramienta SIG “GEOSOIL” que apoye la toma de decisiones de los asistentes técnicos agrícolas con respecto al manejo racional del suelo por parte de los agricultores.

### **Resultados**

Cuando se trata de planificar la ocupación del territorio el recurso suelo es uno de los factores de mayor relevancia, en la medida que no solo sirve como soporte a las actividades agrícolas y pecuarias desarrolladas por el hombre, sino que además, su sostenibilidad en el tiempo, depende del manejo adecuado que de él haga quien lo ocupa. A pesar de existir información abundante de suelos, en los llanos orientales, esta permanece dispersa y en ningún caso almacenada en forma sistemática de manera que responda rápida y eficientemente a las necesidades del planificador. Son innumerables los estudios de suelos, realizados a escalas menores a 100.000 las cuales apoyan al planificador regional y le permiten tener una idea general de los factores generales que limitan la utilización del suelo. ***“Los datos de suelos de escalas generales, permiten conocer la capacidad general que tiene el suelo para producir cultivos, sustentar ganadería o bosques”***. Es otro el caso de los agricultores, que deben decidir sobre cuál cultivo? y cuáles prácticas? deben implementar en su finca para alcanzar buenos rendimientos, sostener su productividad y no degradar un recurso que es finito. En estos casos es necesario recurrir a información más

detallada, escalas 1:25.000 o mayores, esto es 1:10.000, 1:5.000, y en el caso de fincas pequeñas al nivel de parcela o de punto de muestreo.

Para apoyar a los tomadores de decisiones locales y regionales de la Orinoquia Colombiana, el Convenio Colombia ha desarrollado un conjunto de herramientas SIG. De éstas, GEOSOIL se diseñó como un banco Georreferenciado de datos de suelos que permite consultar o almacenar información tanto del suelo como de su entorno a diferentes escalas (punto, parcela, finca, comunidad, municipio, departamento, país, región) Figura 1.

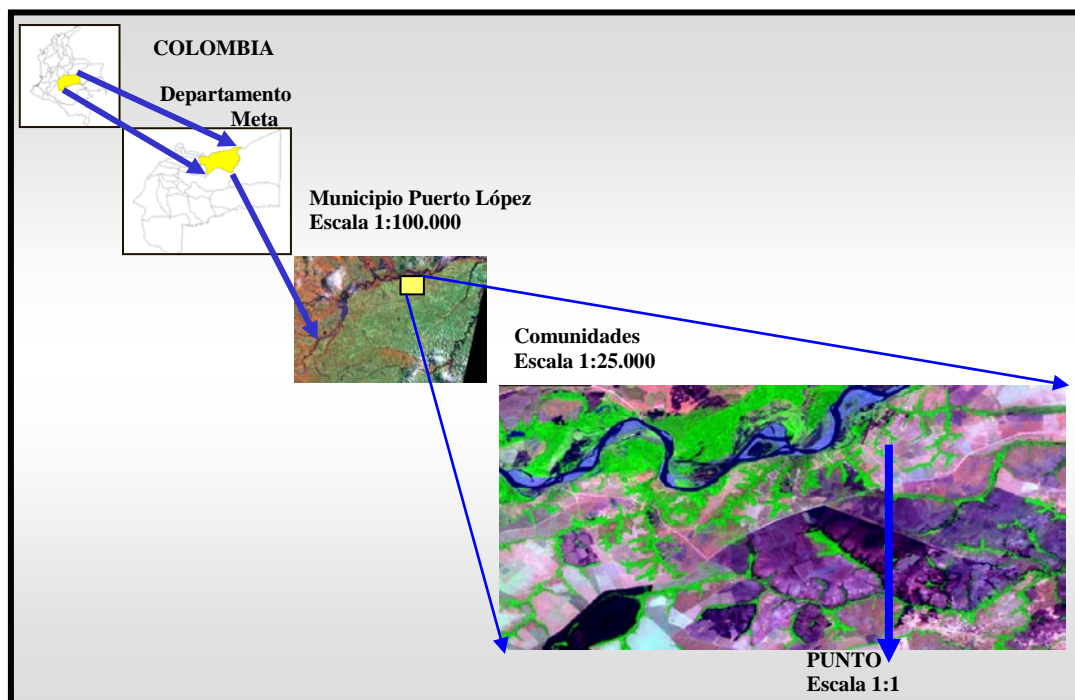


Figura 1. Localización y escalas jerárquicas de trabajo

Permite acceder y consultar datos descriptivos del entorno natural tales como el clima, la geología, la geomorfología y el uso de la tierra factores de formación comunes a los suelos y a los paisajes. Del suelo, específicamente, de las características externas determinantes en su utilización, tales como: erosión, profundidad efectiva, pendiente, pedregosidad, inundaciones y de las características internas (propiedades físicas, químicas y mineralógicas).

Se diseñó un módulo de interpretación de las características que podrían ser usadas como indicadores de la calidad agrícola de los suelos y un módulo en el que es posible hacer una comparación entre la oferta edáfica del suelo y los requerimientos específicos de un cultivo que se desee implementar.

El uso de esta nueva herramienta le permitirá a los extensionistas, asistentes técnicos y productores, utilizar la información de suelos disponible a diferentes escalas, almacenar nueva información, realizar análisis comparativos sobre la evolución de las características de una o varias propiedades del suelo en el tiempo.

Con estos datos y la información actualizada será posible emprender procesos de monitoreo y asociarlos al manejo, de manera que apoyen a los tomadores de decisiones en cuál debe ser el uso y cuáles las prácticas que más le convienen para mantener o elevar la productividad y la calidad del suelo, evitando o disminuyendo los procesos de degradación actuales. Como resultado se obtendrá una herramienta con un módulo en el cual se pueden introducir o consultar datos de un punto, una finca o de un mapa preexistente de suelos, un modulo en el cual aparecen los datos interpretados de acuerdo con los niveles de restricción del suelo y una interpretación de estos niveles, relacionada con calidad del suelo para uso agrícola y/o el nivel de degradación. También un modulo que permite comparar la disponibilidad de nutrientes del suelo y las necesidades de un cultivo específico (provenientes de COFRUCOL). La interpretación en éste módulo incluye algunas



sugerencias sobre el manejo de la fertilización y las características físicas y mecánicas del suelo tendientes a disminuir los problemas de degradación actuales en la altillanura Colombiana.

## Impacto esperado

Los resultados de este estudio muestran la importancia de integrar herramientas SIG con datos de campo para la generación e interpretación de mapas suelos. La información de Suelos que quedará consignada en el Banco de Datos del Municipio de Puerto López, en este caso, servirá como base para iniciar un proceso de monitoreo de los cambios introducidos a través del uso y las prácticas de manejo del suelo. Permitirá al técnico y al asistente agrícola ayudar a los agricultores a planificar los cambios a introducir en el uso o



en las prácticas de manejo tendientes a disminuir o por lo menos evitar que los procesos degradativos se intensifiquen.

### **Estrategias regionales para estimular el desarrollo rural local**

El sector agropecuario latinoamericano se ha visto abocado, en la última década, a enfrentar el proceso de internacionalización de la economía, en condiciones macroeconómicas poco adecuadas tales como un proceso revaluacionista y altas tasas de interés, con precios internacionales bajos en muchos de los productos transables, sin lograr aliviar los problemas de pobreza rural, ni haber creado los escenarios que permitan conciliar el logro de un rápido crecimiento económico con el desarrollo sostenido del medio rural.

Por estas razones, es necesario aumentar la eficiencia en el uso de los recursos públicos en el sector agropecuario, en la recuperación de una dinámica de inversión del sector privado en el ámbito rural, y en el logro de impactos regionales reales sobre las condiciones de productividad, empleo, ingresos y mejoramiento de la calidad de vida de la población rural.

Lo anterior no es más que la necesidad de definir una política clara, coherente, sostenible y de largo plazo orientada a integrar el sector rural mediante condiciones que generen un desarrollo competitivo, equitativo y sostenible del campo en su diversidad y complejidad, basada en los principios de regulación y promoción de un entorno adecuado que garantice reglas de juego claras, que profundice adecuadamente el proceso de descentralización e impulse el desarrollo agropecuario y rural dentro de un contexto de ordenamiento territorial.

Es necesario que Colombia, y en general los países Latino Americanos empiecen a utilizar instrumentos de política basados en la focalización regional, considerando nuevas formas de organización empresarial y el desarrollo de conglomerados espaciales, ya que la competitividad se genera en lo local y en el ámbito de las empresas.

A raíz de lo anterior y en la búsqueda de estrategias regionales para estimular el desarrollo rural local, se ha realizado una detallada revisión bibliográfica en cuatro temas estratégicos así:

Globalización,  
Descentralización,  
Desarrollo rural, local y regional  
Ordenamiento territorial

Como resultado de esta revisión se generó un documento (Anexo 1 meta 5), en el cual se encuentran las más relevantes referencias encontradas distribuidas en cuatro grupos:

a) Referencias cinco estrellas, corresponden a aquellos artículos, que por su contenido científico, técnico, académico, o por su relevancia, las hace de obligada consulta o lectura. En esta categoría se ubican 18 referencias.

b) Referencias tres estrellas, corresponden a aquellos artículos, que hacen aportes importantes a la discusión, pero temáticamente pueden estar contenidos en el primer grupo. En esta categoría se ubican 35 referencias.

c) Referencias normales, son artículos que plantean tópicos interesantes de discusión pero pueden ser coincidentes con los anteriores. En esta categoría se ubican 54 referencias.

d) En la última categoría se encuentran todas las referencias relacionadas con leyes, decretos o normas de países latino americanos o europeos. En esta categoría se ubican 21 referencias.

Todo el material de consulta está organizado de la siguiente manera: primero la ficha bibliográfica con su correspondiente vínculo a la página web donde puede consultarse el texto completo, y segundo un resumen general del artículo de la referencia. Ejemplo:

ESTABA, Rosa M. **La descentralización y la ordenación del territorio en Venezuela: estrategias hacia la modernidad.** <http://www.ub.es/geocrit/sn-54.htm>

Resumen: \*\*\*\*\*

La descentralización, una megatendencia asociada a la globalización, arranca en Venezuela después de 150 años de centralismo republicano, de los cuales sólo 40 corresponden al centralismo democrático de los civiles. Durante esta última etapa comenzó a edificarse la actual Venezuela y aparece la ordenación del territorio como una estrategia novedosa y modernizante.

Evaluable el proceso histórico de formación de la sociedad y su espacio, se examinan las políticas estatistas y populistas que explican la crisis del modelo de desarrollo adoptado y, desde esta perspectiva, las proposiciones del gobierno que conduce a Venezuela desde comienzos de 1999. Se propone profundizar en la descentralización y la ordenación del territorio participativas, a los fines de lograr la sintonía con el mundo global.

Palabras clave: **descentralización, Venezuela, ordenamiento, territorio, globalización, regional**

A modo de conclusión puede decirse que desde el punto de vista de escritos sobre estos temas estratégicos, hay acercamientos teóricos muy similares particularmente en las problemáticas que han generado los procesos de descentralización en Europa y América Latina.

En el tema del Ordenamiento Territorial se han identificado diferencias importantes en los avances, especialmente entre los modelos Europeos y los Latino Americanos, no obstante que los últimos han sido, en la mayoría de los casos, adaptaciones de los primeros. En este tema se ve un liderazgo importante de países como Chile, Colombia y Venezuela

Frente al desarrollo rural se encuentran en la literatura aspectos, formas y figuras que pueden, si se adaptan adecuadamente, utilizarse en los países de América Latina para desarrollar estrategias regionales que permitan estimular el desarrollo rural local.

En cuanto a la producción intelectual en América Latina, también es muy evidente el liderazgo que en estas temáticas adoptan países como Argentina, Chile, Colombia y un poco Bolivia.

## **Encuentro nacional de usuarios de herramientas SIG para la toma de decisiones en planificación rural y ordenamiento territorial**

Desde el año 2000 el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), ha realizado una serie de eventos de capacitación en varios departamentos del país para difundir las metodologías y herramientas para la elaboración de los planes de Ordenamiento Territorial (POT). Hasta la fecha se han capacitado 180 funcionarios del sector público en este tema.

Con el propósito de hacer un seguimiento sobre los trabajos y actividades que los participantes han desarrollado utilizando estas herramientas, y con el ánimo de conformar una red de usuarios de los SIG MapMaker, SPRING y de las metodologías de planificación, el CIAT realizó "El encuentro Nacional de Usuarios de Herramientas SIG para la Toma de Decisiones en Planificación Rural y Ordenamiento Territorial" en su sede de Palmira del 13 al 15 de noviembre de 2002, encuentro que contó con la participación de 60 personas entre conferencistas y asistentes.

El evento incluyó conferencias magistrales, presentaciones seguidas por sesiones de preguntas, presentación de pósters y un panel al final del evento para determinar los logros alcanzados por los participantes a través del uso de las herramientas y los factores que limitan o podrían limitar su utilización.

Uno de los resultados de este seminario fue la conformación de una red con todos los asistentes al evento y con todos los funcionarios capacitados por CIAT para discutir todos los temas relacionados con la planificación del desarrollo rural, a dicha red se puede acceder para inscribirse desde:

[http://bayern.ciat.cgiar.org/mailman/listinfo/planificacion\\_desarrollo](http://bayern.ciat.cgiar.org/mailman/listinfo/planificacion_desarrollo)

Para enviar un mensaje a todos los usuarios de la red se puede escribir a:

[planificación\\_desarrollo@bayern.ciat.cgiar.org](mailto:planificación_desarrollo@bayern.ciat.cgiar.org)

## **Conceptos básicos de teledetección y manejo del Sistema de Información Geográfica SPRING**

En el marco del convenio MADR y CIAT, se realizó una capacitación sobre conceptos básicos de teledetección y manejo del Sistema de Información Geográfica SPRING. Dicha capacitación se realizó entre el 21 y el 25 de octubre de 2002 en el municipio de Villavicencio, Meta.

La coordinación del evento fue un trabajo conjunto entre CIAT y CORPOICA regional 8. El evento se desarrolló en las instalaciones de la Universidad de los Llanos, contando con la asistencia de 15 funcionarios de diferentes instituciones tales como IDEAM, CORPOICA, INAT, DIMA, CORMACARENA, CIAT Santa Rosa, UNILLANOS, Policía Nacional DEMET, Gerencia Ambiental Gobernación del Meta y el Instituto Técnico Industrial.

A continuación se adjunta la lista de todos los asistentes con sus respectivos datos.

<b>NOMBRE</b>	<b>DIRECCION</b>	<b>ENTIDAD</b>	<b>PROFESION</b>	<b>E-MAIL/TELEFONO</b>
Alexander Zambrano Blandón	Calle 14 No 18 e 21	Policía Nacional DEMET	Tecnólogo Topográfico	<a href="mailto:cic.demet@policia.gov.co">cic.demet@policia.gov.co</a> Tel.6685928 casa; 112 oficina
Aura Mireya Restrepo	Gobernación Meta	Sria. de Planeación	Ing. Sistemas	<a href="mailto:aura_restrepo@hotmail.com">aura_restrepo@hotmail.com</a> Tel. 6715947
Clara Inés Sierra	Cra 37A No 14 B 09	UNILLANOS	Ing. agrónomo	<a href="mailto:clara_sierra@hotmail.com">clara_sierra@hotmail.com</a> Tel. 6686016 6677715 casa; 6698239 oficina
Cristóbal Lugo López	Cra. 61 No 44 – 28 Rondinella	UNILLANOS	Ing. Agrónomo	<a href="mailto:crislulo@unillanos.edu.co">crislulo@unillanos.edu.co</a> ; <a href="mailto:crislulo7@007mundo.com.co">crislulo7@007mundo.com.co</a>
Edgar F. Almansa M.	Calle 4E No 24 – 18 Alborada	CORPOICA	Ing. Agrícola	<a href="mailto:ealmansa@corpoica.org.co">ealmansa@corpoica.org.co</a>
Jaime H. Bernal	Km 17 vía V/cio	CORPOICA	Ing. Agrónomo	<a href="mailto:jhbernal@villavicencio.cetcol.net.co">jhbernal@villavicencio.cetcol.net.co</a> Tel. 6709829
Jaime Gómez N.	Lago turístico casa 24	CIAT	Ing. Agrícola	<a href="mailto:jaimegomez965@hotmail.com">jaimegomez965@hotmail.com</a> Tel. 6709888
José Manuel Rodríguez	Conjunto Plena Vida (2-7)	INAT	Ing. agrónomo	<a href="mailto:josemar50@hotmail.com">josemar50@hotmail.com</a>
José Martín Betancourt	Calle 2B No 30 B 20	Gobernación Meta	Ing. Agrónomo	<a href="mailto:jmartinb@uole.com">jmartinb@uole.com</a> Tel. 6714375
Mauricio Alvarez de León	Calle 25A No 20 - 93	CORPOICA	Medico Veterinario Zootecnista	<a href="mailto:m_alvarezus2000@yahoo.com">m_alvarezus2000@yahoo.com</a> Tel. 6709831
Omar Mayorga Cruz	Calle 9B No 39 – 55 3ª etapa	CORMACARENA	Tec. Gestión RN	Tel. 6636770
Orlando Arguello Tovar	Cra 33 No 5 – 23	CORPOICA	Químico	<a href="mailto:oarguello@latinmail.com">oarguello@latinmail.com</a> Tel 6635544
Oscar Sadot Ballen M.	Cra 36ª No 14 - 15	Inst. Técnico Industrial	Topógrafo	<a href="mailto:osbal729729@hotmail.com">osbal729729@hotmail.com</a> Tel.6641407 Cel.3157900784
Roberto Santana	Calle 14 No 18 E 21	IDEAM	Ing. Metereólogo	<a href="mailto:pobdocah@col1-telecom.com.co">pobdocah@col1-telecom.com.co</a>
Sandra Liliana Calvo Rodríguez	Calle 41 No 44 - 24 Apto 311	DIMA	Tecnóloga en sistemas	<a href="mailto:salicaro27@latinmail.com">salicaro27@latinmail.com</a> Tel 6715841 6644210
Sonia Pabón Borrero	Torres de San Juan, Torre 1 apto 501	UNILLANOS	Economista	<a href="mailto:spabon@unillanos.edu.co">spabon@unillanos.edu.co</a> <a href="mailto:planeacion@unillanos.co">planeacion@unillanos.co</a> Tel 6675200 casa; 6698523 oficina
Nathalie Beaulieu	Km 17 recta Cali - Palmira, A.A 6713 Cali	CIAT	Ing. Civil	<a href="mailto:n.beaulieu@cgiar.org">n.beaulieu@cgiar.org</a> Tel. 4450000 Ext. 36 75
Ovidio Muñoz	Km 17 recta Cali - Palmira, A.A 6713 Cali	CIAT	Ing. Agrónomo	<a href="mailto:o.munoz@cgiar.org">o.munoz@cgiar.org</a> Tel. 4450000 Ext. 3675

# **Meta 5**

## **SUELOS**

**Responsables:**  
**E. Amézquita, I.M. Rao, E. Barrios,**  
**M.A. Rondón**

## **INTRODUCCION**

Este informe contiene información sobre las actividades de investigación realizadas por el Proyecto de Suelos en la Altillanura Colombiana en dos sitios de referencia:

FINCA Matazul

C.I. Carimagua

# **1. FINCA Matazul**



## ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL 2002

### PE - 2: SUELOS

#### CENTRO DE COSTO CIAT: SPC-24

RESPONSABLES: E. Amézquita, I. Rao, E. Barrios

ACTIVIDAD	ACCIONES REALIZADAS EN EL 2002
<p><b>5.1</b> Desarrollar estrategias para contrarrestar la degradación de suelos ácidos y de baja fertilidad para lograr su uso sostenible con mínimo impacto ambiental.</p> <p>(se anexa una nota científica conceptual sobre el desarrollo de “capa arable” – No.1)</p>	<p>En todos los ensayos de campo se continúan haciendo muestreos planificados para la determinación de propiedades físicas, químicas y biológicas para caracterizar el efecto de los tratamientos sobre el suelo a través del tiempo. Las muestras tomadas en el campo a diferentes profundidades se siguen analizando en los laboratorios del CIAT y los resultados consolidados se presentarán en el informe final en octubre del 2003. Las siguientes determinaciones se hicieron durante el presente período: densidad aparente, porosidad, distribución de tamaño de poros, conductividad hidráulica, susceptibilidad a compactación, permeabilidad al aire, disponibilidad de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg), fraccionamiento de P, absorción de nutrientes, longitud y peso seco de raíces. Adicionalmente, las siguientes actividades de campo han sido hechas en cada uno de los ensayos:</p> <p><b>Ensayo Intensidades de labranza:</b> (se anexa borrador de un artículo – No.2)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Se realizaron labores culturales al cultivo de maíz semestre A del 2001 tales como fertilización; Manejo Integrado de Plagas, inicialmente con controladores biológicos (Telenomus, Trichogramma, Dipel) y luego con inhibidores de quitina; y control de malezas.</li><li>- Se realizó la cosecha del maíz observándose las mayores producciones, 4.3 ton/ha., en los tratamientos de recuperación de estructura implementados sobre los suelos que tenían menor intensidad de labranza con rastra acumulada.</li><li>- Se realizaron muestreos a diferentes profundidades para física de suelos (Sortividad, humedad de suelo, penetrómetro y torcómetro); muestreo para longitud, volumen y peso seco de raíces a través del tablero de clavos; y muestreo para química de suelos.</li><li>- Se desbrozaron los residuos del maíz y aplicó herbicidas para la siembra sin labranza de soya, variedad P-34 en el semestre B del 2001.</li><li>- Se realizaron labores culturales al cultivo de la soya, ídem a maíz sem. A del 2001.</li><li>- Se cosechó la soya en enero/2002, conservándose la tendencia de producción observada en los rendimientos del maíz, con producciones máximas de 1.3 ton/ha.</li></ul>

ACTIVIDAD	ACCIONES REALIZADAS EN EL 2002
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se aplicaron herbicidas para las siembras, sin labranza, de maíz en el semestre A del 2002. Se sembró el mismo material del año 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo del 1 cultivo, así como muestreos para física y química de suelos y para raíces.</li> <li>- Se realizó la cosecha del maíz año 2002 en todas las parcelas. En general los rendimientos disminuyeron en toda la zona tanto a nivel experimental como comercial debido a condiciones climáticas adversas. Para este ensayo continúan los rendimientos decrecientes en el tiempo pero se conserva la tendencia a obtener las mayores producciones en los tratamientos de recuperación de estructura implementados sobre los suelos que tenían menor intensidad de labranza con rastra acumulada alcanzándose producciones máximas de 3.6 ton/ha.</li> <li>- Se desbrozaron los residuos del maíz y aplicó herbicidas para la siembra, sin labranza, de soya en el semestre B del 2002. Se sembró el mismo material del año 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo vegetativo del cultivo.</li> <li>- La cosecha de soya está pendiente de realizarse a comienzos de enero del 2003.</li> </ul> <p><b>Ensayo de Profundidad de Compactación:</b> (se anexa borrador de un artículo – No.3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se terminó la tesis sobre este tema ejecutada por estudiantes de la Universidad de los Llanos. Actualmente se están escribiendo artículos científicos con los resultados acá obtenidos.</li> </ul> <p><b>Ensayo Caída de Rendimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizaron labores culturales a los cultivos de maíz y arroz idénticos a los realizados en el ensayo anterior.</li> <li>- Se realizó la cosecha de arroz y maíz y se observó como las producciones continuaron descendiendo con relación a años anteriores. Las menores producciones se alcanzaron en los tratamientos con mayor intensidad de labranza anual con rastra de disco.</li> <li>- Se realizaron muestreos para física y química de suelos, así como para raíces, idénticos a los detallados en el anterior ensayo.</li> <li>- Se dejó crecer barbecho en las áreas del experimento durante el semestre B del año 2001.</li> <li>- Se encaló y se incorporó la Cal con un pase de rastra, se aplicaron los pases de rastra correspondientes a los tratamientos y se aplicó herbicida para la siembra del</li> </ul>

ACTIVIDAD	ACCIONES REALIZADAS EN EL 2002
	<p>semestre A del año 2002.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se sembró maíz con sembradora abonadora y se fertilizó en el fondo del surco.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo vegetativo del cultivo.</li> <li>- Se realizó la cosecha del maíz y se observó que las producciones fueron similares a las obtenidas el año inmediatamente anterior. Se conserva la tendencia a obtener menores rendimientos en los tratamientos con mayor intensidad de labranza anual con rastra de disco.</li> <li>- Al igual que años anteriores, durante el semestre B del año 2002 se dejó crecer barbecho en las áreas experimentales.</li> </ul> <p><b>Estudios en Fincas:</b> (se anexa borrador de un artículo – No.4)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El análisis de la información permitió encontrar parámetros de física y de química de suelos que podrían utilizarse como indicadores de degradación de praderas.</li> </ul> <p><b>Análisis climáticos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualmente se están escribiendo artículos científicos con los resultados obtenidos con la tesis "Análisis de Datos Agroclimáticos en la Orinoquía Colombiana y Propuesta Metodológica para su uso"</li> </ul>
<p><b>5.2.</b> Indicadores de suelo y sistemas conservacionistas para la producción agrícola y la protección de los recursos naturales.</p>	<p><b>Ensayo Perfil Cultural:</b> (se anexa borrador de un artículo – No.5)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El manejo cultural de los cultivos de maíz y soya, sembrados en los semestres A y B del año 2001 respectivamente, siguió los mismos lineamientos de los realizados en el ensayo intensidades de rastra.</li> <li>- Se realizó la cosecha del maíz, obteniéndose los mayores rendimientos, 4.5 ton/ha de grano seco, en los tratamientos que en años anteriores tuvieron rotación de monocultivos con altas dosis de fertilizantes y cal. Los rendimientos fueron intermedios en los tratamientos asociados a leguminosas y fueron bajos en los asociados a gramíneas.</li> <li>- Se realizaron muestreos para física, química de suelos y raíces iguales a los realizados en los ensayos anteriores. Se realizó además muestreo para macrofauna del suelo.</li> <li>- Se desbrozaron los residuos del maíz y se aplicó herbicidas para la siembra, sin labranza, de soya variedad P-34 en el semestre B del 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales al cultivo de la soya, ídem a maíz sem. A del 2001.</li> <li>- Se cosechó la soya en enero/2002, obteniéndose rendimientos similares en los tratamientos asociados a leguminosas y en los que tenían altas dosis de fertilizantes y cal (1.5 ton/ha.).</li> </ul>

ACTIVIDAD	ACCIONES REALIZADAS EN EL 2002
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se aplicaron herbicidas para la siembra, sin labranza, de maíz en el semestre A del 2002. Se sembró el mismo material del año 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo de los cultivos, así como muestreos para física y química de suelos y para raíces. Se aplicó dosis adicional de nitrógeno en los tratamientos asociados a pasturas.</li> <li>- Se realizó la cosecha del maíz observándose niveles de producción similares en todos los tratamientos, con niveles promedios de 3.8 ton/ha. en tratamientos que en años anteriores estuvieron asociados a una pastura y 3.6 ton/ha. en tratamientos de rotación de cultivos con altas dosis de cal.</li> <li>- Se desbrozaron los residuos del maíz y aplicó herbicidas para la siembra, sin labranza, de soya en el semestre B del 2002. Se sembró el mismo material del año 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo vegetativo del cultivo.</li> <li>- La cosecha de soya está pendiente de realizarse a comienzos de enero del 2003.</li> </ul> <p>Las producciones de maíz alcanzadas en el año 2001 en los tratamientos con mayores niveles de encalado y fertilidad (rotaciones de cultivos con altas dosis de cal) nos indicaban que estábamos cerca del objetivo propuesto en estos tratamientos y que era necesario hacer ajustes de fertilización en los tratamientos asociados a pasturas. Los resultados alcanzados en el año 2002 nos permiten pensar que logramos los objetivos en todos los tratamientos del ensayo.</p> <p><b>Ensayo profundidades de cincelado y dosis de Cal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El manejo cultural de los cultivos de maíz y soya, sembrados en los semestres A y B del año 2001 respectivamente, siguió los mismos lineamientos de los realizados en el ensayo anterior.</li> <li>- Se realizó la cosecha del maíz, alcanzando rendimientos intermedios, 3.7 ton/ha. de grano seco, en los tratamientos que tuvieron en años anteriores monocultivos de maíz con aplicación anual de cal y rendimientos bajos en los que se establecieron sobre pasto Guinea con una sola aplicación de cal.</li> <li>- Se realizaron muestreos para física, química de suelos y raíces iguales a los realizados en los ensayos anteriores.</li> <li>- Se desbrozaron los residuos del maíz y se aplicó herbicida para la siembra, sin labranza, de soya variedad P-34 en el semestre B del 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales al cultivo de la soya, ídem a maíz sem. A del 2001.</li> </ul>

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>ACCIONES REALIZADAS EN EL 2002</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se cosechó la soya en enero/2002, con producciones intermedias a altas en todos los tratamientos.</li> <li>- Se aplicaron herbicidas para las siembra, sin labranza, de maíz en el semestre A del 2002. Se sembró el mismo material del año 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo de los cultivos, así como muestreos para física y química de suelos y para raíces. Se aplicó dosis adicional de nitrógeno en los tratamientos que provenían de la siembra de pasto Guinea.</li> <li>- Se realizó la cosecha del maíz año 2002 observándose un nivel promedio de producción similar al del año anterior tanto en los tratamientos que tuvieron en años anteriores monocultivos de maíz con aplicación anual de cal como en los que provenían de pasto Guinea con una sola aplicación de cal.</li> <li>- Se desbrozaron los residuos del maíz y aplicó herbicidas para la siembra, sin labranza, de soya en el semestre B del 2002. Se sembró el mismo material del año 2001.</li> <li>- Se realizaron labores culturales durante el ciclo vegetativo del cultivo.</li> <li>- La cosecha de soya está pendiente de realizarse a comienzos de enero del 2003.</li> </ul> <p>Los resultados obtenidos en los tratamientos que provienen de la siembra de pasto Guinea con una sola aplicación de cal sugieren que es necesario realizar mayores ajustes de fertilización para lograr los objetivos propuestos.</p>
<p><b>5.3.</b> Base de datos sobre información útil para el manejo de los suelos y agua en la Altillanura.</p>	<p>Los datos procedentes de las determinaciones físicas, químicas y biológicas de las parcelas experimentales se siguen acumulando en la base de datos para facilitar su posterior análisis.</p>
<p><b>5.4.</b> Ajustes de fertilización para sistemas de producción basados en rotaciones comerciales de cultivos en suelos de la Altillanura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizó el encalado y se incorporó la misma con dos pases de arado de cinceles rígidos en época temprana.</li> <li>- Se completó la preparación del suelo en inicios de lluvia, con un pase superficial de rastra de disco, para la siembra de maíz en el semestre A del año 2002.</li> <li>- Se realizó la siembra de maíz con una sembradora de cero labranza. Se sembró el híbrido Corpoica H-108 con fertilizante al fondo del surco.</li> <li>- Se hicieron las prácticas culturales durante el ciclo del cultivo: fertilización, liberación de Trichogramma para control de Diatrea y aplicación de inhibidores de quitina para control de cogollero.</li> <li>- Se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades</li> </ul>

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>ACCIONES REALIZADAS EN EL 2002</b>
	<p>en época de floración del maíz.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se cosechó el maíz observándose niveles de producción de 3.9 y 3.4 ton/ha al usar fuentes simples y fuentes compuestas de fertilizantes respectivamente. Las mayores producciones alcanzadas estuvieron al mismo nivel de los mayores rendimientos alcanzados en la región a nivel comercial con este material de maíz.</li> <li>- Se aplicaron herbicidas para las siembras, sin labranza, de soya en el semestre B del 2002. No fue necesario desbrozar los residuos de maíz.</li> <li>- Se realizó la siembra de soya, variedad P-34 aplicando solamente abonos simples.</li> </ul> <p>La cosecha de soya está pendiente de realizarse a comienzos de enero del 2003.</p>

**DESARROLLO DE UNA CAPA ARABLE:  
UN CONCEPTO ESENCIAL PARA AUMENTAR LA  
PRODUCTIVIDAD Y LA SOSTENIBILIDAD DE SUELOS EN LOS  
LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA<sup>3</sup>**

### **Introducción**

El agroecosistema de sabanas en Sudamérica cubre aproximadamente un total de 270 millones de hectáreas distribuidas así: 207 en Brasil, 28 en Venezuela, 17 en Colombia, 14 en Bolivia y 4 en Guyana, y es considerado como una de las áreas más importantes para la expansión de la agricultura en el futuro (Borlaug y Doswell, 1994). En Brasil, a partir de los sesentas, hubo un reemplazo inicialmente gradual y posteriormente acelerado de los pastos nativos por pastos mejorados y siembra de cultivos anuales y de algunos permanentes como café, frutales, caña de azúcar, palma africana y plantaciones de árboles (Lopes, 1996). Se estima que del total de los Cerrados Brasileños unas 50 millones de hectáreas han sido sembradas en pastos y 12 millones de hectáreas han sido abiertas para producción de cultivos anuales principalmente maíz y soya (Vera, 1999).

Las sabanas tropicales del mundo representan casi el 43% de la tierra arable y de este porcentaje el 27% es representado por las sabanas de América tropical. El potencial del área cultivada en las sabanas de Brasil llega a 127 millones de hectáreas (Macedo, 1997). En Colombia de los 17 millones de hectáreas que existen en sabana aproximadamente 5 millones pertenecen a la Altillanura, zona agroecológica a la cual se ha dedicado la mayor parte de la investigación realizada por CIAT, CORPOICA y otras instituciones en relación con adaptación de cultivos a suelos con limitaciones físicas y biológicas.

En general, los suelos de sabana están representados por Oxisoles y Ultisoles. Estos suelos son muy ácidos e infértiles. Los niveles de saturación de aluminio y manganeso son altos y la saturación de bases es baja. Los niveles de fósforo aprovechable son muy bajos y limitan la producción de la mayoría de cultivos de granos y de pastos. En el Cerrado las condiciones físicas de los suelos son buenas. Los suelos son profundos, bien drenados, tienen poca presencia de rocas y otros impedimentos físicos (Kanno *et al.*, 2001). Sin embargo, los suelos de la Altillanura Colombiana son muy superficiales, de baja capacidad de infiltración, endurecidos y presentan sellamiento superficial (Amézquita *et al.*, 2002; Preciado, 1997; Amézquita, 1998).

La capacidad de retención de almacenamiento de agua de las sabanas es baja, aún en la estación lluviosa. La presencia de “veránicos” que es muy común durante la estación lluviosa causa caída drástica de rendimientos en los Cerrados (Wolf, 1975). Kanno *et al.* (2001) indican que para mantener una producción sostenible en los Cerrados es necesario desarrollar sistemas agrícolas que permitan el mantenimiento o mejoramiento de las

---

<sup>3</sup> Conferencia Magistral para presentar en el XI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Club Campestre, Cali. Septiembre 18-20 de 2002. Comisión III. Física y Conservación de Suelos

condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. La rotación de cultivos anuales con pastos ha sido identificada como una de las posibles soluciones para llegar a mejoramiento y sostenibilidad.

En la Altillanura Colombiana, el Programa de Investigación de Suelos del CIAT en conjunto con CORPOICA han llegado a la conclusión de que en estos suelos es necesario construir una “capa arable” productiva y sostenible, si realmente se quiere utilizar el potencial climático productivo que tiene esta zona agroecológica. En esta conferencia se trata de explicar cómo a través del concepto de desarrollo de una “capa arable” es posible vencer las limitaciones edafológicas que presentan estos suelos.

### **La Calidad del Suelo y el Potencial Productivo**

La calidad del suelo es un concepto muy importante y puede ser definido como: la capacidad de un suelo específico para funcionar dentro de límites definidos de un ecosistema natural o de manejo, para sustentar la productividad de plantas y animales, mantener y mejorar la calidad del agua y del aire y servir de soporte a la salud y habitación humanas (Karlen *et al.*, 1997). La calidad del suelo depende de las características inherentes del suelo tales como: atributos estructurales, profundidad de enraizamiento, porosidad, reserva de nutrientes y biodiversidad dentro del suelo (Lal, 1997).

La sostenibilidad agrícola implica que la agricultura continuará siendo el principal uso de la tierra por largos períodos de tiempo, relativo a la esperanza de vida humana, porque es económicamente competitiva y el recurso básico (suelo) no declinará en fertilidad o capacidad productiva (Hamblin, 1991).

El buen manejo del suelo tiene como objetivo crear óptimas condiciones físicas para la planta como: adecuada cantidad de agua aprovechable, adecuada aireación para raíces y microorganismos, facilidad para la penetración de raíces, rápida y uniforme germinación de semilla, alta resistencia del suelo a desagregarse, resistencia al sellamiento y a la erosión por agua y por viento. Los métodos tradicionales de preparación de suelos con arado y rastra causan a menudo resultados desastrosos en término de deterioro estructural y erosión especialmente en los suelos tropicales (ver Figura 1).

La degradación del suelo se refiere a cambios temporales o permanentes en las condiciones del suelo que conducen a la caída de rendimiento de los cultivos, aumentando el deterioro del medio ambiente. Por el contrario, el mejoramiento del suelo debe entenderse como el aumento de la capacidad productiva de las tierras (Scherr y Yadav, 1996). Algunos tipos de degradación de suelos son irreversibles (ejemplo: formación de cárcavas, erosión, salinización), mientras que otros pueden ser prevenidos o reversados (ejemplo: adición de nutrientes a suelos que se han empobrecido, reconstrucción de suelos superficiales a través del uso de enmiendas, reestablecimiento de la vegetación o mejoramiento de la acidez del suelo) (Scherr y Yadav, 1996).



