



TESIS DOCTORAL

**Factores Limitantes para el
Crecimiento y Productividad del Arroz
en Entre Ríos, Argentina**

Presentada por:

César Eugenio Quintero

Directores:

Dr. Antonio Paz González

Dr. Eduardo L. Díaz Ucha

Dr. Marcos Lado Liñares

RESUMEN

Esta tesis desarrolla un análisis cuantitativo del sistema cultivo del arroz en la provincia de Entre Ríos, Argentina. Se analiza cómo la temperatura, la radiación, las características de los suelos, las aguas de riego y el manejo que realizan los agricultores determinan el rendimiento del arroz. El objetivo fue conocer el sistema de producción arroz en Entre Ríos y determinar cuales son los factores más importantes que limitan el crecimiento y la productividad del cultivo; identificando la brecha entre el rendimiento actual y potencial a nivel de campo.

Luego de un capítulo introductorio donde se presentan las generalidades del cultivo de arroz en Argentina, los fundamentos, los objetivos e hipótesis de la investigación realizada; en el Capítulo II, se describe el medio físico y las características del área de estudio, así como los aspectos de la fisiología y la genética del arroz.

En el Capítulo III se presentan en detalle los materiales y métodos empleados. Se trata de 180 observaciones en campos de agricultores, durante 4 años, donde se evaluaron variables de suelo, clima, agua, manejo, estructura del cultivo, absorción de nutrientes. Más de 80 variables fueron analizadas estadísticamente y mediante un proceso lógico deductivo, que tiende a identificar los factores que determinan el rendimiento.

El Capítulo IV muestra los resultados presentando los distintos factores en forma individual. Se analizó el efecto de las temperaturas extremas (frío y calor) sobre el rendimiento y de las temperaturas medias sobre la duración de los períodos fenológicos. Se estimó el rendimiento potencial para Entre Ríos en 14 Mg/ha, siendo la producción media de 7 Mg/ha y habiéndose registrado un máximo de 13,7 Mg/ha en ensayos experimentales. Con la genética disponible existe una brecha explorable de 3 Mg/ha ente el rendimiento actual y el alcanzable. Los componentes del cultivo más importantes fueron el número de panojas por unidad de superficie y el número de granos llenos por panoja. Los suelos no presentaron limitaciones importantes para el arroz, sólo el pH elevado y la salinidad deprimieron el rendimiento en algunos sitios. Las aguas de riego en general fueron adecuadas y sólo las bicarbonatadas cálcicas

mostraron algún efecto negativo. Dentro de las prácticas de manejo, el control de malezas y la fertilización con nitrógeno fueron los factores más importantes. La concentración de N y K en los tejidos de las plantas de arroz analizados en distintos momentos mostraron bajos valores limitando el rendimiento

La discusión general de los resultados se puede ver en el Capítulo V y las conclusiones en el Capítulo VI. La información presentada en este trabajo es útil para que agricultores, extensionistas y planificadores encuentren herramientas para la toma de decisiones de campo, así como para los planes de desarrollo e investigaciones a llevar adelante en la zona.

PREFACIO Y AGRADECIMIENTOS

Si hace diez años atrás me preguntaban si me veía trabajando en arroz, seguramente hubiese respondido que no. A pesar de ser entrerriano, veía al arroz como un cultivo lejano, distante, al que estaban dedicadas otras personas. Así es que trabajé varios años en suelos, en fósforo y fertilización de pasturas, maíz, soja y trigo. En 1997 se firma un convenio entre la Universidad de Entre Ríos y la Fundación PROARROZ. Este acuerdo abre nuevas oportunidades y requerimientos de investigación en arroz. Así fue que comencé con mis investigaciones en arroz enfocando primeramente el problema de la clorosis en los suelos con calcáreo. Al poco tiempo advertí que muchos aspectos básicos no estaban debidamente analizados y que los factores críticos para la producción de arroz en Entre Ríos eran poco conocidos o no estaban cuantificados: Cuales son los mejores suelos para el arroz? Qué magnitud tiene el frío sobre el vaneo de los granos? Qué nutrientes son deficitarios? Estamos cerca o lejos del potencial de rendimiento? Cuánto podemos mejorar? El manejo es apropiado? Por qué algunos agricultores logran 10.000 kg/ha y otros no llegan a 5.000 kg/ha? La tesis doctoral de David Casanova presentada en Wageningen, analizando los factores limitantes para la producción de arroz en el Delta del Ebro (España), fue un modelo inspirador y una metodología que seguí desde el inicio.

La Fundación PROARROZ comienza a financiar pequeños proyectos anuales de investigación aplicada y en 2004 aprueba el financiamiento del Proyecto Factores Limitantes para el Rendimiento de Arroz. Hago este comentario introductorio por que estoy profundamente agradecido con la Fundación PROARROZ, por su confianza y apoyo a esta idea. Agradezco en especial a su presidente Hugo Muller y al comité técnico, ellos han incentivado mis investigaciones y han llevado a la práctica los resultados obtenidos difundiénolos con otros profesionales y con los productores arroceros. Son en parte responsables del tema de esta tesis. Gracias a ellos he recorrido todos los ambientes en los que se produce arroz en Entre Ríos y provincias vecinas. He conocido lugares donde el hombre ha transformado la naturaleza de

manera notable, manejando el agua, los suelos y demás recursos para producir arroz.

El otro pilar que me conduce a esta etapa es Eduardo Díaz a partir del inicio de las relaciones con el Dr. Antonio Paz González. Con ambos tengo un agradecimiento mayúsculo dado que han guiado mi camino hacia este grado y han sido responsables de los soportes financieros de las estancias de capacitación en la Universidad de La Coruña.

Quiero agradecer especialmente a mis compañeros y amigos en el trabajo de campo, con los que compartimos muchos kilómetros y horas de calor al sol; Nicolás Spinelli, Edgardo Arévalo y Oscar Hénderon. También a Alberto Livore por las sugerencias técnicas.

En el trabajo de laboratorio a María de los Ángeles Zamero, a Graciela Boschetti, a Romina Befani. No quiero dejar de recordar a otros colaboradores en diversas actividades relacionadas como Carlos Spinelli, Marcelo Romero, Raúl Ruíz, Gabriela van Derdonckt, Alejandra Méndez.

A los aguadores, productores y profesionales que facilitaron y permitieron el ingreso a sus campos, aportando datos y predisposición para la investigación. En muchos de ellos encontré nuevos amigos: Martín Sordelli, Pablo Martí, Julio Ojeda, Nenato Brouchou, Hugo y Leonardo van Opstal, Luis Angriman, Rubén Drewanz, Edgardo Regiardo, Eduardo Rader, Lucas García, Fabián Pérez, Carlos Pilecco, Gastón Darmandral, etc.

Agradezco la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER por la libertad para la docencia y la investigación y su contención institucional.

Finalmente agradezco a mi familia por el aguante y la comprensión, por mis viajes y ausencias.

Dedicado a mi madre, la Gogó y a Rosana.

Cuando pones la proa visionaria hacia una estrella y tiendes el ala hacia tal excelsitud inasible, afanoso de perfección y rebelde a la mediocridad, llevas en ti el resorte misterioso de un Ideal.

(José Ingenieros. El hombre mediocre. 1961).

Diseño de tapa: Mateo A. Quintero

INDICE

I.- INTRODUCCION	1
I.1.- ARROZ GENERALIDADES	3
I.1.1.- Evolución del sistema arrocero en Entre Ríos	4
I.1.2.- El sistema actual de producción de arroz en Entre Ríos	8
I.2.- ZONAS EN LAS QUE SE PRODUCE ARROZ EN ARGENTINA.....	9
I.3.- PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCION Y EL COMERCIO MUNDIAL DE ARROZ	13
I.3.1.- La situación en Argentina	15
I. 4.- FUNDAMENTACION.....	18
1.4.1.- Evolución de los rendimientos medios alcanzados en Entre Ríos .	18
I.5.- OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	21
II. - EL AMBIENTE EN EL QUE SE PRODUCE ARROZ EN ENTRE RÍOS ...	23
II.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL	25
II.2.- GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	25
II.3.- SUELOS.....	29
II.3.1.- Suelos destinados a cultivo de arroz	30
II.4.- RECURSOS HIDRICOS.....	33
II.4.1.- Hidrogeología	33
II.4.2.- Ambientes Hidrogeológicos	34
II.4.3.- Aguas superficiales: represas, ríos y arroyos	36
II.4.4.- Calidad de las aguas utilizadas	37
II.5.- CLIMA	38
II.6.- ESTADÍOS FENOLÓGICOS.....	40
II.6.1.- Germinación	41
II.6.2.- Macollaje.....	41
II.6.3.- Período reproductivo.....	41
II.6.4.- Llenado de granos	43
II.7.- ASPECTOS GENÉTICOS.....	44
II.7.1.- Características de las Variedades más utilizadas.....	45

III. - MATERIALES Y METODOS	57
III.1.- BASE METODOLÓGICA.....	59
III.2.- EVALUACIONES Y DETERMINACIONES	59
III.2.1.- Análisis de suelos	61
III.2.2.- Variables de manejo del cultivo	63
III.2.3.- Condiciones climáticas	64
III.2.4.- Evaluación de la estructura del cultivo y los componentes del rendimiento.	64
III.2.5.- Análisis en el tejido vegetal.....	66
III.2.6.- Análisis del agua de riego.....	66
III.3.- ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	68
III.3.1.- Establecimiento de la línea de máximos (Boundary Line Developmen System. BOLIDES)	69
III.3.2.- Ley del mínimo o de los factores limitantes (método Mín-Máx)	71
 IV.- RESULTADOS.....	 73
IV.1.- EL CLIMA Y EL AMBIENTE.....	75
IV.1.1.- Introducción	75
IV.1.2.- Características climáticas de los años de evaluación.....	76
IV.1.3.- Duración de los períodos fenológicos.....	78
IV.1.4.- Efecto de la temperatura sobre la esterilidad de las espiguillas ...	80
IV.2.- RENDIMIENTO POTENCIAL.....	86
IV.2.1.- Introducción.....	86
IV.2.2.- Rendimiento potencial del arroz	87
IV.2.3.- Estimación del rendimiento potencial de arroz para Entre Ríos ...	88
IV. 3.- ESTRUCTURA DEL CULTIVO Y RENDIMIENTO.....	92
IV.3.1.- Rendimientos alcanzados y sus componentes.....	92
IV.3.2.- Comportamiento de las variedades	97
IV. 4.- CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO	99
IV.4.1.- Interpretación de los análisis de suelos para arroz.....	104
IV. 5.- LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO	106
IV. 6.- LAS PRÁCTICAS DE MANEJO.....	109

IV.6.1.- Efectos de las principales prácticas de manejo evaluadas.....	109
IV.6.2.- Comparación entre mejores y peores productividades.....	116
IV. 7.- ASPECTOS NUTRICIONALES.....	121
IV.7.1.- Introducción.....	121
IV.7.2- Concentración de elementos durante el ciclo del cultivo	123
IV.7.3.- Concentración de elementos a cosecha.....	127
IV.7.4.- Curvas de acumulación de materia seca y nutrientes	134
V.- DISCUSION GENERAL	139
Rendimientos esperables.....	141
Los componentes del rendimiento	143
Necesidad de futuras investigaciones.....	150
VI.- CONCLUSIONES.....	153
Síntesis final.....	157
VII.- BIBLIOGRAFIA.....	159



CAPITULO I

I.- INTRODUCCION

Resumen: este capítulo incluye generalidades del cultivo de arroz, características del sistema de cultivo de arroz en Entre Ríos, zonas de cultivo en Argentina, comercio global y local de arroz, situación del sector en Argentina. Se presenta la fundamentación del trabajo realizado, los objetivos y la hipótesis de esta tesis.

I.1.- ARROZ GENERALIDADES

El arroz, junto con el trigo y el maíz, proveen alrededor de dos tercios de la energía en las dietas y son la base de la alimentación de la humanidad. El rendimiento por unidad de tiempo y superficie se ha incrementado en las últimas décadas, como resultado de la intensificación en las prácticas de cultivo. Se destacan las mejoras genéticas, el incremento en el uso de fertilizantes, la realización de dos o más cultivos por año en la misma superficie y el riego. Sin embargo, frente a las demandas crecientes de alimentos, las posibilidades futuras de incrementar la producción son menores. Esto se debe por un lado, a que no es posible realizar un incremento importante de tierras aptas para el cultivo; y por el otro, a que la productividad se está acercando al rendimiento potencial y la brecha explorable de incremento es menor. Por lo tanto, incrementar la producción sin causar daños al medioambiente es un desafío que requiere mejorar la calidad del suelo y un manejo preciso de todas las prácticas de cultivo, en el tiempo y en el espacio (Cassman, 1999)

El arroz es un cultivo que presenta una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, lo que lo ubica como el de mayor difusión en el mundo. El cultivo puede desarrollarse en condiciones de secano, inundación con láminas de poca altura y aun con hasta 500 cm de lámina de agua. Se cultiva a 3000 m de altitud en Nepal y a nivel del mar; a latitudes entre los 53° N en China y 35° S en Australia. Mediante la selección de habilidades específicas, el cultivo puede adaptarse a las diferentes áreas de implantación ajustándose a las condiciones de adversidad ambiental.

Un análisis de las condiciones donde se cultiva el arroz en la actualidad a nivel mundial, permite definir cuatro agroecosistemas principales denominados, arroz irrigado, arroz de secano, arroz de tierras bajas lluviosas y arroz de tierras inundadas. Aproximadamente el 55 % del arroz sembrado en el mundo, pertenece al agroecosistema de arroz irrigado y de allí se obtiene el 75% de la producción mundial.

El arroz de secano se cultiva sin riego y es tradicional en localidades con abundantes precipitaciones, pero con suelos profundos que no retienen el agua. Estos suelos en general son de bajo pH y de baja fertilidad. Períodos cortos de restricción hídrica suelen reducir la productividad en tales regiones. El

área sembrada perteneciente a este ecosistema es de aproximadamente 16 millones de hectáreas (12%), siendo el agroecosistema de mayor superficie en América Latina.

El agroecosistema de tierras bajas lluviosas, cubre el 25% del área sembrada con arroz en el mundo y ocupa tierras cuyas características de impermeabilidad permiten retener el agua proveniente de las abundantes precipitaciones que ocurren durante el ciclo de crecimiento del arroz. Diversas condiciones tanto de suelo, topografía y distribución de lluvias, determinan otras cinco categorías de ambiente dentro de este agroecosistema. Una característica distintiva de este agroecosistema es la ocurrencia de períodos de deficiencia hídrica o de grandes excesos y de acumulación de agua, que condicionan la seguridad de cosecha.

El agroecosistema que cubre menor superficie es el de las tierras inundables a lo largo de los deltas de ríos. Estas regiones permanecen inundadas por períodos prolongados con profundidades que alcanzan los 3 m en cierta época del ciclo del cultivo. Las variedades más utilizadas son aquellas que tienen una talla relativamente alta y, además la capacidad de elongar los entrenudos a medida que aumenta la altura de la lámina de agua. Aproximadamente 9 millones de hectáreas son cultivadas en estas regiones inundables, con arroces denominados flotantes.

El área de producción en Argentina puede catalogarse como “arroz de riego templado”, debido a que el cultivo se realiza en su totalidad bajo condiciones de riego por inundación, y con baja frecuencia de temperaturas extremas.

I.1.1.- Evolución del sistema arrocero en Entre Ríos

(Adaptado de De Battista y Rivarola, 2006).

El cultivo de arroz se practicó en Argentina desde la época de la colonia. Las primeras referencias indican que este cultivo fue introducido por los jesuitas en la provincia de Misiones durante el siglo XVII. Entre 1909/10 y 1931/32 la producción de este cultivo fue poco significativa para Argentina y no

superó las 30.000 toneladas de arroz cáscara. Hasta el año 1930 el cultivo se localizaba principalmente en la región del NOA (Tucumán, Salta y Jujuy) y en Misiones; a partir de la aplicación de una protección arancelaria se comenzó a cultivar en las provincias de Entre Ríos, Corrientes y centro de Santa Fe. Recién a partir del año 1932, al gravarse la importación se inicia la etapa arrocería argentina.

