

CAPÍTULO 16

Manejo del suelo en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia

Jaime Gómez

Contenido

	Página
Resumen	280
Abstract	280
Introducción	280
Orinoquia colombiana: suelos y estrategias	281
Mejoramiento del suelo	282
Tecnología de capa arable	285
Maquinaria para la Altillanura	286
Arado cincel rígido	286
Abonadora y desbrozadora	287
Sembradora de siembra directa	287
Laboreo del suelo	288
Sistemas agropastoriles en la Altillanura	288
Sistema arroz-pastos	289
Bosque de galería	290
Sistema de siembra directa	291
Justificación	291
Suelos para la siembra directa	291
Adopción de la siembra directa	292
Ventajas de la siembra directa	292
Agricultura de conservación	293
Elementos básicos de la agricultura de conservación	293
Leguminosas para rotación	293
Agricultura de precisión	293
Precisión en el manejo por sitio	294
Variabilidad en el campo	294
Tecnología de la agricultura de precisión	296
Procedimientos derivados	297
Labranza por sitio específico	298
Beneficios para el agricultor	300
Referencias bibliográficas	303

Resumen

Se revisan las estrategias empleadas para el manejo adecuado de suelos en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia, con miras a establecer en esta región sistemas agropecuarios modernos, eficientes y sostenibles. Al respecto, se señalan los avances logrados en el desarrollo de tecnologías dentro del convenio de cooperación técnica y científica entre el CIAT y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (Convenio MADR–CIAT), así como del Proyecto de Suelos del CIAT y las diversas instituciones nacionales aliadas al convenio. Dentro de las diversas estrategias desarrolladas y aplicadas en la región se resaltan y describen en detalle los avances en el mejoramiento de suelos, en particular la recuperación de los suelos degradados mediante la tecnología de construcción de una capa arable. De igual manera se tratan otros aspectos relacionados con el mejoramiento y manejo de suelos, tales como el uso adecuado de maquinarias e implementos agrícolas, los sistemas agropastoriles, en especial el sistema de producción a base de arroz-pastos, el sistema de siembra directa y la agricultura de conservación y de precisión.

Abstract

Soil management in the Altillanura of Colombia's Eastern Plains

The strategies used for adequate soil management for the Altillanura (high plains with flat topography) of Colombia's Eastern Plains are reviewed to establish modern, efficient, and sustainable livestock systems in this region. Advances in technology development within the technical and scientific cooperation agreement signed between Colombia's Ministry of Agriculture and Rural Development (MADR) and CIAT, as well as those of the Center's Soils Project and several national institutions co-partners in the agreement. Among the various strategies developed and applied in the region, the advances made in soil improvement are highlighted, in particular the recovery of degraded soils by building an arable layer. Other aspects related to soil improvement and management are also addressed, such as the adequate use of machinery and agricultural implements, agropastoral systems (especially the rice-pasture system), direct planting systems, and conservation and precision agriculture.

Introducción

Un estudio hecho por GLASOD (Global Land Assessment of Soil Degradation), una entidad que evalúa la degradación de los suelos a nivel global, indica que, del total de 8700 millones de hectáreas de tierra que tienen potencial agrícola en el planeta, casi 2000 millones, o sea, el 23%, están degradadas. La degradación de los suelos es un problema mundial que limita la producción de alimentos, la competitividad agrícola y la seguridad alimentaria, en particular en los países pobres que dependen en gran medida de la agricultura como fuente de alimento y de empleo.

La Altillanura colombiana, enmarcada por el río Meta y parte del río Orinoco, es un ecosistema frágil que puede degradarse fácilmente. Dada la gran importancia estratégica que tiene la Altillanura para Colombia, es urgente establecer en ella sistemas de producción agropecuaria modernos, eficientes y sostenibles. Este objetivo se está logrando mediante las tecnologías que generan tanto el convenio de cooperación técnica y científica entre el CIAT y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (Convenio MADR–CIAT) como el Proyecto de Suelos del CIAT y las diversas instituciones nacionales aliadas al convenio.

Orinoquia colombiana: suelos y estrategias

La Orinoquia colombiana es una vasta extensión dominada por el ecosistema de sabana; tiene un potencial productivo muy grande y está dotada de abundantes recursos naturales, tanto hídricos como energéticos, forestales, pesqueros, ganaderos y agrícolas, que son muy importantes. El valor que posee el territorio de la Orinoquia radica, principalmente, en la riqueza de los diversos ecosistemas menores que lo constituyen, entre ellos el Piedemonte, la Llanura inundable, el Andén orinoqués y la Altillanura (plana y disectada) cubierta de sabanas.

La Altillanura colombiana se extiende, en los Llanos Orientales, desde el municipio de Puerto López, situado cerca del nacimiento del río Meta y en su margen derecha, hasta la desembocadura de este río en el Orinoco. Por su topografía se divide en plana y disectada (o Serranía). La Altillanura plana es una planicie ondulada cuya área aproximada es de 3.5 millones de hectáreas. En ella predomina la sabana herbácea extensa y continua, de suelos ácidos, en la que se destacan también las especies leñosas agrupadas en los denominados 'bosques de galería', que bordean los cursos de agua. Las características físicas, químicas y biológicas de esta sabana son muy particulares y requieren un manejo especial. La Altillanura plana es, en el departamento del Vichada, la nueva frontera agrícola de Colombia y en ella se implementa actualmente un nuevo desarrollo agroindustrial para el país. La Altillanura disectada o Serranía tiene cerca de 6.3 millones de hectáreas; el Piedemonte, con las tierras más fértiles, tiene 2.5 millones de hectáreas.

La Altillanura (plana y disectada) necesita un manejo especial porque es un agroecosistema frágil. Para poder

implantar en él algún sistema de producción sostenible hay que mejorar sus suelos. Los suelos de la Altillanura tienen las características siguientes (Amézquita et al., 2000; 2002):

- Son muy superficiales.
- Son muy susceptibles a la erosión.
- Tienen una estructura débil.
- Su contenido de materia orgánica es bajo.
- Son propensos al 'sellamiento' superficial, es decir, su capa externa se endurece, se encostra y sella el interior del suelo.
- Son duros y su capacidad de aireación es baja.
- No se dejan penetrar fácilmente por las raíces.
- Su contenido de nutrientes y su fertilidad natural son bajos.
- Su acidez es muy alta (pH de 3.8 a 5.0).
- Su contenido de aluminio es alto (mayor que 80%).

En consecuencia, si estos suelos se manejan empleando las prácticas agrícolas tradicionales, su capacidad productiva se deteriora en poco tiempo y su desempeño agrícola decae; cultivarlos se vuelve, por tanto, una tarea insostenible, tanto en términos económicos como ambientales (Rivas et al., 2004). Un monocultivo continuo, como el del arroz, no se desempeña bien en la Altillanura, porque para establecerlo se emplea actualmente, por ejemplo, maquinaria agrícola inadecuada que hace más susceptibles sus suelos a la degradación; en consecuencia, el rendimiento del monocultivo se deteriora rápidamente. ¿Cómo recuperar estos suelos degradados? La respuesta está en la *tecnología de la capa arable*, que se ha aplicado en otras regiones del país y puede adaptarse, como se explica más adelante, a la Altillanura y al Piedemonte llanero (Hoyos et al., 2004).

Las alternativas tecnológicas para el manejo y la conservación de los suelos de la Altillanura giran alrededor del concepto de ‘construcción de una capa arable’. Esta tecnología busca transformar un suelo frágil y de baja productividad en un recurso agrícola de alta calidad, mediante prácticas planificadas de mejoramiento físico, químico y biológico del suelo (Figura 1), y empleando germoplasma de cultivos y de pasturas que haya sido mejorado (en este caso, por el CIAT, el CIMMYT y CORPOICA) para que se adapte bien a las condiciones de acidez de la Altillanura.

Mejoramiento del suelo

La construcción de una capa arable implica el mejoramiento del suelo de la

Altillanura en los cuatro aspectos siguientes:

Mejoramiento físico

Se logra mediante prácticas de labranza con cinceles rígidos, los cuales fraccionan bien el suelo hasta la profundidad requerida, es decir, hasta 30 o hasta 45 cm, según el sistema de producción que se desee implementar. Estas prácticas mejoran varias de las propiedades del suelo, entre ellas la infiltración del agua (Figura 2), la capacidad de aireación, la distribución de los elementos nutritivos, y la facilidad de penetración de las raíces (Cuadros 1 y 2).