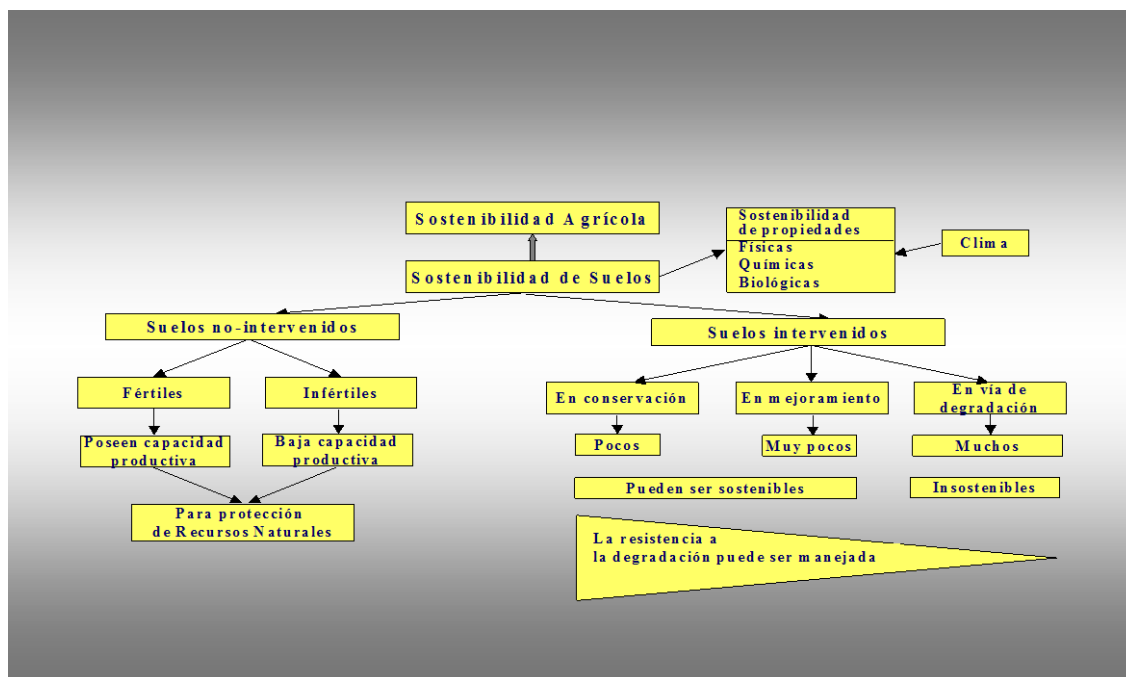


Figura 1. Relaciones entre la sostenibilidad agrícola y el manejo sostenible de los suelos

Un suelo de buena calidad para la producción de cultivos, permite que en él entre el agua lluvia y se distribuya fácilmente dentro del volumen de suelo ocupado por las raíces; permite además, que la presión ejercida por las raíces en su proceso de crecimiento sea capaz de deformarlo para que ellas puedan penetrar, por ello debe presentar una porosidad de por lo menos 50% con una buena cantidad de macro, meso y microporos de tal manera que proporcione un buen almacenamiento de agua para las plantas y una buena capacidad de aireación a las raíces. Debe además, contener niveles adecuados de todos los elementos nutritivos esenciales (macro, secundarios, menores) y en formas disponibles pero con buena capacidad de reposición de ellos. Debe también poseer, un buen contenido de materia orgánica (>5%) que sea capaz de mantener el equilibrio de la condición edafológica del suelo. Un suelo con estas condiciones debe ser mantenido y conservado con estas características permanentemente. Así es el mejor para la producción de cultivos, es sostenible, productivo, esencial para la conservación de los recursos naturales, es de fácil laborabilidad, es resistente a las fuerzas degradativas y es de fácil manejo.

Un suelo de mala calidad para la agricultura, es el que no permite la entrada y redistribución del agua, no es deformable, puede tener una buena porosidad pero mala distribución de poros, lo cual impide el desarrollo de raíces; por su bajo contenido de elementos nutritivos y/o desequilibrio entre ellos no puede suministrarlos en la forma y en la época en que la planta lo requiera. Posee además, contenidos bajos de materia orgánica, es de difícil laborabilidad y es muy susceptible a la degradación.

Actualmente muy poca área cultivable en el mundo, presenta naturalmente suelos de buena calidad agrícola. La mayoría de suelos de buena calidad, son de alguna forma construidos por el hombre quien en su afán de obtener altos rendimientos ha modificado la fertilidad

natural del suelo, para que las especies de alta producción y de altos requerimientos nutricionales que ha desarrollado, genéticamente puedan producir satisfactoriamente.

Uno de los mayores desafíos que enfrentan los científicos de suelos en el trópico es el de la vulnerabilidad de los suelos tropicales a la degradación cuando son sometidos a mecanización para la siembra de cultivos. En las sabanas colombianas (Oxisoles) los agricultores tienen que abandonar las tierras después de pocos años de utilización con arroz de secano porque los suelos ya no son capaces de soportar producciones económicas.

Investigaciones realizadas en los Llanos Orientales de Colombia (Amézquita *et al.*, 1998) han demostrado que las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos de las sabanas naturales no ofrecen un ambiente suficiente para crecimiento de raíces y producción de cultivos. Estos suelos, además, son muy susceptibles a degradación debido a la vulnerabilidad de su estructura cuando son preparados. El uso de rastras superficiales causa en estos suelos sellamiento superficial, reducción en la infiltración y en la capacidad de aceptación de aguas lluvias. A medida que el tiempo de uso aumenta los rendimientos de los cultivos decaen. Entonces, para hacer un manejo productivo y sostenible de cultivos y de pastos estos suelos deben ser evaluados y manejados apropiadamente para evitar su degradación.

### **Problemática de los suelos de la Altillanura Colombiana**

Los suelos de la Altillanura Colombiana presentan los siguientes limitantes para la producción agropecuaria:

- Son muy superficiales: el espesor del Horizonte A generalmente no es mayor de 20 cm.
- Son susceptibles a erosión porque presentan baja estabilidad estructural sobre todo en los agregados mayores de 2 mm.
- Poseen estructura débil, fundamentalmente porque son pobres en materia orgánica.
- El contenido de materia orgánica es bajo por naturaleza y ésta se reduce aún más cuando el suelo se rastrilla.
- Presentan baja capacidad de infiltración natural porque las sabanas naturales presentan sellamiento superficial.
- Son propensos a sellamiento superficial sobre todo cuando se interviene con maquinaria agrícola.
- Son duros por naturaleza.
- Presentan baja capacidad de aireación en la época de invierno.
- Presentan alta penetrabilidad.
- Retienen poco agua aprovechable.
- Poseen bajo contenido de nutrientes en todo el perfil, lo cual también impide el desarrollo de raíces de los pastos y de los cultivos.

### **La Solución: desarrollar una “capa arable”**

La solución para manejar productiva y sosteniblemente estos suelos es la de desarrollar una capa arable utilizando labranza vertical (cinceles) para corregir las condiciones físicas, adición de cal y fertilizantes para corregir las condiciones químicas y utilizar materiales genéticos adaptados a estas condiciones para que con las enmiendas anteriores sea posible

hacer crecer raíces abundantes y fibrosas (pastos) para mejorar la condición biológica y estabilizar el mejoramiento físico y químico (Amézquita *et al.*, 1998).

El desarrollo de una “capa arable” es indispensable para que puedan posteriormente aplicarse sistemas de siembra directa. Sin estos sistemas, no podrá desarrollarse en los Llanos Orientales, en un futuro cercano, una agricultura sostenible y conservacionista.

Los conceptos anteriores se aplican al desarrollo de una “capa arable” productiva en dos etapas: en la primera se detectan las limitaciones físicas, químicas y biológicas del suelo, se evalúa y procede a controlarlas; en la segunda, se planean las prácticas de manejo del suelo y de manejo de los cultivos que conducirán al mejoramiento del suelo.

Después de cierto tiempo de control y buen manejo, el suelo se habrá mejorado sustancialmente; de ahí en adelante se mantiene en esas condiciones para que permita el desarrollo de una agricultura sostenible (Figura 2).

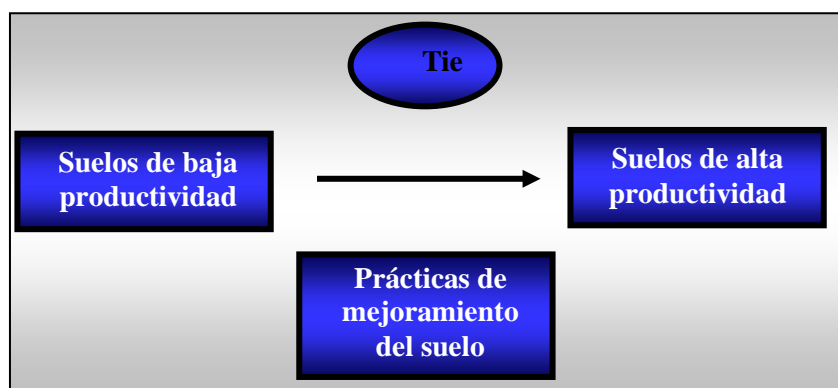


Figura 2. Las prácticas de mejoramiento del suelo en función de tiempo conduce a la obtención de suelos más productivos

El diagrama de la Figura 3 ilustra los pasos que deben darse para mejorar el suelo (“capa arable”) y establecer en él una agricultura sostenible.

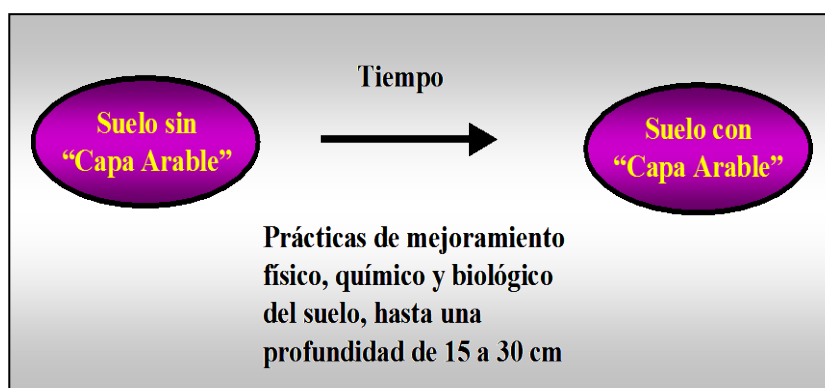


Figura 3 La obtención de un suelo con “Capa Arable” se logra a través del tiempo con prácticas planificadas de mejoramiento

## Implementación de la ‘capa arable’

En la práctica (Figura 4) se procede así:

- *Mejoramiento físico del suelo.* Se emplea en estos suelos (Altillanura) la labranza vertical con cinceles rígidos, que logran un buen fraccionamiento del suelo hasta una profundidad no mayor que 30 cm. El suelo se afloja con el cincel y este efecto (aflojamiento) mejora varias de sus propiedades: la infiltración de agua, la capacidad de aireación, la distribución de los elementos nutritivos, la penetración de las raíces.

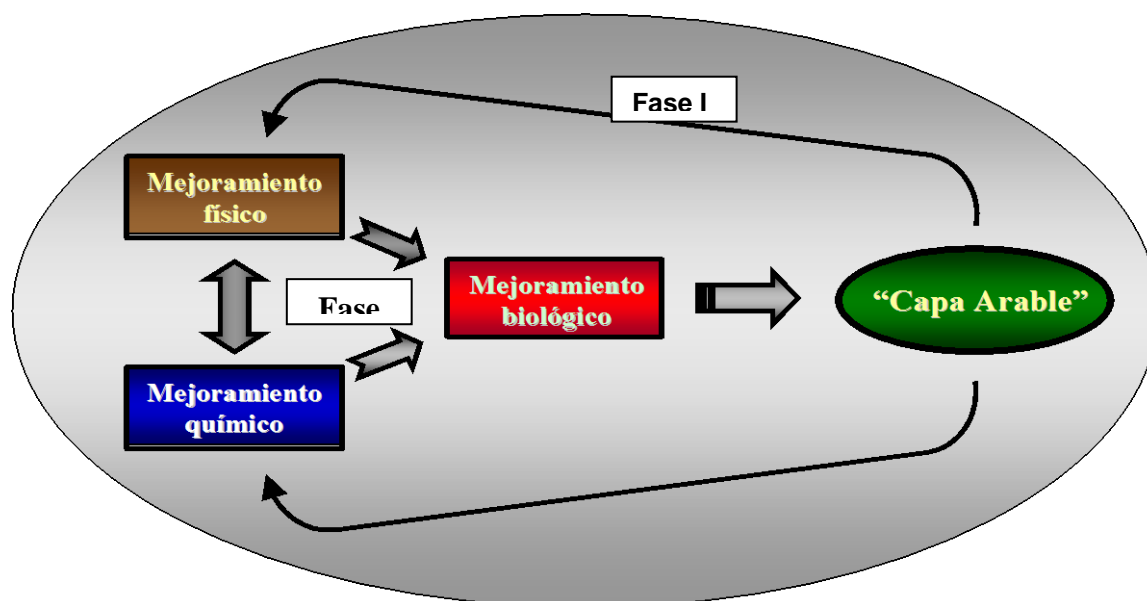


Figura 4. El mejoramiento físico junto con el mejoramiento químico conducen al mejoramiento biológico y se llega a la formación de la “Capa Arable”.

- *Mejoramiento químico del suelo.* Antes de pasar los cinceles, se aplican algunas de las siguientes enmiendas de fertilización: cal, sulcamag, dolomita, roca fosfórica o calfos que se incorporan al suelo con los cinceles.
- *Mejoramiento biológico del suelo.* Se siembran pastos, adaptados, que introducirán abundantes raíces fibrosas en la profundidad del suelo en que ocurren su preparación y su enmienda. La mejora biológica se basa en materiales vegetales (gramíneas y leguminosas forrajeras) que han sido genéticamente adaptados a las condiciones de acidez y baja fertilidad de los suelos de la Altillanura, y que desarrollan un sistema radicular profundo y abundante.

## Conclusión

El desarrollo de la “capa arable” aquí indicado descubre la interdependencia de los factores bióticos y abióticos del suelo y aprovecha su interacción mutua. Estas relaciones se manifiestan así:

- El suelo ya preparado y enmendado está trabajando para que crezcan en él los pastos o los cultivos (Fase I).
- Al crecer las plantas, sus raíces se desarrollan y sus hojas caen al suelo; ahora bien, estos dos procesos benefician el suelo.
- En la medida en que el suelo sigue así mejorando, se convierte en un medio más apropiado para que crezcan en él especies vegetales de mayores requerimientos nutricionales (Fase II).
- Estas plantas, a su vez, enriquecerán más el suelo y éste podrá entonces sostener más plantas y nuevas especies vegetales.

De este modo se establece un espiral ascendente de interacción de factores bióticos y abióticos. Finalmente, la “capa arable” que se construya influirá positivamente en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo para hacer sostenible la agricultura del futuro. La aplicabilidad de estos conceptos se muestra en las Figuras 5 y 6.



Figura 5. El problema, la solución y la aplicabilidad del manejo de suelos para agricultura sostenible en los Llanos

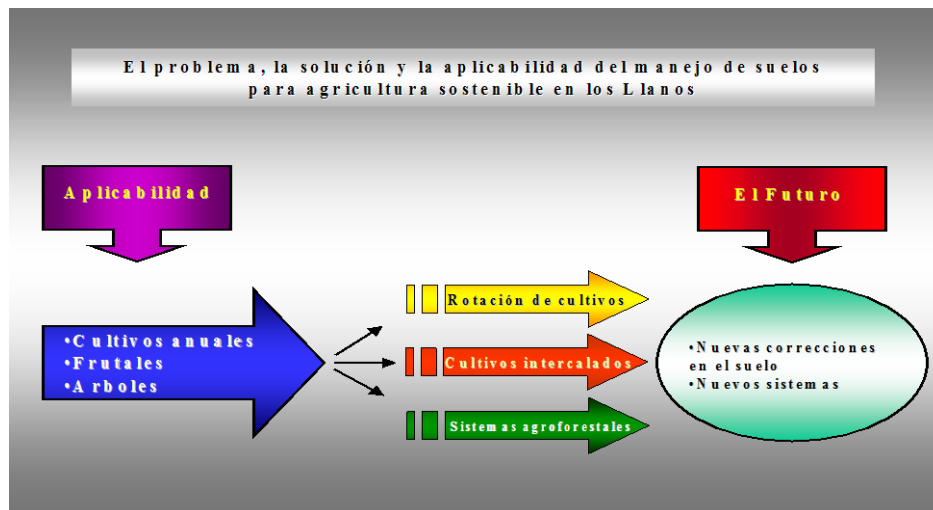


Figura 6. El problema, la solución y la aplicabilidad del manejo de suelos para agricultura sostenible en los Llanos

## Referencias

- Amézquita, E.. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. *In:* Gabriel Romero C., Diego Aristizábal Q. y César A. Jaramillo S. (eds). MEMORIAS “Encuentro Nacional de Conservación”, Villavicencio, 28-30 de Abril de 1998. pp.145-174.
- Amézquita, E., G. Preciado, D.M. Arias, R.J. Thomas, D.K. Friesen, J.I. Sanz. 1998. Soil physical characteristics under different land use systems and duration on the Colombian savannas. 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, France (poster presentation).
- Amézquita, E., L.F. Chávez, J.H. Bernal. 2002. Construcción de una “capa arable” en suelos pobres: conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Folleto con la participación de COLCIENCIAS, CIAT y CORPOICA.
- Borlaug, N.E. y C.R. Doswell. 1994. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. Keynote address at the 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. Suppl.1-15.
- Hamblin, A.P. 1991. Sustainable Agricultural Systems: what are the appropriate measures for soil structure? *Aust.J. Soil Res.* 29: 709-715.
- Kanno, T., M.C.M. Macedo, S. Uozumi, V.P.B. Euclides, J.A. Bono, Y. Yoshimura, M.R. Correa y J.D.G. Santos Jr. 2001. Development of grassland management technology for sustainable agropastoral systems in the sub-tropical zone in Brazil. *In:* Tsutomu Kanno and Manuel M.C. Macedo (eds). JIRCAS/EMBRAPA Gado de Corte. International Joint Workshop on Agropastoral System in South America. JIRCAS Working Report No.19, January 2001. pp.63-73.
- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, G.E. Schuman. 1997. Soil Quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 61: 4-10.
- Lal, R. 1997. Soil quality and sustainability. pp.17-30. *In:* R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine and B.A. Stewart (eds). Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science. CRC. Boca Raton, N.Y.
- Lopes, A.S. 1996. Soils under Cerrado: A success story in soil management. Keynote Address. IFA-PPI Regional Conference for Latin America and the Caribbean. June 25-28, México City, México. 11 p.
- Macedo, M.C.M. 1997. Sustainability of pasture production in the savannas of tropical America. *In:* The Proceedings of the 18th International Grassland Congress, 28, 1997, Winnipeg & Saskatoon, Canada: Extensión Service, Saskatchewan Agriculture & Food, CD-ROM, v.3, Invited Papers, Session 21 – Temperate and Tropical Native Grasslands, pp.391-399.

Preciado Pérez, L.G. 1997. Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare. Tesis M.Sc., Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 131 p.

Scherr, S.J. y S. Yadav. 1996. Land degradation in the developing world: Implications for food, agriculture and the environment to 2020. International Food Policy Research Institute – IFPRI, Food Agriculture and the Environment, Discussion Paper 14. IFPRI, Washington, D.C. 36 p.

Vera, R.R. 1999. Investigación en sistemas agropastoriles: antecedente y estrategias. *In:* Guimaraes *et al.* (eds). Sistemas Agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina. CIAT, Cali, Colombia. EMBRAPA, Brasilia, D.F., Brasil. Pp.1-8.

Wolf, J.M. 1975. Soil-water relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil. *In:* Bornemisza, E. And A. Alvarado (eds). Soil Management in Tropical America. Raleigh, NCSU. Pp.145-154.

## Efecto de Diferentes Intensidades de Labranza Anual con Rastra de Discos sobre la Productividad de los Cultivos y sobre Algunas Propiedades Físicas de un Suelo de la Altillanura Colombiana

### Resumen

Los Oxisoles representan el 57% del territorio nacional, con casi 17 millones de hectáreas, pertenecientes a las sabanas de los Llanos Orientales; dentro de esta región se encuentra la Altillanura plana, cuya extensión es de 3.4 millones de hectáreas. Estos suelos están caracterizados por valores bajos de pH (4.0-4.8), alta saturación de Al (>90%) y niveles bajos de nutrientes (P, K, Ca y Mg) disponibles para las plantas, factores que limitan la producción de estas zonas.

La susceptibilidad de los suelos tropicales a la degradación y la pérdida de la productividad, cuando son sometidos a producción agrícola y/o pecuaria, es el principal limitante para un uso y explotación comercial económica y sostenible. La labranza de poca profundidad, hecha con rastra de discos, ha ocasionado problemas de orden físico como sellamiento y encostramiento superficial, alta densidad aparente, compactación, baja velocidad de infiltración, baja capacidad de aceptación de lluvias, alta susceptibilidad a la erosión en suelos recién preparados y alta producción de escorrentía.

Con el fin de documentar las pérdidas de producción en el tiempo en el cultivo de arroz de sabana sometido a diferentes intensidades anuales de labranza con rastra de discos, se estableció un ensayo a largo plazo, iniciado en el año de 1995, en la Finca Matazol, localizada a 40 km al Oriente de Puerto López, sobre un suelo de textura franco-arcillo-arenoso (52, 18 y 30% de arena, limo y arcilla, respectivamente). En 1998, simultáneo con la implementación de tratamientos de recuperación de estructura, se establecieron cultivos de maíz y pasto Llanero con intensidades de rastra acumuladas de 6, 12 y 24 pases de rastra. Los resultados muestran como las producciones de arroz disminuyeron a partir del primer año a medida que aumentó la intensidad de labranza y han continuado descendiendo a través de los años, a partir del segundo año, para todas las intensidades de rastra aplicadas anualmente, como consecuencia de la degradación de las condiciones físicas del suelo. Las producciones de maíz no mejoraron con las prácticas de recuperación implementadas lo cual sugiere que la recuperación de las propiedades físicas de los suelos de la Altillanura, una vez se han degradado, no se consigue a un corto plazo. La menor intensidad de labranza acumulada al momento de establecer el pasto Llanero fue suficiente para lograr el mejor desarrollo de la pastura: labranzas adicionales con rastra de disco dieron como resultado disminución en la producción de biomasa. En general, para todos los cultivos evaluados, se observa un efecto deletéreo para el suelo con el aumento del número de pases de rastra.

*Palabras claves:* Altillanura, propiedades físicas del suelo, intensidades de labranza, producción de cultivos en el tiempo, rastra de discos.



## Introducción

Las sabanas de los Llanos Orientales, también llamadas Orinoquía Colombiana, ocupan aproximadamente 17 millones de hectáreas; dentro de esta región se encuentra la Altillanura plana, cuya extensión es de 3.4 millones de hectáreas (Cochrane y Sánchez, 1981), contenida en una franja de 60 km de ancho en promedio, que se extiende al sur del Río Meta desde la localidad de Puerto López (Meta) hasta el límite con Venezuela (Cochrane *et al.*, 1985). La vegetación nativa comprende, en su mayor parte, gramíneas de escaso valor nutritivo con bajos niveles de productividad (Alvarez y Lascano, 1987).

Sus suelos, especialmente los Oxisoles (Tropetric haplustox isohypertermic), tienen pH de 4.5 y baja disponibilidad (meq/100g) de Ca (0.2), Mg (0.08), K (Bray 2) (0.1) y P (Bray 2) (2 mg/gr) y una saturación de aluminio mayor de 80% (Sanz *et al.*, 1999). La temperatura media es de 28°C, con una precipitación anual de 2200 mm y una evapotranspiración potencial de 1300 mm, la altitud de esta región es de 150 a 200 msnm (Cochrane y Sánchez, 1981). La época seca se extiende entre Diciembre y Marzo seguida de una época lluviosa de forma bimodal, con períodos secos de corta duración – entre 1 y 2 semanas- en Julio o Agosto (Sanz *et al.*, 1999). Los meses de Abril y Noviembre marcan los puntos críticos de inicio y final de lluvias respectivamente (Hoyos *et al.*, 1999).

Se ha enfatizado a través del tiempo que los suelos Oxisoles, a pesar de ser muy ácidos e infértiles, poseen excelentes características físicas (Sánchez y Salinas, 1981), sin embargo, experiencias más recientes muestran como ellos son muy frágiles cuando se someten a labranzas.

La susceptibilidad de los suelos tropicales a la degradación y la pérdida de la productividad, cuando son sometidos a producción agrícola y/o pecuaria, es el principal limitante para un uso y explotación comercial económica y sostenible. Los suelos de la Altillanura Colombiana no son ajenos a esta circunstancia e inclusive son mucho más susceptibles a degradación, por uso, que otros suelos de sabanas tropicales debido a que son superficiales (en promedio el espesor del Horizonte A, no llega a 25 cm), muy susceptibles a pérdida de estructura, sellamiento superficial y erosión, presentan baja aceptación de lluvias y poca infiltración, son químicamente más pobres y están siendo manejados en forma inadecuada, no acorde con sus potencialidades y limitaciones (Amézquita *et al.*, 2000).

El uso permanente e intensivo de implementos agrícolas en los suelos causa deterioros en su estructura (Mulla *et al.*, 1992). Las principales propiedades físicas de los suelos que son afectadas por sistemas inadecuados de labranza son aquellas que tienen que ver con el comportamiento volumétrico del suelo, tales como porosidad total y distribución de tamaño de poros, propiedades íntimamente ligadas a la estructura del suelo. La labranza, al causar cambios en la estructura actual del suelo, afecta positiva o negativamente esta distribución y los procesos que ellos afectan en relación con el crecimiento de las plantas (Amézquita, 1998).

La capacidad de infiltración de un suelo es una propiedad que puede cambiar con varios factores entre ellos estructura, humedad inicial del suelo, textura, permeabilidad,

encostramiento, sellamiento, porosidad, continuidad del espacio poroso y homogeneidad del perfil (Primavesi, 1984). También la pendiente, cobertura vegetal y el tipo de manejo del suelo tienen gran influencia (Lal, 1985). Estudios recientes en suelos de la Altillanura han indicado que los suelos en general tienen baja capacidad de aceptación de lluvias (18 a 20 mm/hora), lo que indica que precipitaciones mayores a 20 mm originan escorrentía y erosión (Amézquita y Londoño, 1997). La baja infiltración natural de las sabanas podría estar explicada en parte por los bajos contenidos de materia orgánica de estos suelos, los cuales varían entre 1.2 y 3.5 en los 10 primeros centímetros de profundidad (Hoyos *et al.*, 1999).

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), conjuntamente con los Institutos Nacionales de investigación y extensión, ha venido desarrollando en los últimos 15 años tecnologías de sistemas agrícolas y pecuarios mejorados para este ambiente (Zeigler y Toledo, 1993). A la fecha, todas las alternativas productivas, basadas en pasturas, cultivos o sistemas agropastoriles, presentan excelentes rendimientos en los primeros años y luego, a pesar del mejoramiento químico del suelo, una drástica disminución de ellos en función del tiempo, todo lo cual se atribuye a procesos degradativos del suelo.

## **MATERIALES Y METODOS**

El experimento se estableció en 1995 en la Finca Matazul, localizada a 40 km al Oriente del Municipio de Puerto López, en el Departamento del Meta. El área escogida para el experimento es de textura franco-arcillo-arenoso (52, 18 y 30% de arena, limo y arcilla, respectivamente) y con una pendiente del 5%, altamente representativa de las condiciones de la zona.

Bajo un diseño en fajas se asignaron tres intensidades anuales de labranza con rastra de disco: 2, 4 y 8 pases con cinco repeticiones de campo, con tamaños de faja de 20 m de ancho  $\times$  55 m de largo para las repeticiones I a IV y 30 m  $\times$  55 m para la repetición V. Se tuvo conciencia de que en el diseño en fajas se afectan los grados de libertad, pero es el único diseño que permite semejar las condiciones de campo que ocurren durante la labranza, por eso, su uso es muy frecuente en ensayos de manejo de suelos.

Durante el período 1995 a 1998 se sembró solo arroz, variedad Oryzica Sabana-6. A partir de 1998 se sembró pasto Llanero en la mitad de cada faja y en la otra mitad, además del arroz, se sembró maíz; igualmente, se implementaron diferentes tratamientos de recuperación de estructura en las repeticiones I a IV, conservando las diferentes intensidades de labranza anual con rastra de disco en la repetición V para continuar documentando la productividad en el tiempo.

La siembra de los cultivos, con excepción del pasto llanero que es perenne, se realizó sólo en el primer semestre de cada año utilizando una máquina sembradora de surcos, con las densidades, distancias y fertilización recomendadas para la zona. El pasto llanero se sembró al voleo.

La producción de arroz se estimó cosechando por parcela dos marcos de 4 $\times$ 4 m; para el maíz se cosecharon las mazorcas en tres surcos lineales de 5 m cada uno. Los pesos

obtenidos para cada uno de los cultivos se ajustaron al 14% de humedad para expresar la producción por hectárea. La biomasa de malezas y pasto llanero se estimó cosechando cinco marcos de 1 m<sup>2</sup> por parcela, luego se secó al horno lo cosechado y se expresó la producción en kg de materia seca por hectárea.

Para determinar la porosidad se tomaron muestras de suelo en anillos cilíndricos metálicos, de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro, hasta 40 cm de profundidad, los cuales se introdujeron verticalmente en el suelo, por impacto, evitando al máximo disturbar el suelo; luego se sacaron cuidadosamente y se enrasaron para que el volumen del suelo fuera igual al del anillo. La resistencia a la penetrabilidad se determinó a nivel de campo con un penetrógrafo de cono, marca Daiki, con capacidad máxima de lectura de 25 kgf/cm<sup>2</sup>, tomando tres lecturas por parcela. Las lecturas fueron luego interpretadas, pasando las lecturas a valores numéricos con el fin de realizar los análisis estadísticos correspondientes. La capacidad de infiltración se determinó por el procedimiento del doble anillo, efectuando mínimo tres pruebas en cada parcela.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de los tratamientos sobre la producción de los cultivos y la dinámica en la población de las malezas.

El Cuadro 1 muestra cómo la producción de arroz durante el primer año disminuye significativamente a medida que aumenta la intensidad de labranza.

Cuadro 1. Rendimientos de arroz variedad Sabana-6 y biomasa de malezas en el tiempo, bajo diferentes intensidades de labranza con rastra de discos. Finca Matazul.

Variable	Año	Pases de rastra por año			Signific. P<
		2	4	8	
<b>ARROZ</b> (Kg/ha)	1995	2922 a	2435 b	2406 b	0.0001
	1996	3612 a	3679 a	3830 a	0.2800
	1997*	2265 a	2352 a	1891 b	0.0058
	1998	1736 a	1526 ab	1387 b	0.0940
	1999	836 b	1102 a	655 b	0.0074
<b>MALEZAS</b> (Kg/ha)	1995	17 a	15 a	9 a	0.2526
	1996	119 a	71 ab	39 b	0.0110
	1997	448 a	278 a	444 a	0.6837
	1998	623 a	629 a	942 a	0.2559
	1999	1192 ab	678 b	1426 a	0.0337

Medias con letras iguales en la misma fila no presentan diferencias significativas (P<0.05) por la Prueba de Duncan

\* Sequía durante fase de llenado de grano

La producción de arroz aumentó para el segundo año como consecuencia del mejoramiento del suelo en la parte física, química y biológica así como una baja presión hacia el cultivo

por las malezas, resultados que concuerdan con los obtenidos en investigaciones anteriores en la zona. En el corto plazo, parecería que el arroz de secano no es muy sensible a cambios en la estructura del suelo, pero, en el largo plazo, los productores usualmente abandonan sus campos a causa de la degradación.

Los rendimientos promedios de arroz para el tercer año disminuyeron en un 16% con relación al primer año, afectados en parte por la sequía atípica en la época de llenado, por las bajas tasas de infiltración (3.6 cm/hora) similares a la sabana nativa (1.6 cm/hora) como consecuencia de la pérdida de estructura por las altas intensidades de rastra acumuladas y por el aumento en población de malezas, las cuales se incrementaron en más de un 300% en el mismo período, datos que confirman cómo la degradación de estos suelos, para un cultivo poco sensible como el arroz, comienza a manifestarse a partir de la tercera labranza. Las caídas más fuertes en rendimientos se presentan con la mayor intensidad de labranza y las mayores poblaciones de malezas se presentaron en los tratamientos de 2 y 8 pases de rastra por año, equivalentes a labranzas mínimas y sobrepreparación del terreno respectivamente, datos que podrían estar indicando cómo estos suelos, debido a sus condiciones naturales poco favorables para el desarrollo de los cultivos, no son aptos para implementar programas de labranzas reducidas y/o no labranza hasta tanto no se les construya una “capa arable” a través de labranzas verticales e incorporación de biomasa al suelo (Amézquita *et al.*, 2002).

Para los años siguientes, las producciones de arroz continuaron descendiendo como consecuencia de la mayor degradación de las condiciones físicas del suelo, situación desfavorable para los cultivos, mas no para las malezas, manifestado en el aumento significativo de su biomasa a través de los años.

Las producciones de arroz y maíz en los tratamientos de recuperación de estructura no mejoraron con las prácticas implementadas, tal como se observa en los Cuadros 2 y 3 respectivamente, al obtenerse niveles productivos similares a los alcanzados con los tratamientos en los cuales se continuó con las intensidades de rastra originales. Para 1999 se presentó fuerte daño de pájaros al arroz establecido en los tratamientos de recuperación de estructura, razón por la cual no se presentan datos para ellos; para este año, la producción de maíz, en promedio, continuó siendo similar en todos los tratamientos evaluados, no obstante haber logrado con los tratamientos de cincel infiltraciones acumuladas superiores a las obtenidas en los tratamientos con rastra.

Los resultados anteriores sugieren que la recuperación de las propiedades de los suelos de la Altillanura, una vez se han degradado, no se consigue a un corto plazo.

En el Cuadro 4 se observa cómo las tasas de crecimiento del pasto llanero durante el período lluvioso de 1998 son superiores en el tratamiento con labranza acumulada de seis pases de rastra (promedios de 45, 40 y 38 kg de materia seca/ha/día para las tres intensidades respectivamente), situación posiblemente relacionada con una menor degradación estructural del suelo al momento de su establecimiento. Esta tendencia se conserva para 1999 a pesar de presentarse disminución en las tasas diarias de crecimiento promedio por tratamiento (33, 31 y 31 respectivamente), situación que se explicaría por la

gran adaptación de la especie a estos suelos lo que no permitiría su utilización como especie indicadora de degradación de suelos.

Cuadro 2. Producción de arroz con prácticas de recuperación de estructura durante el año de 1998 y en los tratamientos con intensidades de rastra originales en los años 1998 y 1999. Finca Matazol. Datos en kg/ha.

Pases de rastra Acumulados	Labranza utilizada			
	<i>Tratamientos de recuperación</i>		<i>Rastra</i>	
	Cinzel (1998)	L-Cero (1998)	1998	1999**
6	1636 a	1214 a		
12	992 b	645 b		
24	1062 b	696 b		
8*			1736 a	836 b
16*			1526 ab	1102 a
32*			1387 b	655 b

Medias con letras iguales en la misma columna, no presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por la Prueba de Duncan

\* Labranza acumulada de 8,16 y 32 pases de rastra

\*\* Labranza acumulada de 10, 20 y 40 pases de rastra

Cuadro 3. Producción de maíz en tratamientos con prácticas de recuperación de estructura y con intensidades de rastra originales durante los años 1998 y 1999 en la Finca Matazol. Datos en kg/ha.

Pases de rastra acumulados	Labranza utilizada					
	Cinzel		L-Cero		Rastra	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999**
6	4041 b	4279 bc	4399 a	5111 a	-	-
12	4289 ab	4630 abc	4232 ab	c	-	-
24	4806 a	4461 abc	4443 a	4017 bc	-	-
8 *					4613 a	4393 abc
16 *					4716 a	4791 ab
32 *					4079 b	4183 bc

Medias con letras iguales en la misma columna, no presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por la Prueba de Duncan  
Análisis estadístico para cada año.

\* Intensidades de rastra acumuladas de 8,16 y 32 pases.

\*\* Intensidades de rastra acumuladas de 10, 20 y 40 pases.

Cuadro 4. Tasa de crecimiento de pasto Llanero (*B. dictyoneura*) en función de tres intensidades de rastra acumuladas durante la época lluviosa en los años 1998 y 1999. Finca Matazul.

Período	Tasa de crecimiento (kg de M.S./ha/día)			
	6 pases	12 pases	24 pases	P<
Abr.06 – Jun.08/98	59.1 a	53.9 a	55.2 a	0.70
Jun.25 – Ago.31/98	42.2 a	38.9 a	32.3 b	0.01
Sep.10 – Nov.11/98	34.8 a	26.2 b	25.4 b	0.0004
May.19 – Ago.05/99	35.4 a	30.2 b	30.9 b	0.108
Sep.15 – Nov. 11/99	31.2 a	32.4 a	30.6 a	0.83

Medias con letras iguales en la misma fila, no presentan diferencias significativas ( $P<0.05$ ) por la Prueba de Duncan

### Efecto de los tratamientos sobre las características físicas de los suelos

#### *Efecto de los tratamientos sobre las tasas de infiltración acumuladas*

En el Cuadro 5 se observa como, con excepción del tratamiento de labranza vertical con arado de cincel rígido, todos los tratamientos presentan bajas tasas de infiltración durante 1999, similares a los de la sabana nativa, situación que explicaría la alta población de malezas a través del tiempo al tener los nutrientes disponibles en los primeros centímetros del suelo.

Cuadro 5. Tasas de infiltración acumulada, en cm/hora, en tratamientos de recuperación de estructura e intensidades de labranza con rastra de disco. Finca Matazul, 1999.

Pases de Rastra acumulados	Infiltración acumulada				
	Tratamientos de recuperación de estructura				Rastra tradicional
	Cincel	No-labranza	Crotalaria	Caupí	
6	13.8 a	4.6 bcd	5.4 bc	4.3 bcde	
12	16.5 a	4.1 bcdef	6.7 b	3.9 bcdef	
24	14.7 a	3.9 bcdef	4.3 bcde	5.2 bcd	
10*					4.1 bcdef
20*					4.4 bcd
40*					4.8 bcd

Sabana nativa: infiltración de 2.1 cdef

Medias con letras iguales en la misma columna, no presentan diferencias significativas ( $P<0.05$ ) por la Prueba de Duncan

El comportamiento similar de los tratamientos con labranza anual con rastra de disco y los abonos verdes (Caupí), estaría corroborando que estas especies son mejoradoras de la parte química del suelo mas no de la parte física. El tratamiento de raíces profundas (crotalaria), presenta niveles de infiltración intermedias, especialmente en los tratamientos donde el

suelo está menos degradado, indicándonos que estos cultivos serían una buena alternativa de recuperación de suelos en la parte física. Lo anterior señala la necesidad de asociar cultivos de raíces profundas y abonos verdes para lograr un mejoramiento integral del suelo.