Debido a la gran red hidrológica de la provincia de Entre Ríos, en una primera etapa el cultivo se realizaba en las llanuras de inundación de los principales arroyos y ríos ubicados en los departamentos Villaguay, Colón, Uruguay, Federal y Federación. Posteriormente, en la década del 60, con la difusión de técnicas de perforación de pozos semiprofundos, se produjeron cambios en las posibilidades de realización del cultivo. Al contar con fuentes de agua subterránea para riego, el área cultivada con arroz se desplazó hacia zonas altas con mejores suelos y mayor seguridad de cosecha.

Hasta esta época la cantidad de perforaciones regulaba el tamaño de la explotación, ya que con un solo pozo se podían regar alrededor de 50 has. En su mayoría los productores sembraban arroz en superficies no mayores a 80 has y en cada lote se realizaban 2 o 3 cultivos seguidos. Cuando el suelo perdía fertilidad, o cuando resultaba invadido por las malezas, los rendimientos disminuían; y en consecuencia, los lotes debían dejarse en descanso durante 5 a 8 años. En éstos se regeneraba una vegetación natural dominada por gramíneas estivales utilizadas principalmente para cría bovina con una baja productividad.

La preparación del suelo se realizaba primero con arado de discos, luego rastras de discos y se finalizaba con una pasada de rastra de dientes. La siembra se practicaba al voleo y por último se pasaba un rolo compactador para aumentar el contacto semilla-suelo. Con niveles ópticos o métodos artesanales se trazaban las curvas de nivel sobre las cuales se construían las taipas altas de base angosta (2 m aproximadamente), de 7 a 10 cm de desnivel entre ellas. En la etapa de macollaje se iniciaba la inundación con una altura de lámina de agua regulada mediante vertederos (niveles) de acuerdo a la talla de las plantas, alcanzando a los 15 cm el nivel definitivo hasta 15 días antes de la cosecha. El control de malezas originalmente se hacía en forma mecánica

durante la preparación de la cama de siembra; a partir de 1962 se comienza a utilizar gramínicidas como el propanil.

La cosecha se realizaba cuando la planta llegaba a estado amarillento del follaje y madurez del grano con cosechadoras automotrices de baja capacidad operativa (3 a 5 has por día).

Durante la década de 1980 el cultivo de arroz creció en superficie y productividad por la incorporación de tecnología desarrollada en la Estación Experimental del Este de la República Oriental del Uruguay. En cuanto a la preparación del suelo se difundió el laboreo anticipado de verano o principios de otoño, con arados de discos o rastras pesadas de tiro excéntrico. Esto permitió un mejor control de las malezas estivales y aumentó las posibilidades de realizar siembras tempranas (septiembre – octubre) con mayor potencial de rendimiento. Se comenzaron a utilizar las niveladoras de gran porte (tipo land plane) para borrar el microrrelieve, lo que permitió aumentar la eficiencia de uso del agua al manejarse láminas más uniformes y de menor altura (5 a 10 cm). Otra práctica que se comenzó a difundir fue la fertilización con fósforo y nitrógeno de los cultivos de grano tipo largo fino, utilizando fosfato diamónico incorporado a la siembra y urea en aplicación aérea en diferenciación de la panoja. En este período el control químico de malezas era una práctica habitual en el cultivo de arroz. Al principio del mismo la práctica más difundida fue el control en postemergencia tardía con Molinate agregado por goteo en el agua de riego (herbigación). Hacia fines de la década del 80 se difunden mezclas de Propanil con Molinate, y el Pendimetalín como preemergente o postemergente temprano para el control de gramíneas y para control de malezas de hoja ancha 2,4 D o Picloran.

La cosecha se practicaba con un mayor contenido de humedad en el grano que en épocas anteriores (18 % aproximadamente) con el fin de mejorar la calidad industrial del grano. Surgió la necesidad de utilizar secadoras de grano tanto en los predios como en las cooperativas y acopiadores. Las actividades de cosecha y acopio han disminuido los tiempos operativos gracias a la utilización de maquinarias de gran porte y potencia.

Entre productores propietarios medianos y grandes se difundió la rotación arroz-pastura, con siembra aérea de la pastura en cobertura sobre el

rastrojo de arroz. El impacto económico de la implementación de esta rotación, tanto en Uruguay como en Argentina, se debió al fuerte incremento de la productividad de la actividad pecuaria, con la incorporación de la invernada en empresas tradicionalmente de cría. Pero el beneficio de la rotación con pasturas también se observó en el arroz. El rendimiento luego de 4 años de pasturas fue superior y la respuesta a nitrógeno menor comparado con una secuencia arroz-barbecho-arroz. Estos resultados experimentales se confirmaron en un sistema semicomercial de rotaciones arroz-pastura en el que los rendimientos del arroz luego de 4 años de pastura superaron en 800 kg/ha en promedio al arroz-barbecho-arroz.

A partir de 1990, con la aparición de máquinas de siembra directa adaptadas al cultivo de arroz, se produjo un importante cambio en el sistema arrocero local. La preparación anticipada del suelo se acompaña de la sistematización y construcción de las taipas antes de la siembra. Estas taipas de base ancha y baja altura permitieron circular en el lote sin destruirlas. De esta manera, se logran distribuir mejor las tareas en el tiempo con la ocupación de menor número de tractores en el momento de la siembra respecto al sistema tradicional. La adopción de la siembra directa, con la cual se valoriza la conservación del rastrojo en superficie, impulsó la realización de verdeos anuales (avena o ray-grass) previamente al cultivo de arroz. Sembrados sobre el terreno sistematizado, se realizaban uno o dos pastoreos luego de los cuales se practicaba control químico con glifosato días antes de la siembra de arroz. Debido a la frecuente falta de piso para el aprovechamiento de los verdeos esta práctica se abandonó y actualmente se deja como cobertura la vegetación espontánea.

En el control de malezas se han incorporado herbicidas con un amplio espectro de acción (gramíneas y latifoliadas) con buen poder residual: preemergente Clomazone y posemergente Quinclorac que han permitido disminuir la incidencia de las malezas.

La incorporación del sistema de stripper en la cosecha permitió un importante aumento en la capacidad operativa de las cosechadoras pasando de 5 has por día a más de 15 has por día.

En el lapso de los años 1994 a 1998 los buenos precios de la mayoría de los granos y bajos precios de la carne, favorecieron el desarrollo de secuencias agrícolas tales como arroz-soja, arroz-maíz con riego y otras alternativas incluyendo en menor medida al trigo y girasol. El 59 % de la superficie de arroz a sembrarse en la campaña 1999 / 2000 se realiza sobre retornos de 2 o 3 años o como segundo o tercer cultivo de arroz consecutivo y, además, un significativo crecimiento de la superficie con soja luego del arroz.

I.1.2.- El sistema actual de producción de arroz en Entre Ríos

El sistema tradicional de producción de arroz en Entre Ríos es de siembra directa con maquinaria sobre suelo seco y luego irrigado. De un total de 260 productores censados en la provincia, el 66 % siembra menos de 200 hectáreas de arroz y sólo el 6 % más de 1000 ha. El 50 % de los productores se encuentran en los departamentos Villaguay y San Salvador (Carñel, 2008).

Si el terreno destinado al arroz proviene de campos naturales la preparación de la tierra comienza en el verano anterior, pero si proviene de agricultura (soja, arroz u otro), el laboreo comienza en febrero o marzo. En el caso de la soja es posible hacer una preparación mínima que consta de la construcción de taipas (bordo o melgas en contorno) solamente.

Luego del laboreo el suelo se nivela y se marcan las curvas a nivel cero con láser con una diferencia entre taipas entre 4 y 8 cm. Actualmente, las taipas se construyen de 20 a 30 cm de alto y 60 a 100 cm de ancho, dado que no es necesario manejar láminas de agua altas.

La siembra se realiza habitualmente con sembradoras de discos con una distancia entre hileras de 15 a 21 cm. El período de siembra comienza a mediados de septiembre y se extiende hasta mediados de diciembre. A la siembra se aplican los fertilizantes de base N, P, K y luego se realiza una fertilización con N previo al riego y otra en diferenciación.

Las malezas se controlan con herbicidas al inicio de macollaje y normalmente no hacen falta controles de enfermedades o de insectos.

El riego o inundación comienza a inicios del macollaje y el cultivo permanece inundado hasta al fin del ciclo cerca de la madurez.

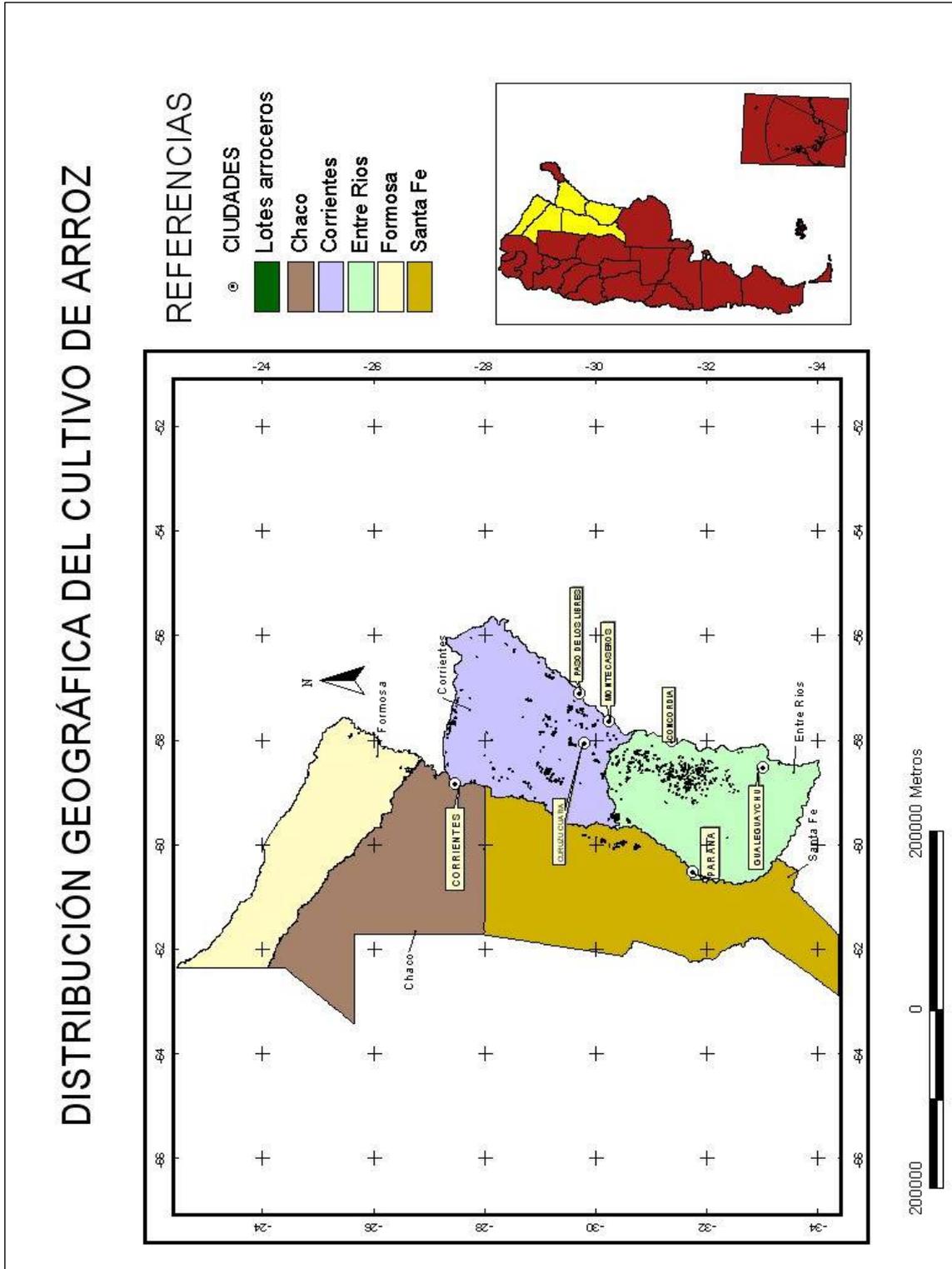
La cosecha es mecánica con el suelo saturado o muy húmedo lo que genera grandes huellas por los tractores y carros utilizados para transportar el cereal dentro del lote o chacra. Es frecuente que el rastrojo sea aprovechado para el pastoreo directo, aunque también se siembran pasturas con avión o se quema parcialmente y se laborea inmediatamente.

1.2.- ZONAS EN LAS QUE SE PRODUCE ARROZ EN ARGENTINA

(Elaborado en base a informes de la Asociación Correntina de Plantadores de Arroz y Bolsa de Cereales de Entre Ríos, 2008)

La Superficie Cosechada a nivel Nacional en la campaña 2007/08 fue de 178.354 hectáreas. En cuanto a la participación provincial en la superficie nacional destinada al cultivo, Corrientes mantuvo la primera posición con 78.748 hectáreas y el 44% del total, dos puntos porcentuales por arriba de la campaña pasada. Entre Ríos participa con la segunda mayor porción, con 70.250 hectáreas y un 39% del total, experimentando una caída de 3 puntos porcentuales en relación a la campaña 2006/07. Les siguen Santa Fe, Chaco y Formosa con 12%, 2% y 2% del total respectivamente, y casi unas 30.000 hectáreas cosechadas en conjunto.

Considerando la superficie cosechada en la campaña anterior, el mayor incremento se dio en la Provincia de Corrientes, con unas 9.747 hectáreas adicionales en esta campaña 2007/08, lo que representa un crecimiento del 14% en su superficie arroceras.



Mapa 1. Provincias productoras de arroz en la República Argentina y ubicación de los campos de producción comercial de arroz (Carñel, inédito).

En general, todas las provincias experimentaron un crecimiento en superficie, salvo Formosa que presentó una leve merma. La Provincia de Santa

Fe replicó en esta campaña el gran crecimiento de la campaña pasada (17% respecto a la Campaña 2005/06), presentando un incremento del 23% respecto a 2006/07, con unas 4.103 hectáreas adicionales. Por otro lado, Chaco y Entre Ríos crecieron en superficie un 8% (330 hectáreas), y 5% (3.310 hectáreas) respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1: Superficies y rendimientos provinciales, en las campañas 06/07 y 07/08.

Provincia	Superficie Cosechada 2007/08 (ha)	Superficie Cosechada 2006/07 (ha)	Diferencia		Rendimientos 2007/08 Mg/ha	Producción 2007/08 Tn
			Absoluta (ha)	Relativa (%)		
CORRIENTES	78.748	69.001	9.747	14%	6,80	535.486
ENTRE RÍOS	70.250	66.940	3.310	5%	7,34	515.795
SANTA FE	21.593	17.490	4.103	23%	6,50	140.355
CHACO	4.380	4.050	330	8%	6,77	29.653
FORMOSA	3.383	3.400	-17	-1%	4,69	15.866
TOTAL PAIS	178.354	160.881	17.473	11%	6,94	1.237.155

En cuanto a los rendimientos medios provinciales, todas las provincias excepto Formosa, desarrollaron un notable crecimiento respecto a la campaña anterior. Corrientes pasó de 6,5 Mg/ha en 2006/07, a 6,8 Mg/ha para esta campaña. Santa Fe, Chaco y Entre Ríos, también experimentaron aumentos en los rendimientos medios, que van desde los 220 a los 500 kg/ha, alcanzando en 2007/08, 6,5 Mg/ha, 6,77 Mg/ha y 7,34 Mg/ha, respectivamente. Se destaca la provincia de Entre Ríos donde se obtienen los rendimientos medios más altos (Figura 1).