Mejoramiento químico

Antes de la labranza con cinceles, se aplican enmiendas de fertilización, por

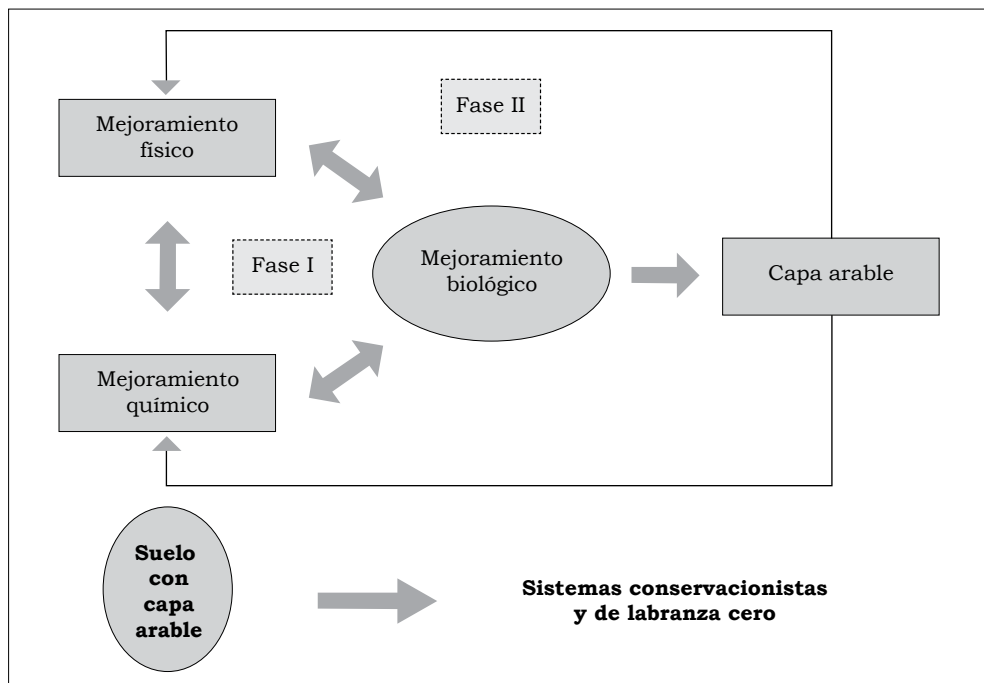


Figura 1. Esquema del desarrollo de una capa superficial arable en la que las limitantes físicas, químicas y biológicas sean mínimas o desaparezcan.

FUENTE: Rivas et al., 2004.

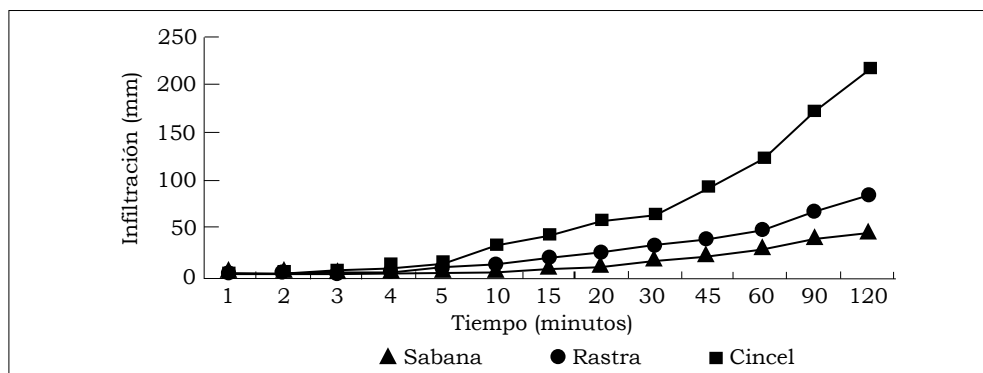


Figura 2. Efecto del implemento de labranza en la infiltración acumulada (finca Matazul, en la Altillanura colombiana).

Cuadro 1. Resultados obtenidos en el segundo año de mejoramiento de un suelo de textura liviana; las medidas se tomaron a 15 cm de profundidad.

Variable (nutriente o propiedad)	En sabana	A profundidad de 0-30 cm	Con labranza de 0-45 cm	Meta para el tercer año
Ca (meq) ^a	0.13	0.66	0.91	1.5
Mg (meq)	0.06	0.35	0.44	0.6
P (ppm)	3.10	7.30	8.80	8.0
M.O. (%)	2.20	2.50	2.30	4.0
DA (g/cc)	1.49	1.33	1.32	1.3
Res. tang. horiz. (Kpa) ^a	51.80	32.90	27.70	Menor de 35
Penetrabilidad (kg/cm ²)	14.50	3.16	3.00	Menor de 10
Infiltración (cm/h)	1.87	8.10	3.40	6-10

a. meq = meq/100 g suelo; M.O. = materia orgánica; DA = densidad aparente; Res. tang. horiz. = resistencia tangencial horizontal.

FUENTE: Hoyos et al., 2004.

Cuadro 2. Resultados obtenidos en el segundo año de mejoramiento de un suelo de textura intermedia; las medidas se tomaron a 15 cm de profundidad.

Variable	En sabana	A profundidad de 0-30 cm	Con labranza de 0-45 cm	Meta para el tercer año
Ca (meq) ^a	0.07	0.66	0.91	1.5
Mg (meq)	0.06	0.35	0.44	0.6
P (ppm)	2.60	7.30	8.80	8.0
M.O. (%)	4.60	2.50	2.30	4.0
DA (g/cc)	1.27	1.33	1.32	1.3
Res. tang. horiz. (Kpa) ^a	66.60	32.90	27.70	Menor de 35
Penetrabilidad (kg/cm ²)	16.20	3.16	3.00	Menor de 10
Infiltración (cm/h)	1.37	8.10	3.40	6-10

a. meq = meq/100 g suelo; M.O. = materia orgánica; DA = densidad aparente; Res. tang. horiz. = resistencia tangencial horizontal.

FUENTE: Hoyos et al., 2004.



Figura 3. Aplicación de dos enmiendas a un suelo de la Altillanura: (A) yeso; (B) cal dolomita.

ejemplo cal dolomita (o dolomítica), Sulcamag, yeso, roca fosfórica o Calfos (Figura 3). La incorporación que hacen los cinceles de esas enmiendas distribuye mejor que la rastra, en profundidad, el calcio y el magnesio. Este efecto se refleja en el siguiente resultado: se reduce más la saturación de aluminio en el perfil del suelo si se hace la labranza con cinceles.

Mejoramiento biológico

Se logra sembrando gramíneas y leguminosas forrajeras genéticamente adaptadas a las condiciones de acidez y de baja fertilidad de los suelos de la Altillanura. Estas especies introducen, gracias a su vigoroso sistema radical, abundantes raíces fibrosas a la profundidad del suelo en que tienen lugar tanto la preparación del suelo como las enmiendas que se le hacen. Se mejoran, además, el contenido de materia orgánica y otras propiedades físicas del suelo.

Mejoramiento integral del suelo

La estrategia global para el mejoramiento integral del suelo comprende, por tanto, los pasos siguientes:

- Desbrozar e incorporar en la sabana la biomasa producida.

- Preparar en época temprana los suelos con arado de cincel rígido.
- Incorporar cal un mes antes de la siembra del arroz.
- Elegir el germoplasma de los cultivos que se sembrarán (arroz, soya, maíz y pastos), el cual debe tener el potencial genético, la calidad, la biomasa forrajera y la biomasa de raíces que requiera el plan de mejoramiento del suelo.
- Sembrar en forma rotativa, en el tiempo, los cultivos, los pastos y las leguminosas forrajeras según las secuencias contenidas en las tres alternativas que se explicarán más adelante.
- Corregir apropiadamente las limitantes físicas y químicas del suelo, según el sistema de producción que se quiera poner en práctica.
- Mejorar el suelo gradualmente favoreciendo el crecimiento de los cultivos sembrados y su aporte de materia orgánica; así se facilitará, más adelante, el crecimiento de otras especies vegetales cuyos requerimientos nutricionales sean mayores que los de los cultivos mencionados.
- Emplear el sistema de siembra directa del arroz, una vez corregidas las limitaciones del suelo (Hoyos et al., 2004).

Tecnología de capa arable

La construcción de una capa arable en un suelo pobre consiste en desarrollar una capa de suelo cuyas limitaciones físicas, químicas y biológicas sean mínimas (Amézquita et al., 2000; 2003; 2004). Construida esta capa, se pueden establecer en ella modernos sistemas de producción agrícola que sean sostenibles y eficientes y, posteriormente, sistemas en que se asocien pastos y cultivos de alta productividad y sostenibles en el tiempo.

Se han desarrollado tres alternativas para la construcción de una capa arable (Figura 4); cada una ofrece, en tres pasos, una secuencia estratégica de pastos y cultivos (Hoyos et al., 2004):

Alternativa 1

1. Siembra y establecimiento de una pastura mejorada.
2. Ceba de novillos en esa pastura durante 2 a 3 años, haciendo fertilización de mantenimiento.
3. Rotación del pasto con cultivos semestrales (maíz y soya) al año siguiente (tercero o cuarto).

Resultado. Transcurridos de 4 a 5 años, la capa arable queda construida (Figura 4).

Alternativa 2

1. Establecimiento de una pastura asociada (arroz + pasto); al cabo de 1 año, la pastura está lista para el pastoreo.
2. Ceba de novillos durante 2 a 3 años, haciendo rotación de praderas (en el pastoreo) y fertilización de mantenimiento.
3. Rotación del arroz (en la asociación arroz + pasto) con maíz en el primer semestre y soya en el segundo semestre (del año tercero o cuarto).

Resultado. Al cabo de 4 a 5 años, la capa arable está disponible.

Alternativa 3

1. Rotación de los cultivos de maíz y soya durante 2 a 3 años.
2. Establecimiento de una pastura asociada (maíz + pasto) al año siguiente (tercero o cuarto).
3. Pastoreo y ceba de novillos un año después (cuarto o quinto).

Resultado. La capa arable queda construida desde el año tercero o cuarto.

Una vez corregidas las limitaciones del suelo de la Altillanura, mediante alguna de las tres alternativas ofrecidas, se programa la siembra directa del arroz.



Figura 4. Suelo sin capa arable (izq.); suelos con capa arable (centro y der.).