*Efecto de las intensidades de labranza sobre la distribución y el tamaño de los poros.*

El Cuadro 6 muestra los cambios que ocurren en la distribución del tamaño de poros cuando se incrementan las intensidades de labranza aplicada al suelo. En los primeros 0-5 cm se puede ver que la macroporosidad se incrementa de 7.8% bajo sabana nativa a valores cercanos al 20% cuando alguna intensidad (6, 12, 24) de pases de rastra fueron aplicados. La mesoporosidad también se incrementó del 12.7% a alrededor del 16% y la microporosidad disminuyó como consecuencia de la labranza.

Cuadro 6. Cambios en la distribución del tamaño de poros bajo diferentes intensidades y profundidades de labranza del suelo en Matazul, Puerto López, Colombia

Número de pases	Tamaño de poros	Profundidad del suelo (cm)		
		0-5	5-10	10-20
----- porcentaje de volumen -----				
Sabana nativa	Macro	7.8 b	11.0 ab	16.0 a
	Meso	12.7 a	9.1 a	8.8 a
	Micro	26.6 a	28.9 a	26.0 a
	Total	47.2 a	49.1 a	50.8 a
6	Macro	20.0 a	10.4 b	10.3 b
	Meso	17.6 a	16.5 a	11.5 b
	Micro	17.6 b	21.6 b	26.7 a
	Total	55.2 a	48.5 b	48.6 b
12	Macro	21.2 a	13.3 a	6.9 b
	Meso	14.1 a	16.2 a	15.1 a
	Micro	18.0 b	18.8 b	23.8 a
	Total	53.3 a	51.4 a	45.8 b
24	Macro	21.1 a	16.0 ab	10.1 b
	Meso	17.9 a	16.3 a	16.0 a
	Micro	16.3 b	19.9 a	22.1 a
	Total	55.2 a	52.3 ab	48.1 b

Medias con letras iguales en la misma fila, no presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por la Prueba de Duncan

En la segunda profundidad, 5-10 cm, hubo un incremento en la macroporosidad pero éste fue menor que en la primera capa y estuvo directamente relacionado con el número de pases. El volumen de mesoporos se incrementó con la labranza mientras que los microporos disminuyeron desde 28.9% en sabana nativa a cerca del 20% en las parcelas que recibieron labranza. En el tercer nivel, 10-20 cm, se presentó un efecto negativo de la labranza sobre el volumen de macroporos, disminuyendo desde 16% en sabana nativa hasta un 10% en las parcelas labradas. Esto muestra claramente como la labranza con rastra está causando compactación a esta profundidad. El volumen de mesoporos se incrementó y el de microporos disminuyó un poco, a medida que la intensidad de labranza fue menor. La porosidad total se incrementó en las dos primeras capas en comparación con la sabana nativa, pero disminuyó en el tercer nivel debido a los efectos de compactación por el implemento. Estos resultados sugieren que la profundidad real de enraizamiento promovida por la labranza fue solamente en los primeros 10 cm.

Lo anterior indica como la distribución del tamaño de los poros es la propiedad física más sensitiva para evaluar la influencia de la labranza sobre la permanencia de las condiciones físicas del suelo, en razón a que regula la tasa de entrada de agua al suelo y los flujos que ocurren dentro de él, lo cual estaría relacionado con la nutrición de la planta.

#### *Efecto de las intensidades de labranza sobre la resistencia a la penetrabilidad*

La resistencia del suelo a la penetración vertical durante la época húmeda se presenta en el Cuadro 7. Se observa como la sabana nativa, intensidad de labranza 0, ofrece una mayor resistencia a la penetración en todo el perfil estudiado en comparación con los tratamientos de labranza. Los agregados en la sabana nativa están fuertemente adheridos presentando una agregación muy estable entre las partículas, característica importante de los Oxisoles, mientras en los tratamientos de labranza se presenta una mayor disgregación de las partículas del suelo a consecuencia de la mecanización.

Cuadro 7. Resistencia del suelo a la penetración a diferentes profundidades por efecto de la intensidad de labranza durante la época lluviosa. Finca Matazul. 1997.

Profundidad en cm	Intensidad de labranza acumulada				Significancia P <
	0	6	12	24	
0-5	11.1 a	1.1 b	1.3 b	1.2 b	0.0001
5-10	12.2 a	5.8 b	4.5 b	4.5 b	0.0001
10-20	11.9 a	8.2 c	8.8 c	9.9 b	0.0001
20-30	11.9 a	9.6 c	10.2 bc	10.8 b	0.0002
30-40	13.2 a	11.6 a	12.3 a	12.0 a	0.34
40-50	16.3 a	13.6 b	14.8 ab	13.6 b	0.09
50-60	19.2 a	15.1 b	16.3 b	16.0 b	0.03

Medias con letras iguales en la misma fila, no presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por la Prueba de Duncan

La resistencia a la penetración es menor en la época lluviosa, ya que por acción del agua las partículas se expanden y la fuerza de cohesión disminuye ofreciendo una penetración más fácil para las raíces. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de labranza al final del período de lluvias que indican como la labranza disminuye la



resistencia a la penetración en las capas superiores del suelo (efecto directo del tratamiento) siendo su efecto temporal debido a la reorganización de partículas durante las lluvias que ocasionan compactación.

## **CONCLUSIONES**

### *PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS*

- Bajo condiciones naturales, los suelos de la Altillanura Colombiana no ofrecen un medio óptimo para el crecimiento de las raíces ni para la producción de cultivos y pasturas, por lo tanto, el mejoramiento del suelo se hace necesario.
- En todos los estudios realizados en la zona los rendimientos decrecientes comienzan a partir de la tercera labranza. Se dispone de un tiempo de dos años para corregir los limitantes naturales de la sabana y conservarlos a través del establecimiento de pasturas con raíces profundas. Posteriormente se pueden utilizar con cultivos o praderas establecidos con labranzas conservacionistas.
- Los monocultivos son opciones insostenibles para los suelos de los Llanos Orientales. Los cultivos perennes o las pasturas asociadas mejoran las tasas de infiltración de agua al suelo.

### *PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO*

- Los suelos de la Altillanura son susceptibles a degradación física, química y biológica una vez se establecen en ellos cultivos.
- El uso intensivo de maquinaria en la preparación de suelos para monocultivos reduce drásticamente las tasas de infiltración de agua como resultado de pérdida de estructura del suelo mas sellamiento de la capa superficial. Este hecho introduce al concepto de “suelos secos” en época lluviosa, común en la zona por efecto del encostramiento y sellamiento superficial del suelo luego de las labranzas.
- La consecuencia de incrementar la preparación del suelo con rastra de discos es una constante avería y reducción del tamaño de los agregados del suelo. La acción de la lluvia y la gravedad resultan en reempaquetamiento de estos agregados y consecuentemente reducción de la porosidad total y tamaño de los poros. Los cambios en macroporosidad impactan negativamente la capacidad de producir del suelo y afectan el flujo de agua, el cual a su vez afecta la disponibilidad de nutrientes.
- La recuperación de la estructura del suelo, una vez se ha perdido por altas intensidades de labranza, no se consigue en el corto plazo.
- La labranza con rastra está causando compactación en el nivel 10-20 cm de profundidad, estos resultados sugieren que la profundidad real de enraizamiento promovida por la labranza fue solamente en los primeros 10 cm.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Alvarez, A.; Lascano, C.E. 1987. Valor nutritivo de la sabana bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales* (CIAT) 9(3):9-17
- Amézquita, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. En: Romero, G.; Aristizábal, D.; Jaramillo, C. (eds). Encuentro Nacional de labranza de Conservación. Memorias. Villavicencio. Colombia. pp.145-174.
- Amézquita, E.; Londoño, H. 1997. La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. En: Silva (ed). *Suelos Diagnóstico y Control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. 137-154. *Suelos Ecuatoriales*. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. Colombia. Vol. 27 pp. 163-169
- Amézquita, E., R.J. Thomas, D.L. Molina, I.M. Rao, J.I. Sanz, L.F. Chávez, J.H. Galvis y A. Alvarez. 2000. Sostenibilidad del recurso tierra de la Orinoquía con relación a su uso actual y potencial. Estudios de procesos de degradación física de suelos y sistemas de manejo para controlarla. Informe final 1997-2000. Presentado a Instituto colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas-COLCIENCIAS, por Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, Palmira.
- Amézquita, E., L.F. Chávez, J.H. Bernal. 2002. Construcción de una “capa arable” en suelos pobres: conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Folleto con la participación de COLCIENCIAS, CIAT y CORPOICA.
- Amézquita, E., D.L. Molina, L.F. Chávez y J. Ricaurte. 2002. La construcción de una capa arable: práctica clave para la agricultura sostenible en suelos de la Altillanura Colombiana. Trabajo presentado en el II Seminario de Agrociencia y Tecnología Siglo XXI – Orinoquía Colombiana”, CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Colombia. Agosto 23-25 de 2000. 9 p.
- Cochrane , T.T.; Sánchez, L.F. 1981. Clima, paisaje y suelos de las sabanas tropicales de Suramérica. *Inverciencias* 6: 239-243
- Cochrane , T.T.; Sánchez, L.G.; Porras, J.A.; De Azevedo, L.G.; Garver, C.L. 1985. Land in Tropical América. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F., Brasil. CIAT, Cali, Colombia. V.1., 146p.
- Hoyos, P.; Silva, M.; Almanza, E.F. 1999. Impacto de diferentes usos y manejos del suelo en los cambios químicos, físicos y biológicos de la Altillanura bien drenada. 48 p.

- Lal, R. 1985. Surface soil degradation and management strategies for sustained productivity in the tropics. IBSRAM Proceedings. No 3. pp.167-177
- Mulla, D.J.; L.M. Huyck y J.P. Reganold. 1992. Temporal variation in aggregate stability on conventional and alternative farms. *Soils Science Society of America Journal* 56: 1620-1624.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 5ª edición. Traducido del portugués por Silvia Lorendegui. Buenos Aires, El Ateneo, 499 p.
- Sanchez, P.A. and J.C. Salinas. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. *Adv. Agron.* 34: 280-406
- Sanz, J.I.; Zeigler, R.S.; Sarkarung, S.; Molina, D.L.; y Rivera, M. 1999. Sistemas mejorados arroz-pasturas para sabana nativa y pasturas degradadas en suelos ácidos de América del Sur. En: Guimaraes, E.P.; Sanz, J.I.; Rao, I.M.; Amézquita, M.C. y Amézquita, E. (Eds). *Sistemas Agropastoriles en Sabanas de América Latina*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuaria- EMBRAPA. publicación CIAT No 313. pp. 232-244
- Zeigler, R.S., Toledo, J.M. 1993. Sustainable agricultural production systems for the acid soil savannas of Latin America. En: *International Symposium on Agroecology and Conservation Issues in Temperate and Tropical Regions*. 26-29 September, Padova, Italia.

## **EFFECTO DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA COMPACTADA Y DEL NIVEL DE FERTILIZACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays*) EN DOS SUELOS DE TEXTURAS CONTRASTANTES DE LA ALTILLANURA COLOMBIANA**

### **RESUMEN**

Con el propósito de caracterizar el estado físico de los suelos de la altillanura, sometidos a distintos usos y manejos (niveles de degradación), se realizó un estudio induciendo compactaciones a 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad que semejaran los efectos que ocasionarían con el tiempo el uso de implementos agrícolas y su influencia sobre el nivel de fertilización y la productividad de un cultivo como el maíz en dos suelos, uno arenoso y otro arcilloso. El suelo arenoso por presentar propiedades físicas más degradadas y menor contenido de humedad mostró ser más susceptible a compactarse que el suelo arcilloso; sin embargo, los rendimientos de maíz de 4144 a 6698 kg/ha en el suelo arenoso son mayores que en el suelo arcilloso, en el cual variaron entre 2695 y 6057 kg/ha, debido a que el mayor desarrollo radicular que se dio en el suelo arenoso permitió un mejor aprovechamiento de los fertilizantes.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los Oxisoles representan el 57% del territorio nacional, con casi 17 millones de hectáreas pertenecientes a las sabanas de los Llanos Orientales. Estos suelos están caracterizados por valores bajos de pH (4.0-4.8), alta saturación de Al (>90%) y niveles bajos de P, N y Ca disponibles para las plantas, factores que limitan la producción de estas zonas. No obstante las restricciones químicas, estos suelos poseen alto potencial de utilización agropecuaria basado en sus relativas bondades físicas. (Rangel y Thomas, 1997).

Para caracterizar y evaluar el comportamiento de los parámetros físicos de estos suelos frente a determinados usos que en ellos se puedan implementar, se realizó un estudio induciendo compactaciones a diferentes profundidades en dos suelos (arenoso y arcilloso), para determinar su efecto en el rendimiento y en el desarrollo radicular del cultivo del maíz y observar los cambios en las propiedades físicas al terminar el ciclo del cultivo.

### **2. METODOLOGÍA**

El estudio se realizó en la finca Matazul, ubicada a 40 km al oriente del Municipio de Puerto López (Meta), a 160 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 27°C y 2200 mm de precipitación. Los suelos en estudio han sido clasificados como Typic Haplustox isohipertérmico caolinítico.

Se utilizó un diseño de Bloques al Azar en cada condición textural con tres repeticiones y cinco tratamientos: suelo sin compactar (0 cm) y compactaciones a 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad. Se utilizaron parcelas experimentales de 32 m<sup>2</sup> y se aplicaron dos dosis de fertilizante, con una relación 2-1-2, como sigue:

ELEMENTO	N	P	K	Zn	B	S-Ca-Mg
Dosis alta (Kg/ha)	300	150	300	120	6	3000
Dosis baja (Kg/ha)	100	50	100	40	2	1000

Se sembró el híbrido de maíz CORPOICA H-108, a 20 cm entre plantas y 70 cm entre surcos. Se realizaron dos muestreos, uno al momento de la siembra y el otro en postcosecha.

Para compactar se extrajo totalmente el suelo de cada parcela de 32 m<sup>2</sup>, hasta la profundidad de compactación que correspondió por sorteo y se mantuvo expuesta en forma natural a las intensas lluvias durante tres semanas. Terminado el proceso se colocó el suelo nuevamente sin apisonarlo, tratando de ubicar los estratos en el mismo orden tal como fueron extraídos de cada parcela.

### 3. RESULTADOS

Para discusión las propiedades se agruparon en: volumétricas, hidrológicas, propiedades de flujo, mecánicas, distribución de raíces y rendimiento del cultivo.

#### 3.1. PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS

**3.1.1 Densidad aparente:** los valores de densidad aparente en suelo arenoso son mayores a los encontrados en suelo arcilloso, debido a que los suelos arcillosos por ser mas estructurados presentan menores valores de densidad aparente, los valores de esta variable aumentan con la profundidad, especialmente en el suelo arcilloso como se observa en la figura 1.

La densidad aparente disminuye en el volumen de suelo removido a medida que éste aumenta por encima de la capa compactada, donde los mayores valores se presentan en los tratamientos de 0 y 5 cm y los menores en los tratamientos de 10, 15 y 30 cm. Al iniciar la capa compactada la densidad se incrementa en una forma casi exponencial. Esto indica que aflojar el suelo a mayor profundidad permite el paso del agua y el aire, mejorando la porosidad y disminuyendo la densidad aparente con la profundidad. Entre épocas se observa que la densidad aparente aumenta durante el periodo de crecimiento del cultivo por encima de la capa compactada, debido al reacomodamiento del suelo, pero conserva la tendencia de valores más bajos por encima de esta capa y más altos por debajo de ella. Esto indica que el efecto residual del suelo se debe tener en cuenta para mejorar su condición física.

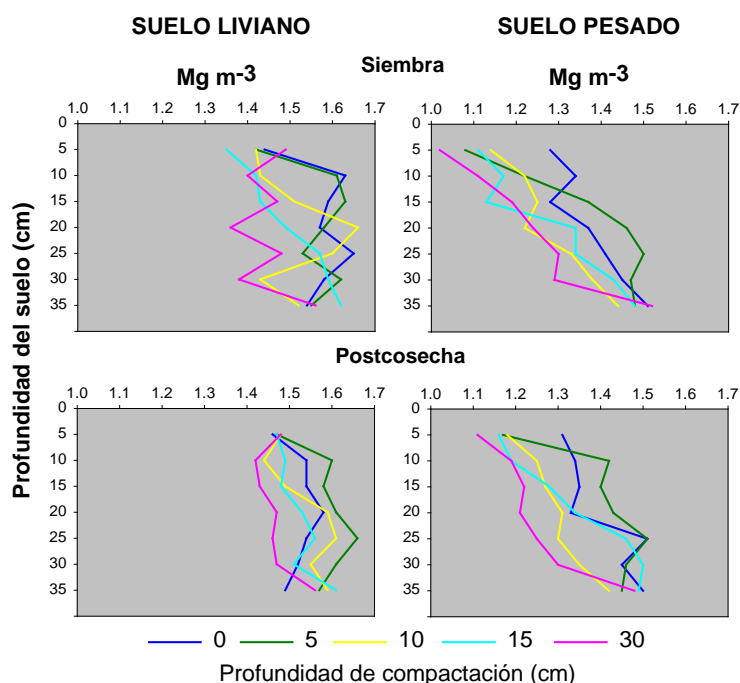


Figura 1. Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) por época, en suelo liviano y en suelo pesado, para cada tratamiento y profundidad de muestreo. Finca Matazul (Puerto López) 1999.

**3.1.2 Porosidad total:** La figura 2 muestra que la porosidad es mayor en el suelo arcilloso y que disminuye en forma apreciable con la profundidad.

El efecto de los tratamientos generó mayor porosidad por encima de la capa compactada, mientras que por debajo se redujo, al impedir ésta el paso del agua y el aire hacia estratos inferiores del suelo. Entre épocas de muestreo los suelos presentan una disminución de la porosidad para todos los tratamientos y en todo el perfil del suelo, lo que permite apreciar que el suelo trata de recobrar su condición inicial, siendo esta propiedad la que mejor muestra este comportamiento.

**3.1.3 Macroporos, mesoporos y microporos:** La figura 3 muestra que los macroporos se incrementan al aflojar el suelo y que a la vez son los más susceptibles a procesos de compactación, ya que se reducen considerablemente a partir de la profundidad del tratamiento, a diferencia de los mesoporos que no muestran cambios significativos, mientras que los microporos se reducen y en mayor proporción en los tratamientos con mayor volumen de suelo removido. Los microporos aumentan de 0 hasta 30 cm de profundidad para el tratamiento de 0 cm en el suelo arenoso, indicando que se conserva una continuidad en el espacio poroso al no ser disturbado el suelo.

A diferencia de los macroporos que tienden a disminuir con la profundidad, los microporos aumentan con la misma, encontrándose los menores valores por encima de la capa compactada y los mayores por debajo de ésta. Estos resultados muestran que el incremento logrado en macroporos en el volumen de suelo aflojado va en detrimento de los microporos.

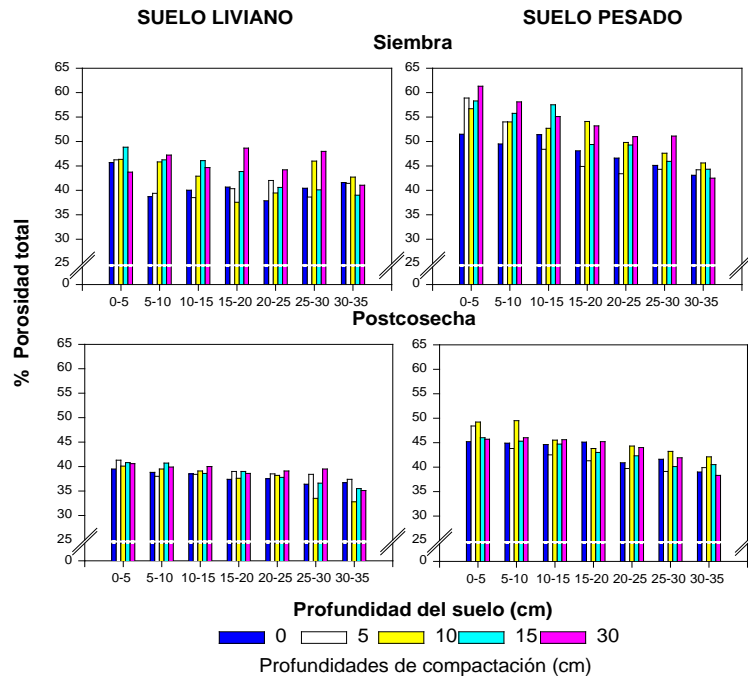


Figura 2. Porosidad total (%), que presentan los suelos liviano y pesado, según época, profundidad de compactación y de muestreo. Finca Matazul (Puerto López) 1999.

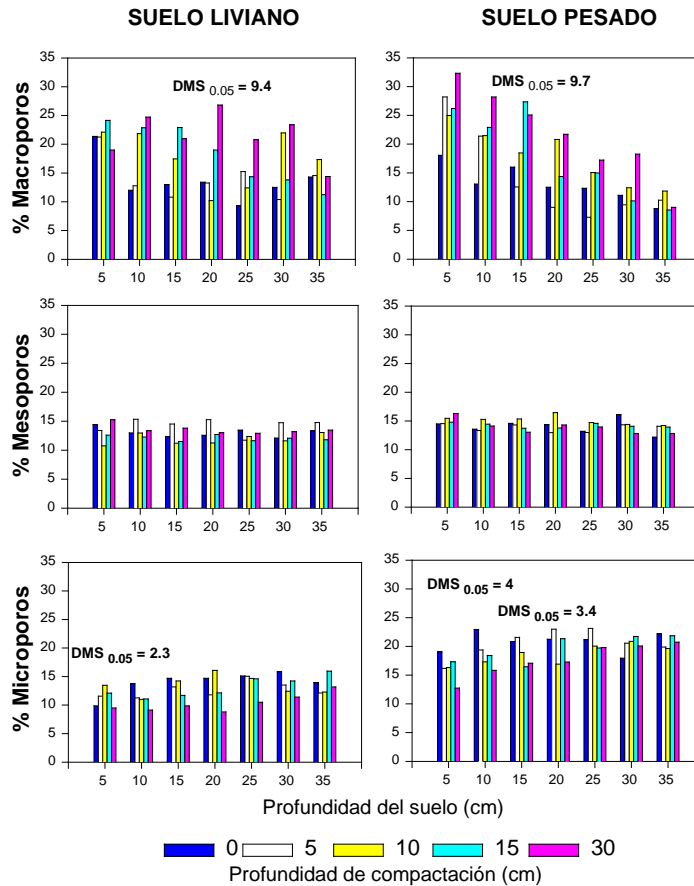


Figura 3. Distribución del tamaño de los poros (%) en suelo liviano y en suelo pesado, por profundidad de compactación y de muestreo. Siembra. Finca Matazul 1999.

La mayor diferencia entre los suelos está dada por el porcentaje de microporos, los cuales son considerablemente mayores en el suelo pesado.

En ambos suelos se observa que en el tratamiento de 0 cm son los microporos los que contribuyen en un mayor porcentaje a la porosidad total, confirmando que los suelos en su condición inicial ya presentan cierto grado de adensamiento.

### 3.2 PROPIEDADES HIDROLÓGICAS

**3.2.1 Humedad gravimétrica:** el suelo liviano presenta menores valores de humedad gravimétrica que el suelo pesado, debido a que el mayor porcentaje de porosidad que tiene el suelo pesado, especialmente de microporos, le permite tener una mayor capacidad de retención de humedad como se observa en la figura 4. La humedad aumenta ligeramente con la profundidad en el suelo arenoso, efecto que se observa mejor en postcosecha, debido a que el contenido de humedad del suelo disminuyó a causa de la época de muestreo, dejando ver que el proceso de secamiento para este suelo se da con mayor rapidez en las capas superiores, al drenar el agua con mayor facilidad hacia estratos inferiores.

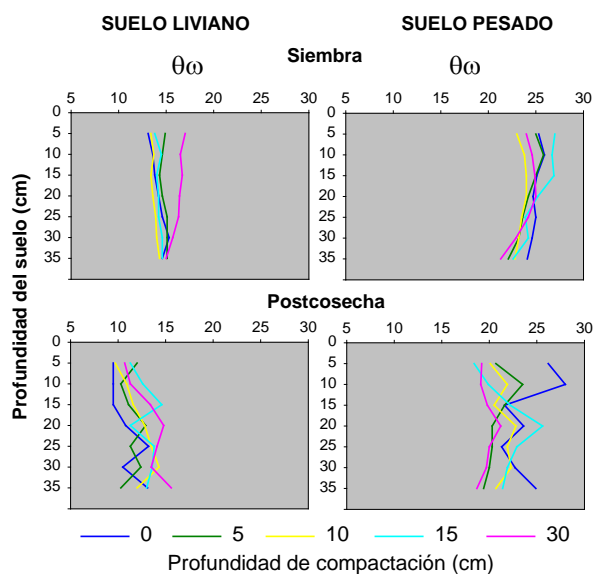


Figura 4. Humedad gravimétrica ( $\theta_w$ ) en suelo liviano y en suelo pesado, por época, tratamiento y profundidad de muestreo. Finca Matazul (Puerto López) 1999.

El suelo pesado también registra una disminución de la humedad en postcosecha, pero a diferencia del suelo anterior la humedad tiende a disminuir con la profundidad, lo cual indica que en este suelo las pérdidas por evaporación son menores y que retiene mayor cantidad de agua contra la gravedad.

**3.2.2 Agua disponible en forma volumétrica (%):** el suelo arenoso presenta menor porcentaje de agua disponible que el suelo arcilloso como se observa en la figura 5.



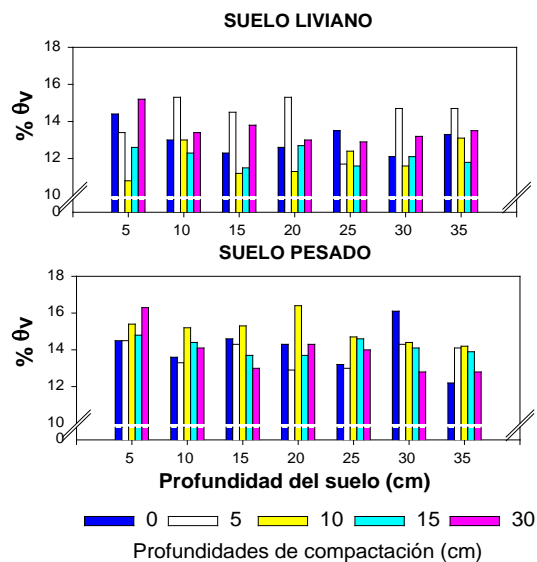


Figura 5. Agua disponible en forma volumétrica (%  $\theta_v$ ) en dos suelos (liviano y pesado), por tratamiento y profundidad del suelo. Época de siembra. Finca Matazul 1999.

El tratamiento de 5 cm presenta el mayor porcentaje de agua disponible en el suelo arenoso, siendo mayores los valores por debajo de la capa compactada, indicando que ésta impidió que se dieran pérdidas de agua por evaporación. Mientras que en el suelo pesado el mayor contenido de agua disponible lo presenta el tratamiento de 10 cm, porque en este tratamiento se dieron menos pérdidas de agua por evaporación, comparado con el mismo tratamiento en el suelo anterior.

### 3.3 PROPIEDADES DE FLUJO

**3.3.1 Conductividad hidráulica saturada:** la figura 6 muestra que la conductividad es mayor por encima de la capa compactada y que se reduce considerablemente por debajo de ésta. Indicando que el aflojamiento del suelo acelera el movimiento del agua y que la capa compactada limita su paso a través del perfil.

La conductividad aumenta proporcionalmente en los tratamientos con mayor volumen de suelo removido, indicando que el agua fluye con mayor facilidad dentro del perfil una vez éste ha sido aflojado. En postcosecha la conductividad se reduce en forma significativa en ambos suelos, mostrando que es una de las propiedades que se ve más afectada por el reacondicionamiento del suelo.

**3.3.2 Infiltración acumulada:** en siembra el suelo arenoso presenta mayor infiltración en los tratamientos de 0 y 30 cm, mientras que para los tratamientos de 5, 10 y 15 cm la infiltración es mayor en el suelo pesado. Esto permite apreciar que el suelo arenoso tiene mayor capacidad de infiltración una vez ha sido aflojado. En postcosecha, se sigue observando el efecto de los tratamientos. Esto muestra que los suelos conservan en parte sus propiedades, pero además, el suelo liviano incrementa la infiltración en los tratamientos de 10, 15 y 30 cm, debido a que el mayor desarrollo de raíces contribuye a mantener el aflojamiento del suelo, permitiendo así una mayor infiltración. El efecto

contrario se observa en el suelo pesado en el cual se reduce la infiltración, debido al menor desarrollo de raíces que se da en este suelo (Figura 7).

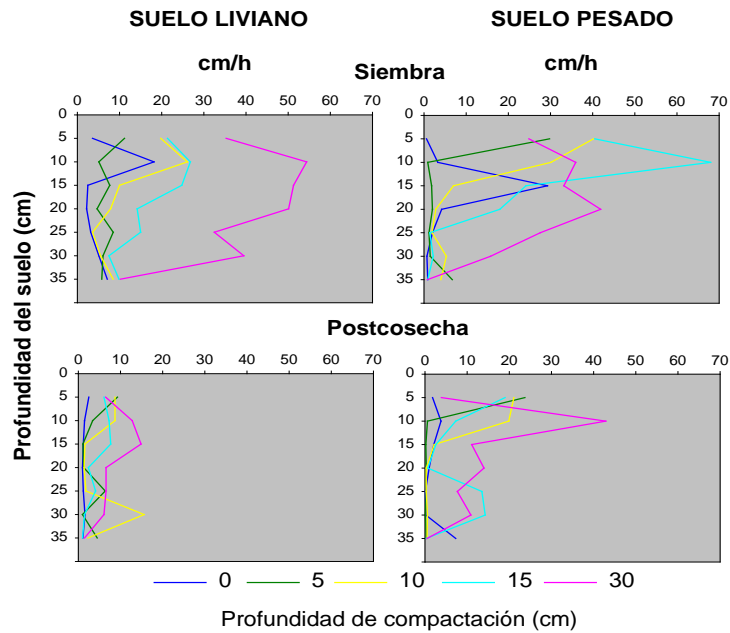


Figura 6. Conductividad hidráulica saturada (cm/h) en suelo liviano y en suelo pesado, por época, tratamiento y profundidad del suelo. Finca Matazul (Puerto López) 1999.

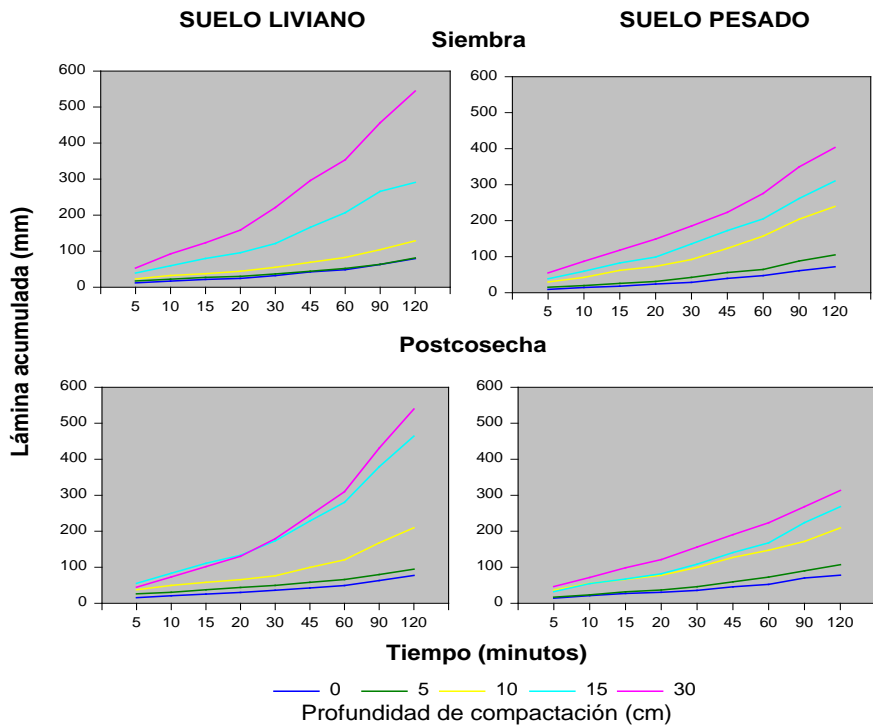


Figura 7. Infiltración acumulada (mm) en suelo liviano y en suelo pesado, por época y tratamiento. Finca Matazul 1999.

**3.3.4 Permeabilidad al aire:** la permeabilidad es mayor en suelo arcilloso como se aprecia en la figura 8, indicando que esta propiedad está en relación directa con el espacio poroso del suelo. La permeabilidad se incrementa en el volumen de suelo aflojado, mejorando la oxigenación de las raíces, en comparación con el tratamiento de 0 cm que es el menos permeable al aire. En postcosecha se incrementa la permeabilidad al aire, debido a que para esta época, el suelo reporta menor contenido de humedad, lo que favorece el incremento de esta propiedad.

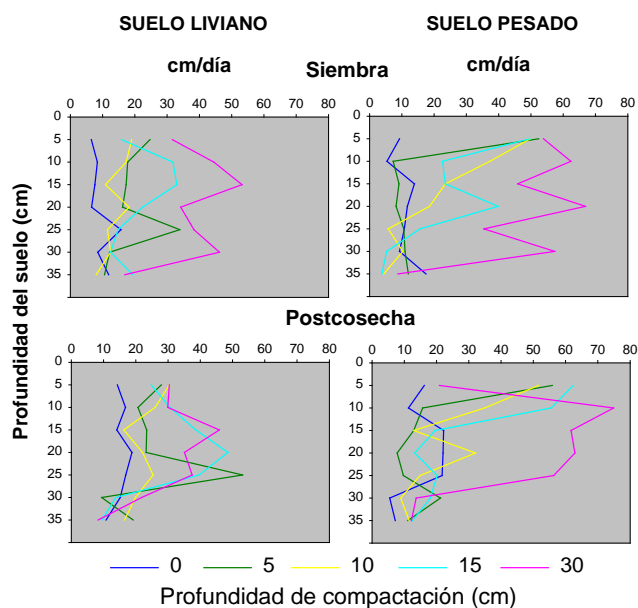


Figura 8. Permeabilidad al aire (cm/día) en suelo liviano y en suelo pesado, por tratamiento, época y profundidad del suelo. Finca Matazul 1999.

### 3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

**3.4.1 Resistencia tangencial al corte horizontal:** el suelo arenoso opuso menor resistencia al corte que el suelo arcilloso, debido a su menor contenido de humedad. La resistencia al corte aumenta con la profundidad en el suelo para todos los tratamientos como se observa en la figura 9, siendo el tratamiento de 0 cm el que opuso la mayor resistencia en los primeros 10 cm de profundidad en ambos suelos y en ambas épocas. En postcosecha el efecto de los tratamientos continúa expresándose, mostrando que el suelo presenta cierto grado de estabilidad. El tratamiento de 0 cm, que representa la resistencia de los suelos en su estado inicial, presenta un nivel medio de resistencia hasta 20 cm de profundidad para el suelo liviano y un nivel alto de resistencia hasta 20 cm de profundidad para el suelo pesado.

**3.4.2 Resistencia a la penetración:** el suelo liviano opone mayor resistencia a la penetración que el suelo pesado, debido a su menor contenido de humedad como lo muestra la figura 10. En el tratamiento de 0 cm en el suelo arenoso la resistencia aumenta hasta 20 cm de profundidad y luego disminuye, comparado con el suelo pesado, donde para el mismo tratamiento aumenta con la profundidad hasta 35 cm, posiblemente porque

en el suelo arenoso la humedad es menor en las capas superficiales, a diferencia del suelo pesado, en el cual disminuye con la profundidad. La resistencia aumenta al iniciarse la capa compactada a 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad, en comparación con la que se presenta por encima, ya que por haber removido el suelo las partículas se encuentran disgregadas ofreciendo así una menor resistencia.

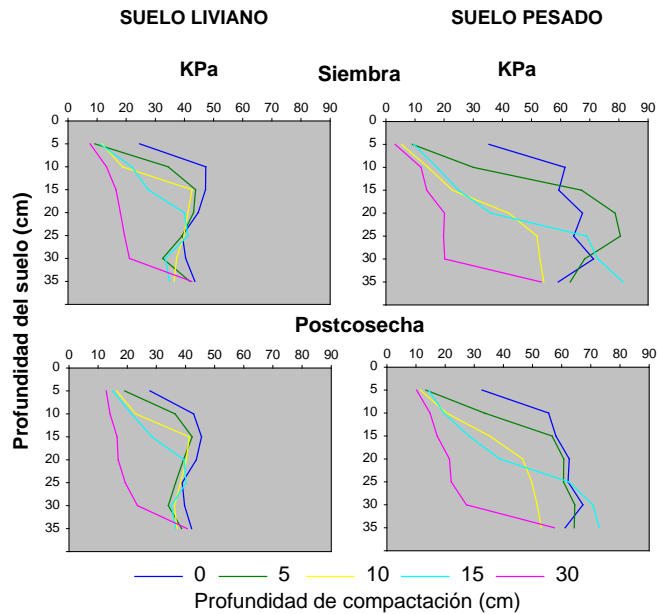


Figura 9. Resistencia al corte (KPa) que opuso el suelo liviano y el suelo pesado, según época, tratamiento y profundidad del suelo. Finca Matazul 1999.

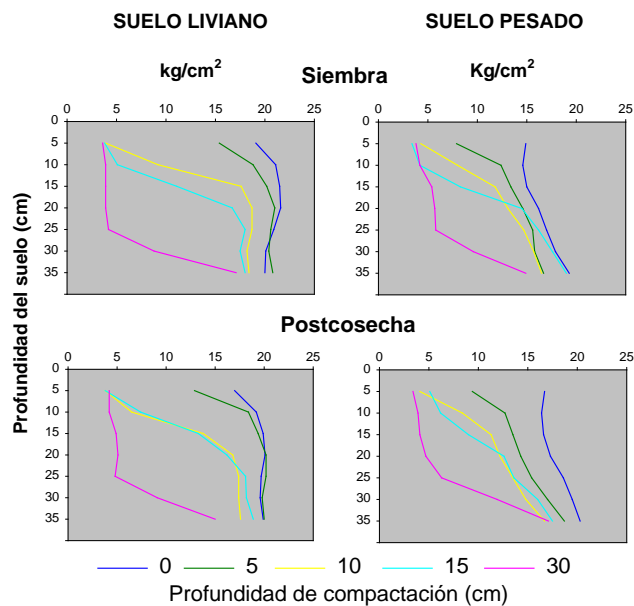


Figura 10. Resistencia a la penetración (Kg/cm<sup>2</sup>) en dos suelos (liviano y pesado), por tratamiento, época y profundidad del suelo. Finca Matazul 1999.