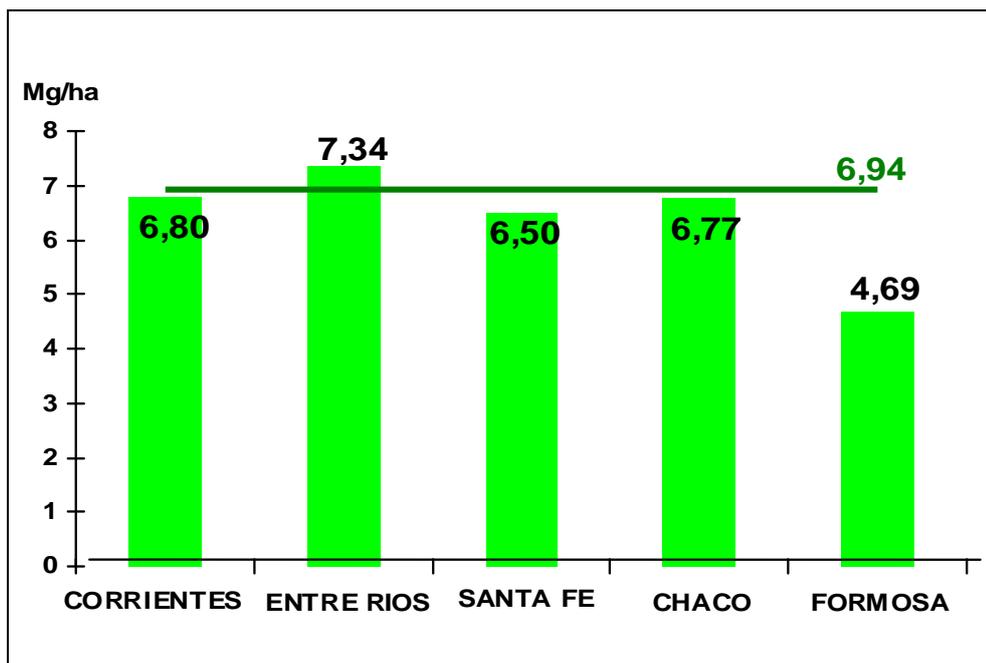


Figura 1. Rendimiento medio de arroz en las provincias productoras de Argentina. Campaña 2007-08.

El rendimiento medio a nivel nacional rondó los 6,94 Mg/ha, implicando un incremento de 5,3 % y unos 350 kg/ha respecto a la campaña pasada. Este nivel de productividad, supera en 560 kg/ha el promedio de los últimos 5 años, corroborando por tercer año consecutivo, la tendencia creciente en los rendimientos medios nacionales (Figura 2).

En referencia a la Producción Nacional, ésta experimentó un importante incremento del 17% respecto a la campaña pasada, alcanzando en la presente 1.237.155 toneladas. Las principales provincias productoras son, Corrientes con 535.486 tn (19% más que en 2006/07), y Entre Ríos, con 515.795 tn (9,7% más que en 2006/07), engloban el 86% de la producción total. Por su parte, la provincia de Santa Fe se consolida como tercera productora, con unas 140.355 tn, 11% del total nacional, y más de 40.000 tn de crecimiento respecto a 2006/07.

Por último, Chaco y Formosa permanecen prácticamente invariables en su producción respecto a la campaña anterior, con 29.653 y 15.866 tn cada una, representando en conjunto, el 3% de la producción nacional.

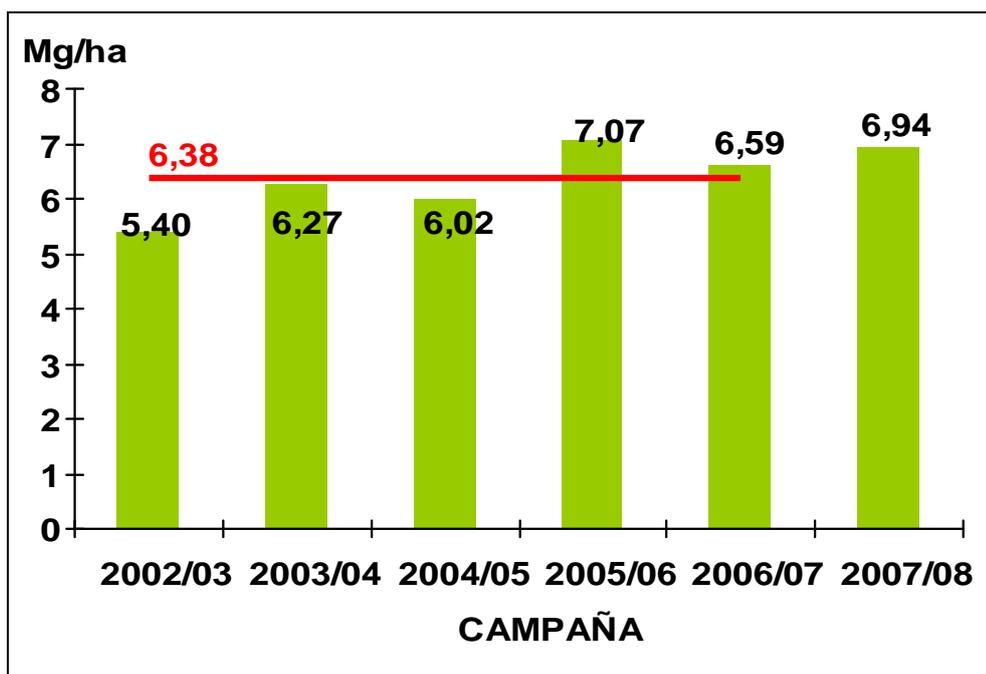


Figura 2. Evolución del rendimiento medio nacional.

1.3.- PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCION Y EL COMERCIO MUNDIAL DE ARROZ

(Adaptado de Méndez del Villar, 2008)

La producción mundial de arroz ha alcanzado en 2007 el nivel record de 643 millones de toneladas. No obstante, este resultado permite apenas atender el consumo mundial sin poder reconstruir las existencias mundiales, las cuales se encuentran en los niveles más bajos de los últimos 30 años. Esta declinación se explica por la progresión marginal de la producción mundial en estos últimos años, de 1% contra 2,5% durante las décadas pasadas. Estos resultados tienen su origen en factores climáticos, como sequías prolongadas o lluvias atrasadas en ciertas regiones (Australia, Indonesia, Sudamérica) o inundaciones en otras (India, Vietnam). Sin embargo, más preocupantes son los factores estructurales de estancamiento de la producción mundial. El incremento de las áreas arroceras es casi inexistente (estancadas en unas 152 millones de ha) y los rendimientos progresan poco, de 1% al año, es decir dos

veces menos que durante la década de los 90 y tres veces menos que en los años 80. Mientras que el consumo mundial, por su parte, continúa progresando a un ritmo ligeramente superior. Para quebrar los techos tecnológicos, y poder incrementar en forma sostenida la producción mundial y evitar una precaria situación alimentaria, se necesitarán nuevos materiales genéticos, que estén disponibles en gran escala, y sistemas de cultivo que sean más eficientes. También se requerirá incorporar nuevas áreas arroceras. Sin embargo, en la mayoría de los países asiáticos existen pocas posibilidades de extensión de las superficies. Se estima, por ejemplo, que durante los próximos 10 años, parte de la reducción prevista de las áreas en China podrían ser compensadas gracias al incremento de nuevas áreas arroceras en África Subsahariana, y sobretodo en América Latina donde existen regiones (Cerrados brasileños, Pampas argentinas, o Llanos colombianos y venezolanos) que disponen de un enorme potencial agrícola (estimado en millones de ha) y que podrían constituir, en un futuro próximo, uno de los principales graneros del mundo.

Las perspectivas de cultivar nuevas áreas están siendo estimuladas por las proyecciones de crecimiento anual del comercio mundial, estimado en 2,5% en los próximos 10 años, acercándose a un nivel record de 39 millones de toneladas contra 30 millones de 2007. Tres principales regiones importadoras (Sudeste asiático, Oriente Medio y África Subsahariana) contribuirán con dos tercios del incremento de la demanda mundial de arroz; mientras que la oferta mundial seguirá concentrada entre los 5 principales exportadores mundiales (Tailandia, Vietnam, India, Estados Unidos y Pakistán) con el 85% de las exportaciones arroceras. Inclusive, Tailandia y Vietnam podrían llegar a detentar juntos el 60% de las disponibilidades exportables gracias a mejores rendimientos y una probable reducción del consumo interno de arroz. Los exportadores del hemisferio Sur (Australia, Argentina y Uruguay) también deberían incrementar sus exportaciones durante la próxima década gracias a la extensión de nuevas áreas de cultivo.

La producción global para 2008/09 se proyecta en 431,7 millones de toneladas de arroz elaborado. Este record se basa en la expansión de área, la cual alcanzaría el record de 155,3 millones de hectáreas. El rendimiento medio mundial de 4100 kg de arroz cáscara por hectárea permanece invariable desde

2005/06. Bangla Desh, China, Indonesia, Filipinas, Tailandia, Brasil y EE.UU. serán los países que explicarán la mayor parte del crecimiento en la producción este año. El consumo se proyecta a un record de 428,3 millones de tn, uno por ciento por sobre el monto del año pasado.

I.3.1.- La situación en Argentina

(Adaptado de Agropuerto S.A., 2007)

Los Agronegocios han experimentado una serie de cambios fundamentales en los últimos años. Estas transformaciones no sólo se han producido a nivel mundial sino también en Argentina. Los cambios acaecidos son de diferente magnitud y relevancia. En productividad, con la introducción del sistema de siembra directa y semillas genéticamente modificadas; en la demanda, con el creciente consumo de alimentos y de producción de biocombustibles; en política comercial, con la creciente globalización de la economía y el cambio de barreras arancelarias por trabas generadas por seguridad alimentaria, entre otros.

El sector arrocero no es ajeno a este cambio de escenario. A nivel mundial se observa un estancamiento de la producción debido a la competencia de otros cultivos, alentados por la demanda de biocombustibles y por el aumento de los costos del agua, de los fertilizantes y de los combustibles que afecta a los países con menor dotación de recursos naturales para el cultivo de arroz. En forma similar con el resto de los granos, se está registrando un espacio creciente para incrementar las exportaciones a precios más elevados que los años recientes.

Los problemas comerciales de los EE.UU. y China, por contaminación con transgénicos, han generado un espacio adicional que puede ocuparse en el mercado mundial, siendo Argentina un país productor de arroz que puede mostrar una oferta libre de arroz transgénico.

La reducción de la producción en Brasil, debido a la competencia de otros cultivos y al fracaso en la calidad de las variedades de arroz de secano,

generan un sustento para el volumen de saldo exportable actual, y habría que buscar nuevos mercados sólo para el crecimiento planificado.

En Argentina el consumo de arroz por habitante es reducido (8 kg./año) lo cual implica que el “core” del negocio consiste en encontrar las estrategias para colocar el producto en el exterior, generando el mayor valor agregado posible en la cadena de valor y ventajas competitivas. Al mismo tiempo, hay un gran espacio para promover el consumo interno, más en un país con un porcentaje elevado de la población con necesidades mínimas insatisfechas como es la Argentina.

La creación del MERCOSUR en los primeros años de la década de 1990 benefició al conjunto del sector arrocero dada la integración con el gran mercado demandante que es Brasil. El crecimiento de la demanda impulsó un aumento en el área sembrada e incorporación tecnológica que incrementó los rendimientos, con el consiguiente aumento de la producción. Dado el carácter estable del consumo interno, el crecimiento de la producción tuvo como resultado un incremento en los saldos exportables, que se destinaron fundamentalmente a Brasil y países de Medio Oriente principalmente Irán. La menor producción de los EE.UU. producto de la nueva Ley Agrícola Freedom Farm '94 alentó exportaciones a países centroamericanos.

En la campaña 1998/99, Argentina alcanzó un récord de producción de 1,6 millones de toneladas con lo que se logró multiplicar por cuatro la producción de principios de la década. No obstante, inmediatamente se produjeron distintos hechos que generaron una profunda crisis sectorial. Brasil impulsó la siembra en el Centro Oeste con financiamiento y devaluó el Real tras estallar la Crisis Asiática, logrando su autoabastecimiento. La crisis internacional impulsó una baja generalizada del precio de los granos, y los EE.UU. modificaron su política agrícola nuevamente impulsando la producción de arroz mediante un incremento sensible de los subsidios. El aumento de los subsidios a la producción e industrialización de arroz viola los acuerdos multilaterales de comercio de la Ronda Uruguay del GATT y de la actual Organización Mundial de Comercio OMC. Al mismo tiempo, los problemas diplomáticos con Irán por el atentado a la AMIA (Asociación Mutual Israelita

Argentina), imposibilitaron continuar exportando a ese país que era el segundo destino de las ventas al exterior.

Desde 1999 a 2002, el sector arrocero argentino no pudo competir contra un Real devaluado y un peso sobrevaluado, en una situación de impulso a la siembra en Brasil vía créditos subsidiados que logró el autoabastecimiento. Debido a que Brasil era el principal comprador, los precios que percibían los productores argentinos dependían del comportamiento de ese gran mercado consumidor. Un Real devaluado implicaba que los productores brasileros podían vender su producción a un precio más bajo, e inaccesible para los argentinos.

Tras la salida de la Convertibilidad en la Argentina y devaluación del Peso, el área sembrada de arroz se ha estabilizado en torno a las 170.000 hectáreas y la producción viene en aumento favorecida por la tendencia creciente de los rendimientos. Las exportaciones muestran una tendencia creciente, y aunque siguen dependiendo del mercado brasileño, se han desarrollado nuevos mercados como Chile, Irán, España, Haití, Cuba y Senegal.

Después de la devaluación del Real en 1999, el precio del arroz cáscara al productor en el mercado doméstico cayó 45%, y se acrecentó la relación insumo-producto de todos los insumos en términos de arroz. En ese período, la situación de precios relativos se volvió más negativa para el sector, tanto para el gasoil, insumo crítico para la producción bajo riego de pozo, como para fertilizantes y maquinarias, insumos críticos para la producción.

Con la devaluación del Peso en 2002 y la leve recuperación de los precios algunos insumos se abarataron en relación al precio del arroz. Sin embargo en los últimos años, las presiones inflacionarias y aumento de carga impositiva en la economía nacional, y la situación de alza de precios en el mercado internacional de materias primas, incrementaron los precios de los insumos, y en muchos casos superan los valores de la Convertibilidad en la década del 90.

I. 4.- FUNDAMENTACION

1.4.1.- Evolución de los rendimientos medios alcanzados en Entre Ríos

Durante las décadas del 70 y el 80 el rendimiento del cultivo de arroz en Entre Ríos osciló entre 4 y 5 Mg/ha con escaso progreso en la productividad. A partir del inicio de la década del 90, se dieron condiciones económicas que posibilitaron la incorporación de tecnología a la agricultura y el arroz, como los otros cultivos, comenzaron a mostrar un incremento en la productividad (Figura 3). Es así que el arroz ha mostrado, en las últimas dos décadas, un incremento de rendimiento de 154 kg/ha año, encontrándose dentro de los valores más altos del mundo actual. Sin embargo, es posible que se observe una estabilización en torno a los 7,5 Mg/ha en los últimos años.

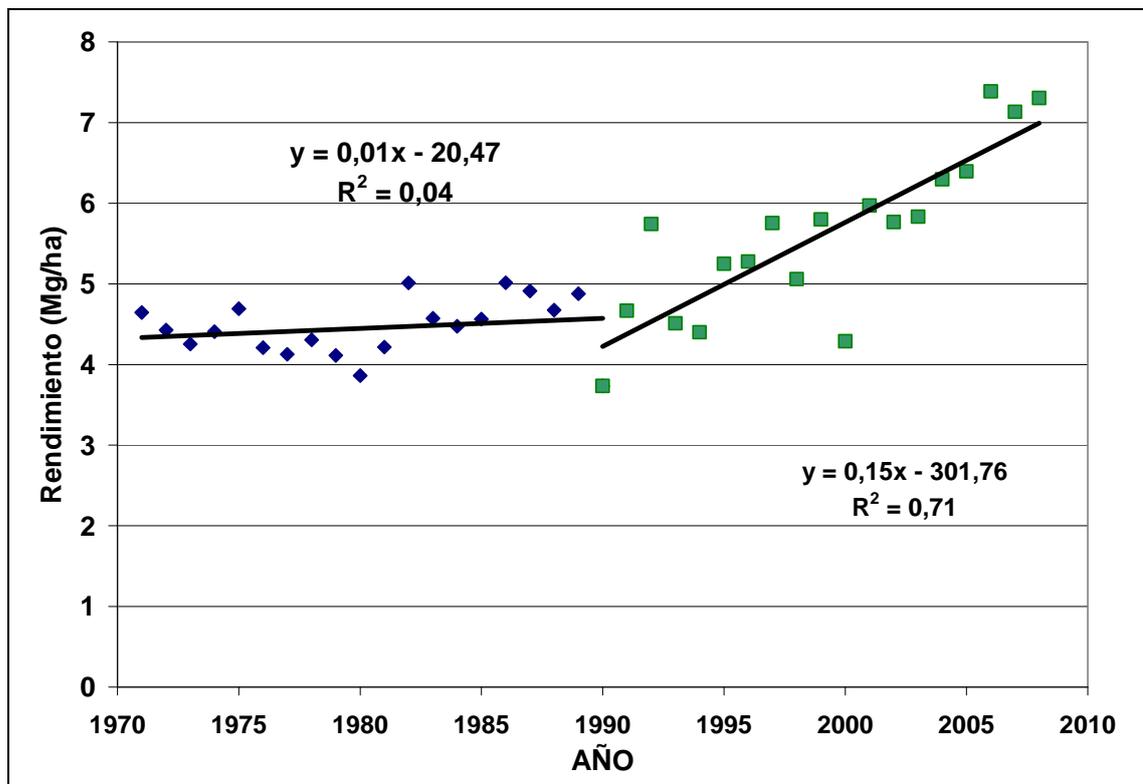


Figura 3. Evolución de los rendimientos de arroz en la provincia de Entre Ríos. Fuente: SAGPyA (2008).