Maquinaria para la Altillanura

La operación de la maquinaria agrícola en la Altillanura será eficiente y su rendimiento óptimo si se tienen en cuenta cuatro factores en el proceso de su planificación y selección: el clima, el tipo de suelo, el cultivo y el área que se sembrará. Estos factores determinan, por ejemplo, la elección del conjunto tractor-implemento que, si es acertada, ahorrará energía y reducirá los costos de preparación, fertilización y siembra.

El factor suelo es fundamental. No basta con adquirir la maquinaria agrícola: hay que hacerla trabajar en las condiciones adecuadas del suelo. Por ejemplo:

- Si el suelo está *seco*, el laboreo con cinceles, rastras y cultivadoras exige vencer resistencias muy grandes debidas a la tensión molecular del suelo; ese esfuerzo consume mucha energía, que sólo los tractores de alta potencia pueden proporcionar.
- Si el suelo está *húmedo*, la acción de la maquinaria causará una compactación severa de ese suelo.
- Si el suelo está en una condición intermedia, es decir, es de *consistencia friable*, tendrá el nivel óptimo de humedad para el laboreo

con máquinas agrícolas. En estos suelos, la maquinaria hará el mejor uso de su energía y ellos no se compactarán.

Los implementos agrícolas que deberían elegirse para trabajar los suelos de la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia se describen a continuación.

Arado cincel rígido

El arado cincel rígido parabólico y con aletas se usa para roturar el suelo y para incorporar en él la cal o el yeso. Su acción logra los siguientes objetivos:

- Destruir las capas compactas del suelo permitiendo que penetren en él tanto el aire de la atmósfera como el agua almacenada bajo la superficie del suelo.
- Permitir un mayor crecimiento de las raíces de las plantas y, por tanto, el desarrollo de plantas más grandes y robustas.
- Contribuir a una roturación profunda del suelo gracias a las aletas que posee el arado.

El arado cincel (Figura 5) es el implemento que menos expone el suelo a la erosión.

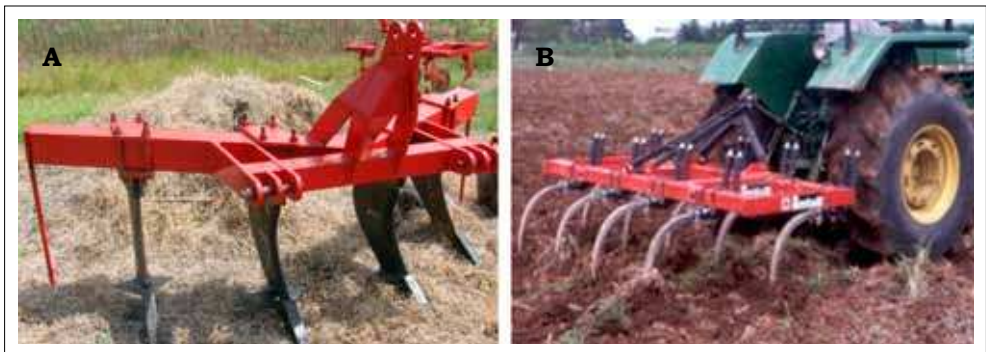


Figura 5. Arado cincel rígido parabólico con aletas: (A) vista frontal del arado; (B) cinceles vibratorios.

Abonadora y desbrozadora

La abonadora se usa principalmente para aplicar la cal o el yeso, dado que los suelos ácidos de la Altillanura requieren enmiendas. El implemento distribuye bien la cal en la superficie del suelo.

La desbrozadora pica finamente los residuos de la cosecha (soca del arroz) y los esparce uniformemente en el terreno. Hace la misma operación con el abono verde y lo esparce para su posterior incorporación en el suelo.

Sembradora de siembra directa

Para seleccionar esta máquina, hay que tener en cuenta, principalmente, las condiciones del terreno y el sistema de producción de arroz.

La sembradora de siembra directa requiere de un tren de siembra de alta eficiencia en el corte del rastrojo, y de discos preparadores distintos de los discos abridores. Se ofrecen diferentes modelos en el mercado. Hay una sembradora de grano fino que aplica también fertilizante y tiene discos de corte corrugados o lisos (Figura 6,A). La sembradora de tolva y cinceles cumple funciones parecidas (Figura 6,B). La elección depende de la clase de cultivo, de la condición del suelo (humedad y textura) y de la cobertura que tenga el suelo.

Hay también sembradoras de tres tolvas: una para el fertilizante, otra para el arroz o el grano fino, y una tercera para semillas de pastos; se usa en los sistemas agropastoriles.

El tren de siembra de estas sembradoras debe poder cumplir las siguientes funciones:

- Cortar el rastrojo de manera eficiente.
- Preparar, haciendo una remoción superficial del suelo, la banda de siembra en que se alojarán las semillas.
- Distribuir las semillas en posiciones equidistantes en el suelo y a una profundidad uniforme.
- Contribuir con su operación al buen desarrollo radicular de las futuras plántulas.
- Evitar la formación de cámaras de aire entorno a las semillas sembradas, y contribuir a la fijación de la semilla en el fondo del surco.
- Tapar la semilla, en el surco, con un camellón de tierra suelta, el cual facilita la emergencia de las plántulas, impide la pérdida de humedad del suelo y evita la formación de una costra en la superficie del suelo por la acción de las lluvias.
- Ofrecer diferentes alternativas para fertilizar el suelo debajo de las semillas.

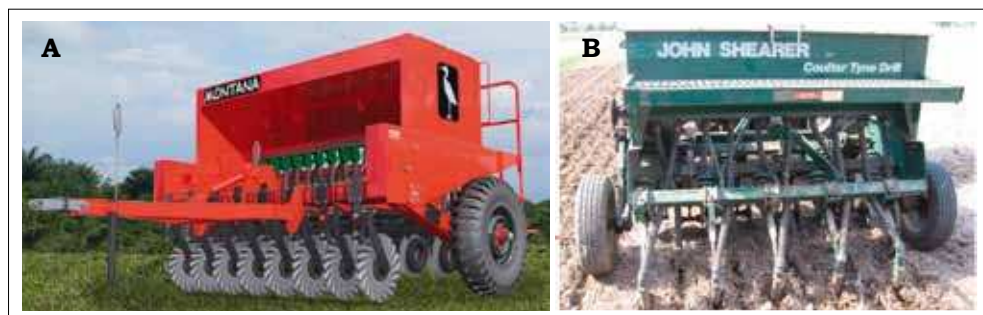


Figura 6. Dos tipos de sembradora: (A) de tolva y discos de corte; (B) de tolva y cinceles.

- Garantizar una presión constante sobre el suelo mediante un doble resorte amortiguador.
- Proporcionar, como opción, las bandas de control de profundidad (Figura 7) recomendadas para los cultivos de arroz en que se levantan caballones.



Figura 7. Tren de siembra directa, con ruedas para el control de la profundidad de siembra.

Laboreo del suelo

Los productores de arroz de la Altillanura colombiana, informados sobre la necesidad de hacer una agricultura de conservación (ver más adelante), han restringido el uso de maquinaria agrícola. En el segundo semestre del año agrícola sólo hacen las siguientes operaciones: labranza vertical con cinceles, encalado, incorporación de material vegetal y siembra directa.

Labranza convencional

La labranza es una práctica agronómica cuyo objetivo es no sólo corregir algunos factores físicos del suelo que limitan el desarrollo de las raíces, sino también mantener ese suelo en condiciones favorables para el crecimiento óptimo de las plantas. Toda labranza requiere de un diagnóstico previo, y no se considera una práctica aislada porque se inicia, en

realidad, con el desbroce de los residuos de la cosecha anterior. Si el diagnóstico no encuentra factores limitativos (o éstos son mínimos), se recomienda hacer una siembra directa del arroz; si existen esos factores o el terreno presenta ciertas condiciones de riesgo, se debe sembrar empleando un sistema de mínima labranza y aplicando los principios de la agricultura de conservación.

Mínima labranza

Esta práctica, llamada también labranza conservacionista, consiste en hacer el mínimo de preparación del suelo, es decir, el laboreo indispensable para que las plantas se establezcan correctamente. Se utilizan en ella, de preferencia, los implementos de labranza que no voltean el suelo; por ejemplo, el arado cincel rígido, el arado cincel vibratorio, la rastra de púas, y los escardillos. La práctica es conservacionista porque deja un mínimo de 30% del rastrojo en el suelo.

Sistemas agropastoriles en la Altillanura

El Programa de Arroz del CIAT inició, en 1983, el trabajo de mejoramiento genético del arroz para adaptarlo a los suelos ácidos, y en 1989 se hicieron las primeras siembras de cultivos asociados con pasturas. Estas asociaciones, en que el arroz era un cultivo pionero, permitieron integrar los sectores agrícola y ganadero de esa región.

La investigación que se hacía en ambos sectores había evolucionado en forma independiente hasta 1990, cuando tres científicos del CIAT (Raúl Vera, José Toledo y Robert Zeigler) decidieron integrarla con el fin de proteger el recurso suelo de la Altillanura. Se investigó el germoplasma de los cultivos y de los pastos que se adaptaban a las condiciones agroecológicas de ese ecosistema, principalmente a su alta

saturación de aluminio, y se diseñaron, finalmente, sistemas de producción en que el arroz se asociaba con las pasturas. El arroz se ha convertido así en un componente importante de un sistema de producción agrícola en la Altillanura colombiana.