El efecto de los tratamientos se sigue observando en postcosecha. Esto sugiere que en cuatro meses no se logra reacomodar el suelo en su totalidad aun siendo pequeño el volumen de suelo removido (5 cm). Los valores de resistencia a la penetración que presenta la sabana hasta 20 cm de profundidad se deben interpretar como limitantes para el desarrollo radicular.

**3.4.3 Susceptibilidad a la compactación:** el suelo arenoso presenta mayor susceptibilidad a la compactación que el suelo arcilloso. En el primero los valores fluctuaron entre 83.2 y 94.6%. En el segundo, entre 74.5 y 90.9%. Estos resultados muestran el mayor grado de mineralización que presenta el suelo arenoso.

### **3.5 RAÍCES**

El suelo arenoso presenta mayor desarrollo de raíces para los dos niveles de fertilización que el suelo pesado, debido a que las raíces profundizaron más en este suelo al estar las capas menos endurecidas, como se observó en los valores de resistencia tangencial al corte. La mayor concentración de raíces se dio por encima de la capa compactada, mostrando que el aflojamiento del suelo crea un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces y a la vez que la capa compactada a 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad actúa como una barrera física que les limita el crecimiento y la exploración de un mayor volumen de suelo.

### **3.6 RENDIMIENTO**

El rendimiento fue mayor en el suelo arenoso en ambas fertilizaciones, debido a que el mayor desarrollo radicular que se dio en este suelo permitió un mejor aprovechamiento de los fertilizantes. En ambos suelos el rendimiento fue mayor con el nivel alto de fertilización y menor con el nivel bajo de fertilización. Esto muestra que el suelo presenta un nivel muy bajo de fertilidad y que el híbrido de maíz expresó su potencial de rendimiento con el nivel alto de fertilización, mientras que con el nivel bajo de fertilización las plantas se vieron limitadas en su crecimiento.

## **4. CONCLUSIONES**

En cuanto a rendimiento de maíz no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para el suelo arenoso, mientras que para el suelo arcilloso el análisis muestra diferencias significativas, siendo los tratamientos de 5 y 30 cm de compactación los que ejercen los efectos más negativos.

Los contenidos de humedad que presentan los suelos están muy relacionados con sus propiedades físicas y en especial con la distribución del tamaño de los poros, debido a que el mayor porcentaje de microporos que presenta el suelo arcilloso le permite tener una mayor capacidad de retención de humedad. Estos contenidos de humedad influyen en la resistencia que oponen los suelos al corte tangencial y a la penetración.

Al aflojar los suelos se mejoraron sus propiedades físicas, creando un mejor ambiente para el desarrollo radicular y esto se observa en la distribución de los poros por tamaño, ya que

los suelos en su condición natural presentan mayor porcentaje de microporos y al remover el suelo son estos los que más se disminuyen al aumentar el porcentaje de macroporos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AMÉZQUITA, E. Las Propiedades Físicas y el Manejo Productivo de los suelos. En: Memorias del seminario Fertilidad de suelos Diagnóstico y Control. 1994. S.C.C.S. 137, 147 p.

----- y LONDOÑO, H. La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. En: Suelos Ecuatoriales. Bogotá. Vol. 27, S.C.C.S. 1997; p. 164.

BAVER, L. Y GADNER, W. Física de suelos. México: Uteha, 1972. 529 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Sistemas Agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina. Cali: CIAT, 1999. 253 p.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. CORPOICA H-108. Primer híbrido de Maíz en Colombia para Suelos Ácidos de la Altillanura Plana. Villavicencio: 2000. Plegable divulgativo No. 17.

IWATA, S.; TABUCHI, T. y WARKENTIN, B. P. Soil-water interactions. Mechanisms and applications. Marcel De Kker, Inc. New York: 1988.

MONTENEGRO, H. y MALAGÓN D. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: IGAC Subdirección Agrológica, 1990. 813 p.

NARRO, E. Física de suelos con enfoque agrícola. México: Trillas, 1994. 56 p.

RANGEL, A.; THOMAS, R.; MADERO, E.; LAVELLE, P.; FRIESEN, D.; JIMÉNEZ, J.J.; DECAENS, T. Y AMÉZQUITA E. Efecto de la lombriz de tierra *Martiodrilus Carimaguensis* sp. Nov. en la dinámica del nitrógeno de un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia. En: Suelos Ecuatoriales. Bogotá. Vol. 27, S.C.C.S. 1997; p. 235-236.



**CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN PRADERAS DE (*Brachiaria decumbens*) CON DIFERENTES ESTADOS DE DEGRADACIÓN Y BAJO CONDICIONES TEXTURALES CONTRASTANTES EN SUELOS DE LA ALTILLANURA PLANA COLOMBIANA**

**RESUMEN**

El objetivo de este estudio es conocer que propiedades físicas dentro del perfil del suelo se presentan en praderas degradadas y no degradadas de *Brachiaria decumbens* bajo condiciones texturales contrastantes y cuales pueden estar influyendo directa e indirectamente en la degradación de las praderas, tomando la degradación como suelo descubierto, malezas, plagas y por consiguiente baja producción de forraje. La Orinoquía Colombiana cuenta con un alto número de hectáreas cubiertas de *Brachiaria decumbens*. Más exactamente el Meta consta con un área aproximada de 1.306.000 ha de pasturas de *Brachiaria decumbens* y más de 172.000 ha degradadas, lo que indica la gravedad de este problema y el efecto que está causando económicamente en los ganaderos de la región.

Para la realización del estudio se seleccionaron dos fincas en el área de Puerto López, con suelos de texturas contrastantes y praderas de *Brachiaria decumbens* en diferentes estados de degradación. En cada finca se localizó un área de una hectárea, en la cual se evaluó en forma de cuadrículas de 10x10 m los diferentes estados de degradación de la pradera en términos de biomasa, cobertura e incidencia de malezas de tal forma que permitiera hacer un mapa de degradación. Una vez logrado el mapa se determinó las cinco cuadrículas menos degradadas y las cinco mas degradadas para localizar las respectivas unidades de muestreo de 10 m x 10 m.

En la mayoría de los casos hubo definición significativa, siempre se observó la tendencia de que las praderas degradadas tenían propiedades físicas más desfavorables para el desarrollo de cualquier cultivo, y aunque las no degradadas tenían grandes dificultades físicas estaban en menor proporción a las anteriores.

## **1. INTRODUCCION**

La región de los Llanos Orientales de Colombia, representa a las tierras localizadas al este de la cordillera oriental entre los 2° 30' y 7° de latitud norte y entre los 67° y 74' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Cubre una extensión aproximada de 25'433.000 ha. Equivalente al 22.3% del área nacional. El 60% de los llanos colombianos esta cubierto por gramíneas naturales y un 30.4% por bosques.

En términos generales la vegetación de la altillanura plana esta compuesta por un 30% de gramíneas (Poaceae) y 15% por leguminosas. Entre las especies dominantes esta *Trachypogon plumosus*, *Andropogon leucostachyus*, *Paspalum carinatum*, *Leptocoryphium lanatum*, *Rhynchospora continis*, *Bulbostylis paradoxa* y *Andropogon bicornis*; que se distribuyen en diferentes proporciones de acuerdo a los gradientes topográficos y humedad del suelo.



Desde el punto de vista biogeográfico y ecológico de la Orinoquia colombiana se divide en cinco grandes paisajes geomorfológicos a saber: Piedemonte, Bajillanura (Orinoquia mal drenada), Altillanura (Orinoquia bien drenada), Planicies disectadas boscosas y Sierra de la Macarena.

La altillanura, (Orinoquia bien drenada) es el paisaje de mayor área (9'873.000 ha) y el más heterogéneo en términos de relieve. Comprendiendo los siguientes subpaisajes: Altillanura poco disectada (plana y ondulada), Altillanura disectada y del escudo guayanés.

La altillanura plana ocupa el 35% del área. La mayor parte de esta zona esta dedicada a la cría extensiva de ganado cebú, en diferentes cruzamientos con razas criollas. En su gran mayoría dedicada a la producción de carne.

La baja calidad de las pasturas nativas, hace que la productividad también sea baja, por lo que se ha incrementado el uso masivo de pastos mejorados como *Brachiaria decumbens*, *B. humidicola*, *B. dactyloides*. En relación con las pasturas introducidas, el ICA (1988), estima un área de 563.300 ha en *Brachiaria* para el departamento del Meta. Esta cifra aumenta a 761.228 ha en 1992, de las cuales 125.307 ha correspondían a la altillanura (URPA, 1993). Se estima para 1995 que el área sembrada en pasturas en Puerto López y Puerto Gaitan es de 670.000 ha (Cadavid,1995) lo que daría un área estimada de 1'306.000 ha de pasturas de *Brachiaria* en el Departamento del Meta. Se ha estimado que más de 172.000 ha de pasto en la altillanura (25.7% de las praderas) están en alto nivel de degradación debido al mal manejo que les han dado los ganaderos.

Esta investigación se realizó con el fin de analizar que propiedades físicas del suelo están influyendo directa o indirectamente en la degradación de las pasturas mejoradas de *Brachiaria decumbens*.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 LOCALIZACIÓN**

El estudio se realizó en la finca Matazul, ubicada a 40 Km al oriente del Municipio de Puerto López en el departamento del Meta (Colombia). La finca está localizada a 4° 19' norte y 72° 39' oeste; a 160 m.s.n.m.; con una temperatura promedio anual de 27°C y 2200 mm de precipitación.

La región corresponde al ecosistema de sabana isopertermica bien drenada, y un suelo denominado taxonómicamente Haplustox típico (típico caolinitico isopertermico bien drenado).

El área experimental correspondió a dos hectáreas cada una ubicada en una zona de mayor y menor degradación de pasturas de *Brachiaria decumbens* respectivamente. Una hectárea en una textura franco-arcillosa y la otra en una textura franco-arenosa, y en cada una de éstas se ubica media hectárea para praderas degradadas y media para no degradadas. En la media hectárea se hizo una cuadrícula de 10 x 10 m y se evaluó las 5 más degradadas y las 5 en mejor estado. En cada unidad de muestreo (10 m x 10 m) se tomaron muestras volumétricas a las siguientes profundidades (cm): 0-5, 5-10, 10-15,

15-20, 20-30 y 30-40, para determinar densidad aparente, porosidad total, conductividad hidráulica, permeabilidad al aire y humedad del suelo (gravimétrica, volumétrica), susceptibilidad a la compactación, para distribución de agregados se tomó muestras de 0-2.5 y de 2.5-5 cm de profundidad. Además se realizó prueba de infiltración, muestreo de raíces con barreno y monolito, análisis de pH, Al, Ca, P, Mg, K, S y MO, también se hizo la prueba de aceptación de lluvias.

Se utilizó un diseño descriptivo; cada unidad experimental tenía un área de 5000 m<sup>2</sup> (50 m x 100 m) la cual representaba los diferentes estados de degradación de la pradera. En cada finca se localizó un área de una hectárea, para determinar el área de muestreo se evaluó en forma de cuadrículas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) los diferentes estados de degradación de la pradera en términos de biomasa, cobertura e incidencia de malezas de tal forma que permitiera hacer un mapa de degradación. Una vez logrado el mapa se determinó las cinco cuadrículas menos degradadas y las cinco mas degradadas para localizar las respectivas unidades de muestreo de 10 m x 10 m.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Distribución de Agregados**

En el suelo pesado (franco-arcilloso) se encontró mayor cantidad de microagregados (1.0-0.125 mm) en la profundidad de 0–2.5 cm (Tabla 1). Los agregados de este tamaño representaron el 56% en la pradera de alta producción y el 61% en la de baja producción. Esto indica que en este suelo más de la mitad de sus agregados son inferiores a 1 mm, lo cual es una manifestación del grado de degradación que tiene cuando es sometido a una mecanización intensiva. Es importante citar que solo un 22% y 19% de los agregados de este suelo se presenta en los tamaños 1-4 mm o mesoagregados y el 19% y 13% como macroagregados (>6.3 m) para praderas de alta y baja producción respectivamente, como lo indica la Tabla 1.

Aunque una pradera posea mejor capacidad de producción de forraje que la otra, no se puede afirmar de acuerdo con los resultados obtenidos, que la estructura sola determina esta diferencia, puesto que no se encontraron diferencias estadísticas entre los dos estados de degradación ( $P \leq 0.05$ ).

En la profundidad de 2.5 a 5 cm el porcentaje de macroagregados fue mayor que para la primera profundidad en los dos suelos. Esto, tiene implicaciones en el comportamiento físico del mismo respecto a procesos de ingreso de agua y aire al suelo y afectan el desarrollo de las raíces. Por otro lado, esta segunda profundidad está protegida del impacto directo de las gotas, por la capa mas superficial.

Este comportamiento de los agregados, que son los que más influyen la porosidad del suelo, explican el por qué un suelo liviano (con alto contenido de arena) puede llegar a inundarse, caso que ocurre frecuentemente en la Altillanura. Se observa además, que a mayor profundidad los porcentajes de microagregados disminuyen. El otro aspecto a considerar en la baja producción de forraje es la estabilidad de los agregados. El comportamiento de los agregados para los suelos no mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), en cuanto a los estados de alta y baja producción de forraje (Tabla 1).

**TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS (%) A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN PASTURA DE *BRACHIARIA DECUMBENS* EN DIFERENTES ESTADOS DE PRODUCTIVIDAD EN DOS SUELOS CON TEXTURAS CONTRASTANTES DE LA ALTILLANURA COLOMBIANA.**

Prof (cm)	Clase de agregados	Tamaño (cm)	CFranco			Prob	Pastura degradada	Pastura no-degradada	Prob
			Pastura degradada	Pastura No-degradada					
			%	%					
0-2.5	Macro	>6.3	13.42	13.08	0.8830	4.14	6.57	0.2559	
		6.3-4.0	13.93	11.02	0.0664	8.55	12.33	0.2125	
	Meso	4.0-2.0	14.50	14.58	0.9197	9.50	12.99	0.2455	
		2.0-1.0	12.96	13.00	0.9483	9.17	9.42	0.8860	
	Micro	1.0-0.25	18.44	19.38	0.3143	16.26	16.21	0.9668	
		1.0-0.5	11.83	13.01	0.0488	18.02	16.04	0.4301	
		0.25-0.125	9.46	10.00	0.0572	22.67	18.38	0.1774	
		0.125	5.42	5.90	0.2106	4.15	5.56	0.7428	
		<0.125							
	2.5-5.0	Macro	>6.3	14.30	14.66	0.9020	8.16	5.99	0.6865
6.3-4.0			13.66	13.88	0.8918	12.60	12.12	0.8047	
Meso		4.0-2.0	14.58	15.08	0.6018	11.07	12.35	0.5836	
		2.0-1.0	14.70	13.33	0.4844	8.99	9.45	0.7790	
Micro		1.0-0.25	17.10	18.68	0.4037	16.18	16.56	0.8073	
		1.0-0.5	11.28	11.22	0.9116	16.06	16.18	0.9711	
		0.25-0.125	8.35	8.54	0.8013	19.31	18.34	0.8439	
		0.125	5.69	4.58	0.5103	3.00	1.48	0.4127	
		<0.125							

### 3.2 Resistencia tangencial al corte

Esta propiedad mide la resistencia que ofrece el suelo a ser cortado y está asociada a la facilidad o dificultad con que pueden penetrar las raíces. Depende de la densidad aparente y de la porosidad del suelo. Aunque no se presentan diferencias significativas, la tendencia es de valores altos a todas las profundidades. Valores por encima de 40 kPa, indican dificultades para el desarrollo de las raíces. En el suelo franco-arcillo-arenoso se presentan los valores más altos, siendo mayores los de la pradera no degradada y los menores en el suelo franco-arcilloso, siendo también mayores los de la pradera no degradada. De acuerdo a los niveles críticos señalados por Amézquita (comunicación personal), valores superiores a 40 kPa ya son limitantes para un buen desarrollo de raíces, los valores encontrados superan este nivel crítico en el suelo franco-arcillo-arenoso, excepto en los primeros 5 cm de profundidad en la pradera degradada. Esto muestra que en el suelo más arenoso hay un mayor reempaquetamiento del suelo y que presenta más limitantes que el otro para el crecimiento de raíces. Los valores menores en los primeros 5 cm muestran que las raíces están más concentradas entre 0 y 5 cm de profundidad, estando por lo tanto, sujetas a fuertes deficiencias de agua durante los períodos de sequía.

La figura 1 muestra que la mayor resistencia a la ruptura en ambos suelos y en los dos tipos de praderas se presenta a los 10 cm de profundidad, indicando la presencia de una capa compactada por utilizar las rastras siempre a las mismas profundidades, de esta profundidad en adelante la resistencia tiende a disminuir. Los valores más bajos ocurren entre 0 y 5 cm de profundidad coincidiendo con una mayor concentración de raíces. Comparativamente se presentan mayores valores en el suelo más liviano, indicando, que en este suelo hay mayor reempaquetamiento como consecuencia de menor estabilidad estructural.

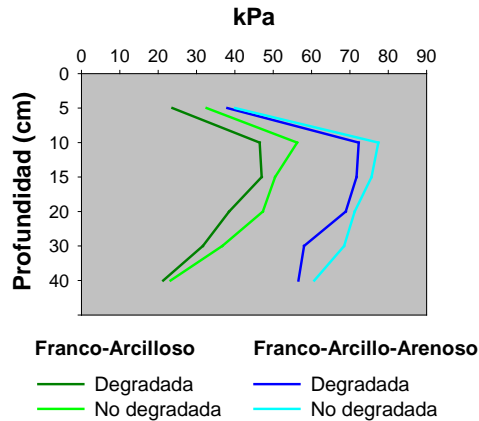


Figura 1. Resistencia tangencial al corte (kPa) en dos suelos con praderas de *Brachiaria decumbens* en diferentes estados de productividad.

### 3.3 Penetrometría

En la figura 2 se presentan los valores obtenidos en suelo franco-arcilloso (FAR) y en suelo franco-arcillo-arenoso (FARa) a diferentes profundidades. Bajo condiciones de suelo húmedo, se observa que la pradera degradada (D) presenta valores superiores de penetrabilidad a la no degradada (ND) en el suelo franco-arcilloso-arenoso en todo el perfil del suelo, mientras que en el suelo franco-arcilloso, los valores son mayores solo hasta 20 cm de profundidad y bajo condiciones naturales, suelo a humedad de campo, en los dos suelos es mayor la resistencia en la pradera no degradada que en la degradada. Los mayores valores de resistencia en las praderas degradadas son un indicativo de que la penetrabilidad puede ser una propiedad útil para identificar cambios físicos que indiquen degradación del suelo.

Cuando las mediciones se hicieron después de hacer las pruebas de aceptación de lluvias, lo cual implicaba mojar el suelo (suelo húmedo), la degradada mostró valores más altos que la no degradada, lo cual corrobora que la penetrabilidad influye en el desarrollo de las raíces y por lo tanto, la productividad de las praderas.

Aunque se observa una tendencia a que las praderas de baja producción (D) en suelos más arenosos ofrezcan mayor resistencia, la diferencia no es significativa para la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) en los primeros 40 cm de profundidad, pero a partir de los 42.5 cm hasta los 50 cm hay diferencia altamente significativa. Esto debido a que los suelos con praderas de baja producción tienen menor porcentaje de humedad.

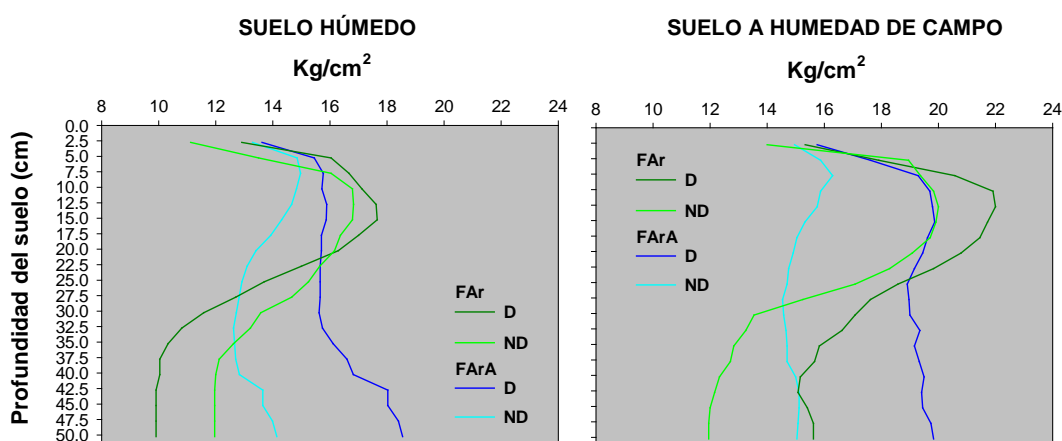


Figura 2. Variación de la resistencia a la penetración ( $\text{Kg/cm}^2$ ) a diferentes profundidades en pastura de *Brachiaria decumbens* en diferentes estados de productividad en suelos con textura franco-arcillosa y franco-arcillo-arenosa, media hora después de la prueba de aceptación de lluvia en la Altillanura.

### 3.4 Densidad aparente

En la figura 3 se observa que en suelo franco-arcilloso la densidad es mayor en la pradera degradada, mostrando diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre praderas de alta y baja productividad a 30 cm de profundidad. Esto corrobora el mayor reacondicionamiento del suelo que ha tenido la pradera degradada. La menor densidad aparente se encontró entre los 0 y 2.5 cm y la mayor entre los 30 y 40 cm de profundidad en los dos tipos de praderas, indicando que ésta propiedad aumenta con la profundidad especialmente en esta textura .

En general la densidad aparente fue mayor en praderas de baja productividad (degradadas). En textura gruesa (suelo más arenoso) la mayor densidad aparente se presenta a los 10 cm de profundidad, indicando que esta propiedad también muestra el efecto de compactación por el uso de rastras.

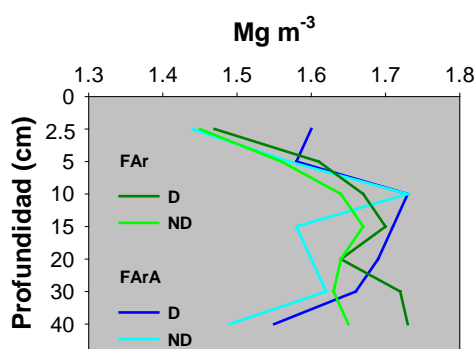


Figura 3. Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) a diferentes profundidades en dos suelos con praderas de *Brachiaria decumbens* en diferentes estados de productividad.

En la profundidad de 0–2.5 cm los valores para los dos estados de productividad y en las dos texturas, fueron similares a los reportados para la sabana nativa ( $1.5 \text{ Mg m}^{-3}$ ) lo cual, de acuerdo con otras investigaciones realizadas en la zona, indica el alto grado de

susceptibilidad de estos suelos a degradarse superficialmente si no se utilizan técnicas adecuadas para su preparación y manejo.

Se observa que hay tendencia a menores valores de densidad aparente en las praderas de alta productividad para las dos texturas en los dos primeros niveles de suelo, indicando la presencia de raíces. Los valores de densidad aparente encontrados son altos para cualquier tipo de cultivo. Valores adecuados de densidad deberían estar entre 1.2 a 1.3 Mg m<sup>-3</sup>.

### 3.5 Porosidad Total

La figura 4 muestra el comportamiento de la porosidad total a diferentes profundidades en praderas de alta y baja productividad en texturas livianas y pesadas. Todos los valores son bajos y se puede considerar que ninguno de los suelos tiene buenas características edafológicas para el desarrollo de las raíces de las plantas.

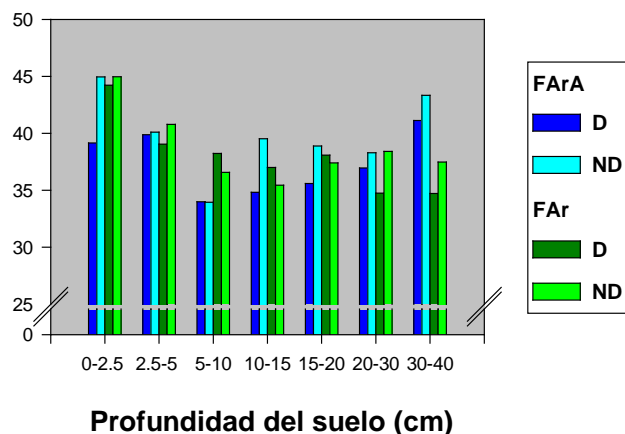


Figura 4. Porosidad total (%) a diferentes profundidades en suelo franco-arcillo-arenoso y en suelo franco-arcilloso en praderas de *Brachiaria decumbens* en diferentes estados de productividad.

En textura fina, el porcentaje de porosidad total disminuye con la profundidad, presentándose un ligero aumento entre los 15–20 cm. Los valores fueron menores en praderas de baja productividad. La mayor porosidad se presentó entre los 0 y 2.5 cm y la menor en los 30–40 cm de profundidad.

En praderas de alta productividad, en textura gruesa, la mayor porosidad (44.95%) se encontró entre los 0-2.5 cm, mientras que a esa misma profundidad en praderas de baja productividad el porcentaje fue inferior 39.5%, lo cual muestra que la capa superficial en las praderas degradadas de este suelo son menos permeables.

En suelos de textura más arcillosa la mayor porosidad ocurrió en la primera profundidad y fue más o menos similar en ambos estados de degradación. La disminución de los valores con la profundidad y los bajos porcentajes encontrados, son razón suficiente para afirmar que estos suelos tienen serias restricciones para el crecimiento de las raíces y que no son funcionales en su estado actual para las plantas.

El comportamiento de la porosidad es diferente en los dos tipos de texturas, ya que ésta disminuye con la profundidad en el suelo más arcilloso y en el más arenoso aumenta, este comportamiento de la porosidad influye en los contenidos de humedad de los suelos.

### 3.6 Porcentaje de humedad volumétrica

El análisis no muestra diferencias significativas entre praderas de alta y baja productividad en los suelos, sin embargo en la figura 5 se observa que las praderas degradadas (D) retienen menor porcentaje de humedad que las no degradadas (ND) de 0 a 2.5 y de 2.5 a 5 cm de profundidad. Lo cual indica que la humedad influye en la productividad de las praderas y puede considerarse un buen indicador de estados de producción. Esta propiedad está muy relacionada con la densidad aparente y la porosidad total que presentan los suelos a las mismas profundidades.

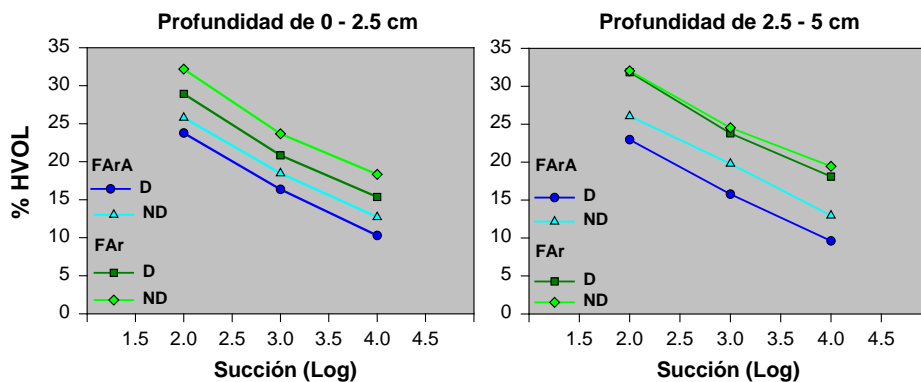


Figura 5. Humedad volumétrica (%) en suelo franco-arcilloso (FAr) y en suelo franco arcillo-arenoso (FArA) a dos profundidades en pastura de *Brachiaria decumbens* en diferentes estados de productividad.

Entre texturas se presenta mayor humedad volumétrica en praderas de textura fina, que en praderas de textura gruesa, debido a que el mayor porcentaje de arcilla que presentan los suelos franco-arcillosos les permite tener una mayor capacidad para retener humedad.

## CONCLUSIONES

En la diferenciación de estados de productividad de las pasturas (degradada y no-degradada), la mayoría de las variables analizadas no presentaron diferencias estadísticas significativas, lo cual indica que las dos praderas analizadas tienen de por sí ya alto porcentaje de degradación.

Aunque una pradera tenga mayor producción de forraje (pradera no degradada) que la otra, no significa que el suelo sobre el cual crece presente las mejores u óptimas condiciones físico-químicas.

Entre las propiedades estudiadas, la densidad aparente, la porosidad total, la humedad del suelo, la resistencia a la penetración, la resistencia al corte, la infiltración y algunas propiedades químicas, explicaron que tienen incidencia en estado de producción de las

praderas porque presentaron tendencia a ser menos limitantes en las praderas de alta producción de forraje.

La mayor concentración de nutrimentos se presentó en los primeros 5 cm, por debajo de esta profundidad algunos elementos como el calcio, el potasio y el magnesio mostraron alguna acumulación.

La biomasa total de raíces se concentró principalmente en los primeros 5 cm, mostrando que hay una relación directa entre las propiedades físicas y químicas que a esta profundidad producen un efecto significativo provechoso para las raíces. La distribución de raíces en profundidad fue un buen indicativo de productividad.

Las praderas establecidas presentaron menor porcentaje de humedad que las de sabana nativa, lo que indica que hay sobrelaboreo en el establecimiento de ellas y que esto se refleja en su posterior estado productivo.

La prueba de aceptación de lluvias fue la que más directa relación tuvo con las texturas y estados de degradación. El comportamiento del suelo respecto a aceptar o no agua lluvia, está influenciado por muchas propiedades físicas y químicas, por lo tanto, esta prueba puede recomendarse ampliamente para diferenciar estados de degradación de suelos y pasturas. Basados en esta prueba y como un nivel crítico inicial pueden considerarse los siguientes valores como adecuados 14.2 y 22.7 ( $\text{dm}^3$  con simulación de 30 mm/hora) para los suelos más arenosos y para los más arcillosos respectivamente.

## **BIBLIOGRAFIA**

**AMEZQUITA, E., SANZ, J.I., THOMAS, R.J, VERA, R.R, HOYOS P., MOLINA D.** Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. En: Encuentro Nacional de Labranza de Conservación. Villavicencio - Meta 1998. 159 p.

**BAVER, L.D.** et al. Física de suelos Hispano americana. México 1973 529 p.

**CHAVEZ L. F.** Características estructurales de los suelos de los llanos orientales, sometidos a varios sistemas de manejo. Revista suelos ecuatoriales. 1997. 27, 151-156 p.

**CADAVID L.V.** Comportamiento y limitantes de la adopción de pastos y cultivos asociados en los llanos orientales de Colombia. M.Sc Tesis. Facultad de ciencias sociales y económicas Universidad del Valle. Cali. 1995.

**GARAVITO, F.** Propiedades físicas de los suelos de los Llanos y su relación con la producción de cultivos. En: Cuadernos de Agronomía UNILLANOS, 1992. Vol. No. 2. 17 - 19, 22 p.

**HILLEL, D.** Introducción to soil physics. New York, Academic Press. 1982

**HOYOS P., VERA R. R., SANZ J.I.** Relaciones entre la textura y las características químicas en suelos oxisoles de la altillanura plana. Llanos orientales de Colombia. Ed. CIAT. Red internacional de evaluación de pastos tropicales (RIEPT). Documento de trabajo No. 117. 1ª reunión de sabanas 23-26 noviembre de 1992. Brasilia – Brasil. Cali –Colombia. 1992. 465-472 p.



- KRAMER P. J. AND BOYER; J:** Walter RELATIONS of plants and Soils Academic Pres Inc USA 1995. Cap. 4 - 6. 84p.
- MALAGON, D.** Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá Colombia 1976.622 p.
- MARTINEZ, M.M.** Apuntes sobre el curso de manejo de cuencas hidrográficas. Colegio de Post - graduados Chapingo. México. 1981.
- MONTENEGRO G.H.** Física de suelos. Nota sobre el curso de física de suelos. Universidad de Bogotá. Jorge Tadeo Lozano.1982.
- MONTENEGRO G.H. y MALAGON C. D.** Propiedades físicas de los suelos. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Santafe de Bogotá. Colombia. 1990.
- MOYA M. C.** Recuperación de una pradera de *Brachiaria decumbens* con diferentes practicas culturales y fertilización con fuentes de fósforo y caracterización de los métodos de recuperación en la región. Tesis facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Universidad nacional de Colombia. Santafe de Bogotá. 1991. 151-156 p.
- NORENO, A.** El agua y el aire en el suelo. Relaciones físicas básicas Mérida. Ven CIDIAT. 1974. 117p.
- ROMERO R, ARISTIZABAL D, y JARAMILLO C.** Memorias encuentro nacional de labranza de conservación; 28-30 de abril, Biblioteca publica municipal Germán Arciniegas. Villavicencio –Meta. Conferencia magistral: Propiedades físicas y químicas del suelo, Rodrigo Lara. 1998 16-38 p.
- ROMERO G.** El manejo sostenible del recurso suelo en la Orinoquia colombiana. Seminario Agosto 24 – 27 de 1994 Villavicencio. Moreno c. génesis y características de los suelos de la Orinoquia colombiana. 1998. 7-20 p.
- SALAMANCA R. A. JAMS.** Pastos y forrajes, producción y manejo. Universidad Santo Tomas. Santafe de Bogotá. 1986. 190-195 p.
- SANCHEZ, Pedro.** Suelos del trópico, características y manejo. Propiedades físicas del suelo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José de Costa Rica. 1981. 99 - 133p.
- SOIL SURVEY STAFF.** Soil taxonomy A. Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil conservation service USDA Agriculture Handbook. 1995. 754 p.
- TISDALL J. M. OADES J.M.** Organic matter and water stable aggregates in soils. Journal of soil sciences. 1982. 141-163 p
- FABIO GARAVITO NEIRA.** Introducción a los Suelos. Universidad de los Llanos. Unidad 2 Villamar 1998.
- HUGO E. CASTRO FRANCO.** Fundamentos para el Conocimiento y Manejo de Suelos Agrícolas. Manual Técnico. Instituto Universitario. Juan de Castellanos. Tunja 1998.

## Susceptibilidad a la compactación en diferentes sistemas de uso del suelo en los Llanos Orientales de Colombia

### Resumen

Determinar el grado de compactación de un suelo, es muy importante, para poder definir su calidad en términos de su capacidad para producir cultivos. Es necesario entonces, utilizar parámetros que la caractericen y que den valores que puedan ser comparables entre diferentes tipos de suelo (Hakansson y Lipiec, 2000). En general, se carece de metodologías predictivas que indiquen hasta qué punto, se puede dejar compactar o es necesario descompactar un suelo para que la producción agrícola no se vea negativamente afectada. La metodología de la determinación de la densidad aparente relativa (susceptibilidad a compactación o grado de compactación), propuesto por Hakansson (1990), cumple esta necesidad.

Esta metodología se aplicó, para evaluar la susceptibilidad a compactación, de diferentes tratamientos de mejoramiento de suelos de sabana en la Altillanura, en un ensayo conocido como “Perfil Cultural” localizado en la Finca Matazol. Con este propósito se determinó la densidad aparente inicial y la densidad aparente final (la muestra no-disturbada equilibrada a una succión de 75 cm y sometida a una presión uniaxial confinada de 200 KPa) de muestras no-disturbadas procedentes de los diferentes tratamientos de mejoramiento de suelos, los cuales incluían cinceles solos o en combinación con gramíneas y leguminosas. Los resultados muestran que la sabana nativa presenta valores de grado de compactación cercanos a 100%, mientras que los tratamientos en las primeras profundidades (0-30 cm) muestran valores inferiores a los de sabana y los más superficiales (0-15 cm) valores cercanos al nivel óptimo (87%) de la relación entre densidades. La metodología muestra ser satisfactoria y puede ser usada para determinar la máxima densidad aparente a la cual puede llegar un suelo, sin que se compacte negativamente para cultivos y es muy fácil de utilizar.

*Palabras claves:* densidad aparente inicial, densidad aparente final, grado de compactación, susceptibilidad a compactación, efecto de tratamientos en compactación

## Introducción

Determinar el grado de compactación de un suelo, es muy importante, para poder definir su calidad en términos de su capacidad para producir cultivos. Es necesario entonces, utilizar parámetros que la caractericen y que den valores que puedan ser comparables entre diferentes tipos de suelo (Hakansson y Lipiec, 2000).

En general, se carece de metodologías predictivas que indiquen hasta qué punto, se puede dejar compactar o es necesario descompactar un suelo para que la producción agrícola no se vea negativamente afectada. La metodología de la determinación de la densidad aparente relativa (susceptibilidad a compactación o grado de compactación), propuesto por Hakansson (1990), cumple con esta necesidad. El grado de compactación se define como el porcentaje de la relación entre la densidad aparente actual del suelo y la densidad aparente después de que una muestra volumétrica de suelo ha sido equilibrada a una succión de 7.5 a 10 KPa (capacidad de campo) y se ha sometido a una comprensión uniaxial de 200 KPa. Este porcentaje expresa el máximo valor de la relación ( $\rho_{ai}/\rho_{af}$  – densidad aparente inicial/densidad aparente final) que puede alcanzar un suelo y lo relaciona de acuerdo a Hakansson (1986) con un nivel crítico de 87%. Suelos con valores superiores a este nivel crítico son menos adecuados para el crecimiento de las raíces y para la productividad de cultivos. Valores cercanos a 100 indican que el suelo está compactado y que las probabilidades de éxito agrícola son bajas. Esta metodología ha sido basada en el uso de muestras grandes de suelo, pero ha sido utilizada también con muestras pequeñas (da Silva *et al.*, 1997; Preciado, 1997). En este artículo, se presentan y discuten los resultados obtenidos en un Oxisol de los Llanos Orientales aplicando esta metodología a un ensayo de mejoramiento de suelos.

Las características físicas que más se ven afectadas por las acciones de uso y manejo de suelos, son aquellas relacionadas con los cambios en la estructura, los cuales afectan, por un lado, la capacidad del suelo para aceptar, transmitir, retener y ceder agua a los cultivos (Amézquita, 1998) y por otro, con la respuesta de los suelos y cultivos a la aplicación de enmiendas y fertilizantes; asimismo, se afecta negativamente la diversidad y actividad biológica (Lal, 1994; Ayarza y Spain, 1991).