La mayoría de los países productores de arroz muestran progresos en productividad muy inferiores y algunos autores sospechan que se está alcanzado un techo en los rendimientos limitado por el potencial genético, el cual no se ha incrementado en muchos años (Cassman et al. 2003).

Si bien muchos aspectos técnicos se han superado en los últimos años y han permitido aumentar los rendimientos (control de malezas y fertilización) existe aún una serie de temas importantes, relacionados al cultivo de arroz, que son desconocidos. Los rendimientos medios de los últimos años fueron de 6,5 a 7,5 Mg/ha, pero existe una amplia variabilidad en la productividad lograda por los productores, que puede oscilar entre 4 y 10 Mg/ha. Esta diferencia de rendimiento podría estar asociada al manejo del cultivo (fecha de siembra, riego, fertilización, rotación de cultivos y control de malezas), a las condiciones ambientales del año (temperatura y radiación, etc) o a características de los suelos tales como su fertilidad. Sin embargo, no existen estudios donde se analicen e identifiquen las características de los suelos que afectan la productividad del cultivo y permitan interpretar adecuadamente sus análisis.

Aunque el arroz es una especie plástica, que puede compensar deficiencias en la estructura del cultivo, mediante el macollaje o regulando el número de granos por panoja, existe una relación acotada entre la estructura del cultivo y el rendimiento que éste puede alcanzar. Es decir que existen límites fuera de los cuales el cultivo no puede compensar o suplir las deficiencias estructurales. Conocer cual es la densidad de plantas que permite hacer un uso adecuado de los recursos del sistema, la potencialidad de recuperación ante condiciones desfavorables y las alternativas de manejo para compensar los errores o fracasos, son aspectos importantes para quien maneja el cultivo de arroz.

Algunos temas relacionados con la ecofisiología son particularmente poco conocidos en Entre Ríos. Se desconocen los requerimientos térmicos para el desarrollo de las etapas ontogénicas en arroz. No ha sido determinada en Argentina la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica en biomasa. El progreso en los rendimientos es notable y se alcanzan productividades que pueden considerarse elevadas ante el desconocimiento del rendimiento potencial.

A medida que la productividad crece, el número de factores limitantes se reduce e identificarlos correctamente es un desafío. Por otro lado, así como algunos agricultores logran altas productividades existen muchos agricultores que producen a bajos niveles haciendo un uso inadecuado de los recursos del sistema. Para los productores de bajo rendimiento sería mas fácil identificar los factores críticos por comparación con los mejores agricultores. Pero también hay que mirar más allá y pensar en superar los niveles de producción que hoy se consideran elevados. Conocer los factores críticos y las bases ecofisiológicas para acceder a rendimientos más altos, puede ofrecer pautas para el programa de mejoramiento genético de este cultivo.

En lo que respecta al aprovechamiento de los recursos naturales es primordial conocer como interactúan éstos sobre el cultivo y los componentes del rendimiento. Es muy importante saber como aprovechar mejor la energía de la radiación solar, evitar los efectos adversos de las temperaturas extremas, conocer y acotar los riesgos para mejorar la productividad.

Se desconoce cuales son las principales limitaciones de los suelos de Entre Ríos para producir arroz. Las clasificaciones de aptitud agrícola, la formación académica y los estudios edafológicos están orientados hacia la agricultura tradicional de cultivos no inundados. Muchos factores y procesos que son favorables para cultivos como el maíz y la soja, no lo son para el arroz. Algo similar ocurre con las características de las aguas utilizadas para riego.

Los cambios físico-químicos que ocurren en el suelo luego de la inundación, hacen que la interpretación de los análisis de suelo tradicionales requieran de una calibración particular para esas condiciones. Conocer qué factores determinan una pobre nutrición mineral y qué elementos son deficitarios es crucial. Por esto es de suma importancia la evaluación del estado nutricional del cultivo, saber la concentración de los elementos esenciales, determinar sus consumos y requerimientos.

En el año 2006 se publicó un libro sobre el arroz y su sustentabilidad en Entre Ríos (Benavidez, 2006). No se puede dejar de reconocer el valioso aporte de este trabajo para el sector. En dicho libro se describen los componentes del sistema de cultivo del arroz en Entre Ríos y se analiza la sustentabilidad en los aspectos medioambientales y socioeconómicos. Los

aspectos centrales se resumen y actualizan en capítulo II de esta tesis. Sin embargo no se presenta allí un análisis de las partes del sistema en su conjunto, interactuando entre sí y con el cultivo. Es como que se presentan los actores de la obra pero no se los ve actuando.

1.5.- OBJETIVOS E HIPOTESIS

El **objetivo** general del trabajo apunta a conocer el sistema de producción arroz en Entre Ríos y determinar cuales son los factores más importantes que limitan el crecimiento y la productividad del cultivo; identificando la brecha entre el rendimiento actual y potencial, a nivel de campo.

Para esto, un primer objetivo específico es conocer la producción potencial de la región. Luego se pretende detectar cuales son las principales características de los suelos que impiden un óptimo crecimiento y rendimiento del arroz. De manera similar, determinar como impacta el manejo, la calidad del agua, la nutrición mineral y otros factores del ambiente. Además, establecer la relación entre los componentes estructurales del cultivo y el rendimiento. Esto permitirá conocer la diferencia entre el rendimiento potencial y el alcanzado, entender a que se debe dicha brecha y cuales son las posibles medidas a tomar para reducirla.

La **hipótesis** del trabajo es que es posible mediante la observación y registro de los procesos que ocurren a campo, en el medio que se cultiva el arroz, sin aplicar tratamientos; identificar, luego de un proceso lógico deductivo, las variables de mayor impacto que limitan el crecimiento y productividad del arroz.



CAPITULO II

II. - EL AMBIENTE EN EL QUE SE PRODUCE ARROZ EN ENTRE RÍOS

Resumen: En este capítulo se describen los recursos naturales involucrados en la producción de arroz de Entre Ríos. Geología y suelos, hidrogeología y recursos hídricos, clima, fenología del cultivo, genética y variedades utilizadas.

II.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL

Entre Ríos está situada entre los ríos Paraná y Uruguay, forma parte de la Mesopotamia, junto a las provincias de Corrientes y Misiones. Limita al Norte con la provincia de Corrientes, al Oeste y Sudoeste con Santa Fe, al Sur con Buenos Aires y al Este con la República Oriental del Uruguay. Se encuentra situada entre los 30° 10' y 34° 03', de latitud sur y entre los 57° 48' y 60°47' de longitud oeste. Tiene una superficie de 78.781 km², equivalente al 2,8 % de la Superficie Argentina. El relieve que predomina es de llanura ondulada, con lomadas de escasa pendiente. Las mayores alturas del terreno superan levemente los 100 m SNM. El Delta, con sus islas características de albardón y pajonal, en la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay y el río de La Plata caracteriza al sur de la provincia. Se encuentra ubicada dentro de los climas de dominio atlántico, que se diferencian por la existencia de un gradiente térmico que acusa las variaciones latitudinales de la radiación solar. La temperatura media anual disminuye de norte a sur. El mes más cálido corresponde a enero, con temperaturas medias entre 25 -26 °C y el más frío a julio con valores medios entre 11 - 12 ° C, con una media anual de 18-19 °C. Las precipitaciones disminuyen en forma gradual del noreste al suroeste, desde 1.200 a 900 mmm, anuales, siendo la época de mayores precipitaciones de octubre a abril, donde se registra el 73 % del total anual (Tasi, Bourband, 1990).

II.2.- GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

(Adaptado de Boschetti. y Quintero, 2006)

El río Paraná apareció en la llanura argentina en el Plioceno y fluye desde entonces por la misma, a lo largo de un lineamiento tectónico en dirección N-S. Las evidencias indican que su tendencia permanente ha sido el desarrollo de fajas fluviales limitadas por fracturas. Sus depósitos se conocen bajo la denominación de Formación Ituzaingó. Se trata de arenas cuarzosas finas, de color ocre y blanco, intercaladas con limos que yacen sobre

materiales más antiguos existentes en el área que son las arenas, limos arenosos y arcillas grises y verdes depositadas en un ambiente marino durante el terciario (Cenozoico), que han sido agrupados bajo el nombre de Formación Paraná (Bedendo, Vesco 1991).

La serie estratigráfica de sedimentos cuaternarios, en los que se originaron la gran mayoría de los suelos de la provincia, se inicia con los bancos de tosca y caliza blanca pulverulenta de la Formación Alvear. Estos bancos, fueron diagenizados por la influencia de procesos epigenéticos que causaron una precipitación muy importante de carbonato de calcio en ambiente palustre-lacustre en un paleoclima marcadamente seco, a partir del cual comenzaron las alternancias climáticas propias del pleistoceno. Esta formación es el sostén de formaciones posteriores en las cuales se han desarrollado los suelos actuales.

El segundo y más extensivo componente de la estratigrafía del Cuaternario está dado por los espesos sedimentos de la Formación Hernandarias que constituye el material originario de los suelos Vertisoles, Alfisoles y algunos Molisoles de la provincia. Estos “limos calcáreos” en determinados puntos de la provincia alcanzan espesores de más de 70 m. La secuencia estratigráfica cuaternaria culmina con el paquete loessico de la Formación Tezanos Pintos en el cual se han desarrollado la mayoría de los suelos más fértiles y aptos para la agricultura de la provincia, que son los Molisoles. Se trata de sedimentos limosos, homogéneos, de color castaño y con concreciones pequeñas de carbonato de calcio, que constituyen los materiales típicos del Cuaternario de la llanura pampeana en la provincia de Entre Ríos. Se extiende al suroeste, entre la llanura aluvial del Paraná y el arroyo Nogoyá, cubriendo el relieve en forma de manto de 2 a 3 m de espesor. Hacia el este ha sido parcialmente erodada, presentándose solamente en las partes más altas del relieve, hasta cerca del río Gualeguay. Desde la ciudad de Paraná, hacia el norte aparece como una capa de 1 a 1,5 metros de espesor, cubriendo una faja de 5 a 10 km de ancho hasta las cercanías de la ciudad de La Paz.

Al producirse una reactivación e incisión de las redes fluviales, parcial o totalmente cargadas por sedimentos eólicos y palustres del Pleistoceno, se

originó el relleno aluvial de los ríos y arroyos afluentes del río Paraná, con materiales muy heterogéneos de la Formación La Picada, constituyéndose las terrazas bajas y planos aluviales modernos de los principales arroyos, donde se retrabajan materiales terciarios arenosos de la Formación Ituzaingó (Bedendo, Vesco 1991).

Iriondo (1980) sugiere una síntesis del esquema evolutivo del Cuaternario en la provincia de Entre Ríos, que es básicamente climático. Durante el Pleistoceno inferior, los grandes y caudalosos ríos Paraná y Uruguay depositaron las Formaciones Ituzaingó y Salto Chico, de características arenosas y con decenas de metros de espesor. Estos materiales actualmente afloran en muy escasos sectores de la Provincia. Después de una época intermedia cálida y húmeda, se estableció un clima probablemente semiárido de características típicamente pampeanas, con sedimentación eólica importante en el suroeste y menor influencia en el nordeste, con cuencas cerradas lacustres o palustres (Formación Alvear). Este ambiente evolucionó hacia la aridez, apareciendo sedimentos yesíferos en el Pleistoceno superior dando lugar a la denominada Formación Hernandarias, que aflora en gran parte del territorio de la provincia, cubriendo a formaciones de distintas edad, con arcillas limosas rojizas muy plásticas, de tipo montmorilloníticas. Posteriormente se produjo una erosión generalizada, formándose la red fluvial actual en un clima húmedo y hacia el fin del Pleistoceno ocurrió otro período semiárido con sedimentación de loess cuando se depositó la Formación Tezanos Pintos. Durante los últimos miles de años, tuvo lugar el relleno aluvial de los valles (Formación La Picada), seguido por un último clima árido que dio origen a las llamadas arenas eólicas asociadas al río Uruguay. Esta unidad está formada por arenas cuarzosas finas de color amarillo y pardas que aparece en forma de una faja discontinua de pocos kilómetros de ancho en el borde oriental de la provincia. El establecimiento de las condiciones actuales, ocurridas probablemente entre el 900 y 1.200 de nuestra era, trajo como resultado el aterrazamiento de la Formación La Picada.

Según el predominio del proceso eólico/fluvial o fluvial/marino, como principal responsable del modelado del paisaje, la provincia puede dividirse en dos grandes ambientes. El ambiente que ocupa la mayor superficie es el

continental en donde predomina el paquete sedimentario pampeano, principalmente los limos calcáreos arcillosos de la Formación Hernandarias y los materiales limo-loesoides depositados por la acción eólica por encima de estos. El paisaje fisiográfico más extenso es el de una superficie estructural denominada “peniplanicie”, entendiéndose por tal una “casi planicie, con relieve suavemente ondulado a plano, antiguamente elevado que fue modelado por procesos morfogenéticos, presumiblemente durante el último estadio de un ciclo geomorfológico desarrollado en clima húmedo”. Esta peniplanicie suavemente ondulada a ondulada, ha estado sujeta a un proceso de disección y erosión que ha dado lugar a la colmatación de las pendientes más bajas y pie de lomas de los valles más amplios con el relleno de material coluvial y a la sedimentación y depositación de materiales aluviales en el curso de los principales río y arroyos de la provincia (Bedendo, 2005). En el sector este de la provincia se encuentran las llamadas terrazas del río Uruguay, que se han formado a partir del desplazamiento del río en edad terciaria, cuando poseía una mayor dinámica que en la actualidad. Estas antiguas terrazas han sido sometidas a procesos de erosión geológica, donde han perdido las formas escalonadas, conformando el paisaje ondulado actual, con pendientes entre 4-6 %.