Sistema arroz-pastos

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) firmaron un convenio de cooperación técnica y científica, conocido como MADR-CIAT 1998-2004, para estudiar el manejo adecuado de la Altillanura colombiana, un ecosistema frágil y muy vulnerable al laboreo mecanizado con rastras (Rivas et al., 2004). El arroz que se ha mejorado en el CIAT para sembrarlo en suelos ácidos se integra a este convenio como componente de un sistema de producción, en el que puede cumplir las siguientes funciones:

- Establecer pasturas mejoradas.
- Recuperar pasturas degradadas.
- ‘Construir una capa arable’ en el suelo (como elemento de un plan de mejoramiento de suelos) mediante un sistema de rotación de cultivos y pasturas.
- Ser el cultivo principal de un sistema de siembra directa.

- Ser elemento importante en el establecimiento de sistemas agroforestales como cultivo de rotación con la soya, como en las calles de las plantaciones de caucho durante los 2 años iniciales de la plantación.
- Ser el cultivo colonizador en los sistemas agropastoriles o agrosilvopastoriles, dada su tolerancia de los suelos ácidos (Amézquita et al., 2002).

El sistema de producción arroz-pastos consiste en sembrar simultáneamente el arroz y el pasto (éste a una densidad baja) para repoblar una pastura o para sustituir un pasto deteriorado recuperando así la pradera degradada. La Unidad de Suelos y Forrajes del CIAT evaluó este sistema en la Altillanura y obtuvo (Cuadro 3) un rendimiento de arroz entre 2.7 y 3.7 t/ha (Hoyos et al., 2004).

Además de esta función (establecimiento o recuperación de praderas), el sistema de asociación con arroz serviría para rotar cultivos (arroz, soya, maíz) y pastos. Por ejemplo, se inicia sembrando arroz de secano asociado con pastos (sistema agropastoril), y se continúa rotando el arroz con el maíz y la soya: se establece así un proceso de construcción de capa arable, como se indicó antes.

Cuadro 3. Ventajas del sistema agropastoril respecto al sistema pastoril tradicional, en cuanto a la productividad del sistema.

Suelo (dos parámetros)		Productividad del sistema		
Textura	Materia orgánica (%)	Agropastoril		Pastoril
		En arroz (kg/ha)	En carne (kg/ha por año)	En carne: (kg/ha por año)
Arcillosa	4.3	3400	544	141
Franco-arcillosa	3.9	3100	405	—
Franco-arenosa	1.6	2700	222	101

FUENTE: Hoyos et al., 2004.

El arroz encaja muy bien en un sistema en que hace rotación con soya, gracias a su corto período vegetativo. En realidad, las condiciones climáticas de la Altillanura (lluvias entre marzo y noviembre) dejan un margen estrecho para la práctica de la rotación de cultivos.

En los últimos años, el arroz para suelos ácidos ha sido sembrado (como componente de los sistemas mencionados) por agricultores y ganaderos de la Altillanura colombiana, quienes aplicaron el concepto de capa arable y rotaron los cultivos de arroz, maíz y soya; establecieron luego pasturas de alto rendimiento, como la conformada por el pasto Mulato II. La información recibida en el 2008 del Ing. Diego Molina, de la citada Unidad del CIAT, indica rendimientos variables del arroz en este sistema, que dependen de condiciones específicas del manejo del sistema, de la época de siembra y de la rentabilidad de los cultivos escogidos. El rendimiento ha

fluctuado, en general, entre 3.5 y 5.0 t/ha.

Bosque de galería

El desarrollo de un sistema de producción agrícola en la Altillanura requiere de un *complemento ecológico*: la conservación de los bosques de galería (Figura 8). Estos bosques son un componente importante del ecosistema de sabana de los Llanos Orientales porque protegen los bancos del río y las pequeñas corrientes de agua, y evitan la erosión de los suelos. Otros beneficios que prestan al ecosistema son los siguientes (Williams, 1990):

- Albergan diversas especies (vegetales y animales).
- Proveen un microclima que modera el ambiente acuático durante la época seca.
- Regulan el caudal de los ríos durante el año.



Figura 8. Bosque de galería en un río de la Altillanura colombiana.

- Absorben el calor del verano, intenso en ese ecosistema.
- Enfrian las masas de agua y las enriquecen.
- Conservan el agua de la sabana.
- Transportan (en las corrientes de agua asociadas) materiales disueltos, sustancias suspendidas, energía y nutrientes hasta los límites entre la sabana y otros ecosistemas.

A pesar de que cubren una zona pequeña (aproximadamente un 16%) del área total del municipio de Puerto López, por ejemplo, los bosques de galería son un micro-ecosistema productivo que incorpora nutrientes, los transforma, y aporta detritos (una forma secundaria de alimento) a las comunidades acuáticas. Son decisivos para mantener la calidad del agua y ofrecen, además, productos naturales que pueden ser aprovechados por los pobladores de la Altillanura.

El bosque de galería funciona como una 'trampa' a través de la cual los nutrientes son transportados al agua (Williams, 1990). Los nutrientes hacen parte de los sedimentos finos que, arrastrados por las aguas, han sido removidos fácilmente del suelo; se encuentran también al final de procesos como la deposición de materiales, la erosión, la infiltración y la dilución (Junk, 1993).

Sistema de siembra directa

Esta tecnología permite sembrar las semillas (de arroz u otro cultivo) sin necesidad de hacer una preparación mecánica del suelo, es decir, abriendo un surco que tenga la anchura y la profundidad suficientes para cubrir la semilla. El suelo para esta siembra ha permanecido cubierto con los residuos de cultivos comerciales anteriores y estos residuos no se retiran después de

la siembra. La siembra directa (SD) exige además las siguientes condiciones:

- Suelos sin limitantes químicas, físicas o biológicas (o que éstas sean mínimas).
- Cobertura vegetal (de rastrojo o de residuos) para el suelo.
- Rotación de cultivos.
- Herbicidas desecantes.

Además, la tecnología de la SD permite economizar combustibles, ahorrar agua y conservar el suelo.

Justificación

Los productores de arroz deben ser competitivos en el mercado global. Ahora bien, la SD les ofrece una oportunidad de lograrlo, por las siguientes razones:

- Les reduce los costos de producción del arroz porque utiliza menos combustible.
- Los vincula a nuevos sistemas de producción, que pueden resultar muy útiles y eficientes.
- Les proporciona ventajas técnicas, bien conocidas por ellos.
- Les permite usar el agua con mucha eficiencia.

Además, la práctica de la SD convierte el suelo de fuente de CO₂ en depósito de carbono; el resultado será un mejoramiento de la fertilidad del suelo.

Suelos para la siembra directa

Se ha desarrollado una clasificación provisional (Amézquita, 2003) de las propiedades del suelo que, bajo condiciones de campo, permiten iniciar favorablemente un sistema de SD del arroz. Es la siguiente:

Suelos con alta posibilidad de éxito

Estos suelos presentan las características siguientes:

- Uniformidad del terreno: alta.
- Agregación del suelo ('self-mulching'): de condición buena.
- Susceptibilidad a la compactación: baja.
- Porosidad: alta
- Consistencia: friable.
- Tasa de infiltración: alta
- Drenaje en el perfil: bueno.
- Pendiente del terreno: plano (de 0 a 7%).
- Actividad biológica: alta.

Suelos con moderada posibilidad de éxito

Estos suelos tienen las características siguientes:

- Variabilidad del suelo: moderada
- Agregación del suelo ('self-mulching'): hay ciertas condiciones, pero el suelo requiere aflojamiento periódico para eliminar su tendencia al 'sellamiento' y a la compactación de su superficie.
- Consistencia: firme.
- Piedras: presentes en el suelo.
- Problemas biológicos: se presentan bajo condiciones específicas.
- Pendiente del terreno: de moderada a ondulada (de 7% a 20%)
- Encharcamiento: presente en las depresiones, cuando llueve.

Suelos con poca posibilidad de éxito

Se caracterizan porque presentan las siguientes condiciones:

- Variabilidad del suelo: extrema, suelo muy poco uniforme.
- Agregación del suelo: no hay buenas condiciones, porque su estructura es inestable; además, es susceptible a la compactación superficial por la alta presión mecánica que reciben y por su baja porosidad.
- Consistencia: dura o plástica.
- Infiltración: baja.
- Drenaje en el perfil: de lento a muy lento.

- Profundidad del suelo: poca, suelos muy superficiales.
- Pendiente: fuerte (> 20%).
- Piedras: presentes en exceso.
- Insectos plaga y patógenos: incidencia alta.

Adopción de la siembra directa

Para que un agricultor pueda adoptar el sistema de SD debería dar los siguientes pasos:

- Mejorar los conocimientos que posea sobre el cultivo del arroz, principalmente los relacionados con el control de malezas.
- Hacer un análisis del suelo; si es necesario, incorporarle una enmienda de cal.
- Evitar los suelos que tengan mal drenaje.
- Nivelar el suelo.
- Recuperar las áreas en que el suelo se haya compactado.
- Mantener el terreno cubierto con la 'paja' del arroz o con una cobertura vegetal.
- Comprar la máquina especializada para la SD.
- Aplicar inicialmente el sistema de SD en el 10% del área del predio arrocero.
- Practicar la rotación de cultivos.
- Mantenerse actualizado en las técnicas de producción de arroz.

Ventajas de la siembra directa

El sistema presenta las siguientes ventajas:

- Se hace un mejor uso del agua.
- Se forman menos capas compactadas en el suelo.
- Se protege el suelo contra la erosión.
- Se mejora el balance de la materia orgánica del suelo.
- Ofrece más oportunidades para la siembra durante el año.