La compactación del suelo en áreas planas de agricultura intensiva y la erosión del suelo en áreas de ladera, son los principales problemas de degradación que están ocurriendo en el país (Amézquita, 1994). Los procesos de pérdida de estructura, compactación y encostramiento superficial, están íntimamente asociados con el uso indiscriminado y excesivo de implementos de labranza. Los suelos de sabana del trópico colombiano, principalmente los Oxisoles, son muy susceptibles a la degradación cuando se usan para la producción intensiva de cultivos. El manejo actual de estos suelos (a base de rastra) está conduciéndolos a degradación y a insostenibilidad; por lo tanto, hay que hacer un uso más racional de la labranza, para evitar su degradación.

La labranza bien concebida y practicada debe conducir al mejoramiento de la capacidad productiva de los suelos, pero usada en exceso conduce a su deterioro (Amézquita, 1994). El término degradación se refiere a la pérdida del potencial productivo del suelo, por deterioro de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas, como consecuencia del uso de prácticas agrícolas inapropiadas a través del tiempo (Amézquita, 1994).

La compactación es una alteración de la estructura del suelo, que causa reorganización de sus partículas y de sus agregados y reduce los espacios existentes entre ellos. La reducción de la macroporosidad, causa reducción en la capacidad de infiltración del suelo, aumentando la escorrentía superficial y por ende el potencial de erosión. También reduce la circulación de aire dentro del suelo, afecta negativamente la actividad biológica, reduce la tasa de descomposición de los residuos orgánicos, dificulta la penetración y ramificación de las raíces de las plantas y afecta en general el desarrollo vegetativo de los cultivos (Chávez *et al.*, 2000).

El manejo de suelos debe hacerse de tal forma que obedezca a los requerimientos de los cultivos dentro de una determinada condición climática y optimizar las relaciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Amézquita, 1994).

### **Materiales y métodos**

Las determinaciones de susceptibilidad a compactación se hicieron en el ensayo de Perfil Cultural el cual se diseñó con el objetivo de desarrollar tecnologías de mejoramiento y sostenibilidad de suelos contando con los siguientes tratamientos: (i) labranza vertical (uso de cincel) a diferentes intensidades (1, 2 y 3 pases de cincel a las siguientes distancias entre patas de cincel, 0.60, 0.30 y 0.15 cm, obteniéndose por lo tanto, tres niveles de aflojamiento del suelo), para mejorar las condiciones físicas del suelo en un sistema de rotación de cultivos (arroz/soya); y (ii) sistemas agropastoriles, establecidos después de la preparación vertical del suelo con 2 pases de cincel y mediante incorporaciones temprana (preparación al final de la época lluviosa) y tardía (al inicio de la época lluviosa) de residuos procedentes de la rotación (arroz/gramíneas/leguminosa) útiles para mejorar el suelo porque estimulan el enraizamiento y mejoran el contenido de materia orgánica y la actividad biológica.

*Ubicación:* El experimento con cuatro replicaciones, se estableció en la Finca Matazol (4° 9' 4.9" N, 72° 38' 23" O), localizada en el municipio de Puerto López – Meta, en un suelo Haplustox Típico Caolínico Isohipertérmico (Oxisol), ubicado a 260 msnm. La zona tiene dos épocas climáticas claramente diferenciadas: una época húmeda que va desde el comienzo de Marzo hasta Diciembre y una época seca desde Diciembre hasta la primera semana de Abril. La temperatura promedio anual es de 26.2°C. La zona tiene una precipitación media anual de 2719 mm, una evapotranspiración potencial de 1623 mm y una humedad relativa de 81% (según datos de la Estación Meteorológica Santa Rosa, ubicada en el Piedemonte de los Llanos Orientales). Este ensayo se inició en 1996, las determinaciones se hicieron en 1999.

**Tratamientos:**

<b>Tratamiento</b>	<b>Cinzel (Número de pases)</b>	<b>Rotación</b>
T1 T2 T3	1 2 3	<b>Rotación arroz</b> (cv. Sabana 6) / <b>soya</b> (cv. Soyica Altillanura-2)
T4	2	<b>Incorporación temprana:</b> Pastura compuesta por arroz + gramínea [ <i>Andropogon gayanus</i> (Ag)]
T5	2	Pastura compuesta por arroz + gramínea + leguminosas [ <i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) y <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)]
T6	2	Cultivo de leguminosas [ <i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) + <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)] solamente.
T7	2	<b>Incorporación tardía:</b> Pastura compuesta por arroz + gramínea [ <i>Andropogon gayanus</i> (Ag)]
T8	2	Pastura compuesta por arroz + gramínea + leguminosas [ <i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) y <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)]
T9	2	Cultivo de leguminosas [ <i>Pueraria phaseoloides</i> (Pp) + <i>Desmodium ovalifolium</i> (Do)] solamente.
T10	0	<b>Testigo:</b> Sabana nativa, que sirve de testigo para estudiar los cambios que ocurren en las condiciones del suelo.

En cada tratamiento (4 replicaciones), se tomó como unidad de muestreo la parcela (30×50) y en cada una de ellas se hicieron muestras para determinación de propiedades físicas en diferentes épocas de incorporación del material verde (incorporación temprano e incorporación tardía), para esto se abrieron cajuelas de 50×50×50 y se tomaron muestras no-disturbadas en cilindros (50×50 mm) a cuatro niveles de profundidad; 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm en las cuatro aplicaciones. Entre los parámetros evaluados se destacan: la densidad aparente (inicial y final) y susceptibilidad a la compactación (determinación de cambio de volumen del suelo después de aplicada una presión uniaxial confinada, realizada en el laboratorio). Para

determinar la susceptibilidad a la compactación, las muestras contenidas en los cilindros (no-disturbadas) fueron previamente saturadas y posteriormente sometidas a equilibrio a una succión de 75 cm (aproximación a capacidad de campo) en mesa de tensión (volumen inicial), posteriormente se llevaron a compresión uniaxial equivalente a 200 KPa en un Proctor y se midió la disminución de volumen (volumen final) de acuerdo a la metodología de Hakansson (1990). La relación entre la densidad aparente inicial y la final permite determinar el porcentaje de “susceptibilidad a la compactación” o grado de compactación que puede alcanzar el suelo, siendo ésta una propiedad mecánica muy importante para determinar la calidad del suelo para la agricultura.

## **Resultados y discusión**

Los valores de densidad aparente inicial, densidad aparente final, susceptibilidad a compactación y porosidad residual se muestran en la Tabla 1.

**Densidad aparente inicial:** en comparación con la sabana nativa (suelo no intervenido) que presenta valores entre 1.43 y 1.53 ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ) en las profundidades estudiadas, los valores de densidad aparente inicial de los tratamientos fueron inferiores, indicando que se ha conseguido mejoramiento del suelo mediante la utilización de los tratamientos de mejoramiento del suelo.

Teniendo en cuenta que una buena densidad aparente para la producción de cultivos varía para suelos minerales entre 1.10 y 1.30  $\text{Mg.m}^{-3}$ , los valores obtenidos en la primera profundidad (0-10 cm) son adecuados para un buen desarrollo radicular, presentándose diferencia altamente significativa ( $\text{LSD}_{0.05}$ ) entre los tratamientos y la sabana nativa, no habiendo diferencia estadística entre tratamientos; por lo tanto, es necesario hacer labranza vertical en estos suelos para lograr una buena condición física para la producción de cultivos.

El efecto de los tratamientos en la segunda profundidad (10-20 cm) fue menos notorio que en la primera (0-10 cm), aunque en todos los tratamientos se presentaron valores inferiores a los de sabana, no en todos se presentaron diferencias estadísticas significativas. Los tratamientos T1 (1 pase de cincel) y T8 (gramínea + leguminosa) aparecen similares a los de sabana. De acuerdo a esto, un pase de cincel parece no ser suficiente para mejorar la densidad aparente del suelo a esta profundidad, lo cual, es explicable porque en este caso la separación entre “patas” de cincel es de 60 cm no siendo por lo tanto, esta distancia suficiente para producir un buen aflojamiento del suelo a esta profundidad.

Tabla 1. Comparación estadística por profundidad entre tratamientos de algunas características físicas del suelo en el ensayo Perfil Cultural, Matazul – 1998.

Prof. (cm)	Tratamientos	Densidad aparente inicial (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente final (g/cm <sup>3</sup> )	Grado de compactación (%)	Porosidad residual (%)
0-10	1 pase cincel (T1)	1.19 b	1.43 a	83.26 b	16.73 a
	2 pases cincel (T2)	1.23 b	1.48 a	82.86 b	17.13 a
	3 pases cincel (T3)	1.22 b	1.47 a	83.60 b	16.40 a
	<b>Incorporación Temprana</b>				
	Gramínea (T4)	1.16 b	1.40 a	82.86 b	17.13 a
	Gram + legum (T5)	1.23 b	1.45 a	84.60 b	15.40 a
	Leguminosa (T6)	1.12 b	1.41 a	79.40 b	20.60 a
	<b>Incorporación Tardía</b>				
	Gramínea (T7)	1.11 b	1.41 a	78.73 b	21.26 a
	Gram + legum (T8)	1.21 b	1.48 a	81.46 b	18.53 a
	Leguminosa (T9)	1.12 b	1.42 a	78.86 b	21.13 a
Sabana nativa (T10)	1.43 a	1.49 a	95.60 a	4.40 b	
LSD <sub>0.05</sub>	0.13	0.08	6.68	6.68	
10-20	1 pase cincel (T1)	1.41 abc	1.54 a	91.40 ab	8.60 bc
	2 pases cincel (T2)	1.29 c	1.53 a	84.53 bc	15.46 ab
	3 pases cincel (T3)	1.32 bc	1.51 a	87.73 abc	12.26 abc
	<b>Incorporación Temprana</b>				
	Gramínea (T4)	1.30 c	1.48 a	88.00 abc	12.00 abc
	Gram + legum (T5)	1.29 c	1.78 a	76.33 c	23.66 a
	Leguminosa (T6)	1.33 bc	1.53 a	87.00 abc	13.00 abc
	<b>Incorporación Tardía</b>				
	Gramínea (T7)	1.32 bc	1.49 a	88.33 abc	11.66 abc
	Gram + legum (T8)	1.45 ab	1.53 a	94.66 ab	5.33 bc
	Leguminosa (T9)	1.29 c	1.44 a	89.73 ab	10.26 bc
Sabana nativa (T10)	1.50 a	1.55 a	97.33 a	2.66 c	
LSD <sub>0.05</sub>	0.12	0.34	11.08	11.08	
20-30	1 pase cincel (T1)	1.45 ab	1.60 a	90.66 a	9.33 a
	2 pases cincel (T2)	1.42 ab	1.62 a	87.53 a	12.46 a
	3 pases cincel (T3)	1.38 ab	1.55 ab	88.53 a	11.46 a
	<b>Incorporación Temprana</b>				
	Gramínea (T4)	1.34 ab	1.58 ab	85.00 a	15.00 a
	Gram + legum (T5)	1.40 ab	1.59 a	88.13 a	11.86 a
	Leguminosa (T6)	1.38 ab	1.55 ab	89.00 a	11.00 a
	<b>Incorporación Tardía</b>				
	Gramínea (T7)	1.28 b	1.46 b	87.53 a	12.46 a
	Gram + legum (T8)	1.34 ab	1.52 ab	88.06 a	11.93 a
	Leguminosa (T9)	1.38 ab	1.55 ab	88.73 a	11.26 a
Sabana nativa (T10)	1.53 a	1.57 ab	97.60 a	2.40 a	
LSD <sub>0.05</sub>	0.20	0.11	11.11	11.11	
30-40	1 pase cincel (T1)	1.54 ab	1.64 a	93.66 a	6.33 b
	2 pases cincel (T2)	1.51 ab	1.63 a	92.13 ab	7.86 ab
	3 pases cincel (T3)	1.41 ab	1.57 a	89.73 ab	10.26 ab
	<b>Incorporación Temprana</b>				
	Gramínea (T4)	1.44 ab	1.59 a	90.80 ab	9.20 ab
	Gram + legum (T5)	1.57 a	1.63 a	96.20 a	3.80 b
	Leguminosa (T6)	1.49 ab	1.60 a	92.86 ab	7.13 ab
	<b>Incorporación Tardía</b>				
	Gramínea (T7)	1.31 b	1.52 a	85.33 b	14.66 a
	Gram + legum (T8)	1.51 ab	1.61 a	94.26 a	5.73 b
	Leguminosa (T9)	1.49 ab	1.62 a	91.93 ab	8.06 ab
Sabana nativa (T10)	1.52 ab	1.63 a	93.00 ab	7.00 ab	
LSD <sub>0.05</sub>	0.21	0.14	7.03	7.03	

A la tercera profundidad (20-30 cm) ya no se presentan diferencias significativas respecto a la sabana, excepto en el Tratamiento T7 (gramínea) respecto al cual si hubo diferencia estadística, se presume que hay influencia de las raíces en el valor de la densidad aparente, como lo han demostrado Amézquita *et al.* (2000). Los valores a ésta y a la siguiente profundidad (30-40 cm) indican que los efectos de los tratamientos son más definidos hasta una profundidad de 20 cm. Por lo tanto, si es necesario mejorar la condición del suelo por debajo de esta profundidad, es necesario probar otro tipo de tratamientos. Sin embargo, se cree que el mejoramiento de suelos hasta esa profundidad (20 cm) puede ser adecuada para cultivos de grano (arroz, maíz, soya) y pastos.

**Densidad aparente final:** La densidad aparente final resultante de someter la muestra no disturbada del suelo a saturación, equilibrio a una succión equivalente a capacidad de campo (mayor porcentaje de humedad de un buen suelo agrícola en el campo) y de someterlo a una presión confinada de 200 Kpa, se presentan en la Tabla 1. En todas las profundidades, la densidad aparente final fue estadísticamente similar a la obtenida en sabana. Por lo cual, puede afirmarse que bajo las condiciones metodológicas utilizadas, Los tratamientos llegan a igualar a aquellos encontrados en la sabana nativa.

La mayor variabilidad ( $LSD_{0.05} = 0.34$ ) se presentó en la segunda profundidad (10-20 cm). En esta capa, el efecto de los tratamientos no fue tan definido, por cuanto en estos suelos se presenta mucha variabilidad respecto al espesor del Horizonte A, el cual en algunos casos se presenta a 7 cm y en otros puede llegar a 20 cm de espesor. Por lo tanto, la profundidad del horizonte B, el cual generalmente es duro, puede dificultar la penetración del cincel. Precisamente, una de las metas de la labranza vertical en los suelos de la Altillanura es la de lograr homogenizar los primeros 20 ó 30 cm de profundidad para poder obtener una buena capa superficial de suelo (capa arable) para poder obtener una buena producción agrícola (Amézquita *et al.*, 2002).

**Grado de compactación:** La tercera columna de la Tabla 1, presenta la susceptibilidad de los diferentes tratamientos a la compactación, expresada en términos de porcentaje. El término susceptibilidad a la compactación, también conocido como “grado de compactación” o densidad aparente relativa (Hakansson y Lipiec, 2000; Lipiec y Hakansson, 2000) es un buen parámetro para determinar el grado hasta el cual se puede “dejar compactar” un suelo, sin que se afecte mayormente su condición física para la producción de cultivos. Asimismo, los valores obtenidos son muy importantes para comparar el grado actual de compactación de un suelo, en relación con el obtenido en esta determinación, de tal forma que se pueda juzgar si el suelo en las condiciones actuales de campo, está en buena o mala condición física para la producción de cultivos y así, decidir en forma más acertada el tipo de mejoramiento físico que éste requiere (Amézquita, 1998).

El análisis de los resultados, muestra que en la primera profundidad (0-10 cm), los valores encontrados en los tratamientos son estadísticamente inferiores al encontrado bajo la condición de sabana nativa (estado natural). Esto indica, que con los tratamientos se ha conseguido mejorar físicamente el suelo. Se debe tener en cuenta



que un valor del 100% indica que el suelo en su condición de campo ya está compactado, porque la densidad aparente de campo sería igual a la densidad aparente del suelo sometido a presión confinada. En el caso de la sabana nativa a esta profundidad, se encuentra un valor de 95.1%, lo cual indica que solo falta un 4.9% para que el suelo quede completamente compactado, desde el punto de vista agrícola.

Analizando el comportamiento de este parámetro en profundidad, se puede observar que los valores encontrados en los tratamientos, son siempre inferiores a los encontrados en sabana nativa por lo menos hasta una profundidad de 30 cm en el perfil del suelo, esto demuestra que esta propiedad es sensible para identificar el grado de compactación del suelo y que el efecto de la cincelada ha sido satisfactorio. Por debajo de 30 cm de profundidad los valores son similares a los de sabana e inclusive algunos son superiores. Por lo tanto, el efecto de los tratamientos no ha alcanzado esta profundidad y la profundidad de preparación puede haber causado compactación sub-superficial.

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados obtenidos cuando se comparan con el nivel crítico propuesto por Hakinsson (2000) cuyo valor es de 87% para este parámetro. La Figura 1 muestra claramente que el mejor tratamiento fue el de dos pases de cincel el cual presenta valores inferiores a este nivel crítico, hasta 25 cm de profundidad. Tres pases de cincel presentaron buen aflojamiento hasta aproximadamente 15 cm de profundidad, lo cual parece contradictorio respecto a dos pases, pero se comprobó que tres pases causa mucho aflojamiento del suelo y por lo tanto, poca estabilidad volumétrica del suelo y el suelo se reempaca con las lluvias. Un pase fue insuficiente como para causar un efecto positivo, puesto que los cinceles al estar separados 60 cm entre sí, no alcanzan a hacer una buena fractura en el espacio que queda entre los cinceles.

Los tratamientos que además de dos pases de cincel (para establecimiento), contienen gramínea, leguminosa o gramínea-leguminosa bajo el tratamiento de incorporación temprana (a fines de lluvia) presentaron mayor frecuencia de valores iguales o inferiores al crítico (5 vs. 2, Figura 2) que los de cincel. El tratamiento gramínea-leguminosa presentó los valores más bajos en profundidad, aproximadamente hasta 25 cm, seguido del tratamiento con leguminosa. Las gramíneas presentaron un comportamiento un poco diferente, se presentaron valores muy cercanos al nivel crítico a través de todas las profundidades, demostrando que su efecto fue más benéfico.

En el caso de la sabana nativa, ella siempre mostró valores superiores al nivel crítico, indicando que la condición física original de estos suelos no es buena para la siembra de cultivos comerciales y que es necesario hacer labores de labranza vertical antes de inicial cualquier utilización agrícola en estos suelos.

Bajo incorporación tardía (hecha al inicio del período lluvioso, Figura 3), los tratamientos biológicos con gramínea y leguminosa y dos pases de cincel, presentaron valores inferiores al nivel crítico solo en la primera profundidad, indicando que la preparación del suelo después de haber soportado la época de verano, no es efectiva,

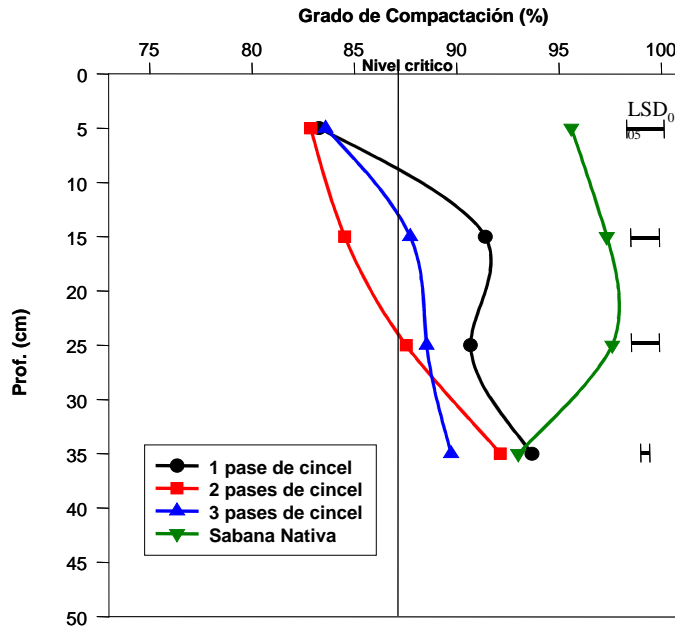


Figura 1. Comportamiento de la compactación en diferentes intensidades de labranza en el ensayo Perfil Cultural – Matazul

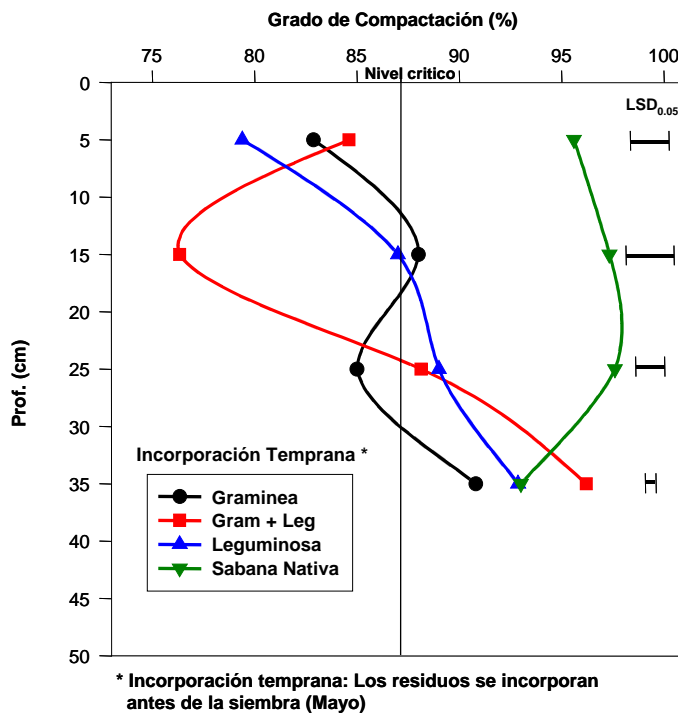


Figura 2. Comportamiento de la compactación en diferentes usos del suelo en el ensayo Perfil Cultural - Matazul

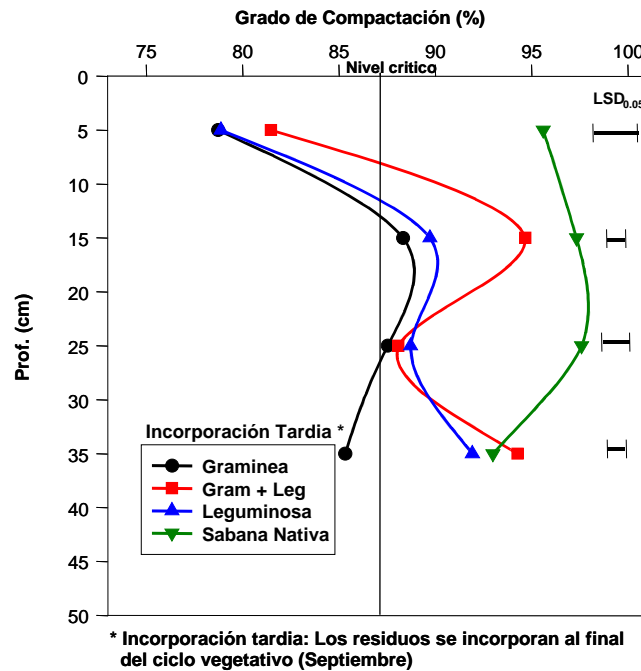


Figura 3. Comportamiento de la compactación en diferentes usos del suelo en el ensayo Perfil Cultural - Matanzul

desde el punto de vista de obtención de una buena condición física en profundidad, para lograr aflojar el suelo porque el suelo en profundidad se ha secado demasiado.

**Porosidad residual:** después de que la muestra volumétrica de suelo ha sido sometida a la presión confinada de 200 KPa, todavía quede un porcentaje de porosidad; a la cual hemos denominado “porosidad residual”. Sus valores aparecen en la última columna de la Tabla 1. Como este parámetro es complementario del grado de compactación, entre mayor sea su valor, el suelo objeto de estudio posee una mejor condición física para el desarrollo de las raíces. El valor mínimo aceptable es de 13%, valores por debajo de este porcentaje indicarían que el suelo es susceptible a compactación y que la capacidad de soporte (máxima carga que puede soportar un suelo a humedad de preparación, sin que se deforme) del suelo es baja. Valores superiores a 13% indican que el suelo es resistente a la compactación y posee una buena capacidad de soporte.

Los valores encontrados en sabana nativa (todos superiores al nivel crítico) hasta 30 cm de profundidad, pero sobre todo aquellos entre 0 y 20 cm, muestran que en estos suelos es necesario hacer labranza vertical profunda para mejorar la condición del suelo para la agricultura.

## Conclusiones

1. Los Oxisoles de la Altillanura Colombiana en su condición natural, presentan valores altos de “grado de compactación”, entre 93 y 97% (un valor igual a 100 indica que el suelo ya está compactado para agricultura y producción de pastos), hasta una profundidad de 40 cm. Por lo tanto, bajo esta condición no son aptos para la siembra de cultivos.
2. Estos valores pueden reducirse a “adecuados” mediante el uso de labranza vertical (2 pases de cincel) en combinación con siembra de gramíneas y leguminosas solas o asociadas.
3. La metodología utilizada en la realización de esta investigación, mostró ser sensible a los cambios que el uso del suelo produce en sus condiciones físicas, por lo tanto, se sugiere que se use como indicador de la condición de compactación actual del suelo.
4. De acuerdo a las experiencias obtenidas, el nivel crítico de Hakansson (2000), puede funcionar bajo nuestras condiciones. Sin embargo, es conveniente comprobarlo.

## Bibliografía

- AMEZQUITA, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. In: Silva, F. (ed) Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. p. 137-154.
- AMEZQUITA, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. *En*: Romero C., G., D. Aristizábal Q., C.A. Jaramillo S. (eds). Memorias “Encuentro Nacional de Labranza de Conservación”, Villavicencio, Colombia. pp.145-174.
- AMEZQUITA, E. 2000. Influencia de las pasturas en el mejoramiento físico de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia. International Symposium “Soil Functioning under Pastures in Intertropical Areas”. Brasilia, Brasil, Octubre 16-20, 2000.
- AMEZQUITA, E., L.F. CHAVEZ y J.H. BERNAL. 2002. Construcción de una “capa arable” en suelos pobres: conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Folleto. Colciencias, Ciat, Corpoica.
- AYARZA, M.A. y J.M. SPAIN. 1991. Manejo del ambiente físico y químico en el establecimiento de pasturas mejoradas. In: Lascano, C.E. y Spain, J.M. (eds) Establecimiento y renovación de pasturas. CIAT, Cali, Colombia. p. 189-208.

- CHAVEZ, L.F., J.H. GALVIS, E. AMEZQUITA, y A. ALVAREZ. 2000. Relación entre penetrabilidad y resistencia tangencial al corte en suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Poster presentado en el X Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia. Octubre 11-14, 2000.
- DA SILVA, A.P., B.D. KAY y E. PERFECT. 1997. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Tillage Research* 44: 81-93.
- HAKANSSON, I. 1986. Review of soil compaction problems in agriculture on the basis of Swedish Research. Report 71. Division of Soil Management, Swedish University of Agricultural Science. Uppsala. pp.5-19.
- HAKANSSON, I. 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil Tillage Research* 16: 105-120.
- HAKANSSON, I. y J. LIPIEC. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil & Tillage Research* 53: 71-85.
- LAL, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soils and water resources in the tropics. SMSS Technical Monograph. USDA, Soil Conservation Service, Ohio State University. No. 21.
- LIPIEC, J. y HAKANSSON, I. 2000. Influences of degree of compactness and matrix water tension on some important plant growth factors. *Soil & Tillage Research* 53: 87-94.
- PRECIADO, L.G. 1997. Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare. Tesis M.Sc., Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 131 p.

## **2. C.I. Carimagua**

## INFORME DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PROYECTO CULTICORE EN EL CI CARIMAGUA – META EN EL 2002

(se anexa borrador de un artículo – Anexo No.6)

A continuación se describirán las actividades efectuadas mes a mes en el Proyecto Culticore durante el año 2002:

### Enero

Se realizó la cosecha de soya obteniéndose una producción total de 6.5 toneladas en todos los tratamientos sembrados (7 has). Esta fue entregada a la administración del CI Carimagua en el campo para que fuera trillada por ellos.

Manipulación de tejido vegetal, raíces de arroz, maíz y soya para el Dr. Rao (CIAT)

### Febrero

Manipulación muestras de soya para evaluación de rendimiento

Molida de tejido vegetal para Fitonutrición (I. Rao, CIAT)

Guadaña en la Fase I y Fase II del Culticore (residuos de cosecha)

Realización de la quema anual en los tratamientos de Sabana nativa (T4 y T9)

### Marzo

Evaluación de la composición botánica en las parcelas de la Fase I y Fase II antes de las prácticas agrícolas y la siembra.

Limpieza (plateo) de las leguminosas arbustivas

### Abril

Guadaña de la cobertura vegetal en la Fase II del Culticore tratamientos con labranza cero.

### Mayo

Evaluación de altura y supervivencia en el tratamiento con la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea*

Aplicación de los herbicidas Roundup + Anikilamina (3 + 1.5 litros por hectárea respectivamente) con el objetivo de desecar el rebrote de la vegetación existente en las parcelas de labranza cero.

Se efectuó la preparación de suelos en la cual se realizó 3 pases de rastra para la fase convencional y en la Fase II del Culticore en el tratamiento de labranza reducida se efectuó dos pases con cincel rígido + 1 pase de pulidor.

Siembra y fertilización de arroz y maíz en los tratamientos del Culticore efectuados con la máquina sembradora de siembra directa. Siembra realizada a partir del 14 de mayo.

Aplicación de herbicida pre-emergente después de la siembra

Maíz: 2kg/ha de Atrazina  
Arroz: 4litros/ha de Machete

**Fecha de siembra:**

Maíz: 14-16 de mayo  
Arroz: 20-24 de mayo

Tasa de siembra: Arroz : 140 kg/ha  
Maíz: 25 kg/ha

**Fertilización:**

**Culticore Fase I (Antiguo Culticore)**

Arroz: 100 kg N/ha (a los 15 y 35 dds)  
50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ( al momento de la siembra)  
30 kg K<sub>2</sub>O/ha (50% a la siembra y el 50% a los 35 días)  
100 kg/ha de Yeso agrícola ( 50% a los 15 días y 50% a los 35 dds)

Maíz: 120 kg N/ha (a los 15 y 35 dds)  
75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (al momento de la siembra)  
30 kg K<sub>2</sub>O/ha (50% a la siembra y el 50% a los 35 días)  
100 kg/ha de Yeso agrícola ( 50% a los 15 días y 50% a los 35 dds)

Elementos menores 20 kg/ha de Borozinco (al momento de la siembra)

dds: días después de sembrados

**Culticore Fase II (Nuevo Culticore)**

Arroz: 100 kg N/ha (a los 15 y 35 dds)  
80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (al momento de la siembra)  
50 kg de K<sub>2</sub>O/ha (50% a la siembra y 50% a los 35 días)  
2.5 kg Zn/ha (al momento de la siembra)  
100 kg/ha de yeso agrícola ( 50% a los 15 días y 50% a los 35 dds)



Maíz: 100 kg N/ha (a los 15 y 35 dds)  
80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (al momento de la siembra)  
50 kg K<sub>2</sub>O/ha (50% a la siembra y 50% a los 35 días)  
100 kg/ha de Yeso agrícola ( 50% a los 15 días y 50% a los 35 dds)

Elementos menores 20 kg/ha de Borozinco (al momento de la siembra)

### Germinación en arroz y maíz:

En maíz la germinación fue bastante uniforme tanto en la Fase I como en la Fase II pero esta fue afectada por las lluvias muy fuertes y prolongadas lo que ocasiono que se acumulara en ciertas partes de los lotes agua lo que ocasionó la pudrición de muchas plántulas. Estos desniveles en la micro topografía del suelo fue ocasionada posiblemente por el continuo empleo de maquinaria agrícola que se utilizó durante la Fase I del Culticore con prácticas agrícolas convencionales.

En cuanto al arroz este también fue afectado por las lluvias pero no fue tan drástico como en maíz (Fotos 1,2,3 y 4).

Foto 1. Encharcamiento en maíz



Foto 2. Encharcamiento en maíz



Foto 3. Encharcamiento en arroz



Foto 4. Encharcamiento en arroz



Junio

Se realizan las fertilizaciones correspondientes para arroz y maíz que se efectúan a los 15 y 35 días después de sembrados.

Se efectúan aplicaciones de herbicidas post-emergentes en maíz y arroz convencional y Fase II, utilizándose los siguientes productos:

Maíz: Accent 75 WG en dosis de 50g/ha + Atrazina 2kg/ha  
Arroz: Nominee SC 100 en dosis de 400cc/ha

Estos herbicidas se utilizaron para el control de caminadora (*Rottboellia sp*) y otras especies no deseables en Maíz y para controlar en arroz *Digitaria horizontalis*.

Se realizó una evaluación de población de plantas por m<sup>2</sup> en arroz dado que los lotes de cultivos quedaron aparentemente muy ralos en la siembra por la poca disponibilidad de semilla y por el exceso de lluvia durante la etapa de germinación y emergencia.

Adicionalmente se realizó en maíz la medición de las áreas encharcadas en los lotes la cual ocasionó la muerte de muchas plántulas de maíz en la fase convencional y la fase II en el sistema con cincel (Tabla 1).

Tabla 1. Area encharcada (m<sup>2</sup>) en arroz y maíz en la Fase I y Fase II del Culticore

	Convencional (FI)	Con cincel (FII)	Labranza cero (FII)
Maíz	3623.8	456.1	148.4
Arroz	323.9	17.1	32.6

El cultivo de maíz en la labranza cero se encuentra en excelente estado a los 30 días después de efectuada la siembra comparado con la labranza reducida en la cual se observa los efectos ocasionados por las lluvias excesivas y consecutivas que recibieron a los 4 días de efectuada la siembra en el estado de plántulas durante los días 17 al 23 de Mayo con una precipitación acumulada de 246.2 mm (Foto 5 y 6).

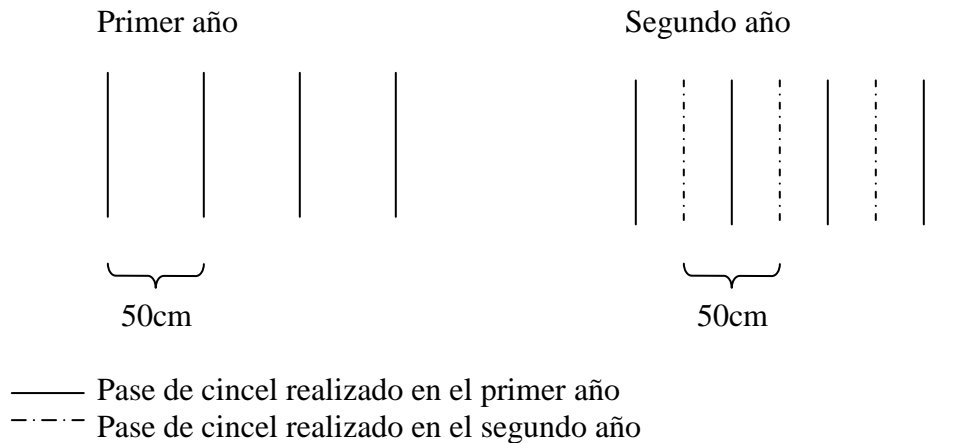
Foto 5. Maíz labranza cero



Foto 6. Maíz con cincel



Los dos pases de cincel rígido utilizados en este año para la labranza reducida se realizaron con el propósito de dejar una separación de 25cm entre cada cuerpo pero de acuerdo a las consecuencias que ocasionaron en la población de plantas y desuniformidad en el porte de estas por el encharcamiento considero que no es una medida adecuada ya que deja el suelo demasiado suelto. Creo que se debe seguir utilizando un solo pase de cincel rígido a la distancia normalmente utilizada (una vez al año) procurando que el pase del siguiente año se realice en el área en que los cuerpos del cincel no pasaron el año anterior, por ejemplo:



Se efectuó la primera aplicación de insecticida para el control de focos de cogollero en la Fase I (convencional) y algunos focos pequeños en la Fase II. Los productos empleados fueron Intrepid en la Fase I en dosis de 200cc/ha y para la Fase II se empleó Lorsban líquido en dosis de 1L/ha (60cc/bomba de 20 litros) el hecho de variar la aplicación de productos en la Fase I y Fase II II radicó en que para la Fase I (convencional) se realizó control de malezas con Accent y Atrazina y el lorsban es incompatible con el Accent en las aplicaciones recientes.

Hasta el momento no ha sido necesario el control de malezas en el maíz de la Fase II del Culticore sobre todo en el sistema de cero labranza ya que la cobertura dejada por material vegetal fue un poco mayor que la del año pasado.

## Julio

Evaluación de la composición botánica en la Fase I y Fase II del Culticore, en todos los tratamientos y repeticiones.

Muestreo de raíces para el Dr. Edgar Amézquita (CIAT) realizado en maíz en floración plena (60 días después de sembrado), el cual consiste en la utilización de tablas con puntillas para la extracción del perfil de raíces de la planta. Esta evaluación se realizó en todos los tratamientos de maíz del Culticore Fase II en los sistemas de cero labranza y labranza reducida (cincel rígido) de la repetición 2 y en la rotación arroz-soya de los tratamientos 1, 3, 4, 5, 6, 8 y 10. Y para la Fase I se muestrearon los tratamientos 1, 3, 6 y 8. También se efectuó muestreo de raíces para el Dr. I. Rao (CIAT) en la etapa de grano

masoso en arroz y maíz en todos los tratamientos del Culticore fase II de la rotación maíz-soya con cincel y labranza cero y en la Fase I en los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5 y 10. Aplicación de insecticida intrepid y lorsban para el control de *Mocis sp.* En maíz y arroz en dosis de 40 y 70cc respectivamente por bomba de 20 litros.

#### Agosto

Se continúan con los muestreos de raíces para los doctores Edgar Amézquita e I. Rao (CIAT)

Se realiza el muestreo de producción en arroz de la Fase I y Fase II

Se inicia la cosecha del arroz por parte de la administración del CI Carimagua

#### Septiembre

Se realiza el muestreo de producción en maíz

Se inicia la cosecha de maíz por parte de la administración del CI Carimagua

Manipulación de muestras de tejido de arroz, maíz y sabana nativa.