El ambiente fluvial-marino que abarca el predelta y el delta actual, del río Paraná, domina en el sur de la provincia donde existen dos elementos geomorfológicos bien diferenciados: la antigua planicie de marea y albufera y la planicie aluvial del río Uruguay que aún incluye evidencias de rasgos geomorfológicos más antiguos como cordones litorales marinos, cordones litorales estuáricos y dunas activas (Bedendo, 2005). Las llanuras aluviales antiguas, con ambientes pobremente drenados e intercalaciones de suelos alcalinos, es un extenso sector subordinado a tres factores condicionantes: régimen de inundaciones periódicas de los principales ríos de la región mesopotámica (Paraná, Uruguay y de la Plata); régimen de lluvias que provocan encharcamientos temporarios y régimen eólico de las sudestadas que alteran el nivel de las aguas en muchos ambientes ribereños (Foti, Fuentes, 2005). Este sector muestra suelos de poco desarrollo, con predominio de suelos de régimen ácuico, perfiles simples, con evidencia de repetidos y

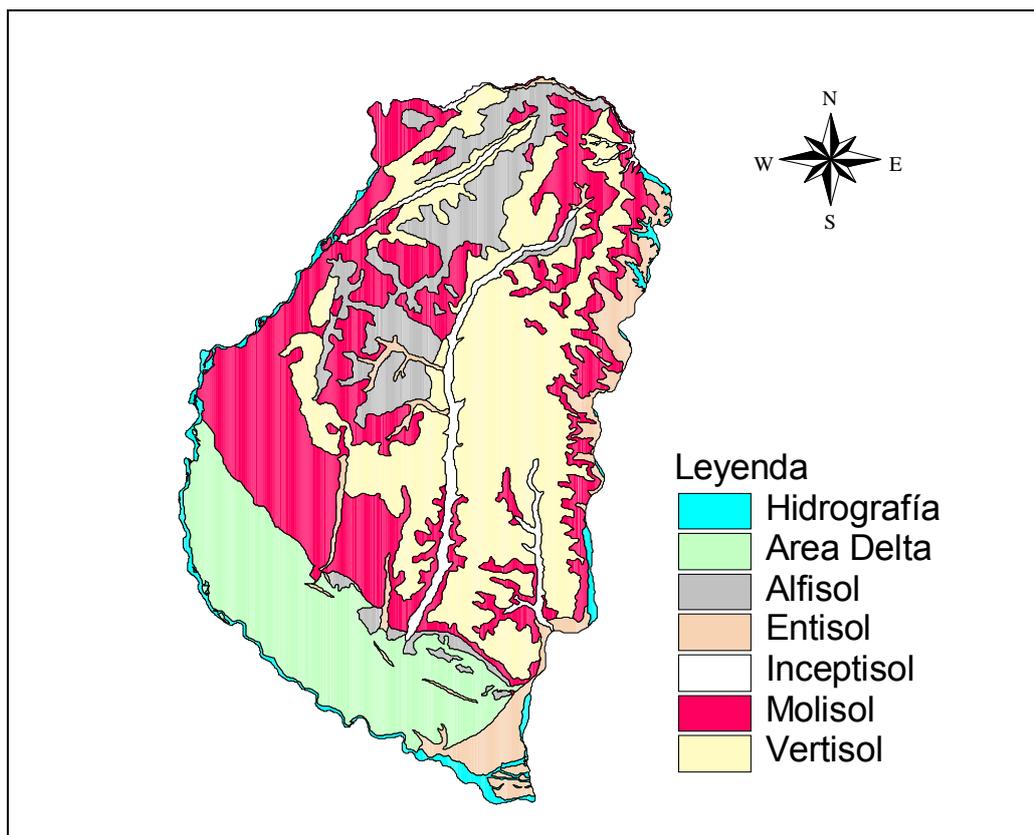
continuos rejuvenecimientos. En los sectores fluviales dominan los Hapludoles, Haplacuentes y Haplacueptes, mientras que en el ambiente deltaico se encuentran Acuentes y Fluventes. En el antiguo ambiente marino, se encuentran Psamentos en los cordones litorales y dunas y en las planicies de mareas Argiacuoles, Natracualfes y Acuentes (Bedendo, 2005).

II.3.- SUELOS

En la provincia de Entre Ríos, han sido reconocidos cinco ordenes de suelos según la Clasificación Americana (Soil Taxonomy): Vertisoles, Alfisoles, Molisoles, Inceptisoles y Entisoles (Tabla N° 2, Mapa N° 3), acorde a lo informado en el Inventario de los Principales suelos de la provincia de Entre Ríos (Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos, 1984).

Tabla 2. Ordenes de suelo relevados en la provincia de Entre Ríos según la clasificación Soil Taxonomy y superficie que ocupan.

Orden de suelo	Superficie (ha)	%
Vertisoles	2.350.000	30,1
Molisoles	1.550.000	24,4
Alfisoles	850.000	10,9
Entisoles	650.000	8,3
Inceptisoles	450.000	5,8
Área Deltaica Río Paraná	1.600.000	20,5
Total Provincia	7.800.000	100



Mapa 3. Distribución geográfica de los Ordenes de Suelo (Soil Taxonomy) reconocidos en la provincia de Entre Ríos. Fuente: INTA-Plan Mapa de Suelos. Acuerdo Complementario del Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos.

II.3.1.- Suelos destinados a cultivo de arroz

(Adaptado de De Petre y Boschetti, 2006)

El cultivo de arroz se realiza mayoritariamente sobre suelos con altos contenidos de arcillas expandibles, plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando están secos. Ellos son de colores oscuros, con cromas bajos y están sujetos a contracciones y expansiones cuando varía su humedad. Poseen concreciones de carbonato de calcio en el perfil, que en algunos casos, llegan a aparecer en superficie. Como es de esperar por la textura fina que poseen estos suelos, el agua circula lentamente en el perfil. Gran parte de los suelos involucrados en el cultivo de arroz en la provincia de Entre Ríos, corresponde al Orden Vertisol y en menor medida a Alfisoles o

Molisoles con características vérticas, denominados genéricamente vertisólicos o intergrados. Los Vertisoles se encuentran en un paisaje de peniplanicie muy suavemente ondulada, con pendientes generalmente largas (0,5-2,5 %), aunque también se los puede hallar en peniplanicies onduladas de hasta 4 % de pendiente (Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos, 1984). Son suelos de textura fina, con un contenido de arcilla del 40-50%, sobre todo del tipo de las esmectitas (montmorillonita). Generalmente tienen textura franco-arcillo-limosa en los horizontes superficiales y arcillo-limosa en los subsuperficiales. Los intergrados a los suelos Molisoles, que son aquellos que han recibido el aporte de loes, presentan una textura más gruesa, con aportes de arcilla illita, en el horizonte A. Las características más importantes de los suelos Vertisoles son su color oscuro uniforme, elevado contenido de arcilla, formación de grietas profundas y anchas en la fase seca y sistemas de espejos de fricción (slickensides) intersectados. Las dos últimas características son resultado de los movimientos de expansión y contracción volumétrica, fenómenos debidos a las particularidades de las esmectitas, que pueden absorber y desorber importantes cantidades de agua entre sus capas cristalinas, según la humedad del medio.

Se han identificado otros tipos de suelos que son apropiados para producir arroz, los cuales poseen características vérticas y corresponden a los Ordenes Alfisoles o Molisoles. La característica en común es su alto contenido de arcillas, fundamentalmente de naturaleza esmectítica, lo que les imprime condiciones favorables para evitar la pérdida de agua por drenaje profundo y por consiguiente los hace apropiados para el cultivo de arroz bajo riego, tal como se realiza en la provincia de Entre Ríos. Los suelos pertenecientes al Orden Alfisol, son Ocracualfes vérticos y Natracualfes típicos. Los primeros tienen un horizonte superficial ócrico, de colores claros, muy lixiviado y degradado, de textura franca-limosa a franco-arcillo-limosa y un horizonte B2, con cromas oscuros y síntomas de hidromorfismo, expresados por las abundantes concreciones de hierro y manganeso que presentan. Los Natracualfes típicos tienen un horizonte subsuperficial altamente saturado con sodio en su complejo de cambio (>15%), lo que da lugar a un horizonte nátrico,

que influencia negativamente las características físicas de los suelos y el crecimiento de los vegetales.

Respecto a los Molisoles, los más usados en éste cultivo son los Argiacuoles vérticos, que tienen un epipedón mólico, de color oscuro franco-limoso y un horizonte subsuperficial argílico, donde están mayormente expresadas las características vérticas. De textura franco-arcillo-limosa a arcillo-limosa, con drenaje deficiente y abundantes concreciones de hierro-manganeso de hasta 5 mm de diámetro.

En la tabla 3, puede observarse la clasificación taxonómica de cuatro perfiles modales, representativos de los suelos más usados para el cultivo de referencia. Están también las principales características de los mismos, que son de importancia para la retención del agua superficial, tal como la textura del suelo, que ha mostrado ser apropiada para estimar la capacidad de retención de humedad y de transmisión de agua (Kalra, et al., 1994).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de los suelos más usados en la producción de arroz y las principales características que los hace aptos para este cultivo

Clasificación Taxonómica (*)	Textura	Textura	Drenaje	Erosión
	Horizonte A	Horizonte B		
• Serie General Campos (Peluderte argiacuólico)	franco-arcillo-limosa	franco-arcillo-limosa	Imperfecto	Hídrica ligera
• Serie Lucas Norte (Argiacuol vértico)	franco-limosa	franco-arcillo-limosa	Imperfecto a pobre	Sin erosión
• Serie Los Conquistadores (Argiudol vértico)	franco-arcillo-limosa	franco-arcillo-limosa	Imperfecto a pobre	Sin erosión
• Serie Colonia Trece (Ocracualfe vértico)	franco-limosa	franco-arcillo-limosa	Imperfecto	Sin erosión

Del análisis de la información procedente de la identificación de los lotes arroceros y del tipo de suelo usado, se pudo corroborar que los suelos ocupados con arroz en la provincia de Entre Ríos, corresponden predominantemente al Orden Vertisol como son los Peludertes argiacuólicos y argiudólicos. Ocupan el segundo lugar los Molisoles tales como los Argiacuoles vérticos. En menor medida también se utilizan Ocracualfes vérticos y Natracualfes típicos, pertenecientes al Orden Alfisol

II.4.- RECURSOS HIDRICOS

Históricamente el arroz en Entre Ríos se ha regado de aguas de pozos profundos en mas de un 90 %, con algunos casos regados de fuentes superficiales. Por una cuestión de costos, en los últimos años ha crecido la superficie con riego superficial. En la zafra 2007/08 el 53 % de los lotes se regaron con agua de pozos profundos, mientras que el 23 % fue regada de represas, el 12,5 % de río o arroyo, mientras que el 3,4 % combina pozo y represa y el 8,5 pozo y río (Carñel, 2008).

II.4.1.- Hidrogeología

(Adaptado de Tujchneider, et al. 2006)

Teniendo en cuenta los grandes ambientes hidrogeológicos en los que Filí et al. (1994) dividieron a la provincia de Entre Ríos (Mapa 4) se tiene que los sistemas acuíferos de mayor utilización están constituidos por arenas y gravas, de origen fluvial (Formaciones Ituzaingó y Salto Chico) y marina (Formación Paraná), de edad Plioceno y Mioceno. Tienen espesores que varían desde unos 20 metros y pueden aproximarse a 60 metros. Por lo general las capas productivas están semiconfinadas o confinadas por mantos de arcilla, con potencias que suelen superar los 50 metros y en algunos casos mucho más.

II.4.2.- Ambientes Hidrogeológicos

Ambiente de acuíferos en rocas cretácicas

Está conformado por una estrecha faja adosada a la margen derecha del Río Uruguay, desde la ciudad de Concepción del Uruguay hasta el límite con la provincia de Corrientes. La unidad geológica principal es la Formación Solari. En la República Oriental del Uruguay, las areniscas que integran esta unidad (areniscas de Tacuarembó) contienen acuíferos surgentes localizados a profundidades variables, entre 500 y 1000 metros. Las aguas son mesotermales, de tipo bicarbonatadas sódicas, con salinidad entre 500 y 1000 mg/L. En territorio argentino, se ha perforado a una profundidad algo mayor a los 1000 metros encontrándose correspondencia con los acuíferos de la República Oriental del Uruguay. Los basaltos que afloran, alojan acuíferos en fisuras, de bajo rendimiento y salinidad.

Ambiente de acuíferos en Formación Paraná

Este ambiente ocupa una amplia superficie en la región sur y suroccidental de la provincia. Se corresponde, en parte con terrenos ocupados por la gran ingresión marina del Mioceno. La Formación Paraná presenta una potente secuencia alternante de arenas y arcillas. Las capas acuíferas superiores contienen agua de salinidad muy variable, desde moderadamente bajas a altas y las inferiores de salinidad elevada. Los rendimientos son muy variables.

Ambiente de acuíferos en Formación Salto Chico

Este ambiente ocupa una ancha faja que, de norte a sur, se extiende por el sector oriental de la provincia. La formación que da nombre al ambiente, integrada por depósitos fluviales de granulometría mediana a gruesa y espesores que llegan a superar los 60 metros, es portadora de un acuífero de alto rendimiento y baja salinidad. En su explotación se sustenta gran parte de la producción arrocerá provincial.

Ambiente de acuíferos en Formación Ituzaingó

En este ambiente, localizado en la porción noroccidental de la provincia, las arenas de la Formación Ituzaingó y en parte, las arenas superiores de la Formación Paraná, constituyen la fuente de aprovisionamiento. Las aguas son de tipo bicarbonatado sódico y en menor proporción sulfatado sódico, con salinidades de moderadas a altas. Los rendimientos son moderados.

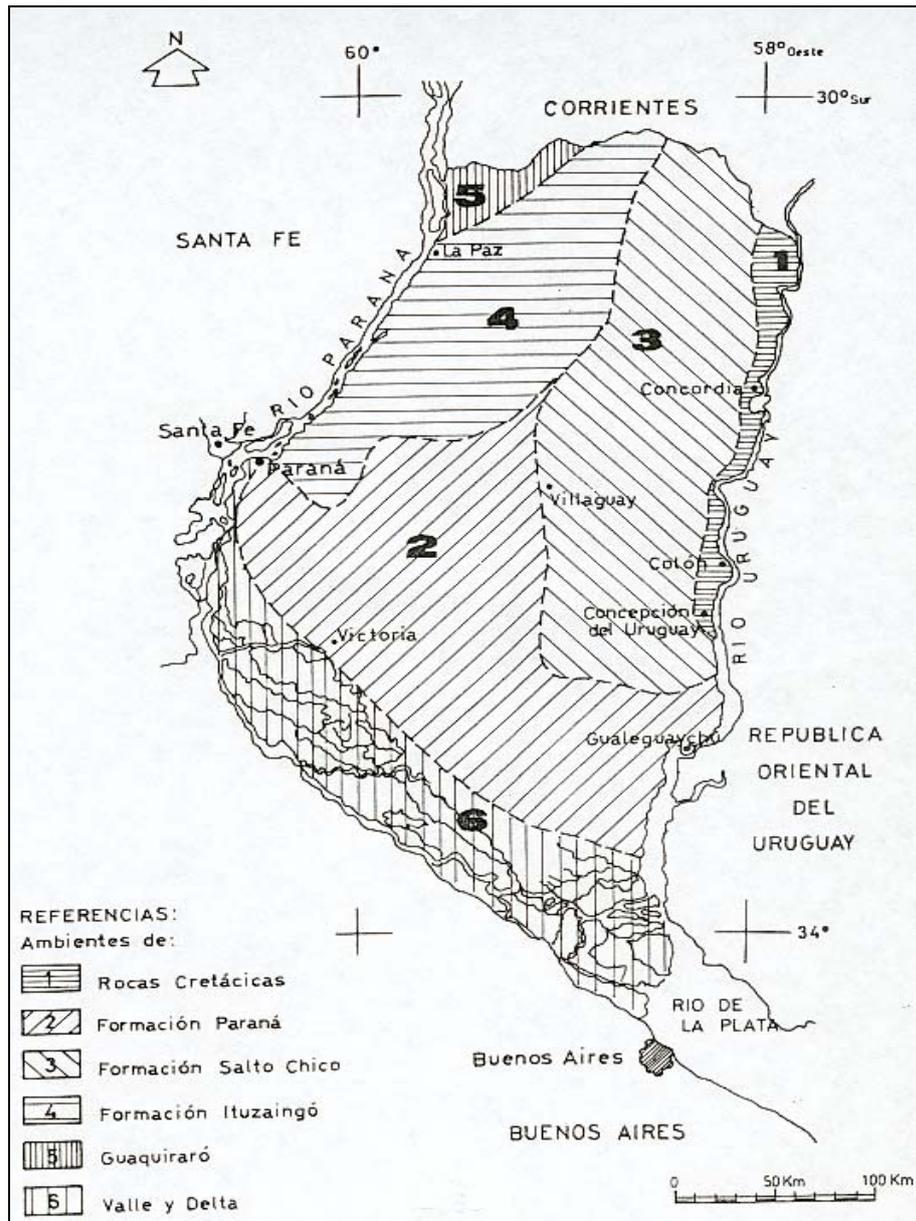
Ambiente de acuíferos en sedimentos de Llanura Aluvial Guayquiraró

Ocupa el extremo noroeste de la provincia, está constituido por depósitos aluviales modernos, superpuestos a la Formación Paraná con espesores del orden de los 40 metros. Se trata de un acuífero libre, de alto rendimiento, con aguas de tipo bicarbonatado cálcico y cálcico-sódico, de salinidad media a baja.

Ambiente de acuíferos de Valle Aluvial y Delta del Río Paraná

Este ambiente de constitución sumamente heterogénea, contiene cuerpos de agua dulce de composición bicarbonatada cálcica, sobreyaciendo a aguas de elevada salinidad.

Los ambientes que más interesan en función de la extensión del área arrocerá provincial son los ambientes 3, 4 y 5 (Mapa 4).