- Reduce el uso de la maquinaria agrícola.
- Permite hacer un ahorro de energía.

Agricultura de conservación

En los sistemas convencionales de producción agrícola se acostumbra mantener el suelo descubierto y expuesto a los agentes climáticos después de cada cosecha. La agricultura de conservación (AC), en cambio, mantiene los residuos de la cosecha en la superficie del terreno, no los incorpora al suelo (Derpsch, 2003). Éste es sólo un ejemplo de que la práctica de la AC supone que el agricultor y el productor de arroz han adquirido nuevos conocimientos; la ausencia de éstos limitaría seriamente la puesta en práctica de la AC y, por ende, del sistema de SD. En realidad, los abonos verdes y la rotación de cultivos deben hacer parte del sistema de SD.

Elementos básicos de la agricultura de conservación

La práctica de la AC comprende los seis elementos básicos siguientes:

- Poca o ninguna remoción del suelo durante su preparación.
- Rotación del arroz con otros cultivos.
- Uso de abonos verdes y de cultivos de cobertura.
- Cobertura permanente del suelo.
- Manejo integrado de insectos plaga y de enfermedades.
- Disminución considerable en el uso de agroquímicos.

Leguminosas para rotación

En la AC, varias especies de leguminosas sirven como cultivos de rotación con el arroz y cumplen las siguientes funciones:

- Proporcionan al suelo la cobertura que éste requiere para la SD porque

- mejoran en el suelo la temperatura, la evaporación y la infiltración del agua.
- Protegen el suelo contra la erosión.
- Reducen la infestación de malezas y el costo de controlarlas.
- Producen un máximo posible de biomasa y aumentan, por tanto, la materia orgánica del suelo.
- Agregan nitrógeno al sistema de producción de arroz reduciendo, por ello, la cantidad de urea requerida por el cultivo.
- Mejoran la estructura del suelo y evitan su compactación.
- Reciclan varios nutrientes importantes para el arroz.
- Reducen la incidencia de enfermedades y de insectos plaga (cuando han sido bien escogidas).
- Añaden diversidad al sistema de producción.

Si se adoptan la agricultura de conservación, la práctica de la mínima labranza y el sistema de siembra directa, disminuirá hasta un nivel muy bajo el sobrelaboreo del suelo. En consecuencia, se reducen la erosión, la compactación y la degradación de ese suelo. Además, se evitan muchas pérdidas de materia orgánica del suelo, así como las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero debidas al laboreo innecesario.

Agricultura de precisión

En la agricultura tradicional no se aplican los conocimientos que se hayan adquirido sobre la diversidad del suelo, del clima y de otros factores ambientales al manejo de los cultivos; en ella se hace, en realidad, un *manejo generalizado* para un ambiente altamente diverso, pero este enfoque no es eficiente y es poco efectivo. La agricultura basada en la generalización y en los promedios no proporciona una comprensión adecuada del proceso de producción, resulta

costosa y causa impactos ambientales negativos (Blackmore et al., 1995). Ahora bien, es necesario producir alimentos de manera más eficiente y sostenible y mediante operaciones más precisas, es decir, mejorando la competitividad del sector agropecuario. La agricultura de precisión (AP) se apoya, además, en las siguientes razones:

- Las limitaciones que impone el cambio climático.
- La competitividad creciente del mercado agrícola ya globalizado.
- El alto costo de los insumos agrícolas y de los combustibles.
- La necesidad de evitar la degradación de los recursos naturales.

Un ejemplo de la insuficiencia del enfoque generalizador es el manejo de un cultivo basado en un promedio de fertilidad del suelo, porque:

- Las áreas donde el rendimiento es bajo pueden quedar sobre-fertilizadas.
- Las áreas donde el rendimiento es alto pueden quedar menos fertilizadas.
- La aplicación anual de este manejo incrementa la variabilidad del campo, y esto puede reducir la productividad del cultivo.

La agricultura ha llegado, al parecer, al punto en que le conviene iniciar el manejo específico de cada sitio para mejorar la gestión de los cultivos (Espinosa, 2003).

Precisión en el manejo por sitio

La agricultura moderna se está orientando hacia el manejo de precisión. Este enfoque busca optimizar el proceso productivo agrícola partiendo del concepto de variabilidad del agroecosistema. La AP hace uso de la tecnología de la información para que el manejo del suelo y del cultivo se ajusten a

la variabilidad presente en el terreno de siembra (Bragachini et al., 2005). Si se desea dar al cultivo (según un principio agronómico reconocido) un manejo 'específico de cada sitio', es decir, el manejo correcto, en el sitio indicado y en el momento oportuno, se recurre a la AP. Ésta se puede definir, por tanto, como la automatización del sitio específico (Bragachini et al., 2005). Junto a la biotecnología, la AP es uno de los cambios más importantes que ha experimentado la agricultura en los últimos años (Bongiovanni [2004]).

La AP puede definirse también (Plant R., citado por Roel, 2005) como la acción de manejar una finca a una escala menor que la superficie de esa finca. En ella, la tecnología y las herramientas del manejo específico de cada sitio logran dos objetivos: manejar un cultivo (el arroz) en una escala menor que el área total de la finca cultivada y, a la vez, aplicar ese manejo a las condiciones extensivas de producción de la finca (Roel, 2005).

Variabilidad en el campo

Los componentes del campo o factores de la producción agrícola (suelo, clima, especies cultivadas) no son uniformes ni constantes. Su variabilidad, que tiene diversas causas, ha sido clasificada como natural, inducida y temporal.

Variabilidad natural

Es la que se debe a los procesos de la naturaleza que actúa a través de los componentes naturales del medio agrícola. Es el caso de los diferentes tipos de suelo, los diversos climas, la topografía variable y la diversidad de especies vegetales y animales del campo.

Variabilidad inducida

Es la que deriva de las prácticas antrópicas realizadas en el campo; por

ejemplo, los diferentes niveles de conservación de los suelos, los diversos tipos e intensidades de compactación del suelo. En ciertos casos, la variabilidad inducida no se diferencia claramente de la natural porque ocurren interacciones complejas entre los procesos naturales y los antrópicos; por ejemplo (Godwin et al., citado por Leiva, 2003), la fertilidad de un suelo agrícola depende de los procesos de génesis del suelo (variable natural) y del manejo que el agricultor le da al suelo (variable antrópica).

Variabilidad espacial

Es la que ocurre en una finca y aun dentro de un lote o un terreno de una finca; por ejemplo, el contenido diferente de nutrientes de varios suelos, el rendimiento diferente en distintos lotes de un mismo cultivo (Figura 9). Ocurren también cambios en periodos cortos que pueden afectar considerablemente la producción agrícola; por ejemplo, la variación del clima, de la humedad del suelo o del contenido de un nutriente en el suelo durante el desarrollo de un cultivo (Leiva, 2003).

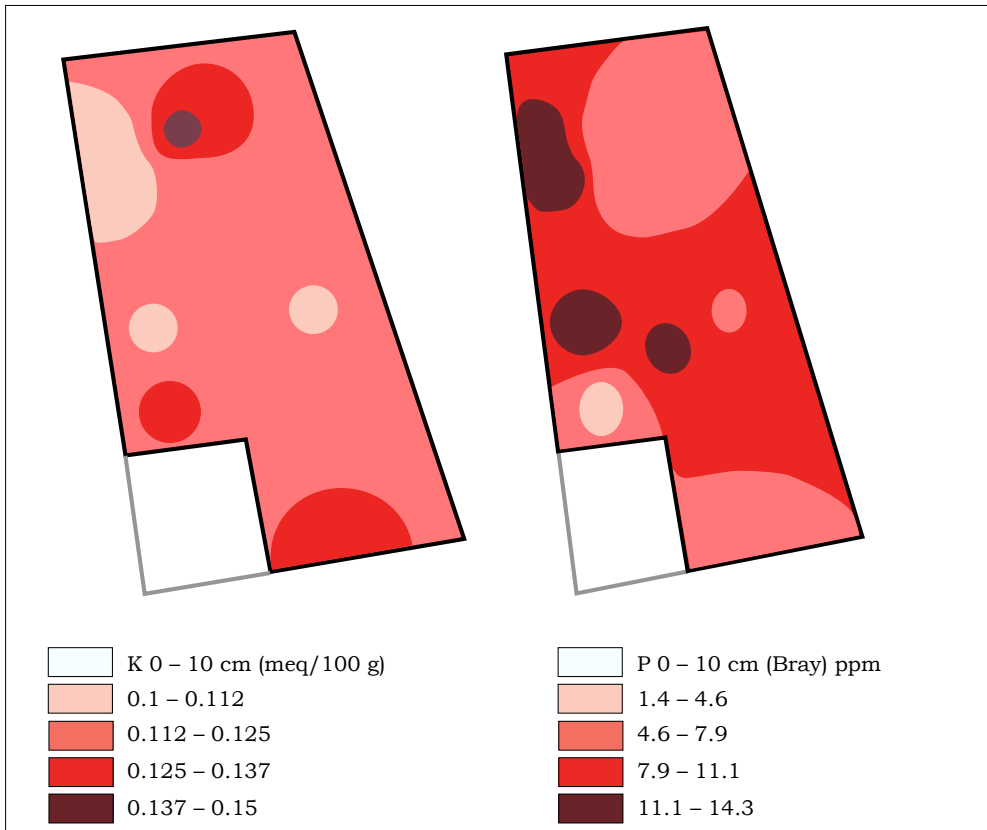


Figura 9. Variabilidad de dos factores del suelo de una finca de 12 ha cultivada con arroz. INIA, Uruguay.