Manipulación de las muestras de arroz y maíz

Limpieza de una (1) tonelada de arroz línea 30 para ser utilizada como semilla el año entrante para la culminación del experimento Culticore en el CI Carimagua o en la nueva finca adquirida por Corpoica.

Entrega del grano de arroz y maíz obtenido de los muestreos, a la administración del CI Carimagua

#### Octubre

Guadaña de la soca de arroz y maíz en los lotes para efectuar los muestreos intensivos

Se inician las pruebas de infiltración en todos los tratamientos del Culticore como un adelanto de los muestreos intensivos a realizar en física, química y biología. Estos muestreos por ser tan exhaustivos es muy probable que se extiendan hasta principios de diciembre (final de la época lluviosa)

Se inician los muestreos intensivos en el Culticore en el CI Carimagua con el apoyo de Luis Fernando Chávez y Arvey Alvarez de grupo de suelos de CIAT Palmira y Carmen Rosa Salamanca de Corpoica, como parte de los objetivos trazados dentro del proyecto para el semestre B y así finalizar las actividades en este centro para dar paso al análisis de las muestras y resultados para la elaboración de los respectivos informes en el 2003, y así definir el establecimiento de los mejores tratamientos observados en el Culticore en la finca sabanas (Corpoica) ubicada en Puerto Gaitán para su respectiva validación y monitoreo en abril de este mismo año.

## **Actividades realizadas Noviembre-Diciembre:**

### **1. Muestreo para fraccionamiento de M.O. (Dr. Edmundo Barrios CIAT)**

Fase I: Tratamientos 1-2-3-4-5-6-7-8 y 10 (repeticiones 1,2, 3 y 4) de 0-5; 5-10; 10-20 y 20-30

Fase II: Tratamientos 1-2-3-4-5-6-7-8 y 10 (repeticiones 1,2, 3 y 4) de 0-5; 5-10; 10-20 y 20-30 en la rotación arroz-soya y maíz-soya con cincel y labranza cero.

### **2. Muestreo para N-mineral (Neuza Asakawa CIAT)**

Fase I: Tratamientos 1-2-3-4-5-6-7-8- y 10 (repeticiones 1,2,3 y 4) hasta una profundidad de 1m. (0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80; 80-100)

Fase II: Tratamientos 1-2-3-4-5-6-7-8- y 10 (repeticiones 1,2,3 y 4) hasta una profundidad de 1m en las rotaciones arroz-soya y maíz-soya con cincel y labranza cero. (0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80; 80-100)

### **3. Muestreo de Física y Química (Dr. Edgar Amézquita CIAT)**

Lecturas de penetrabilidad y resistencia al corte (0-5; 5-10; 10-20) en todos los tratamientos y repeticiones del Culticore Fase I y Fase II.

Infiltraciones todos los tratamientos de la Fase I y en la Fase II del Culticore rotaciones arroz-soya y maíz-soya con cincel y labranza cero (tratamientos 1,2,3,4,5,6,7,8 y 10) en las repeticiones 1 y 3. Se hicieron 2 lecturas por parcela.

Muestras en cilindros de 2.5 y 5cm de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40 para densidad aparente, conductividad hidráulica etc. en todos los tratamientos de la Fase I y la Fase II, rotación arroz-soya y maíz-soya con cincel y labranza cero en las 4 repeticiones. Se requieren de 900 cilindros de 2.5 cm y 900 cilindros de 5cm.

Muestra para distribución de agregados en el nivel de profundidad de 0-5cm.

Muestreo para química (0-5; 5-10; 10-20; 20-40) en los tratamientos 1,2,3,4,5,6,7,8 y 10 de la fase II del Culticore en la rotación arroz-soya y maíz-soya con cincel y labranza cero, y para la fase I todos los tratamientos. Muestreo en las 4 repeticiones.

### **Microbiología (Carmen Rosa Salamanca-Corpoica)**

Para averiguar población de hongos y bacterias se muestreo en la Fase I y Fase II del experimento.

### **Micorrizas (Dr. Rao)**

Utilizando las mismas profundidades del muestreo realizado para N-mineral con el objetivo de averiguar densidad de esporas por profundidad y tratamiento en el Culticore Fase I Fase II.

### **Fraccionamiento de P (Dr. Rao)**

Se realizará fraccionamiento de P utilizando una submuestra de suelo del muestreo realizado para fraccionamiento de M.O. (profundidades 0-5; 5-10; 10-20 y 20-30 en todos los tratamientos y repeticiones del Culticore Fase I y Fase II).

**ALGUNOS RESULTADOS SOBRE LOS RENDIMIENTOS EN ARROZ  
Y MAÍZ, PRESENCIA DE MALEZAS Y COMPORTAMIENTO DE LA  
LEGUMINOSA ARBUSTIVA *Cratylia argentea* BAJO LOS TRATAMIENTOS DEL  
CULTICORE FASE II**

### Introducción

El Culticore Fase I fue un experimento a largo plazo que se desarrolló durante 1993-98 y que estaba enfocado al establecimiento de las rotaciones de cultivos y pasturas transitorias en sistemas sustentables para los suelos ácidos de sabana. La intensificación de la producción agrícola en los suelos ácidos de los Llanos Orientales está limitada por la baja fertilidad de los suelos, la vulnerabilidad de su estructura y por la baja actividad biológica. Se carece además de sistemas de producción eficientes. Bajo estas condiciones es necesario, integrar de una forma sostenible y rentable el germoplasma de arroz, maíz, soya y sorgo tolerante a acidez que actualmente se tiene.

Durante este tiempo se han acumulado en el suelo una serie de características químicas, biológicas y físicas en los tratamientos con cultivos y pasturas que serán de vital importancia para el establecimiento de la segunda Fase de este experimento (1999-2003) donde se estará evaluando a través de sistemas de labranza reducida (cincel rígido), labranza cero en sistemas rotacionales de arroz-soya y maíz-soya, los beneficios de las rotaciones y asociaciones empleadas durante la fase I del experimento con el propósito fundamental de investigar una selección de sistemas de manejo racional del suelo y cultivos como componentes de alternativas que sean capaces de conducir sostenibilidad (cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico en los distintos tratamientos del Culticore. CI Carimagua 1998

Tratamiento	Sat. Al %	C %	P Bray II Ppm	Mg total ppm	P total ppm	N total ppm	Ca total ppm	K total ppm
T1-Arroz monocultivo	69.10	2.13	10.40	576	285	1357	196	1076
T2-Arroz-Caupí grano	69.23	2.44	19.00	560	337	1393	154	1054
T3-Arroz-Caupí A.V.	69.54	2.46	27.30	581	314	1465	172	1098
T4-Sabana nativa	79.76	2.64	1.07	555	198	1357	146	952
T5-Pasto + leguminosa <sup>1</sup>	68.52	2.59	3.05	565	219	1457	187	919
T6-Maíz monocultivo	52.06	2.47	11.60	600	266	1307	260	998
T7-Maíz-Soya grano	54.25	2.48	15.05	586	310	1364	239	819
T8-Maíz-Soya A.V.	49.55	2.41	17.47	601	321	1207	255	885
T9-Sabana nativa	74.73	2.60	1.77	584	214	1039	171	986
T10-Pasto + leguminosa <sup>2</sup>	49.65	2.34	3.05	562	229	1376	251	998

#### Muestreo de suelo 0-20cm

<sup>1</sup> *Brachiaria humidicola*+*Centrosema acutifolium*+*Stylosanthes capitata*+*Arachis pintoi*

<sup>2</sup> *Panicum maximum*+*Glicine wightii*+*Arachis pintoi*+*Pueraria phaseoloides*

En 1999 se consideró la posibilidad de introducir el componente arbustivo de una leguminosa en el experimento Culticore como una alternativa que contribuyera a mejorar el suelo mediante la fijación, reciclaje de nitrógeno por aporte en hojarasca, captura de nutrientes lixiviados de capas profundas, aporte de materia orgánica y prevención de la erosión en el suelo en los tratamientos que se manejaron durante 5 años (Carimagua 1993-98) bajo sistemas de arroz y maíz en monocultivos y rotaciones con leguminosas para producción de grano y abonos verdes (en sistemas convencionales de manejo de suelos), así como pasturas con *Panicum maximum* y *Brachiaria humidicola*, y la sabana nativa como respectivo control de estos sistemas.

Mediante monitoreos físicos, químicos y biológicos se están evaluando los cambios presentados en el suelo para alimentar la base de datos ubicada en la sección de física de suelos en CIAT Palmira, así como un seguimiento detallado en la fluctuación en los rendimientos en arroz, maíz, presencia de plantas no deseables y comportamiento de la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* CIAT 18672.

## **Materiales y métodos**

**Localización clima y suelo.** Este trabajo se está desarrollando entre CIAT-CORPOICA (Centro Internacional de Agricultura Tropical y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria) en el Centro de Investigación Carimagua en las sabanas isohipertérmica bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia (4°37'N y 71° 19'W y una altitud de 175 msnm). Un promedio anual de precipitación y temperatura de 2280mm y 26°C respectivamente, con una estación seca de Noviembre a Marzo. Los suelos son de dos tipos: predominantemente de baja fertilidad Oxisoles en las sabanas altas y Ultisoles en las sabanas bajas con pH 4.5, valores bajos de intercambio de Ca, Mg y K y una alta saturación de Al de más del 90%.

**Establecimiento de los cultivos.** En Diciembre de 1999 y Enero de 2000 se realizó una estandarización de las parcelas la cual consistió en desbrozar toda la vegetación presente en ese momento. En abril se realizó una desecación química del rebrote de la vegetación con la aplicación de Roundup + Anikilamina (3l + 2l respectivamente). En Mayo se realizó la siembra del primer ciclo rotacional de cultivos correspondiente a la fase II del Culticore la cual consistió en la siembra de arroz y maíz bajo los sistemas de labranza cero y labranza reducida con su respectiva rotación en Septiembre con soya para producción de grano. En el año 2000 se utilizó para el cultivo de arroz una fertilización de 120kg/ha de N, 50kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30kg/ha de K<sub>2</sub>O y para maíz de 120kg/ha de N, 75 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30kg/ha de K<sub>2</sub>O y 20kg/ha de Borozinco en la fase I del Culticore, para la fase II del Culticore se utilizó en arroz una fertilización de 120kg/ha de N, 80kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50kg/ha de K<sub>2</sub>O y 20kg/ha de Sulfato de Zn, y para maíz 120kg/ha de N, 80kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50kg/ha de K<sub>2</sub>O y 20kg/ha de Borozinco. Para el año 2001 la fertilización en estos dos cultivos varió solo para los niveles de N en arroz fase I y arroz y maíz fase II con niveles de 100kg/ha de N y para arroz fase II con 2.5kg/ha de sulfato de Zn. Además se incluyó en este año (2001), 100kg/ha de yeso tanto para arroz como para maíz en el Culticore fase I y fase II. La fertilización en soya en el año 2000 y en este año no sufrió variaciones y consistió en 90kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30kg/ha de K<sub>2</sub>O y 10kg/ha de Borozinco.



En el 2001 se estableció en los tratamientos del Culticore Fase I la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* una especie que se caracteriza por su amplia adaptación a ultisoles y oxisoles en zonas bajas tropicales con sequías hasta de seis meses y alta capacidad de rebrote y retención de hojas durante la época seca lo que esta asociado con un sistema de raíces profundas y vigorosas que alcanza los 2 m (Plegable divulgativo CIAT-PRONATTA, 2002)

**Siembra de *Cratylia argentea*.** En junio de 2001 se estableció la fase de invernadero que consistió en sembrar en pellets ubicados en bandejas plásticas, 2 semillas de *Cratylia argentea* CIAT 18672 previamente inoculadas con rizobium, 50g/kg semilla. Estas permanecieron en invernadero durante 6 semanas. En Julio-Agosto se transplantaron al campo ubicando las plantas a una distancia de siembra de 2m entre surcos por 1.5m entre plantas bajo los dos sistemas propuestos en manejo de suelos para la Fase II del Culticore (labranza cero y labranza reducida empleando cincel rígido). En el momento de la siembra en el campo se les adicionó una fertilización que es normalmente utilizada en pastos la cual consiste en 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 50 kg K<sub>2</sub>O/ha, 20 kg S/ha y 20 kg Mg/ha.

Durante su establecimiento en campo se trato de mantener las plantas libres de plantas a su alrededor pero a su vez tratando de conservar la vegetación existente en ese momento.

**Monitoreo.** A partir del 2001se realizaron evaluaciones sobre la composición botánica de los cultivos de arroz y maíz en la etapa de floración en cada una de los tratamientos del Culticore fase II por el método del transecto, el cual consiste en una vara de 10m, subdividida cada 10cm, registrando en cada punto la especie de maleza presente.

Para las evaluaciones de rendimiento se utilizó durante la época de cosecha en cada una de las parcelas de arroz Fase I y Fase II un marco de 5 x 5m (área de muestreo de 25m<sup>2</sup>), para maíz se escogieron 10 surcos por 5m (área de muestreo 40m<sup>2</sup>).

En abril de 2002, nueve meses después de establecidas las leguminosas arbustivas en campo, se realizaron evaluaciones de altura de planta y supervivencia en cada uno de los tratamientos bajo labranza cero y labranza reducida.

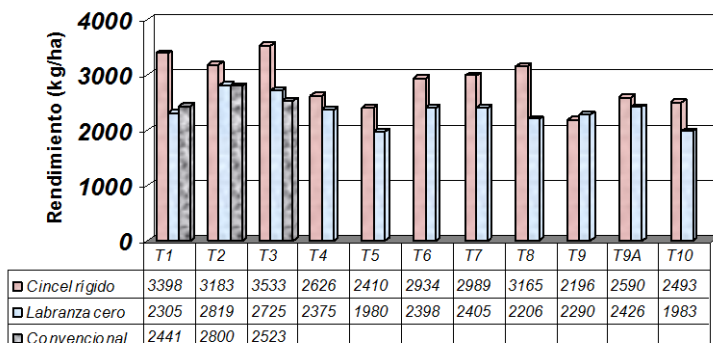
Para altura de planta se seleccionaron 5 plantas por repetición (20 plantas en cada uno de los tratamientos, exceptuando el tratamiento 9 y 9A que de acuerdo al nuevo diseño quedó con dos repeticiones. Los demás tratamientos conservan las cuatro repeticiones).

En cuanto a la supervivencia se realizó el conteo de plantas que sobrevivió después de nueve meses en campo. Esta evaluación se realizó en cada una de las repeticiones en los diferentes tratamientos.

## **Resultados y discusión**

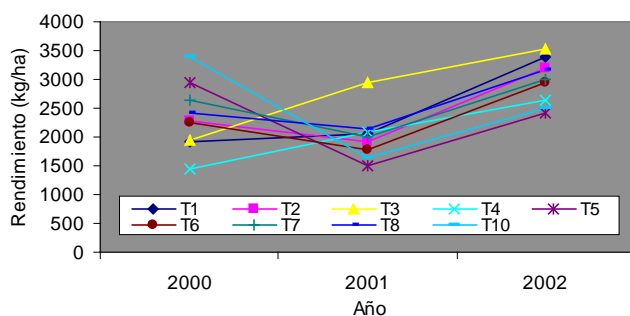
**Comportamiento de los rendimientos en arroz y maíz.** Los rendimientos de arroz en el 2002 fueron superiores en general en todos los tratamientos para la labranza reducida (cincel rígido) comparada con la labranza convencional y labranza cero. Los antiguos tratamientos basados en arroz y maíz de la Fase I fueron los que presentaron mayores

rendimientos sobre todo el 1, 2, 3 y 8 con 3398, 3183, 3533 y 3165 kg/ha respectivamente (Figura 1).

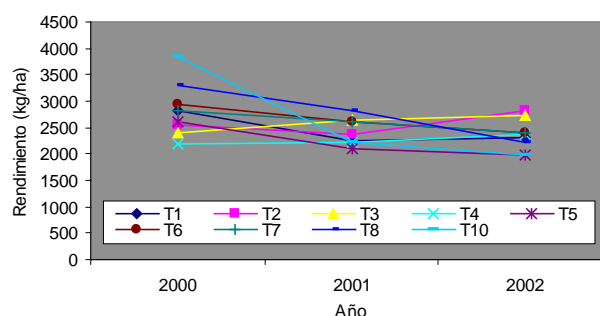


**Figura 1. Producción de arroz (kg/ha) en el Culticore bajo los sistemas de labranza cero, labranza reducida (cincel rígido) y labranza convencional. Carimagua 2002.**

En la Figura 2 se observa claramente que los rendimientos de arroz en el 2002 en la labranza con cincel fueron superiores en todos los tratamientos respecto a los obtenidos en el 2001 y que los tratamientos 1, 2, 3, 6, 7 y 8 presentaron incrementos que oscilaron entre 350 y 1450 kg/ha en los rendimientos de arroz desde que se estableció el experimento en el 2000, mientras los tratamientos 5 y 10 (antiguos tratamientos de pasturas) registraron un descenso de 523 y 585 kg/ha en sus rendimientos.



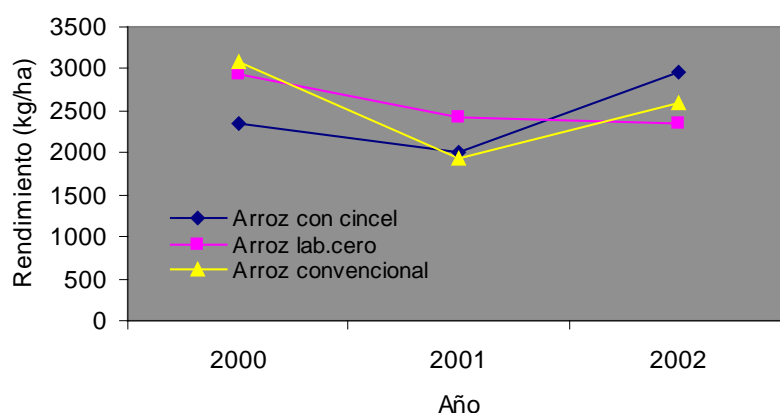
**Figura 2. Comportamiento de los rendimientos de arroz en el Culticore Fase II en el sistema de labranza con cincel. CI Carimagua**



**Figura 3. Comportamiento de los rendimientos de arroz en el Culticore Fase II en el sistema de labranza cero. CI Carimagua**

En cuanto a arroz labranza cero se observó que estos rendimientos permanecieron estables en el 2002 respecto al año anterior, pero por debajo de los obtenidos en el 2000 cuando se estableció el experimento registrándose pérdidas que oscilaron desde los 400 kg/ha hasta los 1500 kg/ha en los tratamientos 1, 5, 6, 7, 8 y 10 y un ligero incremento desde los 100 hasta los 280 kg/ha para los tratamientos 2, 3 y 4. (Figura3)

En la Figura 4 al observar los rendimientos promedio de arroz de acuerdo a los sistemas de labranza utilizados se aprecia que la producción de arroz por hectárea en la labranza con cincel y convencional a pesar de haber sufrido un descenso en el 2001 respecto al año 2000 se recuperó para el 2002 sobre todo en la labranza con cincel en donde el incremento promedio fue de más de 500kg/ha respecto al año en que se estableció. En la labranza cero se aprecia que estos rendimientos tienden a decrecer paulatinamente en el tiempo.



**Figura 4. Comportamiento de los rendimientos promedio de arroz en el Culticore bajo los sistemas de labranza utilizados. CI Carimagua**

En la figura 5 se observa que los rendimientos en el 2002 en maíz labranza reducida (cincel rígido) fueron superiores a la labranza cero y convencional sobre todo en los antiguos tratamientos de maíz y arroz de la Fase I del Culticore, sin embargo estos estuvieron muy por debajo de los obtenidos el año anterior como se puede apreciar en la figura 6, 7 y 8 en donde se presentó un fenómeno muy complejo posiblemente atribuible a las condiciones climáticas poco favorables como exceso de lluvias en momentos críticos del cultivo (germinación) lo que ocasionó encharcamiento de los lotes y la posterior muerte de las plantas ocasionando que los rendimientos disminuyeran notablemente en todos los tratamientos bajo los sistemas de labranza utilizados (labranza cero, con cincel y convencional).

Este fenómeno se registró en el informe de actividades en donde se anexan fotografías del problema que se presentó en el experimento en el cultivo de maíz y que la caída de los rendimientos fue más un efecto de condiciones climáticas desfavorables y no a efecto de tratamiento.

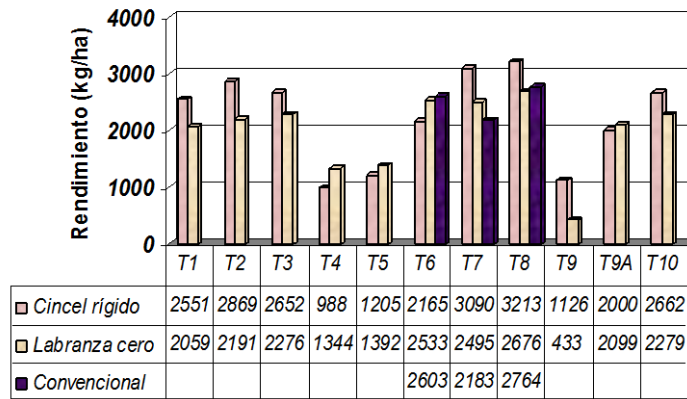


Figura 5. Producción de maíz (kg/ha) en el Culticore bajo los sistemas de labranza cero, labranza reducida (cincel rígido) y convencional. Carimagua 2002.

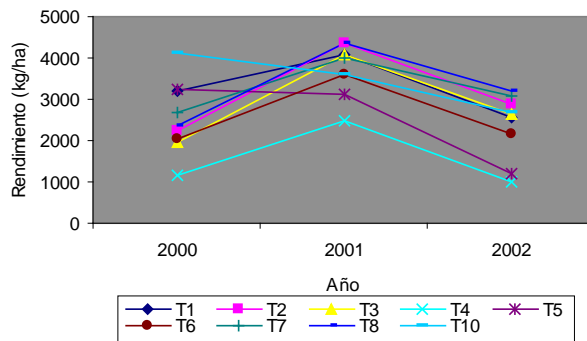


Figura 6. Comportamiento de los rendimientos de maíz en el Culticore Fase II en el sistema con cincel. CI Carimagua

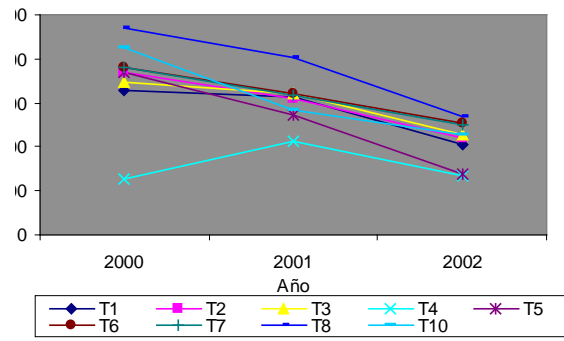


Figura 7. Comportamiento de los rendimientos de maíz en el Culticore Fase II en el sistema de labranza cero. CI Carimagua

A pesar que los rendimientos de maíz en el 2002 estuvieron por debajo de los obtenidos el año anterior, estos valores obtenidos en el 2002 fueron superiores respecto al año de establecido el experimento (2000) en los tratamientos 2, 3, 6, 7 y 8 con incrementos que oscilaron entre 130 y 800 kg/ha.

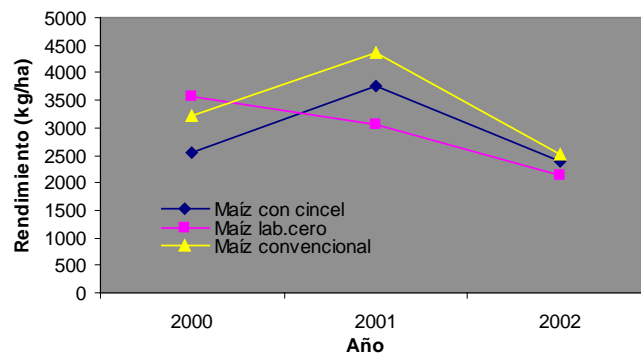


Figura 8. Comportamiento de los rendimientos promedio en maíz de acuerdo a los sistemas de labranza empleados en el Culticore. CI Carimagua

Presencia de plantas no deseables en arroz. En general todos los tratamientos se vieron afectados por la presencia de plantas no deseables y por ello presenta en términos generales una correlación baja entre cobertura de malezas y su efecto sobre los rendimientos (Cuadro 2). Sin embargo especies como *Digitaria horizontalis*, *Borreria capitata*, Menta, *Emilia sonchifolia*, *Arachis pintoii*, *Mimosa pudica*, *Sida acuta*, *Panicum maximum* y *Phyllanthus niruri* presentan una correlación negativa lo cual indica que en la medida en que la población de estas especies se incrementa, los rendimientos de arroz irán decreciendo.

Cuadro 2. Coeficiente de correlación (r) entre cobertura de malezas y producción de arroz en el Culticore Fase II. CI Carimagua 2001

Especies	Rendimiento
<i>Digitaria horizontalis</i>	-0.3585
<i>Lindermia diffusa</i>	0.4331
<i>Borreria capitata</i>	-0.2524
Menta <sup>a</sup>	-0.0448
<i>Emilia sonchifolia</i>	-0.1314
<i>Rottboellia sp.</i>	0.1191
<i>Croton trinitatis</i>	0.0301
<i>Spermacoce sp</i>	0.2094
<i>Brachiaria decumbens</i>	0.2343
<i>Arachis pintoii</i>	-0.1047
<i>Mimosa pudica</i>	-0.1949
<i>Sida acuta</i>	-0.1043
<i>Panicum maximum</i>	-0.1542
<i>Phyllanthus niruri</i>	-0.0113

Coeficiente de correlación de Pearson

<sup>a</sup> Especie no determinada

**Presencia de plantas no deseables en maíz.** En maíz se presenta un caso similar al registrado en arroz en el cual tampoco se aprecian correlaciones altas por que también se presentan en todas las parcelas presencia de malezas y no se ve muy claro algún efecto sobre los rendimientos, sin embargo se observa correlaciones negativas lo que indica que los rendimientos de grano irán disminuyendo en la medida que estas especies se vayan incrementando (Cuadro 3). Es importante buscar estrategias para el control de estas plantas, sobre todo aquellas que están causando un efecto negativo en los rendimientos y que son comunes a los dos cultivos como *Digitaria horizontalis*, *Borreria capitata*, *Emilia sonchifolia*, *Mimosa púdica* y *Croton trinitatis*.

En las Figuras 9, 10, 11, 12 para el 2002 se sigue observando la presencia de estas especies de plantas en los Cultivos, sobre todo de *Digitaria horizontalis* y *Emilia sonchifolia* las cuales son sumamente invasoras tanto en el cultivo de arroz como de maíz los cuales pueden llegar a afectar considerablemente los rendimientos de grano.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación (r) entre cobertura de malezas y producción de maíz en el Culticore Fase II. CI Carimagua 2001

Especies	Rendimiento
<i>Digitaria horizontalis</i>	-0.1196
<i>Lindermia diffusa</i>	0.1608
<i>Borreria capitata</i>	-0.0371
Menta <sup>a</sup>	0.0609
<i>Emilia sonchifolia</i>	-0.0674
<i>Rottboellia sp.</i>	0.0286
<i>Sipanea pratensis</i>	-0.0143
<i>Croton trinitatis</i>	-0.2434
<i>Axonopus compresus</i>	-0.2052
<i>Spermacoce sp</i>	-0.2256
<i>Serpenflora sp</i>	-0.2410
<i>Brachiaria humidicola</i>	-0.0378
<i>Arachis pintoii</i>	-0.1407
<i>Mimosa púdica</i>	-0.0065
<i>Desmodium ovalifolium</i>	-0.0071
<i>Dichromena ciliata</i>	-0.0715
<i>Sida acuta</i>	0.0090
<i>Panicum maximum</i>	0.1506
<i>Hyptis atrorubens</i>	0.0775
<i>Phyllanthus niruri</i>	
<i>Paspalum clavuliferum</i>	-0.0661

Coeficiente de correlación de Pearson

<sup>a</sup> Especie no determinada

Se pueden plantear estrategias de control y/o manejo de estas plantas mediante el empleo de coberturas temporales con plantas que causen inhibición de la germinación de las malezas, mejor manejo de los residuos de cosecha, empleo de herbicidas más específicos en el control de estas especies etc.

Figura 9. Cobertura de malezas por especie registrada en el sistema arroz con cincel en la etapa de floración en el Culticore Fase II. CI Carimagua 2002

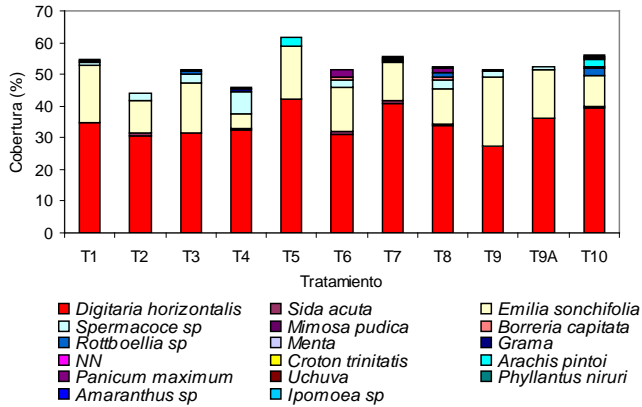


Figura 10. Cobertura de malezas por especie registrada en el sistema arroz labranza cero en la etapa de floración en el Culticore Fase II. CI Carimagua 2002

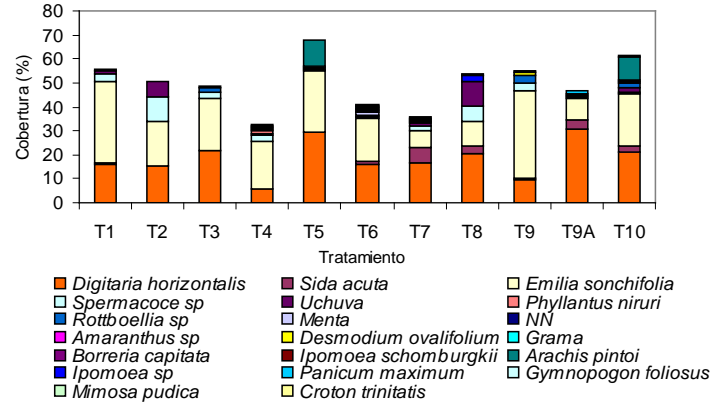


Figura 11. Cobertura de malezas por especie registrada en el sistema maíz con cincel en la etapa de floración en el Culticore Fase II. CI Carimagua 2002

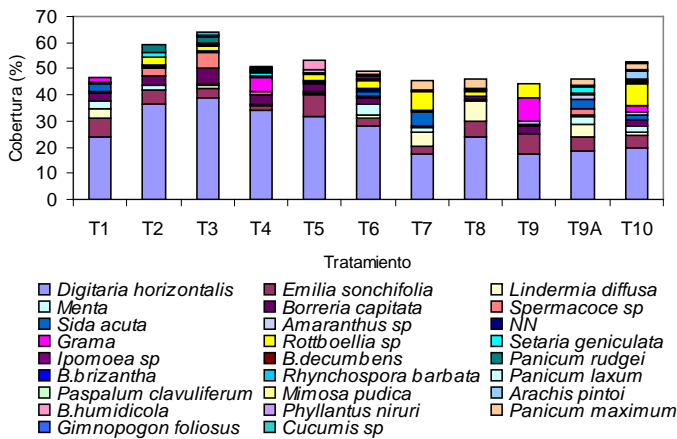
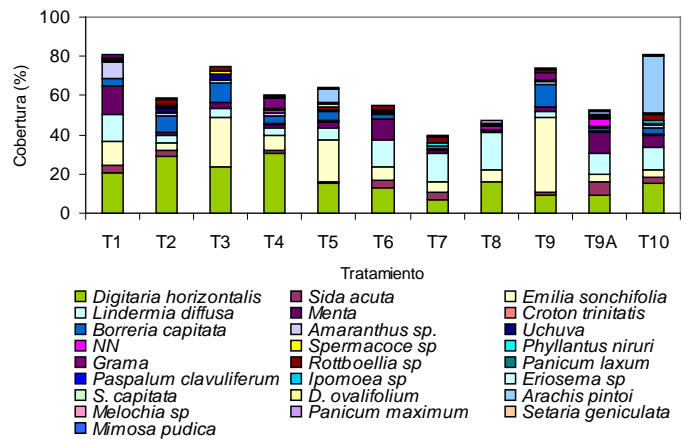


Figura 12. Cobertura de maleza por especie registrada en maíz en el sistema de cero labranza durante la etapa de floración en el Culticore Fase II. CI Carimagua 2002



## Resultados obtenidos con *Cratylia argentea* CIAT 18672 en el Culticore Fase II

**Altura de planta.** De acuerdo a los datos recopilados se obtuvo que la media de la altura alcanzada en *Cratylia argentea* es significativa en los sistemas de labranza utilizado de acuerdo a la prueba *t* en muestras pareadas ( $P = 0.05$ ), es decir que se presentaron diferencias en la altura obtenida en los dos sistemas de labranza, siendo mayor la altura alcanzada en la labranza con cincel, lo que supone que el solo empleo de labranza vertical favorece el desarrollo de las raíces para que estas obtengan un mejor desarrollo en campo. En la figura 13 se aprecia que los valores más altos de altura se obtuvieron bajo los

tratamientos 6, 7 y 8 (tratamientos que estuvieron con maíz y alta cal) comparado con los tratamientos de arroz, pasturas y la sabana nativa, lo que supone que *C. argentea* responde muy bien a mejores condiciones de fertilidad del suelo.

**Supervivencia.** La media del porcentaje de supervivencia no es significativa para los dos sistemas de labranza utilizado de acuerdo a la prueba *t* en muestras pareadas ( $P=0.05$ ), es decir que no hubo un efecto directo de la labranza reducida (con cincel) y labranza cero en la supervivencia de las plantas. En la figura 14 se observa que los valores de supervivencia entre tratamientos oscilaron entre 77 - 92 % para la labranza con cincel y de 75 - 91% entre tratamientos para la labranza cero, obteniéndose un promedio general de supervivencia de 84.3 y 84.1% para la labranza con cincel y labranza cero respectivamente.

Figura 13. Altura de *Cratylia argentea* a los nueve meses en campo bajo los tratamientos del Culticore Fase II en sistemas de labranza cero y reducida (cincel rígido). CI Carimagua 2002

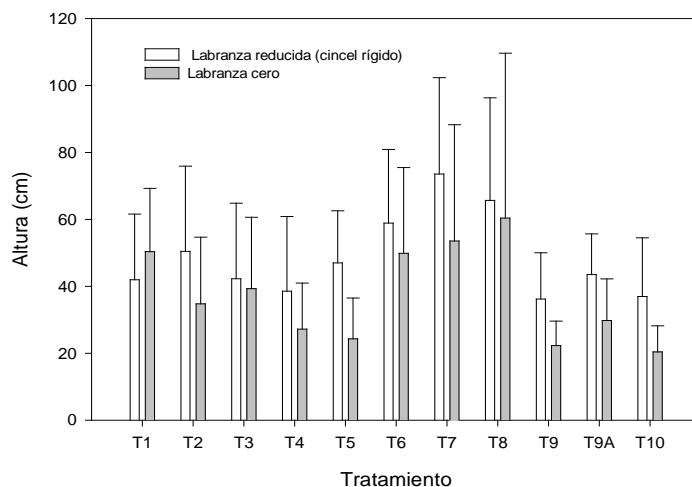
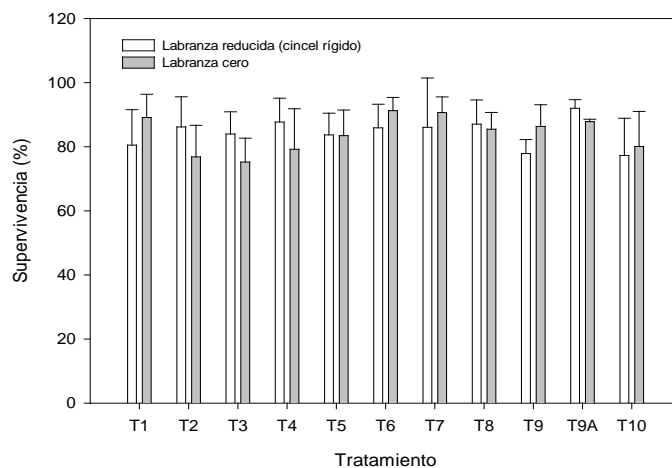


Figura 14. Porcentaje de supervivencia de *Cratylia argentea* a los nueve meses en campo bajo los tratamientos del Culticore Fase II en sistemas de labranza cero y reducida (cincel rígido). CI Carimagua 2002





**META 6.**  
**RECURSOS GENETICOS**

**INFORME ANUAL 2002**  
Proyecto CIAT “Salvaguardando la Biodiversidad”  
SB-01  
**Unidad de Recursos Genéticos**

**CONVENIO MADR-CIAT 071**

**Informe de Logros y Progresos**

**ENERO, 2003**

# 1. Visión Global de Proyecto

## Proyecto SB-1: Conservación Integrada de Recursos Genéticos Vegetales

**Objetivos:** las instituciones colombianas y demás usuarios colombianos se benefician de un germoplasma caracterizado que cumple con los estándares internacionales.

**Productos:**

Germoplasma viable, caracterizado y documentado distribuido a Instituciones e usuarios Colombianos

Germoplasma de interés para Instituciones Colombianas caracterizado

Establecimiento de protocolos de conservación para especies frutales nativas por semillas e *in vitro*

Recursos Humanos entrenados y resultados comunicados

A cada uno de estos productos corresponden **Areas de Actividades** distribuidas así:

Distribución de germoplasma

Caracterización de germoplasma

Investigación para establecer los protocolos de conservación de las especies frutales nativas

Formación de Recursos Humanos y Divulgación de resultados.