Mapa 4. Ambientes Hidrogeológicos de la Provincia de Entre Ríos (Filí et al. 1994).

II.4.3.- Aguas superficiales: represas, ríos y arroyos

En algunas condiciones es posible extraer agua de cursos menores, arroyos o directamente de los ríos.

A partir de la década del 90 surge la alternativa al manejo tradicional del riego, la utilización de aguas superficiales almacenadas por obras de embalse, minirepresas, construidas a partir de materiales sueltos, poniendo de relevancia

las ventajas del uso exclusivo del agua superficial, respecto al manejo tradicional del riego de pozo. Carñel et al (2006) identificaron 59 presas con un rango de volumen embalsado de 2 a 15 hm³. Las mismas ocupan una superficie de embalse de 9.400 ha en la provincia, lo que significa un área potencial de riego de aproximadamente 25.000 ha. La incorporación de esta tecnología a la producción agropecuaria implica una reducción de los costos de extracción de agua para riego. Sin embargo el incremento de la superficie embalsada y regada de esta fuente ha sido limitado por leyes de protección de bosques naturales.

II.4.4.- Calidad de las aguas utilizadas

En el trabajo presentado por Valenti et al (2006) se discuten y analiza la calidad de las aguas utilizadas para el riego de arroz en Entre Ríos. Se ha detectado dispersión y sellado superficial del suelo en lotes con larga historia arrocera regados con agua subterránea, afectándose la normal redistribución del agua en el perfil de suelo y sus consecuencias en las tasas de infiltración y evaporación. El uso de agua de origen subterráneo, representa un riesgo de sodificación de los suelos, máxime si se tienen en cuenta los altos contenidos en bicarbonatos, donde la interpretación de la calidad cambia, aumentando a un rango de peligrosidad superior. Por otra parte, los niveles salinos resultan bajos para controlar la dispersión coloidal de los suelos, provocando un desequilibrio entre la relación de adsorción de sodio y la salinidad, y magnificando los efectos de la sodificación. El agua de embalses y de cursos superficiales es apta para su utilización en el riego de arroz, dados sus bajos valores de relación de adsorción de sodio y conductividad eléctrica. En algunos casos, cuando los niveles de ríos y arroyos descienden, se ha detectado un aumento notable de la salinidad sin presentar riesgos de sodificación.

II.5.- CLIMA

La provincia de Entre Ríos presenta un clima templado y húmedo de llanura. Su posición geográfica intermedia entre el ecuador y el polo hace que las temperaturas promedios se ubiquen en el rango de templadas, entre 17° y 20° C; con un régimen regular de precipitaciones durante todo el año. La cantidad de milímetros precipitados oscila entre los 1000 y 1300 mm anuales. En esta provincia se desarrollan las cuatro estaciones del año. La temperatura media anual de Paraná es de 18 °C, de Gualeguaychú 17,6 °C y en Concordia de 19,0 °C. Las invasiones de aire polar en invierno, provocan heladas en algunos casos fuertes, y las temperaturas llegan a descender algunos grados debajo cero. En verano las temperaturas más altas llegan a ubicarse entre 34° y 38°. Además de la regularidad de las precipitaciones que acompaña las temperaturas, la gran cantidad de ríos y arroyos que atraviesan la provincia, brindan su cuota de humedad al suelo y al aire. Los valores de humedad atmosférica son elevados con una media de 73 a 75 %. Los meses de invierno son los más húmedos con frecuentes periodos de nieblas y neblinas matinales. Respecto a los vientos, predomina la componente que oscila entre el sudeste y el noreste. Las principales características del clima pueden apreciarse en las tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4- Datos Climáticos. Estación PARANA: 31° 46'S - 60° 28'W

	Temperatura	Máxima	Mínima	Humedad	P ATM	Nubosidad	Radiación	Precipitación
	C°	C°	C°	%	S/N/M HPA	%	Mj/m ² /d	mm.
Enero	24,9	31,6	19,5	65	1010,0	40	23,2	131,7
Febrero	24,1	29,7	18,8	72	1011,5	43	21,7	110,2
Marzo	21,6	27,5	16,7	75	1012,7	39	18,9	157,4
Abril	17,3	23,4	13,7	79	1015,1	45	14,6	91,5
Mayo	15,4	20,1	10,3	78	1015,8	45	11,1	48,2
Junio	12,1	16,5	7,4	79	1018,0	50	9,1	36,2
Julio	12,1	16,2	6,9	79	1018,8	45	10,2	33,2
Agosto	13,1	18,9	8,5	74	1017,6	45	13,2	38,8
Septiembre	14,8	20,3	9,5	71	1017,8	43	16,7	53,8
Octubre	17,5	24,2	12,8	69	1014,3	41	20,4	104,4
Noviembre	20,8	27,0	15,7	69	1012,0	40	22,6	117,6
Diciembre	23,2	29,7	17,8	65	1010,9	39	22,2	100,0
Anual	18	23,8	13,1	73	1014,5	43	17,0	1023
Período	1951/80	1981/90	1981/90	1981/90	1981/90	1981/90	1970/07	1951/80

Tabla 5 - Datos Climáticos. Estación CONCORDIA: 31° 18'S - 58° 01'W

	Temperatura	Máxima	Mínima	Humedad	P ATM	Nubosidad	Radiación	Precipitación
	C°	C°	C°	%	S/N/M HPA	%	Mj/m ² /d	mm.
Enero	25,8	32,8	19,6	62	1010,1	45	18,2	122,6
Febrero	24,9	30,8	19,1	70	1011,7	48	18,9	108,3
Marzo	22,8	28,9	16,9	71	1013,2	40	17,7	141,3
Abril	18,6	24,5	13,8	78	1015,1	45	16,5	115,9
Mayo	15,8	21,1	10,2	79	1016,2	46	13,9	83,9
Junio	13,1	17,5	7,4	81	1018,3	54	11,7	90,4
Julio	13,2	17,8	7,4	79	1019,2	49	12,8	72,0
Agosto	14,0	20,1	8,7	76	1017,8	50	14,9	71,5
Septiembre	15,8	21,1	9,5	73	1018,0	48	15,7	96,5
Octubre	18,6	25,3	12,7	69	1014,5	45	18,5	131,2
Noviembre	21,1	27,7	15,5	69	1012,4	44	18,4	122,0
Diciembre	24,1	30,9	17,4	63	1011,0	40	18,3	111,1
Anual	19	24,9	13,2	73	1014,8	46	16,3	1266,7
Periodo	1951/80	1981/90	1981/90	1981/90	1981/90	1981/90	1971/07	1951/80

Tabla 6 - Datos Climáticos. Estación GUALEGUAYCHU: 33° 00' S - 58° 37' W

	Temperatura	Máxima	Mínima	Humedad	P ATM	Nubosidad	Radiación	Precipitación
	C°	C°	C°	%	S/N/M HPA	%	Mj/m ² /d	mm.
Enero	24,7	32,2	19	64	1009,5	39	20,4	123,8
Febrero	23,5	30,2	18,4	72	1011,0	44	18,5	98,0
Marzo	21,5	28,0	16,0	74	1012,4	36	16,1	127,9
Abril	17,1	23,8	12,7	80	1014,5	43	12,6	86,9
Mayo	14,5	20,2	8,7	81	1015,2	44	10,1	60,7
Junio	11,4	16,7	5,9	83	1017,6	49	8,6	61,1
Julio	12,5	16,6	5,9	82	1018,4	46	9,2	56,7
Agosto	12,2	19,0	7,6	78	1017,4	46	11,7	64,4
Septiembre	14,3	20,3	8,7	75	1017,5	44	14,6	64,2
Octubre	17,1	23,9	11,7	72	1014,0	41	17,2	106,9
Noviembre	20,1	26,7	14,9	71	1011,7	41	19,4	99,3
Diciembre	22,9	30,0	16,9	65	1010,7	39	20,7	92,3
Anual	17,6	24	12,2	75	1014,2	43	14,9	1042,2
Periodo	1951/80	1981/90	1981/90	1981/90	1981/90	1981/90	1970/07	1951/80

II.6.- ESTADÍOS FENOLÓGICOS

(Adaptado de Arguissain, 2006)

El ciclo de crecimiento y desarrollo del arroz se divide en tres períodos o estadios: vegetativo, reproductivo y llenado de granos.

El período vegetativo incluye la germinación, el macollaje, el crecimiento de raíces y emergencia de hojas. El estado reproductivo comienza con la diferenciación del primordio de panículas, sigue con el crecimiento de la panoja y la elongación de los tallos o entrenudos hasta la floración. Finalmente, durante el llenado de los granos, los fotoasimilados se dirigen hacia la panoja y la planta senesce gradualmente.

Los componentes que determinan el rendimiento son las panojas por unidad de superficie, el número de espiguillas por panoja, el porcentaje de espiguillas llenas y el peso de los granos. El principal componente que afecta el rendimiento es el número de panojas por superficie, que se establece durante el período vegetativo. En esta etapa el nitrógeno es fundamental para lograr un alto macollaje y acumulación de biomasa. El tamaño de la panoja es determinado durante el período reproductivo y el peso de los granos junto con la esterilidad es definida durante el llenado. Los estreses bióticos y abióticos en los distintos períodos reducen los rendimientos. Sin embargo el período reproductivo es considerado el más sensible y las limitaciones en esta etapa causan los mayores perjuicios (Fageria, 2007).

Los altos rendimientos alcanzados en Yunnan, China (15 a 16 Mg/ha), han sido atribuidos en parte a un elevado índice de cosecha, que alcanza a 55%. Otro aspecto importante es la longitud del ciclo, siendo necesarios unos 150 días para alcanzar altos rendimientos. La radiación incidente en Yunnan no es elevada (17 Mj/m²/d) si se la compara con otros sitios de alto rendimiento como Yanco en Australia, (23 Mj/m²/d); pero un rápido crecimiento inicial, con un alto índice de área foliar y buena dotación de N posibilitan una gran intersección y buena conversión de la radiación incidente (Katsura, et al 2008).

II.6.1.- Germinación

Para iniciar la germinación, el arroz requiere un contenido de agua de alrededor del 30% del peso seco. Luego de ocurrido el proceso físico de absorción de agua se inician dos estados de actividad metabólica, el primero en donde el crecimiento del embrión es controlado, y el segundo en donde se producen cambios en el metabolismo de carbohidratos del endosperma, translocando el hidrolizado del endosperma al embrión. Luego de estas fases, el contenido de agua continúa aumentando con un activo crecimiento de la plúmula y la radícula.

Hasta el desarrollo de la tercera hoja la planta es dependiente de los nutrientes del endosperma, comienza luego un período de transición hasta la cuarta hoja, en donde se hace indispensable la actividad fotosintética para generar crecimiento. A partir de este estado se inicia un proceso fundamental para el logro de productividad que es el macollaje.

II.6.2.- Macollaje

Los macollos se originan en yemas axilares de las hojas y en cada hoja se diferencia una yema axilar. Inicialmente los macollos son dependientes del tallo principal, pero luego de la emergencia de la tercera hoja el macollo comienza a ser autótrofo. La aparición y desarrollo de macollos está condicionada por diversos factores como intensidad de luz, temperatura, nutrición, disponibilidad y lámina de agua, densidad de plantas y características de la variedad. La dominancia apical inhibe el desarrollo de las yemas laterales. El macollaje se extiende hasta que se dan las condiciones que desencadenan la fase reproductiva.

II.6.3.- Período reproductivo

El período reproductivo comienza con la iniciación del primordio de la panoja, pasando la misma por la diferenciación de ramificaciones primarias y secundarias, diferenciación de espiguillas, formación de células reproductivas, formación de polen y por último panojamiento y floración.

La inducción del inicio de este período en arroz está asociada al fotoperíodo, y/o al termoperíodo. En particular las variedades empleadas en Argentina presentan baja o nula sensibilidad fotoperiódica, y en su mayoría responden al termoperíodo. Casi paralelamente al momento de iniciación del primordio, comienza el alargamiento de entrenudos. El cultivo desarrolla una alta tasa de crecimiento con una alta demanda de agua, nutrientes y radiación. Es posible también asociar que la disponibilidad de N durante el período de desarrollo de las espiguillas contribuye a la capacidad fotosintética de la planta mejorando la disponibilidad de carbohidratos. De lo expresado surge que la nutrición, y la disponibilidad y captación de energía son fundamentales para este proceso. A partir del momento de diferenciación de la panoja se define un importante componente del rendimiento que es el número de espiguillas por panoja. Con aplicaciones altas de nitrógeno es posible generar un elevado número de granos especialmente en el momento de iniciación de la panoja; sin embargo el mismo mecanismo también genera una importante declinación del porcentaje de granos llenos.

El desarrollo de las espiguillas es afectado por la ocurrencia de bajas temperaturas lo que determina anormalidades morfogénicas de las espiguillas por efecto de bajas temperaturas, a saber: 1) formación de brácteas foliares, 2) acortamiento del primordio, 3) disminución del número de ramificaciones primarias y secundarias, 4) suspensión del crecimiento de ráquis y espiguillas, 5) aumento del número de órganos por espiguillas (varias glumelas, duplicación de estambres, etc), 6) estructuras bisexuales, 7) falta de órganos reproductivos, etc. Estos procesos afectan el número de espiguillas por formación o degeneración de las espiguillas ya formadas. Otro momento de alta sensibilidad al frío es durante el estado de “embarrigado” (la panoja ocupa el interior de la vaina de la hoja bandera), específicamente en el estado de microspora, donde se observa macho esterilidad, como resultado de baja dehiscencia de las anteras y una limitada cantidad de polen

El período comprendido entre diferenciación de la célula madre del polen (aproximadamente 15 días antes del panojamiento) y alrededor de 4-6 días post floración es de alta sensibilidad al estrés ambiental. El frío puede provocar esterilidad, por falta de polen, pero si el mismo ocurre al momento de

polinización también se produce esterilidad principalmente por falta de germinación del grano de polen. Por otro lado, las altas temperaturas (35 a 38 °C) pueden producir esterilidad por una pobre dehiscencia de polen o desecamiento de estigmas.

II.6.4.- Llenado de granos

Luego de la fecundación, la acumulación de sustancias en el grano es el resultado del transporte, y la síntesis de productos de reserva siendo los granos el principal destino. Este proceso está influenciado fuertemente por la temperatura; con altas temperaturas el crecimiento del grano es mayor y en consecuencia aumenta la demanda de fotoasimilados. La translocación de carbohidratos juega un rol fundamental al inicio del llenado de granos, y actúa como “buffer” cuando un estrés limita la capacidad fotosintética. Cuando la demanda de los destinos supera la capacidad de producción fotosintética, la removilización de sustancias de reserva del tallo aporta a esa demanda. Con altas temperaturas la tasa de llenado de grano es mayor, pero se acorta la duración del período. El efecto de altas temperaturas acelera la madurez de las células del endosperma que actúan como conducción de fotoasimilados a las células más alejadas. De esta forma se limita la conducción en el interior del grano y quedan células parcialmente llenas que presentan las características de panza blanca. Bajas temperaturas prolongan el período de llenado de grano; esta condición resulta aceptable para la formación de granos de buena calidad. Si las temperaturas son muy bajas, el retraso en el llenado es muy importante y este período se prolonga. El resultado del efecto del frío durante el llenado es la producción de granos parcialmente llenos, granos verdes, y granos yesosos.

II.7.- ASPECTOS GENÉTICOS

(Adaptado de Livore, 2006)

El arroz *Oryza sativa* L. es una especie diploide cuyo centro de origen se ubica en el sudeste del Himalaya. Esta especie es cultivada en los cinco continentes aunque en Africa se encuentra más difundida la especie *Oryza glaberrima* L (Tabla 7). Existen dos subespecies de *O. sativa* que son cultivadas: índica y japónica. Por otro lado las subespecies comprendidas como japónicas, están distribuidas en un amplio rango de latitudes y se dividen en dos subgrupos de acuerdo a sus características morfológicas y fisiológicas denominados Japónica tropical y Japónica templado.