FUENTE: Roel, 2005.

Tecnología de la agricultura de precisión

En los países desarrollados, la AP emplea las herramientas tecnológicas y los procedimientos siguientes:

Sistema de posicionamiento global (SPG)

Es el proceso que establece la posición de un sitio empleando la constelación de satélites en combinación con un equipo de corrección diferencial que mejora la precisión del proceso. El sistema es, sencillamente, un 'ubicador' (o fijador de posición), tanto de personas como de cosechadoras, sembradoras u otras máquinas en el campo.

Sistema de información geográfica (SIG)

Es un programa de computador que recolecta la información y la clasifica, luego la analiza, la presenta como un mapa y la grafica; puede mostrar también datos de producción de un cultivo dándoles una referencia espacial; por ejemplo, las coordenadas de latitud y longitud. Puede considerarse como un sistema que maneja la información con un enfoque geográfico, le hace luego un análisis de capa múltiple, la organiza para hacer posibles su ulterior análisis y su evaluación, y la presenta para que el agricultor tome decisiones sobre ella. Transforma, asimismo, algunos datos en información útil que permita planificar y administrar los recursos de la actividad agrícola.

Seguimiento del rendimiento y construcción de mapas

Esta herramienta es un indicador biológico de la variabilidad de los factores que afectan el rendimiento. Con ella se elabora una base de datos, se verifica la magnitud de un problema y se define la actitud que debe asumirse frente al problema (Espinosa, 2003).

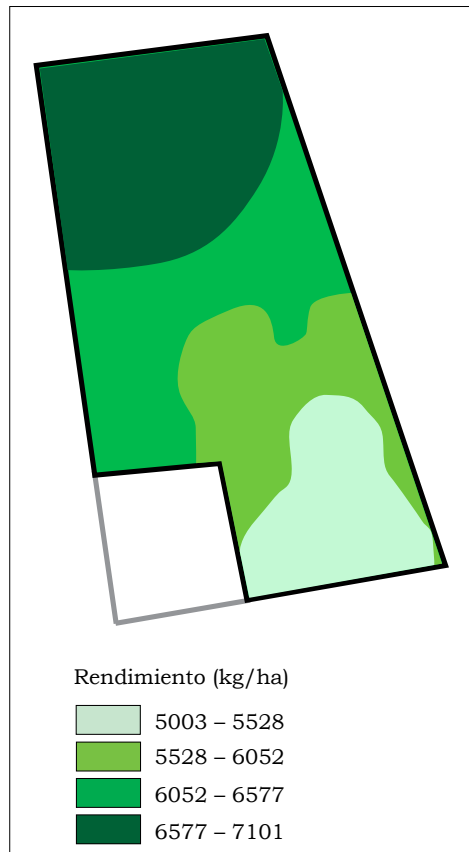


Figura 10. Variabilidad del rendimiento en un lote cultivado con arroz. INIA, Uruguay
FUENTE: Roel, 2005.

En el terreno de la Figura 10, que pertenece a una sola finca, se aprecia un rango de variabilidad espacial del rendimiento que tiene una diferencia de 2000 kg/ha entre los extremos del rango. Estas diferencias se asocian con los mapas de suelos y se analizan mediante un SIG y usando la estadística espacial. La variabilidad espacial del rendimiento de esta finca se debió (Roel, 2005) a la variación de los tipos de suelos (variabilidad natural).

Monitor de rendimiento

El seguimiento anterior se hace con un monitor de rendimiento que mide el rendimiento de pequeñas áreas o sitios de un lote del cultivo y lo registra, medición que hace en forma continua mientras se cosecha el grano. El monitor da además la ubicación de esos sitios, calcula el contenido de humedad y la cantidad de grano producido en cada uno, y registra esa información. Con la ayuda de un programa de computador se construye un mapa en el que se muestra la ubicación de los sitios de cosecha analizados.

La herramienta permite que el productor observe, mientras cosecha sus lotes, la variabilidad del rendimiento del cultivo y que haga, de manera simultánea, observaciones y anotaciones sobre lo que se identifica en el campo. El siguiente paso sería averiguar las diversas causas de la variabilidad del rendimiento de un lote determinado.

En los lotes de escasa variabilidad, el monitor de rendimiento puede dar información útil sobre la mejor dosis de fertilización, el mejor híbrido o la mejor variedad, la mejor densidad de siembra. Así se emplea esta herramienta en el proyecto de AP de la estación INTA Manfredi, en Argentina (Bragachini et al., 2005).

La firma AgLeader, de Estados Unidos, ha desarrollado una herramienta novedosa: un modelo de monitor de rendimiento, denominado Insight, que tiene pantalla activa de 10.4" y elabora un mapa del rendimiento, en color y en tiempo real. Además, puede superponer varias capas de información en una misma pantalla; por ejemplo, un mapa de variedades o híbridos como fondo, y sobre él un mapa de rendimientos mientras se va cosechando el lote al que se hace el seguimiento (o monitoría).

Banderilleo satelital

Esta herramienta es un sistema de guía por GPS para que el equipo siga una trayectoria determinada según el mapa de aplicación de un insumo. Se usa principalmente en las pulverizadoras autopropulsadas.

Procedimientos derivados

La información obtenida con las herramientas anteriores se emplea para ejecutar varios procedimientos agronómicos. El primero es la toma de muestras de suelo.

Muestreo intensivo del suelo

Este procedimiento consiste en tomar muestras representativas de cada unidad de manejo, unidades que dependen del tipo de suelo y de la zona de diferente potencial de rendimiento. Estas muestras se llevan al laboratorio y se interpretan para determinar el factor que limita el rendimiento; luego se toma una decisión sobre la cantidad de nutriente que se agregará, sobre la densidad de siembra y sobre otros aspectos del cultivo (Bongiovanni [2004]).

Fertilización y densidad de siembra variables

El siguiente procedimiento consiste en ajustar la dosis de fertilizante según el mapa de aplicación construido mediante un SIG. Primero se hace uso del GPS para reconocer la ubicación del equipo en el lote que se sembrará. Una computadora introduce la información obtenida en el controlador del equipo para hacer variar, sobre la marcha, la dosis recomendada. Lo ideal es tener maquinaria que entregue una dosis variable bajo prescripción, porque con ella se puede sembrar o fertilizar en cualquier sentido, ya que esa maquinaria cuenta con el GPS que le indica no sólo el sitio del lote donde está ubicada mientras siembra y fertiliza, sino también

la dosis de fertilizante y la densidad de siembra para cada sitio (Bragachini et al., 2005).

Si el equipo no puede entregar una dosis variable automáticamente, la alternativa es la dosis variable manual o la paralelización de las zonas (o ambientes) del terreno que se manejan. Este procedimiento puede ejecutarse sólo en los lotes en que es posible encerrar la variabilidad dentro de líneas casi rectas; hay que tomar, por tanto, la precaución de marcarle al tractorista los puntos en que debe cambiar la relación de marcha en la caja o en el dial de la abonadora y de la sembradora, para que dosifique según lo que se necesita en cada zona o ambiente.

Unidades de manejo

Cuando el agricultor no dispone de maquinaria, lo más recomendable es que divida el predio o el campo en unidades de manejo más pequeñas, que sean más homogéneas que el área total. Estas unidades, que unos denominan de manejo ambiental, otros de manejo agronómico y otros simplemente unidades de manejo, presentan una relativa homogeneidad de clima, de suelo, de topografía, de hidrología (nivel freático) y de la variedad sembrada (o que se sembrará). Hay que procurar que estas unidades sean tan cuadradas como sea posible, porque esta forma facilita la logística de las operaciones de campo, el seguimiento ('monitoreo') de la cosecha y las labores de fertilización y de siembra. Estas unidades pueden estar divididas por canales y por caminos, y pueden tener otras obras de infraestructura (Spaans et al., 2007).

En la práctica, los agricultores diferencian las zonas más fértiles y las más pedregosas o arenosas de su predio; sin embargo, un enfoque integrador, en el que se conformen unidades de manejo agrícola homogéneo, generaría para ellos

resultados más confiables (Peña, 2006, citado por Peña, 2007).

Labranza por sitio específico

La AP se ha enfocado hacia la fertilización en dosis variables; pueden hacerse, por tanto, diferentes tipos de labranza del suelo en áreas que tengan características físicas significativamente homogéneas. El sistema tradicional de labranza ha empleado un esquema único de laboreo del suelo para la totalidad de una explotación agrícola.

La estación experimental Santa Rosa, en Villavicencio, Colombia, está dividida en unidades de manejo ambiental —definidas según la textura del suelo, la topografía y la historia de manejo— en las que se hace un manejo específico de cada sitio para la labranza.

Pasos

Para establecer el manejo mencionado se dieron los siguientes pasos:

- **Primer paso: diagnóstico del suelo.** En 1999 se evaluó la condición física del suelo de la estación midiendo parámetros físicos como la densidad aparente (que varió entre 1.14 y 1.56 g/cm³), la penetrabilidad, la humedad gravimétrica, la resistencia mecánica y la textura; con ellos se midieron también algunos parámetros dependientes, como la porosidad total y la conductividad hidráulica. Con estos datos se hizo un análisis integral que permitió explicar los procesos físicos que ocurrían en el continuo suelo-planta, y conocer el contenido de materia orgánica del suelo.
- **Segundo paso: análisis de limitantes.** Se interpretaron los resultados de laboratorio obtenidos de las medidas anteriores para hallar los factores limitativos del manejo.