**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA  
MADR-CIAT**

**PLAN OPERATIVO 2002**

**META : 6 Recursos Genéticos**  
**Centro de Costos CIAT: GRM 20**  
**Responsable: Daniel G. Debouck**

<b>ACTIVIDAD/ AREA de ACTIVIDAD</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>META/LOGRO</b>
1. Distribución de germoplasma sano y caracterizado	Instituciones colombianas disponen de germoplasma sano y caracterizado para sus trabajos (C)	Germoplasma enviado; p.ej. 400 clones de yuca enviados a Corpoica y productores colombianos
2. Aumento y caracterización de germoplasma de frijol, pastos tropicales y yuca	Distribución inmediata de germoplasma sano y caracterizado a cualquier institución colombiana en cualquier momento (C)	4,000 materiales de colecciones multiplicados/ regenerados y caracterizados listos para distribución
3. Definición de protocolos para conservación de semillas de especies frutales de interés para Colombia	Instituciones colombianas interesadas disponen de protocolos operativos y asequibles para la conservación de germoplasma (semilla) de frutales (C, N)	Al menos un protocolo definido para una especie de multiplicación por semillas priorizada por Corpoica
4. Definición de protocolos para conservación <i>in vitro</i> de especies frutales con propagación vegetativa	Instituciones colombianas interesadas disponen de protocolos operativos y asequibles para la conservación de germoplasma con propagación vegetativa de frutales (C, N)	Al menos un protocolo definido para una especie con propagación <i>in vitro</i> priorizada por Corpoica
5. Establecimiento de métodos para el control de enfermedades en semillas de pastos tropicales	Industria semillera e instituciones colombianas disponen de germoplasma sano y de métodos de diagnóstico para pastos tropicales (C, N)	Al menos un método definido para las especies más solicitadas por entre otras instituciones Corpoica y Fedegan (p.ej. <i>Brachiaria</i> )
6. Caracterización de la diversidad genética existente en una colección <i>ex situ</i> de especie frutal (p.ej. aguacate)	Instituciones colombianas interesadas conocen la amplitud de la diversidad genética para empezar actividades de mejoramiento y promoción de frutales perennes	Colección de Palmira de aguacate evaluada mediante marcadores moleculares para estimación de amplitud de diversidad genética
7. Difusión de Resultados	Instituciones colombianas tienen personal entrenado y tienen acceso a los resultados de la investigación	Personal capacitado; publicaciones; ponencias

## Area de Actividades # 1: Distribución de Germoplasma

### Logro 1. Germoplasma, datos de pasaporte y caracterización disponibles a los usuarios

Se ha distribuido a instituciones colombianas un total de 888 entradas de germoplasma a partir de las colecciones FAO en el año 2002 (Tabla 1). La distribución de material de yuca por ser especializada (a través de *in vitro*) es baja; las instituciones colombianas poco solicitan material de fríjol, mientras que los agricultores y productores agropecuarios sí solicitan germoplasma de forrajeras.

Tabla 1. Distribución de germoplasma en el 2002 según el tipo de institución.

Tipo de Institución	Frijoles		Forrajes		Yuca	
	Envíos	Entradas	Envíos	Entradas	Envíos	Entradas
Compañías comerciales	0	0	3	21	1	1
Agricultores	0	0	65	159	---	---
Bancos Germoplasma	---	---	---	---	1	10
NARS	3	47	4	44	2	12
NGOs	---	---	3	487	---	---
Organizaciones regionales	---	---	1	10	1	5
Universidades	1	45	6	47	---	---
Total	4	92	82	768	5	28

La Tabla 2 reporta los envíos directos a instituciones colombianas, sin contar el germoplasma que les puede llegar a partir de los Proyectos del Centro. Sobre el período de los cuatro últimos años, aparece un creciente interés para germoplasma de forrajeras, mientras que las solicitudes de yuca y fríjol están al mismo nivel. Cabe notar que el número de materiales de forrajes distribuidos a instituciones colombianas es el doble de materiales distribuidos a proyectos del CIAT.

Tabla 2. Distribución de germoplasma a instituciones colombianas sobre el período 1999-2002.

	1999	2000	2001	2002	Total
Fríjol	17	17	94	92	220
Forrajes	296	73	436	768	1,573
Yuca	2	135	48	28	213
Total	315	225	578	888	2,006

Como se observaba el año pasado, las instituciones colombianas podrían hacer más uso de las colecciones de fríjol.

## Area de Actividades # 2: Caracterización de Germoplasma

### Logro 2.1. Colecciones mejor caracterizadas

#### Actividad # 2.1.1. Caracterización de Colecciones Designadas

Aumentar el conocimiento sobre las colecciones designadas a través de descriptores morfo-agronómicos se hace durante las multiplicaciones en invernaderos y campos de producción en

cada localidad. Los caracteres recordados son: hábito de crecimiento, altura de planta al inicio de floración, inicio y fin de cosechas, color de flor, presencia de plagas y enfermedades (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización de germoplasma de fríjol y de especies forrajeras en 2002.

Materiales	Palmira	Quilichao	Popayán	Total
Frijol	1,633	---	2,302	3,935
Forrajes	1,415	986	352	2,753
Total	3,048	986	2,654	6,688

También se aprovechó estos ciclos de regeneración- aumento del germoplasma para enriquecer una base de datos con imágenes de plantas crecidas con escala, que vienen incluidas dentro del sistema informático de URG. En 2002 se añadieron unas 1,643 imágenes digitales al sistema informático. Parte de estas imágenes es también disponible a través del sitio internet del Centro. La finalidad es facilitar la selección de germoplasma promisorio cuando usuarios piden germoplasma a través del sitio web del Centro.

### **Area de Actividades # 3: Investigación en Protocolos de Conservación de Semillas de Especies Frutales**

Logro 3.1. Protocolos establecidos para semillas de Especies Frutales de importancia económica en Colombia

Actividad # 3.1.1. Protocolo para la conservación de semillas de Tomate de Arbol (*Cyphomandra betacea*) y *Brachiaria humidicola*.

#### Introducción

El propósito de este estudio era de establecer un protocolo para conservar semillas botánicas de *Cyphomandra betacea* (Tomate de Arbol) y *Brachiaria humidicola* (como pasto modelo para la industria semillera). Ambas especies han sido reportadas como ortodoxas (Hong et al. 1996); por lo tanto el mismo protocolo aplica para ambas especies: tres contenidos de humedad de semilla (4, 8 y 12%) y tres temperaturas (+5, -18, y -196°C). La conservación inició en abril del 2002 con dos períodos de monitoreo (a los 3 y a los 6 meses).

#### **Materiales & Métodos**

Hemos obtenido la semilla de dos tipos de Tomate de Arbol (*amarillo*, y *tamarillo*) de frutas maduras (Cárdenas 1998). Semillas flotantes posiblemente con embriones mal formados fueron descartadas. Cariopsis secos de *Brachiaria humidicola* fueron cosechados en la estación de Popayán entre enero y marzo del 2002. Se usó un soplador de semillas (Seedburo MO-SB/C) para eliminar las semillas vanas.

#### Germinación y prueba de viabilidad

Para obtener el mejor sustrato para hacer pruebas de germinación de *C. betacea*, se ha ensayado tres sustratos (Tabla 4):

Papel filtro en cajas petri, usando una germinadora Hoffman SG-3055 con 35°C durante 8 horas de luz y 20°C durante las 16 horas de oscuridad y una humedad de 45%.

Rollo de papel de germinación en una cámara de germinación como arriba.

Camas de arena a condiciones ambientales de Palmira.

Diez tratamientos fueron evaluados para encontrar la mejor manera de romper latencia en semillas de tomate de árbol (Tabla 5). Para *Brachiaria humidicola*, la latencia se rompe según la norma ISTA (1999) con escarificación química con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 96% durante 20 minutos y KNO<sub>3</sub> 0.2% en el encuaje de las semillas.

Tabla 4. Comparación de sustratos de germinación para semillas de *C. betacea*.

SUSTRATO	% GERMINACIÓN		VENTAJAS	LIMITANTES
	Fruto rojo	Fruto amarillo		
Papel filtro en cajas petri		25% n = 400	Seguimiento visual a la semilla  Control de luz y temperatura en germinadora	Susceptibilidad a contaminación por hongos  Altos costos de papel filtro  Gran espacio en germinadora
Rollos de papel	71% n =400	64% n =400	Seguimiento visual a la semilla  Control de luz y temperatura en germinadora  Mejor uso del espacio de germinadora	Alto costo de papel de germinación (importado)
Camas de arena	68% n =400	62% n =400	Bajo costo de la arena  No se necesita germinadora  Bajo riesgo de contaminación por hongos	Más difícil de controlar el número de semillas  Dificultad en repetir el experimento en condiciones iguales

Para *Brachiaria humidicola* seguimos el protocolo de germinación y de viabilidad del ISTA (1999). Se usa papel filtro para germinación, y las siguientes etapas para viabilidad: imbibición en agua durante 18 horas, corte longitudinal, e imbibición en sal de tetrazolio a 5% durante 4-5 horas a 40°C.

Tabla 5. Tratamientos usados para romper latencia y resultados de germinación.

TRATAMIENTO	% Germinación 30 días fruto rojo n = 200	% Germinación 30 días fruto amarillo n = 200
Control	63	59
Escarificación mecánica (golpe)	45	48
Escarificación mecánica (corte)	--	17
Imbibición en KNO <sub>3</sub> 1% 24h.	79	75
Imbibición en GA <sub>3</sub> 500ppm 24h	85	82
Imbibición en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1% 5min.	79	79
Imbibición en KNO <sub>3</sub> + KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 1.5% 24h.	80	73
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1% 5min + Imbibición en GA<sub>3</sub> 500ppm 24h</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1% 5min + Imbibición en KNO <sub>3</sub> 1% 24h.	88	84
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1% 5min + Imbibición en KNO <sub>3</sub> + KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 1.5% 24h	80	79

### Tolerancia a la desecación y conservación

Tres contenidos de humedad de la semilla fueron evaluados: 12, 8 y 4%. Estos niveles fueron alcanzados en ambientes cerrados en presencia de gel de sílica (23°C y 21% humedad). El total de semillas fue subdividido y empacado en bolsas de trilaminado plástico aluminio. Las bolsas fueron luego ubicadas en las temperaturas de conservación. Se realizó una prueba inicial de viabilidad, y luego dos pruebas a los 3 y 6 meses de almacenamiento.

### Resultados y Discusión

En la Tabla 4 se muestra todos los sustratos usados para la germinación de semillas de tomate de árbol. Usando el test DMS no se ve diferencias significativas entre germinación en rollos de papel y camas de arena. Para la estimación de viabilidad con sal de tetrazolio (que hace constar el consumo de oxígeno o respiración) el mejor método fue el siguiente:

Imbibición en agua a temperatura ambiente durante 18 horas

Un golpe en el centro de la semilla

Imbibición en sal de tetrazolio a 0.5% durante 24 horas a 40°C

Corte longitudinal de la semilla

### Rompimiento de latencia de semillas de *Cyphomandra betacea*

Las semillas de *C. betacea* presentan latencia y esto ha sido confirmado con 60% de germinación de semillas 5 días después de extracción sin ningún tratamiento. Es importante precisar la naturaleza de la latencia para encontrar la mejor manera de romperla.



Dos tipos de latencia han sido encontrados en *C. betacea*: latencia física o exógena ligada al tegumento de la semilla (que no es totalmente impermeable al agua). Esto permite a la semilla de tener una humedad de 50% máximo cuando está en imbibición en agua (Figura 1). La latencia endógena o fisiológica viene asociada a inhibidores en el embrión u otras estructuras de la semilla (Baskin & Baskin, 1998). La Tabla 5 muestra los tratamientos usados para romper latencia.

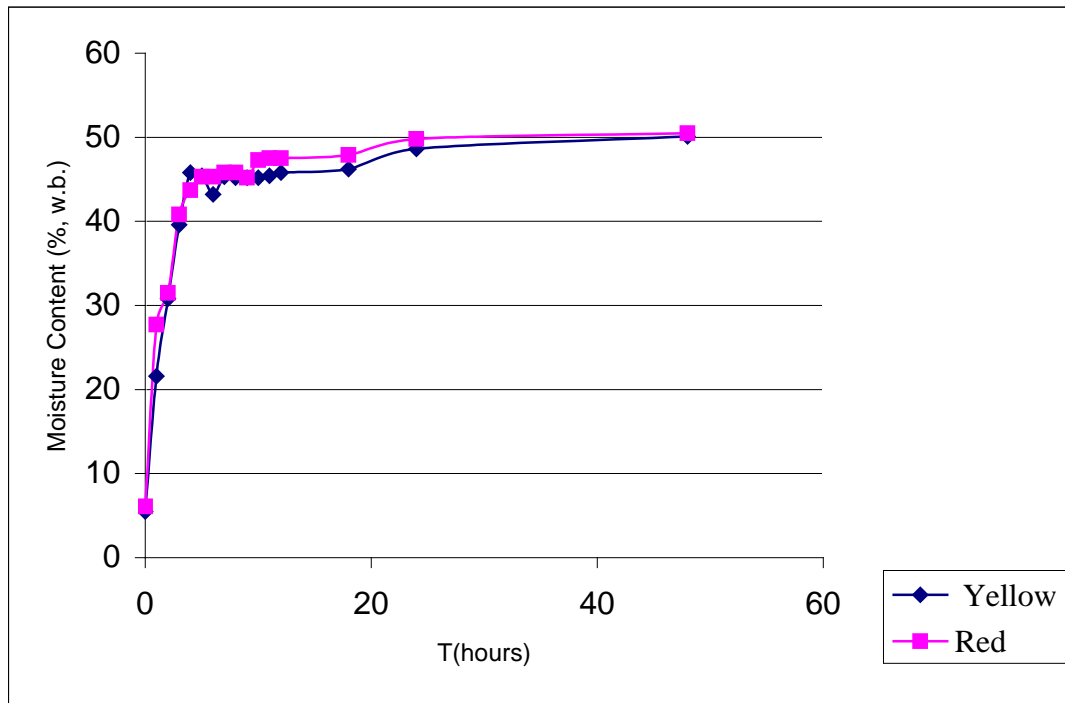


Figura 1 – Dinámica de la imbibición en semillas de *Cyphomandra betacea*

#### Tolerancia a la desecación

Como parte final del proceso de acondicionamiento de la semilla para su conservación, hemos estudiado la evolución de la humedad en cámaras secas para la conservación a las distintas humedades (12, 8 y 4%) (Figuras 2 y 3).

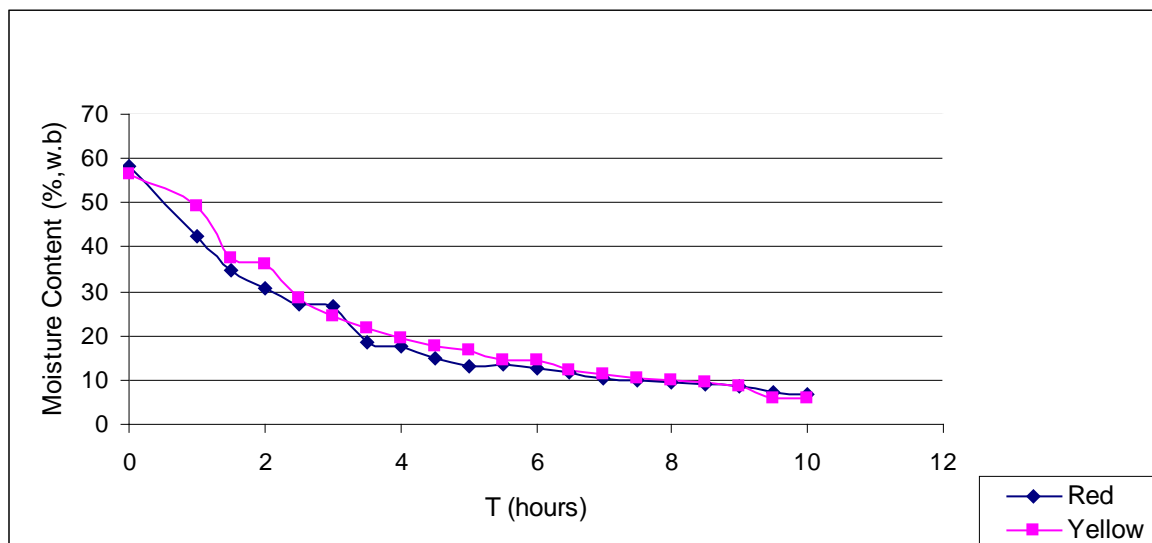


Figura 2. Deseccación de la semilla de *Cyphomandra betacea* (fruto rojo y amarillo).

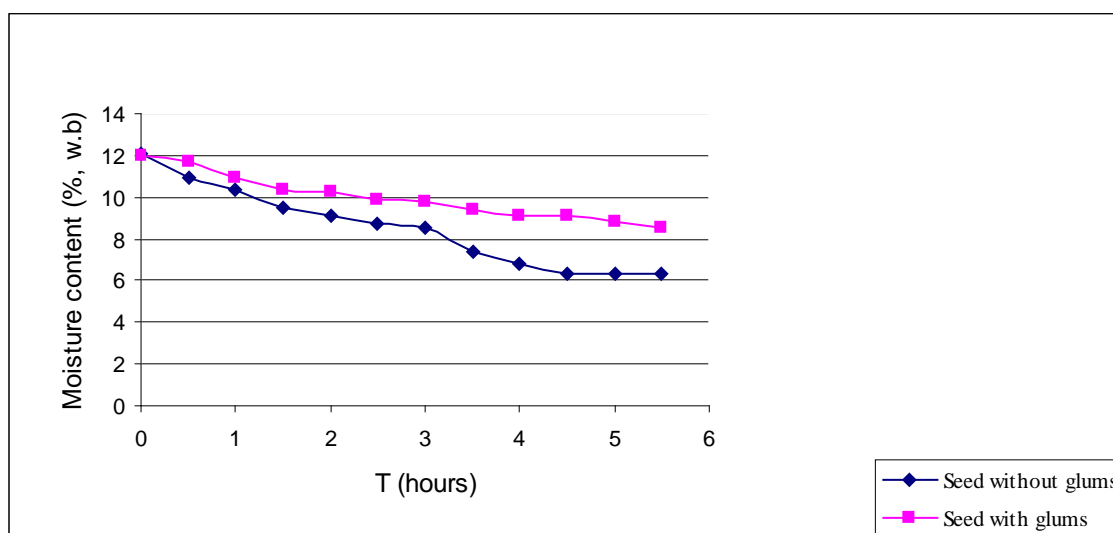


Figura 3. Deseccación de la semilla de *Brachiaria humidicola* (sin y con glumas).

#### Prueba de germinación a través del tiempo e interacción entre factores

Veinticuatro tratamientos fueron evaluados en un modelo factorial (2x2x2x3) completamente aleatorio con cuatro repeticiones. Con los datos de germinación inicial 0 meses y a los 3 meses (Tablas 6 a 9), se hizo una MANOVA donde las fuentes de variación son los factores individuales (tiempo, temperatura, contenido de humedad, condiciones para *Brachiaria humidicola* y variedad de *C. betacea*) y las interacciones.

Cuando se encontraron diferencias significativas a una probabilidad de 5% con un test F, se hizo una comparación de medias con un test de Duncan. El análisis factorial muestra que el tiempo y el contenido de humedad son factores con diferencias significativas entre tratamientos. La variedad y la temperatura no mostraron diferencias significativas. El comportamiento de las dos

variedades de tomate de árbol fue similar bajo las distintas condiciones de conservación (Figura 4). Sin embargo, la germinación total disminuyó a través del tiempo y la reducción fue del 2.9% durante los tres primeros meses de la conservación.

El análisis del segundo factor con diferencias significativas (= contenido de humedad) muestra que no hay diferencias entre los niveles 4 y 8%, pero con una diferencia fuerte al nivel de 12%. Esto nos indica que la reducción del contenido de humedad en la semilla de tomate de árbol ocasiona una reducción en la pérdida de viabilidad. Estos resultados indican una clara tendencia en el comportamiento ortodoxo de las semillas de esta especie como reportado anteriormente por Hong & Ellis (1996).

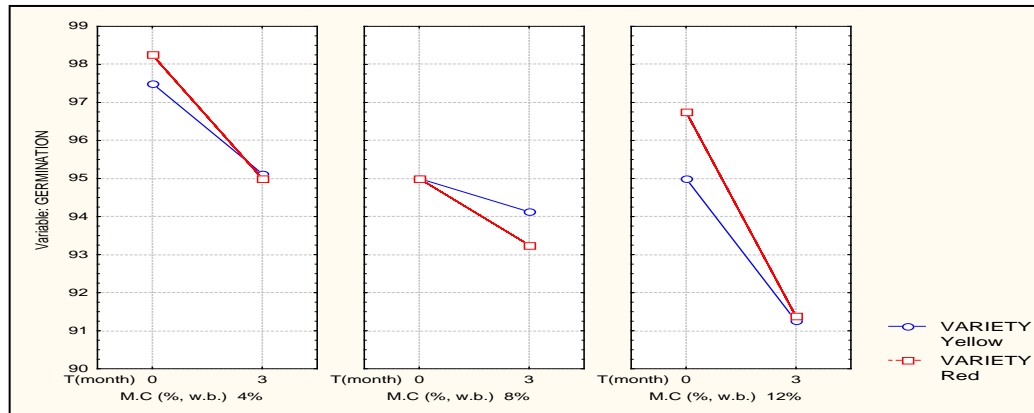


Figura 4. Comparación de factores en semillas de *Cyphomandra betacea*

En *Brachiaria humidicola* observamos una disminución del 4.7% en germinación a través del tiempo. El análisis de interacción de los factores muestra diferencias significativas entre las condiciones (con glumas o sin glumas), tiempo y contenido de humedad (Figura 5). Nuestros resultados muestran que la mejor conservación se logra sin glumas, independientemente de las temperaturas evaluadas. Esta situación ocurre de repente porque las temperaturas bajas actúan como estratificación y ayudan a la semilla a reaccionar al tratamiento químico con KNO<sub>3</sub>, como parte del protocolo de germinación de semilla.

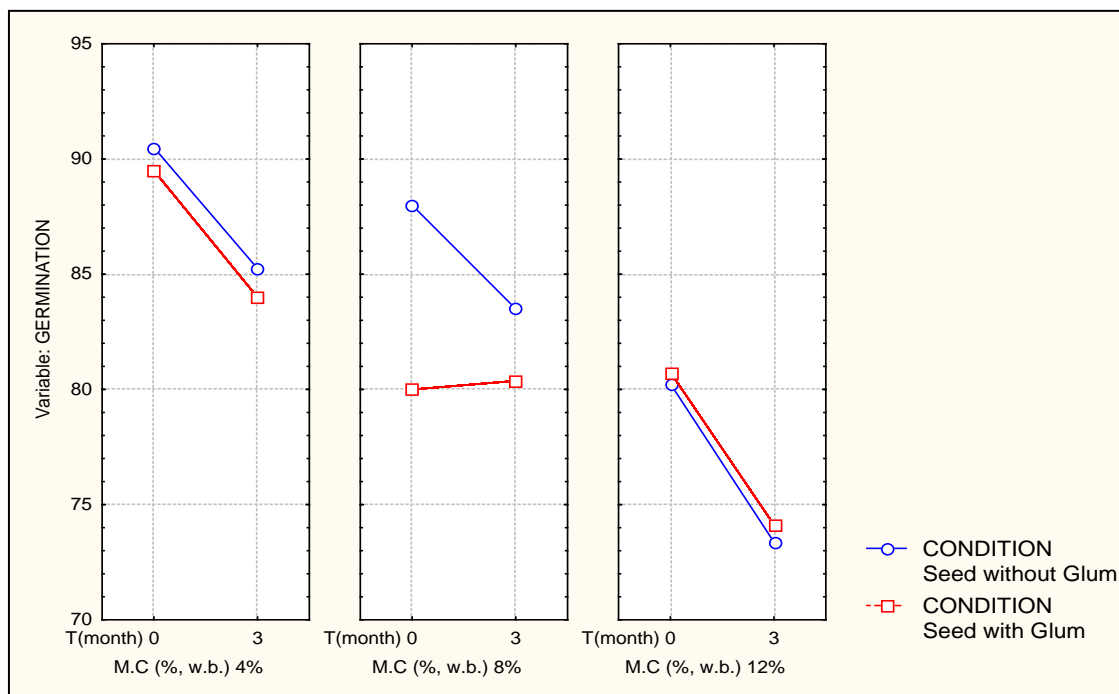


Figura 5. Comparación de factores en semillas de *Brachiaria humidicola*

Tabla 6. % de germinación inicial a 0 meses para *C. betacea*

Contenido de humedad M.C. (h.b.)	% Germinación - fruto rojo (15 días después extracción)	% Germinación - fruto amarillo (15 días después extracción)
12%	97	95
8%	95	95
4%	97	98

Tabla 7. % de germinación a los 3 meses para variedades de *C. betacea* con fruto rojo y amarillo.

Fruto rojo			Fruto amarillo		
M.C. (h.b.)	Temperatura °C	X %germinación	M.C. (h.b.)	Temperatura °C	X %germinación
12%	5	91	12%	5	92
	-20	92		-20	90
8%	5	93	8%	5	93
	-20	93		-20	95
4%	5	96	4%	5	94
	-20	94		-20	95

Tabla 8. % germinación inicial a 0 meses para *B. humidicola*

Contenido de humedad M.C.(h.b.)	% Germinación - Semillas sin glumas (60 días después cosecha)	% Germinación - Semillas con glumas (60 días después cosecha)
12%	80	80
8%	88	80
4%	90	89

Tabla 9. % de germinación - 3 meses para semillas de *B. humidicola* sin y con glumas

Semillas sin glumas			Semillas con glumas		
M.C.(h.b.)	Temperatura ° C	X %germinación	M.C. (h.b.)	Temperatura ° C	X %germinación
12%	5	73	12%	5	76
	-20	73		-20	72
8%	5	84	8%	5	80
	-20	83		-20	81
4%	5	85	4%	5	85
	-20	85		-20	82

### Referencias consultadas

Basking, C. & J.M. Baskin. 1998. Seeds ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, USA.

Cárdenas, F. 1998. Estudio de la latencia en semillas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav. Sendt). Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad nacional de Colombia, Sede Medellín.

Hong, T.D., S. Linington & R.H. Ellis. 1996. Seed storage behaviour: a compendium. Handbooks for genebanks: No. 4. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

International Seed Testing Association. 1999. International rules for seed testing. Rules. Seed sciences technology 21, supplement.

Actividad # 3.1.2. Desarrollo de protocolos de conservación para Papayuelos de Altura usando el modelo de papaya.

### Introducción

La segunda parte de este estudio se concentró en probar los protocolos de conservación de semillas botánicas de *Carica papaya*, ensayando con dos variedades, tres contenidos de humedad, cuatro temperatura de conservación y tres períodos de evaluación. Quisimos ver la reacción de la semilla de *Carica papaya* a la desecación (probando 11, 9 y 5% de humedad) y su comportamiento en conservación a través del tiempo (con temperaturas de +22, +7, -20, y -196°C). La Tabla 10 muestra los factores y la germinación (promedio para 4 muestras).

### Resultados y Discusión

En el análisis de interacción entre factores, se encontraron diferencias significativas en contenido de humedad, tiempo y temperatura. Se encontró una interacción entre los factores contenido de humedad vs. tiempo, y temperatura vs. tiempo.

Tabla 10.

FACTORES			(% ) GERMINACIÓN	
Contenido humedad	Tiempo	Temperatura	Variedad 1	Variedad 2
5%	0	+22C	79	100
5%	1	+22C	95	100
5%	2	+22C	99	100
5%	0	+7C	79	100
5%	1	+7C	91	96
5%	2	+7C	98	100
5%	0	-196C	79	100
5%	1	-196C	93	93
5%	2	-196C	91	95
5%	0	-20C	79	100
5%	1	-20C	88	91
5%	2	-20C	82	95
9%	0	+22C	81	100
9%	1	+22C	96	100
9%	2	+22C	98	100
9%	0	+7C	81	100
9%	1	+7C	95	96
9%	2	+7C	93	100
9%	0	-196C	81	100
9%	1	-196C	93	94
9%	2	-196C	94	84
9%	0	-20C	81	100
9%	1	-20C	93	93
9%	2	-20C	93	96
11%	0	+22C	91	98
11%	1	+22C	97	89
11%	2	+22C	96	80
11%	0	+7C	91	98
11%	1	+7C	86	88
11%	2	+7C	94	69
11%	0	-196C	91	98
11%	1	-196C	92	88
11%	2	-196C	97	87
11%	0	-20C	91	98
11%	1	-20C	85	89
11%	2	-20C	88	87

Tabla 11. Efectos de tratamientos en *Carica papaya* var. 1.

1- CONTENIDO HUMEDAD, 2-TIEMPO, 3-TEMPERATURA						
	df	MS	df	MS	F	p-level
	Efecto	Efecto	Error	Error		
1	2	175,900	108	27,60623	6,37175	,002422*
2	2	1384,328	108	27,60623	50,14548	,000000*
3	3	215,086	108	27,60623	7,79120	,000093*
12	4	310,720	108	27,60623	11,25544	,000000*
13	6	32,094	108	27,60623	1,16255	,331798
23	6	67,082	108	27,60623	2,42996	,030483*
123	12	27,091	108	27,60623	,98134	,471307

En las Figuras 6 y 7 se muestra la interacción contenido de humedad vs. tiempo, con un amplio aumento de la germinación para el más bajo contenido de humedad. Luego de un año de conservación, la germinación aumentó de manera significativa a todas las temperaturas. Esto nos indica que las temperaturas bajas actúan como agente de estratificación. Sin embargo, a  $-20^{\circ}\text{C}$  el aumento era menor que a las otras temperaturas, posiblemente por el comportamiento intermedio de las semillas de *C. papaya*.

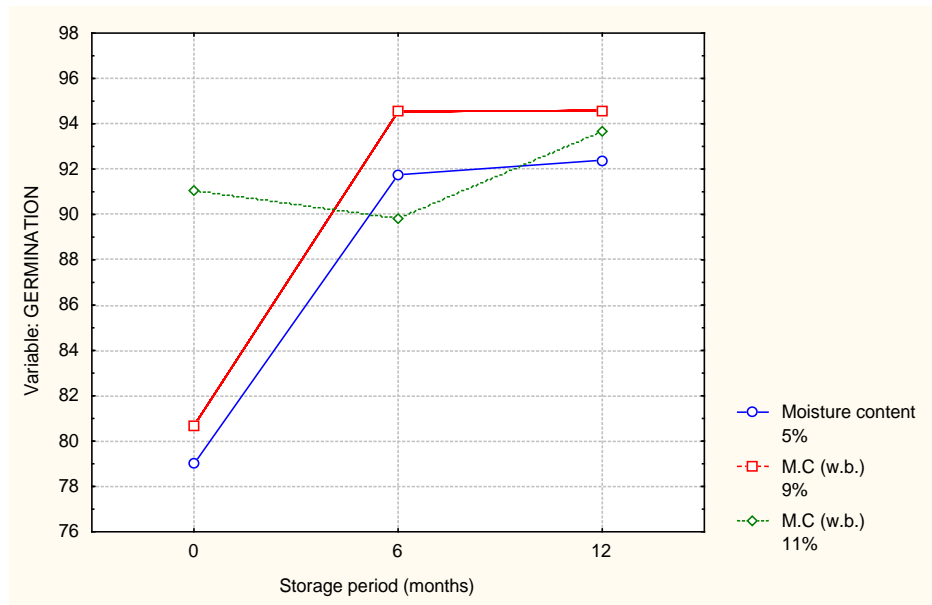


Figura 6. Interacción entre contenido de humedad vs. tiempo para *C. papaya* var. 1

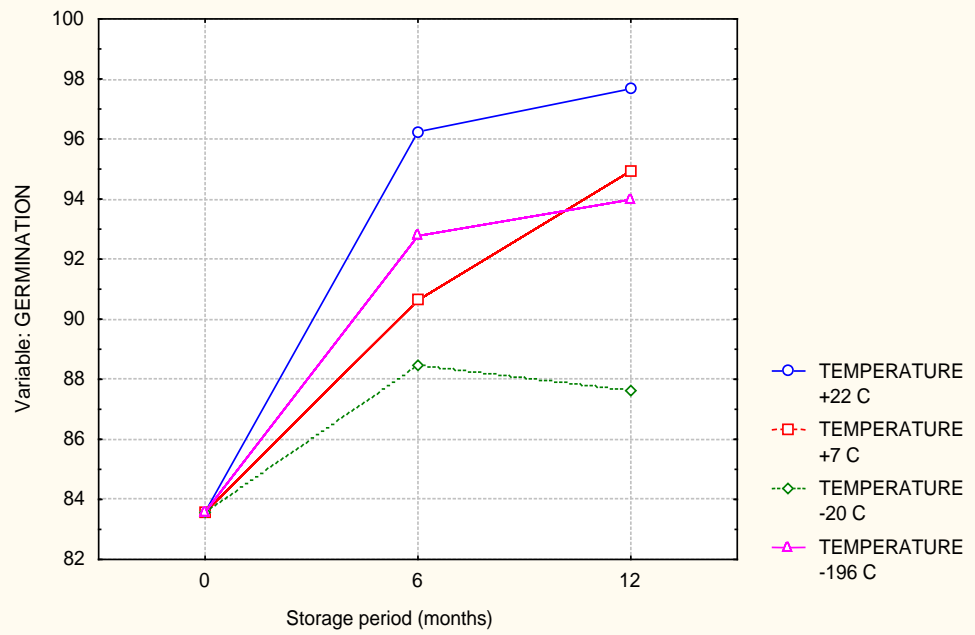


Figura 7. Interacción entre temperatura vs. tiempo para *C. papaya* var. 1.

Tabla 12. Efectos de tratamientos en *Carica papaya* var. 2.

1- CONTENIDO HUMEDAD, 2- TIEMPO, 3- TEMPERATURA						
	df	MS	df	MS	F	p-level
	Efecto	Efecto	Error	Error		
1	2	1012,685	108	12,07652	83,85571	,000000*
2	2	898,452	108	12,07652	74,39659	,000000*
3	3	61,245	108	12,07652	5,07145	,002526*
12	4	272,705	108	12,07652	22,58141	,000000*
13	6	112,450	108	12,07652	9,31145	,000000*
23	6	35,063	108	12,07652	2,90343	011559*
123	12	76,555	108	12,07652	6,33920	000000*

En el análisis de la interacción entre factores, se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos individuales y las interacciones entre ellos. En la Figura 8, vemos que la variedad 2 ha perdido una mayor parte de su viabilidad en comparación a la variedad 1. Un contenido de humedad del 11% ocasiona una fuerte reducción en la viabilidad.

En conclusión, un contenido de humedad entre 5 y 9% es lo mejor para conservar semillas de *C. papaya* en el corto y mediano plazo. Además, vemos una variación genética en la respuesta a varias condiciones de conservación de semillas.



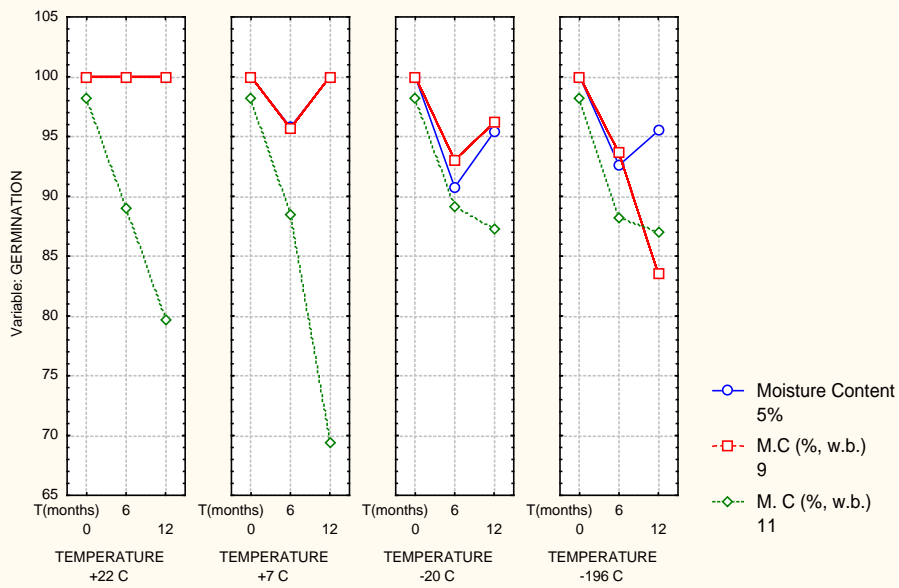


Figura 8

#### Referencias consultadas

CIAT, 2000. Annual report. CIAT Project on Saving Biodiversity SB-01. Genetic Resources Unit. Report on achievements and progresses.

CIAT, 2001. Annual report. CIAT Project on Saving Biodiversity SB-01. Genetic Resources Unit. Report on achievements and progresses.

Hong, T.D. & R.H. Ellis. 1996. A protocol to determine seed storage behaviour. IPGRI Technical Bulletin No. 1.

Hong, T.D., S. Linington & R.H. Ellis. 1996. Seed storage behaviour: a compendium. Handbooks for genebanks No. 4. IPGRI, Rome.

### Area de Actividades # 4: Investigación en Protocolos de Conservación in vitro de Especies Frutales

Logro 4.1. Protocolos establecidos para Especies Frutales con multiplicación vegetativa en crecimiento frenado.

Actividad # 4.1.1. Conservación *in vitro* de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) y lulo (*Solanum quitoense*) utilizando el ancymidol y el nitrato de plata como frenadores de crecimiento.

#### Introducción

El tomate de árbol y el lulo son cultivos importantes para los pequeños y medianos agricultores de las zonas templadas de Colombia. Los problemas fitosanitarios limitan el acceso a material de siembra de calidad, y han estimulado la búsqueda de materiales elites. La existencia de una gran

variabilidad genética en el área hace necesaria la aplicación de estrategias de conservación (Lobo, 2000).

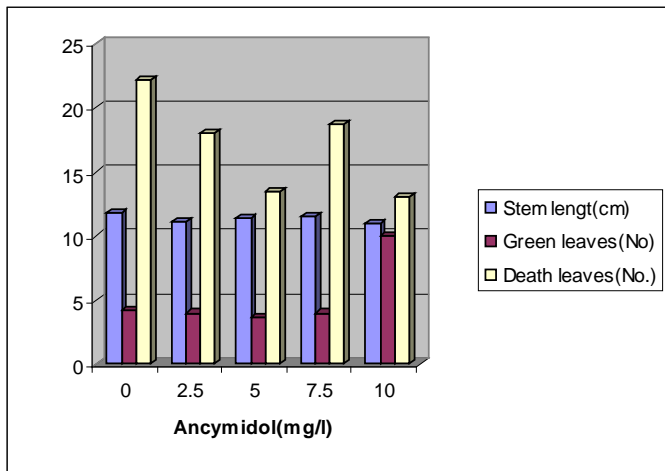
Las técnicas de cultivo *in vitro* permiten de reducir los costos de conservación de germoplasma mientras que se mantengan los materiales en perfectas condiciones; sin embargo está la necesidad de los subcultivos frecuentes. El ancymidol ha sido reportado como regulador de crecimiento limitando una serie de oxidaciones en los tejidos vegetales. Ha sido utilizado para la conservación *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum*), permitiendo una supervivencia óptima luego de largos tiempos de almacenamiento (16 meses), también favoreciendo el crecimiento de microplántulas (Sarkar *et al.*, 2001). El nitrato de plata ha sido identificado como inhibidor de etileno y ha aumentado la conservación *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta*) por 18 meses (Mafla *et al.*, 2000). Quisimos verificar si estos químicos pueden extender el período de mantenimiento *in vitro* de estas especies frutales, ya que no existe información al respecto.