Tabla 7. Caracteres comparativos de las subespecies Índica (Hsien) y Japónica (Keng) Chang (1979)

Carácter	Índica	Japónica
Dormancia	Moderadamente fuerte	Corta y débil
Germinación	Rápida	Lenta
Plántula	Verde claro, sensible al frío	Verde oscuro, resistente a frío
Lámina de la hoja	Larga, pubescente	Corta, glabra o semi glabra
Tallo y macollos	Numerosos	Bajo número
Raquis	Corto y erectos	Largos y algo pendulares
Densidad de granos en la panoja	Baja densidad	Alta densidad
Tipo de grano	Fino y delgado	Corto y ancho
Pelos en glumás	Pocos y cortos	Numerosos y largos
Arista	Ausentes o Presentes y cortas	Presentes y largas
Desgrane	Fácil	Duro
Fotoperíodo	Sensible	Sensible e insensibles
Amilosa	Intermedio a alto	Baja a intermedia

Durante la domesticación de la especie *Oryza sativa* L. los caracteres fenológicos propios de su genotipo sufrieron adaptaciones a una gran variedad de ambientes, generando consecuentemente un gran número de ecotipos. Estos ecotipos reciben diferentes nombres de acuerdo a los rasgos de

comportamiento y morfología considerados en su clasificación y al autor que la construye.

Los híbridos entre especies cultivadas y otras especies salvajes relacionadas (introgresiones) pueden ser obtenidos con diferente grado de éxito dependiendo de la distancia genética que los separa. Esto ha permitido incorporar resistencia a enfermedades y virus por ejemplo.

La Heterosis ha sido considerada un sinónimo de vigor híbrido y como tal una manifestación de la performance superior de una F1 (descendientes de un cruzamiento), con respecto al comportamiento de los padres. A pesar del escepticismo que despertaba la explotación del vigor híbrido en especies autofecundadas, se ha demostrado que se puede utilizar exitosamente tanto en trigo como en arroz. Los híbridos de arroz han demostrado una superioridad en rendimiento de 15 a 20% por sobre las variedades comerciales.

II.7.1.- Características de las Variedades más utilizadas

Los cultivares de arroz más difundidos en la región arroceras de Argentina han variado en sus características de tipo de planta, calidad industrial y calidad culinaria a través del tiempo en función de la demanda. En los inicios del cultivo de arroz se sembraron los cultivares con ciclo corto, de tipo japónica, grano corto o mediano y doble carolina cuyo destino principal era satisfacer el mercado interno. Posteriormente, durante la década de los años 70 se introdujeron cultivares de tipo largo fino que tuvieron como destino principal el mercado externo. Sus características principales no eran sólo el tipo de grano sino también la mejor calidad industrial y de cocción con un tipo de planta denominado javánica o japónica tropical. A partir de la apertura del mercado Brasileiro se produce un nuevo cambio de los cultivares sembrados y se imponen aquellos que pertenecen a la subespecie indica con un tipo de planta más eficiente en la captación de energía y por lo tanto de mayor potencial de rendimiento. Estos cultivares también presentaban un cambio en la calidad molinera y de cocción. Actualmente, son los que ocupan la mayor superficie sembrada (Tabla 8).

Tabla 8. Cultivares de mayor difusión en Entre Ríos

Cultivar	Origen	Tipo de planta	Macollaje	Ciclo (días)	Calidad del grano	Rendimiento
El Paso 144	INIA ROU	Indica tropical	Alto	125	Baja	Alto
Taim	EMBRAPA Brasil	Indica tropical	Alto	125	Baja	Alto
Irga 417 Puitá CL	IRGA Brasil INTA Arg.	Indica tropical	Alto	110	Muy Buena	Intermedio-Alto
RP2	IRGA Brasil	Indica tropical	Alto	120	Baja	Alto
Yeruá P.A.	UNLP	Japónica	Intermedio	115	Buena	Intermedio
Cambá	INTA Proarroz Arg.	Indica tropical	Alto	120	Muy Buena	Alto

El Paso 144

Este cultivar fue lanzado por la Estación Experimental del Este de la República Oriental del Uruguay). Fue inscripto en el Registro Definitivo de Certificación de la República Oriental del Uruguay en el año 1986 y es una selección de la población proveniente del CIAT P-790-B4-4-1T, de la cual también se seleccionó el cultivar brasilero IRGA 409. Los progenitores de esa población fueron IR930-2 x IR665-3-1-2-4 generados en el IRRI. En la Argentina fue inscripto como introducción en el año 1994.

Es un cultivar de origen tropical, de tipo de planta semienano con alto potencial de rendimiento, de alto macollaje, con hojas erectas, de color verde claro y pubescentes. Su altura se encuentra entre los 75 cm y 110 cm con una media de 87 cm dependiendo de las condiciones de crecimiento. La panoja emerge con normalidad de la vaina pero a madurez se encuentra por debajo del nivel de las láminas de la hoja bandera. Posee tipo de grano largo fino, con cáscara color pajizo, pubescente y con aristas de tamaño variable según las condiciones ambientales de crecimiento.

Posee un excelente vigor de plántula y rápida emergencia en condiciones de temperaturas de suelo mayores a los 20 °C. Su rápido crecimiento se ve disminuido sensiblemente en condiciones de temperaturas menores. Tiene una alta capacidad de macollaje que le permite compensar con nuevos tallos la falta de plantas en situaciones de mal nacimiento. Su ciclo de nacimiento a floración es de aproximadamente de 90 días y de 35 días de floración a madurez fisiológica. Durante el período de formación del grano de polen a floración es particularmente sensible a las temperaturas menores de 18°C.

Posee grano de tipo comercial largo fino con una relación largo ancho de grano elaborado mayor de 3 y un peso de 1000 granos cáscara de 26.5 g. Su calidad molinera presenta valores de grano entero superiores a la base de comercialización (57%) cuando su humedad de cosecha es superior al valor de 19%. Los valores de grano entero varían significativamente de acuerdo a las condiciones del cultivo y su manejo. Es altamente sensible a la producción de granos panza blanca y yesoso desmejorando el factor de calidad bajo el que se comercializa el arroz.

TAIM

Es un cultivar lanzado por la Estación de Investigación de Clima Templado de EMBRAPA en el año 1991. Según su inscripción fue seleccionada sobre una planta procedente de progenitores desconocidos, en el campo experimental de la ciudad de Pelotas, R.S, Brasil. Fue introducido e inscripto en la Argentina por la Estación Experimental Agropecuaria INTA El Sombrerito, Corrientes.

Es un cultivar de tipo de planta semienano indica tropical, con hojas erectas, con mayor potencial de rendimiento que El Paso 144, en latitudes de mayor temperatura que la zona templada de Entre Ríos. Su capacidad de macollaje es intermedia y posee como característica destacada hojas y glumas glabras. Tiene panoja excerta que a la madurez permanece protegida por la lámina de la hoja bandera erecta y en un nivel de altura superior. Su altura media es de 89 cm pero la amplitud registrada es de 75 a 100 cm como

máximo. Responde ampliamente a buenas condiciones de fertilidad y es el cultivar más difundido en la Provincia de Corrientes.

Su germinación es rápida y posee una plántula de excelente vigor inicial bajo condiciones de temperatura superiores a los 20°C. Al igual que otros cultivares de tipo tropical de la subespecie indica es sensible a las bajas temperaturas (inferiores a los 18 °C) y su germinación y tasa de crecimiento es especialmente reducida bajo esas condiciones. Su macollaje es intermedio y ante cualquier condición de bajas temperaturas no alcanza a generar la biomasa suficiente para cubrir los espacios entre líneas disminuyendo su potencial. Ante condiciones de alta fertilidad y temperatura alcanza rendimientos superiores al cultivar El Paso 144.

Su ciclo de nacimiento a floración es de 95 días en la zona de Entre Ríos y disminuye a medida que se disminuye la latitud y aumenta la temperatura media diaria. Su madurez fisiológica se alcanza a los 30 días después de floración. Es sensible a las bajas temperaturas (< 18 °C) durante el período de formación de grano de polen a fin de floración, presentando vaneos intercalares y reduciendo el número de granos llenos.

Posee una panoja de tamaño intermedio y una resistencia al desgrane natural intermedia. La cáscara es glabra y por lo tanto posee la ventaja de ser de menos abrasivo y generar menor polvo en su manipuleo. Sus granos se manchan por la acción de hongos cuando se presentan condiciones de alta fertilidad y humedad relativa en época de maduración.

Posee un grano de tamaño algo menor que El Paso 144 y de una calidad de grano inferior. Su relación largo ancho es superior a 3 calificándolo como largo fino pero presenta una mayor amplitud de los valores de largo y ancho del grano (heterogéneo). El peso de los 1000 granos con cáscara alcanza el valor de 24 g sin presencia de aristas. Su calidad molinera es algo mayor que El Paso 144, en rendimiento de grano entero, pero con mayor porcentaje de granos panza blanca y yesosos. Es recomendable la cosecha con un contenido de humedad mayor al 19 % para evitar el aumento de granos quebrados durante el procesamiento.

Los parámetros de evaluación de calidad culinaria lo ubican como un arroz suelto después de la cocción, aunque se endurece al enfriarse. Posee

valores de porcentaje de amilosa levemente mayores que los de El Paso 144 y temperatura de gelatinización baja.

IRGA 417 – Puitá INTA CL

El cultivar IRGA 417 fue lanzado por el Instituto Rio-Grandense del Arroz, RS Brasil, en el año 1995. Su denominación experimental era IRGA 318-11-6-9-2B y corresponde a una selección realizada sobre el cruzamiento de la F1 de (New Rex x IR19743-25-2-2) x IRGA 409. Su introducción e inscripción en la Argentina fue realizada en año 1997 por La Arrocería Argentina.

Es un cultivar de tipo de planta semienano indica tropical, con hojas erectas pero finas y más largas que los otros cultivares tropicales. Sus hojas y glumas son pubescentes. Su potencial de rendimiento es menor que El PASO 144, pero es de menor ciclo de crecimiento. Presenta una alta estabilidad de rendimientos y de duración del ciclo independientemente de la época de siembra. Su capacidad de macollaje es intermedia con alta respuesta a la fertilización en esa etapa fenológica. Posee hojas y glumas pubescentes. Emite una panoja totalmente excerta de la vaina que a la madurez permanece protegida por la lámina de la hoja bandera erecta. Bajo condiciones de baja temperatura durante el alargamiento de los entrenudos la panoja presenta una excursión incompleta. Su altura media es de 85 cm con un rango variable entre 75 y 90 cm. En latitudes más bajas y con mayores temperaturas su ciclo se acorta sensiblemente reduciendo su potencial de rendimiento.

Su germinación es rápida y posee una plántula de buen vigor inicial aunque con menor biomasa que otros cultivares tropicales, bajo condiciones de temperatura superiores a los 20°C. Sus hojas poseen laminas mas largas y finas que El Paso 144 pero es menos sensible a las bajas temperaturas (inferiores a los 18 °C) que otros cultivares de tipo tropical de la subespecie indica. Tiende a tener una alta respuesta a la fertilización con N y aumentar su macollaje intermedio produciendo nuevos macollos y hojas con láminas más largas.

Su panoja es de tamaño intermedio con granos algo más separados que El Paso 144 resultando en un número de granos por panoja inferior. Es moderadamente resistente al desgrane natural pero susceptible al vuelco por

ataque de hongos. En suelos con alto contenido de hierro presenta un anaranjamiento de las hojas y una reducción de crecimiento típico de la susceptibilidad al exceso de este elemento.

El tipo de grano corresponde a la clasificación de largo fino típico con una relación de largo-ancho de 3,5. El peso de 1000 granos es de 24 g y normalmente no presenta aristas, aunque en siembras tardías emite un largo mucrón. La excelente transparencia de sus granos pulidos lo destacan significativamente del resto de los cultivares de su tipo. Sus valores de grano entero y total es igual o superior al registrado por cultivares de alta calidad molinera, manteniéndose en diferentes condiciones de crecimiento y época de siembra. Presenta muy bajo porcentaje de granos panza blanca y yesosos con excepción de los casos donde se registran enfermedades. Su calidad culinaria esta caracterizada por un alto contenido de amilosa y una temperatura de gelatinización intermedia-baja.

La variedad Puitá INTA CL, desarrollada por el INTA para utilizarlo en el sistema Clearfield, se completa con el herbicida Kifix (imazapic+imazapir) desarrollado por la empresa BASF. Este paquete tiene como objetivo el control del arroz rojo, una de las malezas perennes más dañinas, que en algunos casos obliga a los productores a dejar de sembrar en las áreas infestadas. La nueva variedad fue seleccionada por su resistencia a herbicidas del grupo de las imidazolinonas en poblaciones generadas mediante la inducción de mutaciones sobre IRGA 417, es decir que no es transgénica. El gen de resistencia fue desarrollado por la Estación Experimental del INTA en Concepción del Uruguay, Entre Ríos, con la colaboración del Instituto de Genética Ewald Favret. La nueva tecnología de la semilla Puitá INTA CL, que tiene alto rendimiento y calidad, aporta una solución para lotes que estaban contaminados totalmente con arroz colorado y habilita nuevas áreas.

RP2

Es un cultivar de tipo tropical derivado de la línea IRGA 665 cuyo cruzamiento del IRRI corresponde a IR8//Peta / Belle Patna. Esta línea fue

liberada en 1976 en Brasil y luego introducida e inscrita como tal en Argentina, por La Arrocera Argentina en el año 1997.

Es un cultivar de tipo tropical de mayor altura , promedio de 92 cm, que los semienanos. Tiene una alta tasa de crecimiento con una abundante producción de biomasa inicial y una capacidad de macollaje intermedia. Las láminas de las hojas tienen una mayor longitud que las de El Paso 144, son erectas, pubescentes y de color verde claro. Es de mayor rendimiento potencial y de inferior calidad molinera que El Paso 144. Produce mayor biomasa total y permanece verde aún después de la cosecha. Tiene una alta respuesta a la fertilización con N y es sensible a las bajas temperaturas. Es menos susceptible a vuelco que otros cultivares tropicales pero en el Norte de Corrientes y Chaco presenta vuelco bajo condiciones de alta fertilidad.

Posee una excelente germinación y buen vigor de plántula bajo condiciones de temperatura apropiada ($> 20^{\circ}\text{C}$). Es sensible a las bajas temperaturas tanto en germinación como en el período prefloración a floración. Su alta tasa de crecimiento bajo buenas condiciones de luz temperatura y fertilidad le permiten alcanzar rendimientos más altos que El Paso 144. Su grano de mayor dimensiones y su mayor tamaño de panoja son probablemente los componentes de rendimiento que le imprimen ventaja sobre los otros cultivares. Tiene un ciclo de nacimiento a floración promedio de 87 días o 3 a 4 días menor que el ciclo de El Paso 144. Su panoja es de mayor tamaño que el resto de los cultivares tropicales, de una buena excerción y permanece protegida por la hoja bandera que es bien erecta.

Su grano es de tipo largo fino y el de mayor dimensiones de los cultivares tropicales. El peso de 1000 granos es de 29 g promedio. Posee glumas pubescentes y en siembras tardías emite un pequeño mucrón. Su rendimiento industrial expresado en porcentaje de grano entero, es algo inferior que el resto de los cultivares y tiende a producir mayor porcentaje de granos panza blanca que El Paso 144. Es sensible al desgrane natural y presenta importante pérdida de granos si se demora la cosecha o su humedad es menor a 17%.

YERUÁ P.A.

Es un cultivar desarrollado por la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Plata inscripta en el año 1976. Proviene de una selección de una población de Fortuna o cruzamiento de Fortuna por desconocido encontrada en la estación experimental de Colonia Mascías (Sta. Fé).

El tipo de planta de este cultivares típico de la subespecie japónica, es de porte alto, con hojas pubescentes de láminas largas y decumbentes de color verde claro. Posee un macollaje intermedio y largos entrenudos que en condiciones de alta fertilidad no alcanzan a resistir el peso de la panoja y tienden a doblarse. Tiene un buen tamaño de panoja y es su grano es de tipo comercial largo ancho.

Posee una muy buena capacidad de germinación aún en condiciones de baja temperatura y una plántula de excelente vigor. Su cultivo puede realizarse aún en las latitudes mas altas de la región arrocera argentina dada su capacidad de resistir bajas temperaturas y su corto ciclo de crecimiento. Es de macollaje intermedio y produce tallos gruesos. Posee menor número de hojas que los cultivares de ciclo largo pero de mayor superficie por tener lámina ancha y larga. En condiciones de alta fertilidad tiene un alto potencial de rendimiento pero aumenta extremadamente su susceptibilidad a vuelco debido a la gran altura que alcanza y el peso de sus panojas. Su altura promedio es de 110 cm pero puede alcanzar 135 cm en condiciones de alta fertilidad. Su alta tasa de crecimiento le permite desarrollar una buena cantidad de biomasa rápidamente y ejercer una ventajosa competencia con las malezas. También, es altamente eficiente en aprovechar el N disponible y por lo tanto expresa una buena respuesta a la fertilización con este elemento o a condiciones de alta fertilidad.