- **Tercer paso: sistema de labranza.** Una vez decidido el sistema de labranza, se definieron las prácticas de manejo, el tipo de implemento que se usaría y la profundidad a que se prepararía el suelo de cada unidad de manejo.
- **Cuarto paso: manejo del suelo.** Se ponen en práctica (se 'implementan') las prácticas de manejo del suelo en cada unidad de manejo, teniendo en cuenta tres aspectos: la condición climática, la humedad del suelo y la consistencia friable del suelo.
- **Quinto paso: seguimiento y evaluación.** En este paso se hace seguimiento a las condiciones del suelo, y se evalúan luego estas condiciones, el rendimiento y la relación costo:beneficio en cada unidad de manejo.

Estrategias

Comprobada la variabilidad de los factores físicos del suelo (densidad aparente, penetrabilidad, porosidad) y una vez analizadas las mediciones de esos factores, se ejecutó la estrategia de manejo de cada lote. Una de las principales causas de esa variabilidad fue el manejo dado a los lotes antes de 1999. Hubo mecanización intensiva que generó compactación del suelo y aumento de su densidad aparente en los lotes más trabajados: en el lote 10, por ejemplo, llegó hasta 1.5 g/cm³.

Las unidades de manejo en que hay compactación del suelo se recuperan con la estrategia de la capa arable. Se planificó una labranza vertical con cinceles según la profundidad de la capa compactada y según otras condiciones del lote; se hizo luego una rotación de leguminosas, arroz, soya, millo forrajero, crotalaria y frijol mungo para mejorar las condiciones físicas y biológicas de los suelos, y se aplicaron abonos para mantener las condiciones mejoradas.

Resultado. En las unidades de manejo 5 y 10 se logró un mejoramiento considerable de sus condiciones física y biológica; estas unidades reciben la mínima labranza durante el primer semestre, y una siembra directa del arroz durante el segundo semestre.

Unidad 10

Se presenta aquí, como ejemplo de manejo, el estudio y las prácticas realizados en la Unidad 10 de la estación Santa Rosa. Su textura es franco-arcillosa. A 20 cm de profundidad, el manejo convencional, en 1999, desarrolló en el suelo una resistencia mecánica a la penetración de 25 kg/cm²; en cambio, con el manejo específico para cada sitio se obtuvo, en el 2008, un valor de 7.5 kg/cm² para ese parámetro. Se aplicaron aquí los principios de la agricultura de conservación.

Esta unidad se sembró con una variedad certificada de arroz, la Fedearroz-369, recomendada para la zona de Santa Rosa (secano favorecido); se aplicó un plan de nutrición según los requerimientos específicos de la variedad (cantidad y oportunidad de la aplicación), y se tuvieron en cuenta las condiciones química y física del suelo. El terreno se manejó con mínima labranza haciendo un solo pase de escardillos con riel; la siembra se hizo con una sembradora Case de grano fino, que siembra y fertiliza simultáneamente. Se obtuvo un rendimiento de 8.3 t/ha; en esas mismas condiciones, otra variedad de arroz dio solamente 4.8 t/ha.

Los resultados obtenidos en esta Unidad 10, y en toda la estación, son los siguientes:

- Una reducción del 80% en los costos de preparación del suelo de la unidad y del 43% en los de preparación de toda la estación experimental.

- Una disminución del valor de penetrabilidad del suelo (lo que mejora esa condición física).
- Una reversión de la pérdida de materia orgánica: de un mínimo de 1.7% cuatro años antes de este manejo se pasó a 2.1%.
- Una reducción en el consumo de combustible: se ahorraron cerca de 4.5 galones de ACPM por hectárea.
- Una disminución de la erosión hídrica, que estaba agotando la tierra.
- Una disminución de pases de maquinaria agrícola en la labranza (cinco en 1999 y uno solo en el 2008), lo que redujo mucho la compactación del suelo.

En general, en las unidades en que se aplicaron las prácticas más conservacionistas (mínima labranza en el primer semestre y SD del arroz en el segundo semestre), disminuyeron los sólidos en suspensión en las aguas de los canales de riego (que vierten a los caños) y, en consecuencia, se redujo la sedimentación en esos canales. Antes de 1999, año del diagnóstico inicial de los lotes, era necesario contratar trabajadores para sacar el suelo de los canales y drenajes, en los que a veces debían cavar en profundidad.

Beneficios para el agricultor

Del manejo por sitio

Cuando se lleva a la práctica el manejo de labranza específico para cada sitio, aplicando la tecnología de capa arable y los principios de la AC, se obtienen los siguientes beneficios:

- Reducción del número de pases de maquinaria, lo que evita la compactación del suelo por tránsito excesivo de las máquinas y por pisoteo.
- Reducción en el uso de combustibles y en el consumo de energía para la siembra del cultivo.

- Reducción del costo de preparación del suelo.
- Disminución de la contaminación del agua porque habrá en ella menos sólidos (partículas de suelo) en suspensión.
- Protección del suelo contra la erosión.
- Mejor equilibrio de la materia orgánica del suelo.
- Uso óptimo de los recursos agrícolas.
- Producción agrícola más eficiente y más sostenible.
- Incremento en el rendimiento del cultivo.

El aumento en rendimiento no se debe exclusivamente a la labranza practicada en el manejo específico por sitio, sino a una integración de este manejo y de la variedad de arroz seleccionada. En los ensayos de AP hechos en Santa Rosa, se escogió la variedad F-369, ya mencionada, que está certificada, ha sido recomendada para la zona de la estación experimental y tiene un alto potencial de rendimiento; se cumplió además con el plan de nutrición específico de la variedad, se aplicaron oportunamente los fertilizantes e insumos, y se eligió la época adecuada de siembra según las condiciones del clima.

El análisis de beneficio:costo de este manejo es menos favorable que el convencional porque debe incluir el costo de los análisis de suelo adicionales.

De otros aspectos de la AP

Cuando se pone en práctica la AP en su conjunto, se obtienen tres clases de beneficios: económicos, ecológicos y técnicos. Por ejemplo:

- El ahorro potencial en insumos debido a aplicaciones más precisas y a un mejor desarrollo del cultivo representa una ganancia económica (Crooks, Y., citado por Leiva, 2003).
- Este beneficio económico podría ser mayor si se contratan los servicios

- agrícolas de compañías que operen en la zona en que se cultiva.
- Un ensayo hecho en dos fincas de Inglaterra (Leiva, 2003) indicó que el beneficio económico de la AP, derivado de la aplicación de agroquímicos, es una función del ahorro de fertilizantes y de plaguicidas y del aumento en el rendimiento del cultivo, dado que se hacen aplicaciones más precisas y mejores de esos insumos. La rentabilidad más alta se halló en la finca de mayor tamaño, lo que indica una economía de escala por el uso de las tecnologías de la AP.

- Hay mayor beneficio, tanto económico como técnico, cuanto mayor sea la variabilidad de la finca en que se aplican los principios de la AP, y éstos resultan entonces más justificables.
- Se obtendrán muchos beneficios ecológicos, económicos y técnicos si el proceso de ejecución de la AP se inicia con la comprensión del concepto de AP y avanza paulatinamente hacia la aplicación de las tecnologías que favorezcan esa ejecución (Figura 11). Se propone

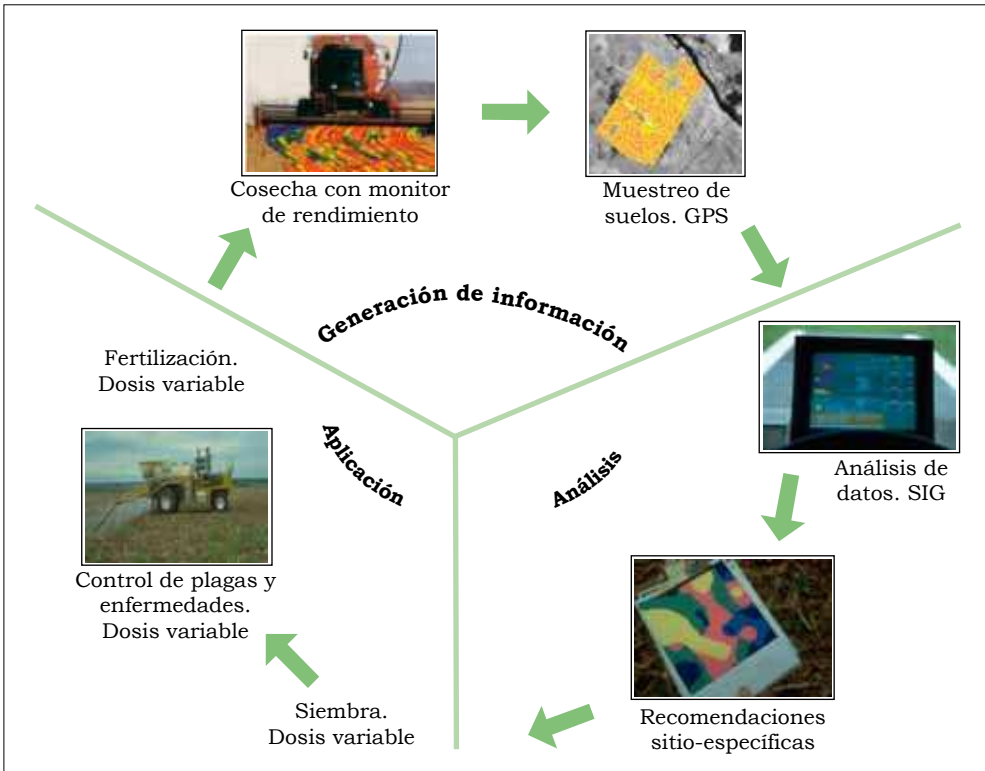


Figura 11. Fases del proceso de establecimiento de la agricultura de precisión, aplicables tanto a nivel regional como local.

entonces la siguiente secuencia de etapas (Leiva, 2003):

- medir la variabilidad de los parámetros clave del sistema y evaluarla;
- establecer las causas posibles de esa variabilidad y valorarlas;
- corregir los errores evidentes que se cometen en el proceso productivo;
- decidir las estrategias de manejo de la producción del cultivo;
- valorar diferentes alternativas tecnológicas para la estrategia elegida; la valoración incluye el análisis de la relación beneficio:costo en el uso de las tecnologías;
- adoptar, finalmente, un determinado nivel tecnológico de AP;
- hacer seguimiento (monitoría) de la AP adoptada, y evaluarla.