### Materiales & Métodos

Utilizamos dos genotipos de lulo: un material de *Solanum quitoense* de Ginebra (Valle del Cauca, Colombia) y el Lulo 'La Selva' (de CORPOICA, Colombia), y un genotipo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). Se condujo el experimento con tallos de un solo nudo obtenidos de plántulas cultivadas *in vitro* de manera aséptica. Dos tallos se cultivaron por tubo. Para lulo, se experimentaron cuatro concentraciones de Ancymidol (0, 2,5, 5,0, 7,5 y 10,0 mg/l). El medio de cultivo era un medio MS (Murashige & Skoog), con vitaminas y 30 g l-1 de sucrosa. Para el tratamiento con nitrato de plata se usó las concentraciones 0, 2, 4, 8, 10, 10 \* (con reguladores de crecimiento) mg/l con 30 g l-1 de sucrosa y 20 gr/l de manitol. Los cultivos se mantuvieron a 23°C bajo un fotoperíodo de 12-horas (1,000 lux). Cada tratamiento incluyó cinco repeticiones. Para el tomate de árbol, los tratamientos fueron el control (0), cuatro concentraciones de Ancymidol: 2.5 (1), 5,0 (2), 7.5(3), 10.0(4) mg/l y Nitrato de plata (10mg/l, tratamiento 5). Después de cinco meses de almacenamiento, se hicieron observaciones sobre crecimiento de tallos (cm), número de hojas verdes y senescencia foliar. Se hará otras evaluaciones para confirmar la viabilidad de los cultivos cuando salen de los tratamientos, por ejemplo la capacidad de micropropagación.

### Resultados

Se observa en la Figura 9 el efecto del ancymidol sobre el crecimiento del tallo y el número de hojas verdes y muertas en *Solanum quitoense*. No se ven diferencias significativas entre los tratamientos con relación a lo largo del tallo pero de manera positiva en los números de hojas verdes y muertas. Una mejor calidad del material se observa con altas concentraciones de ancymidol (10,0 mg/l). El largo promedio de los tallos varía entre 8.6 cm y 11.8 cm. La misma respuesta se observó en el lulo 'La Selva'; la tasa de crecimiento medida en términos de largo de tallo no presentó diferencias significativas (Figura 9b), pero sí hubo cambios en los números de hojas verdes y muertas. Un aumento significativo en el número de hojas verdes se vio solamente cuando las microplantas fueron conservadas en medios con 10.0 mg/l.

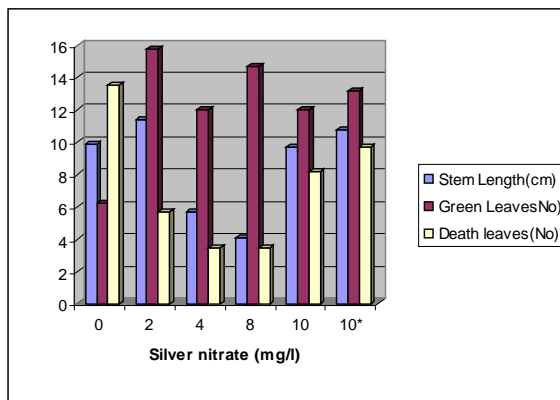


a

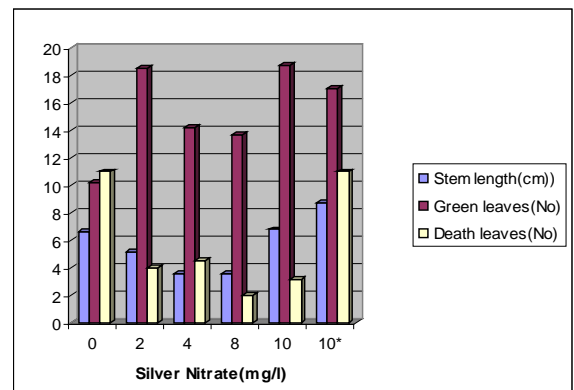
b

Figura 9a-b. Efecto del ancymidol sobre el largo de tallo (cm), y número de hojas verdes y muertas durante el cultivo *in vitro* de lulo (*Solanun quitoense*) y lulo 'La Selva'.

Los análisis de varianza mostraron que el nitrato de plata tuvo un mayor efecto en cada una de las características observadas. El largo promedio de tallo varió entre 4.1 y 11.4 cm en *Solanum quitoense* y 3.6 y 8.7 cm en lulo 'La Selva'. Se observó un menor crecimiento cuando el medio tenía 4,0-8,0mg/l de nitrato de plata; la misma reducción ocurrió en el número de hojas muertas mientras el número de hojas verdes aumentaba (Figura 10 a-b). Los resultados muestran que los materiales quedaron vivos hasta cinco meses bajo estas condiciones de cultivo



a



b

Figura 10a-b. Efecto del nitrato de plata sobre el largo de tallo (cm), y número de hojas verdes y muertas durante el cultivo *in vitro* de lulo (*Solanun quitoense*) y lulo 'La Selva'.

En tomate de árbol no vimos diferencias en el crecimiento de microplantas en medios con diferentes niveles de ancymidol y nitrato de plata. Sólo se observó una menor defoliación cuando se usó ancymidol a 10,0 mg/l (Figura 11).

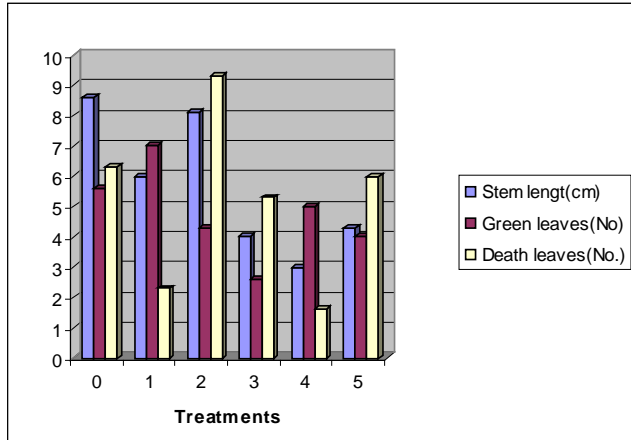


Figura 11. Efecto del ancymidol y nitrato de plata sobre largo de tallo (cm), número de hojas verdes y hojas muertas durante el cultivo *in vitro* del tomate de árbol.

## Conclusiones

El uso de nitrato de plata en lulo ha mostrado un efecto positivo con una reducción del crecimiento; es necesario seguir con las evaluaciones y medir las tasas de supervivencia.

En tomate de árbol no se han visto diferencias con los medios evaluados hasta el momento; se sigue haciendo ajustes en los medios.

## Referencias consultadas

Lobo, Mario. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. Proceedings of 3<sup>er</sup> Seminario de frutales de clima frío. Manizales, 15-17 Noviembre 2000. Pp 27-35.

Mafla, G., J.C. Roa & C.L. Guevara. 2000. Advances in the *in vitro* growth control of cassava, using silver nitrate. In : "Cassava Biotechnology", Carvalho, L., Thro, A.M., Vilarinhos, A. D.(eds.), Empresas Brasileiras de Pesquisa Agropecuaria, Brasília, Brasil, pp.439-446.

Sarkar, D., S.K. Chakrabarti & P.S. Naik. 2001. Slow-growth conservation of potato microplants: efficacy of ancymidol for long-term storage *in vitro*. Euphytica 117: 133-142

## Area de Actividades # 5: Investigación en Control de Enfermedades en Germoplasma de Pastos Tropicales.

Logro 5.1. Protocolos establecidos para controlar las enfermedades en semillas de germoplasma de pastos tropicales.

Actividad # 5.1.1. Evaluación de tres fungicidas para controlar los hongos ligados a la semilla

(*Sphacelia* sp., *Drechslera* spp., *Phoma* sp., *Cerebella* sp.) y afectando la calidad de la producción de semilla en *Brachiaria brizantha*, accesión 16322.

## Introducción

La regeneración de germoplasma en condiciones de campo incluye unos riesgos de re-infección de parte de patógenos como hongos que afectan la producción y la calidad de las semillas.

Tabla 13. Fungicidas utilizados en evaluaciones sobre la producción de semillas de calidad de *Brachiaria brizantha*, entrada # 16322

Fungicida	Nombre comercial	Concentración	Formulación	Dosis kg o L/ha (producto comerc.)
Mancozeb	Manzate 200 WP	80%	Polvo mojable	5.0
				6.1
				7.2
Metalaxyl + Mancozeb	Ridomil Gold MZ 68 WP	4% Methalaxyl + 64% Mancozeb	Polvo mojable	2.0
				2.5
				3.0
Propiconazole	Tilt 250 EC	25%	Emulsión Concentrada	0.38
				0.61
				0.77

Infecciones por hongos pueden disminuir la viabilidad durante la conservación y prohíben la distribución internacional segura cuando estos patógenos son de importancia cuarentenaria.

En unos estudios previos desarrollados en condiciones de campo en la estación de Santa Rosa (Popayán), hemos encontrado un complejo de hongos tales como *Sphacelia* sp., *Drechslera* spp., *Phoma* spp., y *Epicoccum* sp. (*Cerebella* sp.). Estos afectan la producción de semillas de calidad de especies de *Brachiaria* (García & Pineda, 2000). Las evaluaciones desarrolladas en el Laboratorio de Sanidad de Germoplasma usando algunos fungicidas en condiciones *in vitro* contra los mismos hongos aislados de las semillas de *Brachiaria brizantha* producidas en Santa Rosa han mostrado que fungicidas como Propiconazole y otros químicos ejercen cierto control sobre estos hongos (CIAT, 2001). En otros estudios recientes la eficacia en condiciones de campo del Propiconazole para controlar este complejo de hongos en 72 materiales de *Brachiaria brizantha* ha sido evaluada en diferentes estados de crecimiento. Los resultados del control muestran amplia variabilidad, causada posiblemente por la diversidad de los materiales expresada en la floración escalonada y la producción de semilla dentro de estos mismos números, aparte de las dificultades en las evaluaciones. Para tener mejor control sobre esta variabilidad, se hizo un estudio de un solo material donde se evaluó la eficacia del Propiconazole y fungicidas adicionales tales como Mancozeb (Manzate 200) y Metalaxyl + Mancozeb (Ridomil Gold).

## Materiales y Métodos

Se hizo esta investigación en campo de la estación de Santa Rosa en el semestre 2000A. Se aplicaron tres dosis de los fungicidas evaluando la eficacia con observaciones de los hongos encontrados sobre las inflorescencias de *Brachiaria* (Tabla 13). Las aplicaciones de los fungicidas se hicieron en parcelas de 6x3 m del material *Brachiaria brizantha* no. 16322 empezando en el momento de la formación de espiguilla. Se hicieron cuatro aplicaciones con Agro Laura Sprayer cada dos semanas durante dos

meses empezando el 12 de Marzo 2002. Se hizo una distribución completamente aleatoria de los diez tratamientos (nueve con fungicidas y uno sin químicos).

Se hizo la evaluación del progreso de la infección de los hongos después de la aplicación de fungicidas usando una escala de siete grados de severidad de síntomas. Para obtener la información se lanzó tres veces al azar un cuadro de madera de 50x50 cm en cada una de las parcelas.

Dos semanas después de la última aplicación se hizo la primera cosecha de semillas, cortando las inflorescencias maduras y reuniéndolas en bolsas de polypropylene (la aireación de las mismas previene la pudrición de las semillas). Dos semanas después se procedió a la segunda cosecha con la misma manipulación de las inflorescencias. Cuatro días después de cada cosecha las inflorescencias eran sacudidas para quitar las semillas, que eran acondicionadas según los procedimientos en uso en URG.

Para establecer el estado fitosanitario lotes de 100 semillas de cada material fueron analizados con dos métodos: test de lavado de semillas e incubación 'blotter' (Neergard, 1977; Agarwal & Sinclair, 1987). La presencia de hongos se detectaba con estereomicroscopio y microscopio de luz, y la identificación de géneros se hacía con comparaciones de descripciones e ilustraciones encontradas en la literatura especializada (Barnnet & Hunter, 1998; Zillinsky, 1983; Ahmed & Ravinder Reddy, 1993).

## **Resultados**

La evaluación final de la infección por hongos al momento de la cosecha mostró bajos niveles de infección (por abajo de G3) en todos los tratamientos incluyendo el control sin aplicación de fungicidas (Tabla 14), y ninguna diferencia entre tratamientos. El análisis del estado fitosanitario mostró porcentajes bajos de infección de las muestras de la primera cosecha, y un aumento considerable en los porcentajes de ciertos hongos en semillas de la segunda cosecha (Tabla 15). Esto se debe posiblemente a infecciones posteriores a la última aplicación de fungicidas ya que la segunda cosecha se hizo un mes después de la última aplicación.

Tabla 14. Grados de infección por hongos afectando las inflorescencias de *Brachiaria brizantha* en dos cosechas luego de aplicaciones de fungicidas.

Tratamiento	Dosis (kg. o L/ha)	Grados de infección por hongos (promedio)	
		I*	II
Manzate 200 WP	5.00	2.33**	3.00
Manzate 200 WP	6.10	2.00	2.33
Manzate 200 WP	7.20	2.00	1.67
Ridomil Gold MZ 68	2.00	2.33	2.33
Ridomil Gold MZ 68	2.50	2.00	2.33
Ridomil Gold MZ 68	3.00	2.00	2.67
Tilt 250 EC	0.38	2.00	3.00
Tilt 250 EC	0.61	2.00	3.00
Tilt 250 EC	0.77	2.00	2.00
Control without fungicide	--	2.00	2.67

\* número de cosecha \*\* grados de infección en una escala 0 – 5.

Podemos ver que una cosecha temprana produce semillas con porcentajes bajos de infección por hongos, mientras que una cosecha tardía después de aplicación de fungicidas muestra un porcentaje alto de infección por *Drechslera* spp. y niveles moderados por *Phoma* spp., *Curvularia* spp., *Fusarium* spp *Epicoccum* spp. y *Aspergillus* spp. (Tabla 15).

Con respecto al efecto de las aplicaciones de fungicidas en este ensayo, es difícil determinar si hubo un efecto de control de las enfermedades, considerando los bajos niveles de infección en este ensayo. Un otra razón puede ser en las condiciones ambientales (lluvia y humedad) durante la fase de pre-cosecha que facilitaron el ataque de hongos cuando ya había pasado la acción residual de los fungicidas.

Tabla 15. Porcentage de hongos encontrados en semillas de *Brachiaria* después de aplicaciones de fungicidas

Tratamiento	Dosis (kg.; L/ha)	<i>Sphacelia</i> sp.		<i>Drechslera</i> spp.		<i>Phoma</i> spp.		<i>Curvularia</i> spp.		<i>Cladosporium</i> spp.		<i>Fusarium</i> spp.		<i>Epicoccum</i> spp.		<i>Nigrospora</i> spp.		<i>Alternaria</i> spp.		<i>Chaetomium</i> spp.		<i>Pithomyces</i> spp.		<i>Trichotecium</i> spp.		<i>Aspergillus</i> spp.		<i>Rhizopus</i> spp.	
		I*	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II		
Manzate 200 WP	5.0	0(+)	0	0	54	0	13	0	9	0	2	0	37	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	6.1	1	0	0	64	1	4	0	12	0	2	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
	7.2	(+)0	0	4	63	0	7	0	11	0	0	0	4	0	6	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Ridomil Gold MZ 68	2.0	0	0	0	69	0	3	1	5	0	0	0	23	0	0	0	3	0	0	0	8	0	2	0	0	0	0	3	0
	2.5	0	0	0	46	0	4	2	9	0	4	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	0	
	3.0	0	0	0	63	0	7	0	16	0	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5	0	
Tilt 250 EC	0.38	(+)0	0	0	71	0	5	1	8	0	0	0	37	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0
	0.61	0	0	0	69	0	12	0	0	0	0	0	48	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
	0.77	0	0	0	88	0	4	0	13	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	
Control Sin fungicid.	0	0	0	53	0	7	1	4	0	0	0	0	3	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	

\* número de la cosecha (+) Presencia de *Sphacelia* spp. determinado por test de lavado

## **Referencias consultadas**

- Agarwal , K.V. & B. Sinclair. 1987. Principles of seed pathology (Vol II). CRC,Press. Boca Raton, Florida. p 34-37
- Amhed, K. M. & CH Ravinder Reddy. 1993. A Pictorial Guide to the Identification of Seedborne fungi of Sorghum, Pearl Millet, Finger Millet, Chckpea, Pigeonpea and Groundnut. ICRISAT Information Bulletin No 34. 192 pp
- Barnett, H.L. & B.B. Hunter. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. Fourth edition. The American Phytopathological Society. APS Press. St. Paul Minnesota. USA. 218pp
- García, S. X. & B. Pineda. 2000. Reconocimiento de enfermedades fungosas transmitidas por semillas en germoplasma de Brachiaria spp. Fitopatología Colombiana. 24(2): 39-46.
- CIAT. 2001. Genetic Resources Unit.. Annual Report 2001. CIAT Project on Saving Biodiversity SB-01. Genetic Resources Unit. Report on Achievements and Progresses.
- Neergard, P. 1977. Seed Pathology. Halted Press, a division of John Wiley and sons, Inc, New York .p 738-754
- Zillinsky, F.J. 1983. Common diseases of small grain cereals. A guide to identification. Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Sorgo. CIMMYT. 141 pp.

## **Area de Actividades # 6: Caracterización de Germoplasma de Colecciones de Frutales.**

### **Logro 2.1. Colecciones mejor caracterizadas e identificación de duplicados**

Actividad # 2.1.1. Caracterización de Colección de Aguacate de CORPOICA usando marcadores AFLPs.

#### **Introducción**

A través de este estudio quisimos conocer junto con el programa de CORPOICA el nivel de redundancia en la colección de aguacate conservada en al estación de Palmira, así como la extensión de la diversidad genética con miras a futuros programas de mejoramiento. Este marcador combina ciertas ventajas de especificidad de análisis de enzimas de restricción con la relativa simplicidad de la reacción PCR. Permite estudiar polimorfismo en unos 60-90 zonas del genoma nuclear al azar.

#### **Resultados y Discusión**

Se ha colectado DNA de muestras de tejido foliar para 61 materiales de aguacate provenientes de regiones de Colombia, México, Guatemala y Trinidad y Tobago. Se ha estandarizado el protocolo de extracción de DNA. Esta extracción resultó ser difícil por el contenido alto y la actividad de polyphenoxidasas (que ocasionan una coloración oscura en los extractos) que interfieren con el DNA. La estandarización ha sido basada sobre el protocolo de Dellaporta para la extracción de DNA para los microsátélites de arroz. Se usó polyvinilpirrolidone (Pvp-40) para eliminar las polyphenoxidasas, y evitar la degradación del DNA. Se hizo un lavado con fenol y tres lavados seguidos con una mezcla de chloroform: isoamylic alcohol. Una vez que el DNA haya sido



lavado, se lo precipitó con isopropanol, aglomeró y luego lavó con ethanol para finalmente disolverlo con TE (10 mM Tris-HCl /1mM EDTA pH 8.0). Estos lavados fueron clave para realizar la digestión, y luego la amplificación del DNA. Seguimos con el método de análisis I (Vos et al. 1996) con modificaciones menores.

## **Area de Actividades # 7: Formación de Recursos Humanos y Divulgación de Resultados.**

### **Logro 5. 1. Recursos Humanos de los NARS entrenados**

Durante el año 2002, **cuatro** cursos tuvieron la participación del Staff URG.

‘Magister Scientiae en Recursos Fitogenéticos Neotropicales’, por la Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Abril-Septiembre de 2002.

‘Curso intensivo de capacitación en sistemas modernos de producción y procesamiento de yuca’, 25-28 de Junio, 2002, CIAT, Colombia.

‘Curso de conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos’, 10-12 de Septiembre, 2002, cooperación ICA-IPGRI-CIAT, Colombia.

‘1er Taller Regional de Propagación Rápida (*in vitro*) y Transformación Genética’, 25 Febrero-Iro Marzo 2002, CIAT, Colombia.

### **Logro 5. 2. Conferencias en foros nacionales/ internacionales**

Se presentaron **cinco** conferencias/ ponencias en 2002, así:

Debouck, D.G. Bioprospección y recursos genéticos – observaciones sobre metodologías. Taller nacional de bioprospección, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, 18 de Abril 2002.

Debouck, D.G. Observaciones sobre metodologías de bioprospección y colecta de recursos genéticos – cómo buscar? Instituto de Investigaciones en Diversidad Biológica ‘Alexander von Humboldt’, Bogotá, 24 de Abril 2002.

Debouck, D.G. Avances sobre el Tratado internacional sobre recursos fitogenéticos para alimentación y agricultura. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Palmira, 8 de Mayo 2002.

Debouck, D.G. Concepto de especies y domesticación de plantas, Taller sobre Bioseguridad de Plantas Transgénicas, CIAT, Palmira, Colombia, 20-21 de Septiembre 2002.

Torres, A.M. Cladística: una herramienta para la sistemática. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Abril 2002.

### Logro 5.3. Lista de Publicaciones en 2002

#### A. En periódicos científicos “refereed”:

Bayuelo-Jimenez, J.S., D.G. Debouck & Lynch J.P. 2002. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Science* 42 (6): 2184-2192.

Freytag, G.F. & Debouck D.G. 2002. Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. *SIDA Bot. Miscel.* 23: 1-300.

#### B. En periódicos científicos no “refereed”:

Chacón, M.I., B. Pickersgill & D.G. Debouck. 2002. Cases of past cytoplasmic introgression of nuclear genes in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annu. Rept. Bean Improvement Coop. (USA)* 45: 230-231.

García, S. X., Pineda, B., Salazar, S. M. 2001. Presencia de la enfermedad del mal de azúcar (*Sphacelia* spp) en tres especies del pasto *Brachiaria* (Panicoidea, Poaceae). *Fitopatología Colombiana* 25 (2): 1-8.

Muñoz, L.C., M.W. Blair & D.G. Debouck. 2002. Genetic diversity of the CIAT tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) collection measured with amplified fragment length polymorphism markers. *Annu. Rept. Bean Improvement Coop. (USA)* 45: 234-235.

Ocampo, C.H., Martín, J.P., Ortiz, J.M., Sánchez-Yélamo, M.D., Toro, O. & D.G. Debouck. 2002. Possible origins of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated in Spain in relation to the wild genetic pools of the Americas. *Annu. Rept. Bean Improvement Coop. (USA)* 45: 236-237.

#### C. En libros:

Alvarez, E, B, Belloti, A., Calvert, L., Arias, B. , Cadavid L F., Pineda, B., Llano, G. & Cuervo, M. 2002. Guía práctica para el manejo de las enfermedades, las plagas y las deficiencias nutricionales de la yuca. Imágenes Gráficas S.A. Cali. 120p.

#### D. En actas:

Chacón, M.I., B. Pickersgill & D.G. Debouck. 2002, Polimorfismo del ADN del cloroplasto y la domesticación del fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L). *In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 10-18 Octubre de 2002.* Pp. 10.

Mafla, G., Roa, J.C. & Debouck, D.G. 2002. Conservación in vitro y utilización del germoplasma del género *Manihot*. *In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.* Pp. 212

Mafla, G., Roa, J.C., Flor, N.C. & Debouck, D.G. 2002. Efecto del ancymidol y el nitrato de plata sobre el crecimiento de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y tomate de árbol (*Solanum betaceum* Sendt.) conservados in vitro. *In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.* Pp. 103

Muñoz L.C. , M. W. Blair & D.G. Debouck. 2002. Observaciones sobre el estatuto de parientes silvestres del frijol tepari, *Phaseolus acutifolius* Asa Gray. In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002. Pp. 9.

Pineda L, B., Balcazar, Maria del S. & Flor, N. C. 2002. Microflora asociada a germoplasma de frijol, pasturas tropicales y yuca. In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002. Pp 60.

Pineda, B., Rivera. A.L., Balcazar, Maria del S., Ramírez J. L. & Debouck, D.G. Efectividad de la aplicación de Propiconazole en el control del complejo fungoso ( *Sphacelia* spp, *Drechslera* spp. *Phoma* sp. , *Cerebella* sp. ) en inflorescencias de *Brachiaria brizantha*. In : Memorias XXIII Congreso Ascolfi. Julio 3-6 de 2002. Bogotá. Pp 96.

Salcedo J. M. Protocolos de conservación de semillas de solanum betaceum (*Solanaceae*, *Solaneae*) y *Urochloa* spp. (*Poaceae*, *Panicaceae*) In Memorias: VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002. Pp.152.

Torres, A.M., Debouck D.G., A. Ciprian & O. Toro. 2002 . Conservación de recursos genéticos de forages tropicales y frijol: Un servicio para la investigación de la agrobiodiversidad en la región. In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 10-18 Octubre de 2002. Pp. 90.

Torres, A.M. & D.G. Debouck. 2002. El Herbario CIAT como colección de referencia para la autenticación, caracterización, y conservación de germoplasma tropical. In: Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002. Pp 92.

### **Como Carteleras Científicas:**

Debouck, D.G., A.M. Torres, A. Ciprian & O. Toro. 2002. Conservación de recursos genéticos de forages tropicales y frijol: Un servicio para la investigación de la agrobiodiversidad en la region (Colombia). VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 10-18 Octubre de 2002.

Flor, N.C. , Pineda B. & G. Mafla. 2001. CIAT cassava in vitro collection cleaned against “seed borne “diseases of quarantine importance. Fifth International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, St. Louis, Missouri, USA. 4-9 November 2001.

Mafla. G., J.R. Roa & D.G. Debouck. 2001 Observations about the distribution of cassava germplasm from an international collection. Fifth International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, St. Louis, Missouri, USA. 4-9 November 2001.

Chacón, M.I., B. Pickersgill & D.G. Debouck. 2002, Polimorfismo del ADN del cloroplasto y la domesticación del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 10-18 Octubre de 2002..

Mafla, G., Roa, J.C. & D.G. Debouck. 2002. Conservación in vitro y utilización del germoplasma del género *Manihot*. VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.

Mafla, G., Roa, J.C., Flor, N.C. & D.G. Debouck. 2002. Efecto del ancymidol y el nitrato de plata sobre el crecimiento de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y tomate de árbol (*Solanum betaceum* Sendt.) conservados in vitro. VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.

Muñoz L.C., M. W. Blair & D.G. Debouck. 2002. Observaciones sobre el estatuto de parientes silvestres del frijol tepari, *Phaseolus acutifolius* Asa Gray. VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.

Pineda L, B., Balcazar, Maria del S. and N.C. Flor. 2002. Microflora asociada a germoplasma de frijol, pasturas tropicales y yuca. VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.

Salcedo J.M. 2002. Protocolos de conservación de semillas de *Solanum betaceum* (*Solanaceae*, *Solaneae*) y *Urochloa spp.* (*Poaceae*, *Panicaceae*) VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.

Torres, A.M. & D.G. Debouck. 2002. El Herbario CIAT como colección de referencia para la autentificación, caracterización, y conservación de germoplasma tropical. VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 13-18 Octubre de 2002.

Torres, A.M., Debouck D.G., A. Ciprian & O. Toro. 2002. Conservación de recursos genéticos de forages tropicales y frijol: un servicio para la investigación de la agrobiodiversidad en la región. VIII Congreso Latinoamericano de Botánica y II Congreso Colombiano de Botánica, Cartagena, 10-18 Octubre de 2002.

#### **Logro 5.4. Lista de Personas en Entrenamiento Personalizado en 2002**

##### **Laboratorio de Conservación de Semillas**

Osorio, Victoria Eugenia. CORPOICA-Macagual, 17-21, June, 2002.

Muñoz, Jacqueline. CIAT, 18-28 Julio, 2002.

##### **Laboratorio de Electroforesis**

Carlos Alexander Montoya & Mónica Viviana Arbelaez. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 14 Enero – 27 Marzo del 2002.

Claudia Cristina Rojas Marulanda. Programa Nacional de Recursos Biofísicos de la Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias (CORPOICA). Tibaítata, Colombia. 18 Febrero – 27 Marzo 2002.

##### **Laboratorio de Sanidad de Germoplasma**

Sandra Milena García. Patología de Yuca, CIAT.

Yudy Zamira Moreno. Patología de Yuca, CIAT.

Javier Beltrán. Universidad de Sucre, Colombia.

Juan Manuel Díaz. Universidad de Sucre, Colombia.

Dani Theodoro Junghans. EMBRAPA – BRASIL. Training in Cassava virus indexing techniques (Elisa Test, PCR Technique and grafting).

Participantes del Curso sobre Biotecnología de Yuca. CIAT – CORPOICA. Abril 30-2002.

Andrés Caballero. CORPOICA, Regional Santa Marta, Colombia.

Miguel Martínez. CORPOICA, Regional Montería, Colombia.

Karina Proaño. Escuela Politécnica del Ecuador, ESPE. Training in Cassava virus indexing techniques (Elisa Test, PCR Technique and grafting).

Participantes del Curso en Conservación ex situ de Recursos Fitogenéticos. MADR, ICA, IPGRI y CIAT. Septiembre 2002.

**META 7**  
**MAIZ**

**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA  
MADR-CIAT**

**RESULTADOS 2002**

**META 7: MAIZ**

**Centro de Costos CIAT: HIA-01**

**Responsable: Carlos De León**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>ACCIONES REALIZADAS 2002A, B</b>
7.1. Mejoramiento de tolerancia a suelos ácidos en 2 poblaciones heteróticas de maíz blancas y 2 heteróticas amarillas	<p>- Poblaciones blancas: Siembra de lotes aislados para la generación de mestizos (Línea x probador) en campos de agricultores. Debido a fuerte sequía en la temporada A y vientos que destruyeron la siembra de los lotes aislados, la formación de mestizos se está repitiendo en lotes de cruzamientos establecidos en Palmira durante la temporada 2003A.</p> <p>- Poblaciones amarillas: 169 y 144 mestizos (líneas de Pob.SA3xCLA18 y líneas de Pob.SA4xCLA17, respectivamente), se evaluaron en ensayos de rendimiento en Palmira, Caicedonia, Villavicencio y Menegua. Las 20 líneas con mejor aptitud combinatoria general, se seleccionaron de cada una de las poblaciones para generar el C3 de mejoramiento. Con éstas, se continuará el programa de selección recíproca recurrente programado para la generación de nuevas líneas, sintéticos e híbridos.</p>
7.2. Generación y evaluación de nuevas líneas	- Durante 2002, se generaron y evaluaron un total de 2621 líneas en varios estados de endocria, la mayoría de ellas en S1-S5. Las

	<p>líneas se generaron a partir de poblaciones en proceso de mejoramiento y poblaciones siendo seleccionadas a estreses específicos en el Programa. Las evaluaciones de líneas se hicieron en viveros que se sembraron en Caicedonia, Villavicencio, Granada y Menegua, las 3 últimas con suelos ácidos.</p>
<p>7.3. Formación y evaluación de nuevos híbridos y sintéticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De un total de 455 líneas en diferentes estados de endocría, se generaron un total de 1198 híbridos, que se evaluaron en varias localidades. De éstos híbridos, la mayoría son cruza simples y un mínimo (5%), son triples. Los híbridos se formaron en cruza dialélicas a partir de poblaciones base y se probaron en varios tipos de ensayos, incluyendo Dialelos, Elites y Promisorios.</li>   <li>- Líneas seleccionadas por su resistencia a estreses específicos, incluyendo achaparramiento, mosaico de caña, phaeosphaeria, cercospora, polysora, suelos ácidos, etc. se recombinaron en dialelo para la generación de sintéticos. En ésta forma, durante 2002, se generaron 74 F2 de nuevos sintéticos resistentes a varios estreses y 45 adicionales están en proceso de avanzar de F1 a F2.</li> </ul>
<p>7.4. Identificación de líneas tolerantes y susceptibles a bajos niveles de fósforo</p>	<p>Un total de 529 y 605 líneas S2-S5 blancas y amarillas, respectivamente, se evaluaron en dos niveles de P en los Llanos. Los viveros se ajustaron a 4 y 15 ppm P. De las líneas evaluadas, 30, 15, 16 y 30 líneas fueron clasificadas en 4 grupos como tolerantes que responden, tolerantes que no responden, susceptibles que responden y susceptibles que no responden a aplicaciones de P, respectivamente. En 2003, las líneas seleccionadas serán reevaluadas por su reacción de eficiencia al uso de P en condiciones de campo e invernadero.</p>



<p>7.5. Identificación de líneas tolerantes y susceptibles a varios estreses bióticos</p>	<p>Cinco líneas avanzadas resistentes y 5 susceptibles a cada uno de varios estreses bióticos, se lograron identificar en viveros de líneas evaluados en condiciones de éstos estreses. Los estreses identificados como muy importantes en producción de maíz en el Llano son el complejo del achaparramiento, la mancha foliar de phaeosphaeria, el mosaico de la caña de azúcar y la mancha gris de cercospora. Usando semilla remanente de éstas líneas contrastantes por su reacción a los diferentes estreses, se logró hacer cruza dialélicas entre ellas. Estos estudios permitirán conocer la herencia de resistencia a los diferentes estreses.</p>
---	--

**META 8**  
**CAPACITACION Y**  
**DIVULGACION**

## **ACTIVIDADES DE CAPACITACION REALIZADAS BAJO EL CONVENIO MADR-CIAT DURANTE EL AÑO 2002**

Las actividades de capacitación en la Meta 8 del convenio MADR-CIAT, durante el año 2002, se enfocaron en la realización de eventos grupales, los cuales se llevaron a cabo en los departamentos del Meta y del Casanare, específicamente en las ciudades de Villavicencio; en la estación experimental La Libertad, CORPOICA, en el auditorio de FEDEARROZ y en la Universidad de los Llanos. En Yopal se realizó un evento de suelos el cual tuvo lugar en el auditorio del SENA y en la sede del CIAT se realizó el I encuentro nacional sobre usuarios SIG.

### **Objetivo:**

Las actividades de capacitación a nivel grupal permitieron proporcionarle a los participantes información, conocimientos y habilidades sobre herramientas, metodologías, tecnologías y germoplasma desarrollados por el CIAT, para la región de los llanos orientales de Colombia en las áreas de forrajes tropicales, sistemas de información geográfica, suelos y arroz.

### **Participantes:**

Los eventos contaron con la participación de profesionales vinculados en instituciones de investigación, docencia, transferencia, asistentes técnicos y productores de avanzada de los Departamentos del Meta, Casanare y Caquetá.

### **Instituciones Colaboradoras:**

Los eventos contaron con la valiosa colaboración logística e instruccional de CORPOICA, FEDEARROZ, SENA y Universidad de los Llanos.

### **Sede de los eventos:**

Los eventos tuvieron lugar en la Estación Experimental La Libertad de CORPOICA, el auditorio de FEDEARROZ y en la Universidad de los Llanos en Villavicencio. También tuvieron lugar en el auditorio del SENA en Yopal y en la sede del CIAT, Palmira.

### **Instructores:**

Los eventos contaron con la participación de científicos principales de los proyectos de investigación del CIAT y de investigadores principales de CORPOICA, FEDEARROZ y otras instituciones.

## **Metodología:**

Con excepción de los eventos sobre Sistemas de Información Geográfica, los cursos combinaron conferencias con días de campo y discusiones de grupo. Uno de los eventos sobre SIG enfatizó el uso de herramientas spring y árboles de decisión, mientras que el encuentro nacional, se concentró en conferencias magistrales y presentaciones de los participantes sobre los avances logrados en sus instituciones en los últimos dos años.

## **Promoción de los eventos y selección de candidatos:**

Los participantes en los eventos sobre sistemas de información geográfica, fueron seleccionados conjuntamente por el Ministerio de Agricultura y el CIAT.

La promoción de los cursos sobre forrajes tropicales, suelos y arroz se realizó a través de plegables informativos, comunicaciones institucionales y a través de medios de comunicación como prensa y radio por el CIAT, CORPOICA y FEDEARROZ.

Las invitaciones estuvieron dirigidas a las instituciones de desarrollo, docencia, transferencia e investigación de la región.

## **EVENTOS REALIZADOS**

Durante el año 2002, el CIAT realizaron seis eventos de capacitación a nivel grupal y de posgrado para una audiencia preferencial de la región de los Llanos Orientales en las áreas de forrajes tropicales, suelos, sistemas de información geográfica y arroz. Estos eventos contaron con la participación de 275 profesionales, en su mayoría provenientes del departamento del Meta. A continuación se describe el tema, fecha, número de participantes y sede de cada uno de los eventos:

### **1. Curso intensivo sobre sistemas de información geográfica: spring y árboles de decisión**

Fecha: 21 al 25 de Octubre, 2002

Número de participantes: 14

Sede: Universidad de los Llanos

**2. Investigación en forrajes tropicales para los Llanos Orientales de Colombia: Avances y resultados.**

Fecha: 19 - 21 Marzo, 2002

Número de participantes: 59

Sede: Estación experimental la libertad

**3. Nuevos conceptos sobre el manejo del suelo en los Llanos Orientales de Colombia**

Fecha: 8 - 9 Julio, 2002

Número de participantes: 53

Sede: SENA, Yopal

**4. Nuevos conceptos sobre el manejo del suelo en los Llanos Orientales de Colombia**

Fecha: 10 - 12 Julio, 2002

Número de participantes: 28

Sede: Estación experimental la Libertad

**5. Encuentro nacional de usuarios de herramientas SIG para la toma de decisiones en planificación rural y ordenamiento territorial**

Fecha: 13 - 15 Noviembre, 2002

Número de participantes: 48

Sede: CIAT, Palmira

**6. Manejo integrado del cultivo del arroz**

Fecha: 17 al 19 de Octubre, 2001

Número de participantes: 73

Sede: Auditorio de FEDEARROZ, Villavicencio