Agricultura de precisión en países no industrializados

La AP es todavía incipiente en los países en vías de desarrollo. Una de sus limitaciones es la necesidad de un proceso de adaptación a las condiciones particulares de cada país.

- El INTA de Argentina, por ejemplo, desarrolla su propio proyecto de agricultura de precisión, cuyos líderes (Bragachini y Méndez) han logrado importantes avances en el seguimiento del rendimiento, en la aplicación de dosis variable de agroquímicos, en la siembra de densidad variable, y en el diseño de herramientas tecnológicas adaptadas a las condiciones del país.
- En el cono sur del continente hay varios proyectos. En Brasil, Embrapa

ejecuta un proyecto de AP con la Universidad de São Paulo. En Paraguay y en Uruguay hay iniciativas en marcha para manejar el cultivo del arroz con AP.

- El manejo específico para cada sitio puede automatizarse mediante tecnologías de la AP en los países en desarrollo (Godwin et al., 2001), aunque al principio se aplicará solamente a las grandes explotaciones mecanizadas; cuando baje el costo de la tecnología, ese manejo se difundirá progresivamente a las explotaciones de menor tamaño.
- Las explotaciones agrícolas pequeñas de todo el mundo pueden hacer uso de sus conocimientos sobre el manejo específico para cada sitio sin necesidad de aplicar procesos de automatización. En ellas se emplea, generalmente, la mano de obra familiar y los productores pueden observar personalmente la variabilidad espacial del suelo, de las plagas y del rendimiento de su cultivo. Estudios hechos en la Universidad de Purdue, en Estados Unidos, indican que es difícil justificar económicamente la inversión en equipamiento de AP para un campo chico.
- En Colombia se hacen experiencias de AP en caña de azúcar con Cenicaña, en suelos para palma africana con Cenipalma, y en banano. Aunque hay algunas investigaciones sobre AP en la Universidad Nacional de Colombia, todavía falta mucho para adaptar las metodologías y las tecnologías de la AP, tanto en equipos como en programas de computador, al sistema de cultivo del arroz (de secano favorecido o no favorecido) y a los ecosistemas aptos para este cultivo.

Referencias bibliográficas

- Amézquita, E. 1998a. Hacia la sostenibilidad de los suelos en los Llanos Orientales. In: Memorias del Noveno Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo celebrado en Paipa, Colombia, del 21 al 24 de octubre de 2000. Corpoica/CIAT, Cali, Colombia.
- Amézquita, E. 1998b. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. In: Romero G.; Aristizábal, D.; Jaramillo, C. (eds.). Memorias del Encuentro Nacional de Labranza de Conservación reunido en Villavicencio, Colombia, en 1998. p. 145-174.
- Amézquita C., E.; Molina L., D.L.; Chávez, L.F. 2000. La construcción de una capa arable: Práctica clave para la agricultura sostenible en los suelos de la Altillanura colombiana. In: Memorias del Segundo Seminario de Agrociencia y Tecnología Siglo XXI para la Orinoquia Colombiana, reunido en Villavicencio del 23 al 25 de agosto de 2000. Corpoica/Pronatta/CIAT, Villavicencio, Colombia.
- Amézquita, E.; Chávez, L.F.; Bernal, J.H. 2002. Construcción de una capa arable en suelos pobres: Conceptos esenciales aplicados en la Altillanura. Colciencias/CIAT/Corpoica, Bogotá, Colombia.
- Amézquita C., E.; Hoyos G., P.; Molina L., D.L.; Rao, I.M.; Sanz S., J.I.; Vera, R.B. 2003. Construcción de capas arables productivas en suelos de la Altillanura. In: Presentaciones técnicas [en línea] del Seminario-Taller Internacional de Mejoramiento de Arroz de Secano para América Latina y el Caribe celebrado en Villavicencio, Colombia, en 2003. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Cali, Colombia. p. 1-15. Disponible también en http://webapp.ciat.cgiar.org/riceweb/memorias/d_molina.pdf
- Amézquita C., E.; Hoyos G., P.; Molina L., D.L. 2004. Estrategias para la construcción de capas arables productivas en los suelos de la Altillanura colombiana. Informe final CIAT-Pronatta. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Blackmore, B.S.; Wheeler, P.N.; Morris, J.; Morris, R.M.; Jones, R.J.A. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. In: Memorias de la Precision Agriculture Conference celebrada en Madison, WI, EE.UU., en 1995. p. 777-793.
- Bongiovanni, R. [2004]. Rentabilidad de la agricultura de precisión. Presentado a la Revista Agromercado. INTA, Agricultura de precisión, Argentina. Disponible también en: www.fiagro.org.sv/archivos/0/436.pdf

- Bragachini, M.; Méndez, A.; Scaramuzza, F.; Proietti, F. 2005. Soja: Eficiencia de cosecha y poscosecha de granos. Manual técnico no. 3. Proyecto Agricultura de Precisión INTA-Manfredi. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-PRECOP), Buenos Aires, Argentina. 146 p.
- Derpsch, R. 2003. Evolución de la agricultura de conservación. Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Agricultura de Conservación. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Regional Llanos Orientales. Villavicencio, Colombia.
- Espinosa, J. 2003. Agricultura por sitio específico. In: Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Agricultura de Conservación. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Regional Llanos Orientales, Villavicencio, Colombia. p. 47-51.
- Godwin, R.J.; Earl, R.; Taylor, J.C.; Wood, G.A.; Bradley, R.I.; Welsch, J.P.; Richard, T.; Blackmore, S. 2001. Precision farming of cereals: A five year experiment to develop management guidelines. Project Report no. 267. Home-Grown Cereals Authority (HGCA) y Cranfield University, Reino Unido.
- Hoyos G., P.; Amézquita C., E.; Molina L., D. L. 2004. Mejoramiento de las características del suelo aplicando el concepto de 'creación de una capa arable' en dos suelos de la Altillanura plana del departamento del Meta, Colombia. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 34(2):93-97.
- Junk, W. 1993. Wetlands of tropical South America. In: Whigham, D.; Dykyjova, D. (eds.). Wetlands of the world; I: Inventory, ecology and management. Kluwer, Boston, MS, EE.UU. p. 679-739.
- Leiva, F. 2003. La agricultura de precisión: Una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. In: Memorias del VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos celebrado en julio de 2003. Disponible también en: www.reddeagriculturaprecision.unal.edu.co/doc/Publicaciones/Paper%20Agriprecision-Simposio-Leiva.pdf
- Molina L., D.L.; Amézquita C., E.; Hoyos G., P. 2003. Construcción de capas arables en suelos Oxisoles de la Altillanura colombiana. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 5 p. Disponible también en: www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/capas.pdf
- Peña, A.J.; Rubiano, Y.; Amézquita, E.; Bernal, J.H.; Montoya, L.; Moreno, J.L. 2007. Variabilidad espacial de los atributos químicos y físicos de los suelos de la Altillanura en la Estación Sabanas-Taluma. In: Caicedo, S.; Salamanca, C.R., Jaramillo, C.A.; Romero, G. (comps.). Futuro agroempresarial de la agricultura tropical. Memorias del Tercer Encuentro de Agricultura de Conservación reunido en Villavicencio, Colombia, del 6 al 8 de junio de 2007. Universidad Nacional de Colombia/Corpoica/CIAT/UNILLANOS, Villavicencio, Colombia.

- Rivas R., L.; Hoyos G., P.; Amézquita C., E.; Molina L., D.L. 2004. Manejo y uso de los suelos de la Altillanura colombiana: Análisis económico de una estrategia para su conservación y mejoramiento [en línea]. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 43 p. Disponible también en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/degradacion_capa_arable.pdf
- Roel, A. 2005. Agricultura de precisión: Una herramienta para innovar. Revista INIA (Uruguay) 3:35-46.
- Spaans, E.; González, D.; Cortés, G. 2007. Agricultura de precisión. In: Caicedo, S.; Salamanca, C.R.; Jaramillo, C.; Romero, G. (comps.). Memorias del Tercer Encuentro Nacional de Agricultura de Conservación reunido en Villavicencio del 6 al 8 de junio de 2007. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Regional Llanos Orientales, Villavicencio, Colombia.
- Williams, M. 1990. Understanding wetlands. In: Williams, M. (ed.). A threatened landscape. Blackwell, Londres. p. 1-41.
- Yule, L.J.; Cain, P.J.; Evans, E.J.; Venus, C. 1996. A spatial inventory approach to farm planning. Computers and Electronics in Agriculture 14:151-161.