Su ciclo de nacimiento a floración promedio es de 85 días aunque se acorta significativamente en las regiones del norte en la Pcia de Corrientes. La duración del período de floración a madurez fisiológica es mayor que el de los cultivares largo fino extendiéndose hasta 35 días. También le toma mayor tiempo la pérdida de humedad para realizar la cosecha. Es altamente susceptible a los patotipos presentes de *Pyricularia grisea* y a la podredumbre del tallo causada por *Sclerotium oryzae*. Sus granos se mantienen adheridos a

la panoja firmemente y por lo tanto es resistente al desgrane aún si se demora la cosecha.

Es un cultivar cuyo tipo comercial de grano es denominado largo ancho. Sus dimensiones alcanzan valores de 7,8 mm de longitud y 2,7 mm de ancho para el grano integral. Posee glumas carenadas y pubescentes con aristas que aumentan de tamaño en las siembras tardías. El peso de 1000 granos cáscara es de 38 g. El grano pulido es transparente y presenta granos panza blanca cuando ha sufrido ataque de hongos del tallo o *Pyricularia* grisea. Alcanza muy buenos rendimientos industriales expresados en altos porcentajes de granos enteros y grano total.

Su calidad culinaria es típica de los granos japónica con porcentaje de amilosa y temperatura de gelatinización bajos. Se apelmaza por la sobrecocción y tiene una alta pérdida de sólidos si se excede el tiempo de cocción. Debe ser cocinado con la cantidad de agua y el tiempo apropiado para obtener un grano entero, húmedo y blando. Al enfriarse tiende a formar un gel que acompañan a los granos debido a la pérdida de sólidos después de cocinarse.

CAMBA INTA-Proarroz

Este cultivar fue lanzado por la Estación Experimental Agropecuaria INTA Concepción del Uruguay, sede del programa de mejoramiento genético de arroz de Argentina. Fue inscripto en el Registro Nacional de Cultivares en el año 2004 y es una selección sobre una población de plantas provenientes del cultivo de anteras de plantas F3 del cruzamiento, H638/97 : INIA Cuaró x H285-4-45. Es el primer cultivar de alto rendimiento y calidad producido por el método de cultivo de anteras en la Argentina.

Pertenece a la subespecie indica, de tipo de planta semienano con alto potencial de rendimiento, de alto macollaje, con hojas erectas, de color verde claro y pubescentes. En condiciones de exceso de fertilidad nitrogenada sus hojas son más decumbentes que otros cultivares semienanos y de color verde oscuro. Su altura se encuentra entre los 75 cm y 105 cm con una media de 84 cm dependiendo de las condiciones de crecimiento. La panoja emerge con normalidad de la vaina pero a madurez se encuentra por debajo del nivel de

las láminas de la hoja bandera. Posee tipo de grano largo fino, con cáscara color pajizo, pubescente y mútica.

Posee un excelente vigor de plántula y rápida emergencia en condiciones de temperaturas de suelo mayores a los 20 °C. Su rápido crecimiento se ve disminuido sensiblemente en condiciones de temperaturas menores. Tiene un macollaje intermedio y mantiene su color de hoja verde hasta el final de maduración del grano.

Su ciclo de nacimiento a floración es de aproximadamente de 94 días y de 35 días de floración a madurez fisiológica. Presenta un período de crecimiento vegetativo menor que el cultivar El Paso 144. Durante el período de formación del grano de polen a floración es particularmente sensible a las temperaturas menores de 18°C, sin embargo su el daño por frío depende de la duración del evento de baja temperatura.

Es una planta erecta y con hoja bandera erecta, de tamaño de panoja intermedio, con resistencia al desgrane pero con tendencia a presentar granos manchados por ataque de diferentes hongos según la región y las condiciones de fertilidad.

Es susceptible al ataque del hongo *Sclerotium oryzae*, causante de la podredumbre del tallo, provocando el vuelco de las plantas.

Es susceptible a los linajes A, C y F de *Pyricularia grisea*, presentes en la Argentina, Uruguay y Brasil. Es moderadamente susceptible al desorden fisiológico denominado “espiga erecta o straighthead”, susceptible al quemado de la vaina causado por diferentes especies del género *Rhizoctonia* y moderadamente resistente a la fitotoxicidad de hierro.

Posee grano de tipo comercial largo fino con una relación largo ancho de grano elaborado mayor de 3 (3.45) y un peso de 1000 granos cáscara de 25.8g.

Su calidad molinera presenta valores de grano entero superiores a la base de comercialización (57%) aún con humedad de cosecha menores al valor de 19%. Los valores de grano entero se mantienen en valores superiores a la base en condiciones de suelo seco en el momento de cosecha. Una de sus propiedades destacadas es la de mantener su alto porcentaje de grano entero en condiciones de cosecha con baja humedad. Tiene una excelente calidad

molinera y un muy bajo porcentaje de granos panza blanca y yesoso con factor de calidad alto en condiciones de alta y baja productividad. Su estabilidad en los parámetros de calidad la ubican como la variedad preferida por el sector industrial y por el sistema de producción primaria.

Su calidad culinaria esta caracterizada por un alto porcentaje de amilosa y una temperatura de gelatinización baja que le imprimen un comportamiento de arroz suelto después de la cocción aunque tiende a una textura muy dura al enfriarse.

En síntesis las ventajas de esta novedad son: ciclo menor que el cultivar El Paso 144, calidad industrial significativamente superior a los testigos de alto potencial , y estabilidad aún en condiciones de cosecha extrema, (baja humedad de cosecha).

SUPREMO 13

Este material, también denominado como QM13, presenta alta productividad, plantas tipo moderno, hojas lisas y erectas. Su ciclo varía entre 130 a 135 días de emergencia a maduración. Presenta una tolerancia media a la toxicidad por hierro y moderada resistencia a Pyricularia.

HIBRIDOS

Los híbridos sembrados en Argentina son de la firma RICETEC. Su difusión se ha incrementado en los últimos años con un área sembrada creciente.

Tuno CL: primer híbrido CL registrado en el Mercosur; hoy está discontinuado en su producción. Origen: la hembra es la S0505 siendo el polinizador la línea P1074 quien a su vez es el dador del gen de tolerancia a los herbicidas del grupo de las imidazolinonas. Tipo de planta: porte de 95 a 100 cm de altura, escasa pubescencia (es casi glabra en hojas y granos) y se distingue fácilmente por poseer pigmentos púrpuras o antociánicos en pseudotallos, extremos de las hojas, apículo del grano, etc. Es abundantemente macolladora, cerca de 20 macollos en siembras espaciadas. Ciclo medio, similar a El Paso 144 en Entre Ríos. Su rendimiento estuvo entre 8 y 10 Tn/ha, con calidad de grano aceptable en cuanto a entero pero niveles

de Panza blanca algo altos, del orden del 5 %. Se vio algo de tendencia al desgrane natural pero en general fue muy bien conceptualizada por los productores que lamentaron su desaparición del mercado.

Tiba: híbrido de ciclo largo, en Entre Ríos llega a 100 días de emergencia a 50 % de floración. Origen: A0044 x R0157. Registrado en Argentina en 2005. Es el híbrido de mayor difusión en nuestro País, sobre todo en zona norte. Planta columnar, muy agresiva y macolladora. Altura 101 a 115 cm. Rendimiento entre 9 y 11 Tn/ha, con records de 13 y hasta 14 Tn/ha en lotes comerciales. La calidad es aceptable, similar a variedades tropicales.

Inov: híbrido liberado en 2007, de ciclo corto para Entre Ríos centro y sur. Origen: A0109 x R8032. Posee 5 a 7 días menos de ciclo que El Paso 144 y se destaca por su calidad, sobre todo transparencia y bajo porcentaje de panza blanca. Con rendimientos entre 10 y 11 Tn/ha ligeramente superior a las variedades testigo. La calidad de la semilla no ha sido la óptima por presencia de hembras en grado exagerado, esto puede haber limitado sus posibilidades también. La planta es macolladora intermedia (11 a 15 macollos en siembras espaciadas), porte 90 cm. No es una planta tan agresiva ni expresiva como la de Tiba.



CAPITULO III

III. - MATERIALES Y METODOS

Resumen: se describen las metodologías analíticas utilizadas, las observaciones y mediciones realizadas a campo así como el análisis de los datos obtenidos.

III.1.- BASE METODOLÓGICA

Las investigaciones agrícolas habitualmente son llevadas adelante en estaciones experimentales o en pequeñas parcelas donde se evalúa el efecto de pocas variables simples o de algunas combinaciones. En este trabajo se enfoca el problema de manera diferente, observando directamente que está sucediendo en el campo de los agricultores.

Para dilucidar cuales son los procesos básicos del suelo y de las plantas que determinan el rendimiento del arroz en Entre Ríos, el esquema causal es el siguiente: las propiedades de los suelos y el agua junto con el manejo y el clima influyen el crecimiento y desarrollo del cultivo. Se trata de un proceso deductivo que tiende a identificar los factores que determinan el rendimiento y las características del suelo y del ambiente relacionadas.

La metodología se basa en una adaptación matemática de la ley del mínimo. Es un método que a partir de regresiones simples detecta la línea de máxima o límite que relaciona un factor de producción con el rendimiento. Esta línea describe el comportamiento de una variable dependiente (como el rendimiento) en función de otra variable, cuando el resto de los factores se encuentran cerca del óptimo o en una condición no limitante.

La idea metodológica fue tomada de Casanova, et al (1999, 2002) quien la utilizó para cuantificar el crecimiento del arroz a nivel de campo en relación con el estatus del cultivo y las propiedades del suelo en el delta del Ebro, España. También fue utilizada de manera similar por Husson, et al. (2001) en Vietnam.

III.2.- EVALUACIONES Y DETERMINACIONES

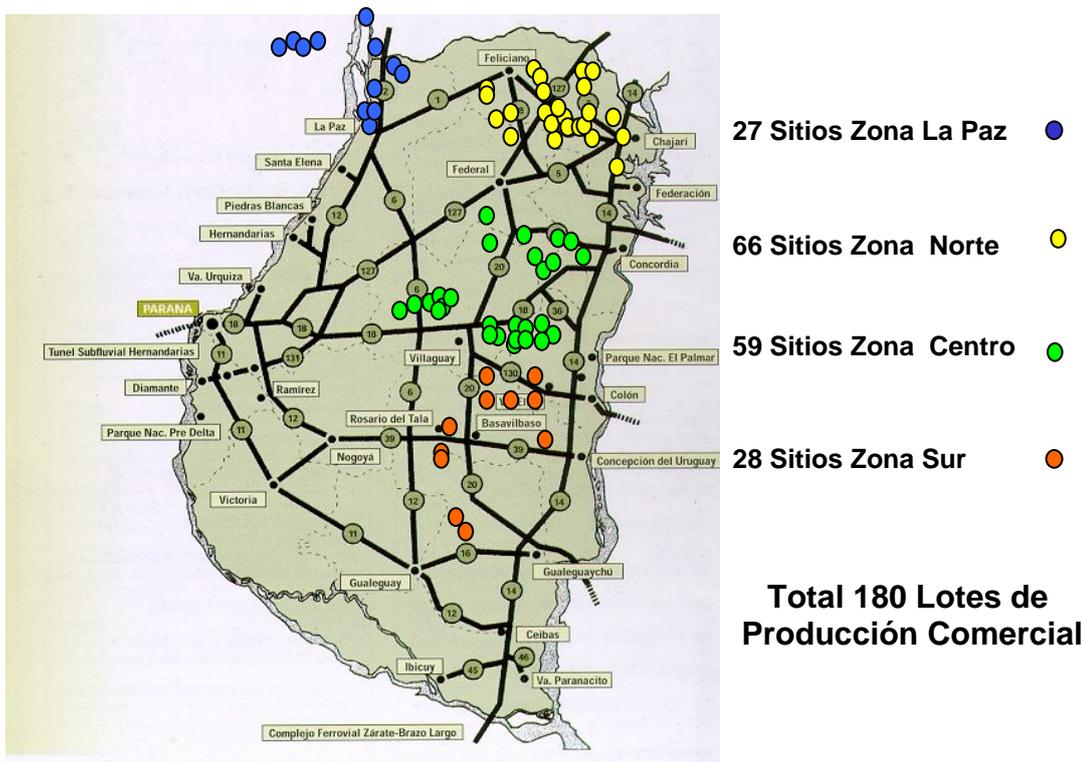
Durante cuatro años se seleccionaron para el monitoreo alrededor de 40 a 50 sitios por año representativos de las distintas zonas de producción de Entre Ríos. Los lugares de muestreo fueron elegidos tratando de representar la más amplia variación de condiciones que se pueden encontrar en Entre Ríos en lo que respecta a suelos, manejo, etc. De todas maneras la selección se

realizó priorizando el buen manejo, evitando o reduciendo así la variabilidad por mal manejo del cultivo. Es decir que se seleccionaron sitios donde los agricultores realizan relativamente buenas prácticas de cultivo y donde la variación del rendimiento era causada principalmente por el ambiente.

Dado que las parcelas de producción comercial tienen una superficie de 80 a 200 hectáreas, dentro de una parcela se seleccionó una a dos zonas para seguimiento de una superficie aproximada de una hectárea. Cada zona fue marcada con una estaca y georreferenciada con GPS para su seguimiento en el tiempo.

Entre Ríos ha sido dividida arbitrariamente en 4 zonas productoras de arroz. En cada campaña se trabajó en una cantidad de sitios proporcionales al área sembrada en cada zona. En la campaña 2004/05 se realizó un seguimiento de 51 sitios; en la 2005/06, 41; en la 2006/07, 46 y en la 2007/08, 42.

La distribución de los sitios en las distintas zonas se puede ver en el mapa 5. La zona de La Paz, se caracteriza por el riego con aguas superficiales provenientes del Río Paraná u otros afluentes. En esa zona se siguieron 27 lotes, incluyendo 2 de la provincia de Corrientes y 4 de Santa Fe. La zona Norte tiene como característica la utilización de fuentes de aguas superficiales almacenadas en represas mayoritariamente, allí se trabajó en 66 sitios. La zona centro es la más característica de la provincia, con numerosos productores que siembran superficies menores a 100 has y utilizan fuentes de aguas profundas, en esta zona se siguieron 59 casos. La zona sur, ha disminuido su superficie de arroz en los últimos años a expensas de cultivos como la soja, se utilizan aguas de pozos mayormente y en esta zona se monitorearon un total de 28 sitios.



Mapa 5. Ubicación de los sitios seleccionados para el seguimiento y muestreo, campañas 2004 a 2008.

III.2.1.- Análisis de suelos

En cada sitio se tomó una muestra de suelo compuesta de 20 submuestras del horizonte superficial, previo a la siembra. Las muestras fueron secadas al aire, molidas manualmente y tamizadas por 2 milímetros. Se realizaron análisis químicos según las metodologías descritas a continuación:

Reacción del suelo

La acidez o basicidad del suelo se expresa mediante la media del valor de pH y es denominada en términos generales “reacción del suelo” (Vázquez, 2005)

El pH del suelo en agua se determinó potenciométricamente en una relación suelo-solución de 1:2,5 (10 gramos de suelo y 25 mL de agua destilada). La lectura se realizó después de una hora de agitado en la suspensión del suelo con electrodo específico de calomel.

Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica del suelo está constituida por una larga serie de compuestos carbonados en diferentes estados de degradación y síntesis, provenientes de restos vegetales y animales y de la propia biota que allí se desarrolla. El carbono orgánico oxidable del suelo se determinó por el clásico método de Walkley y Black. Se realizó una oxidación con dicromato de potasio en medio ácido.

A 0,3 g de suelo se le adicionó 5 ml de dicromato de potasio 1 N ($K_2Cr_7O_4$) y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, luego de reaccionar por 30 minutos se adicionaron 35 mL de agua destilada. Se utilizó como indicador el ácido N- fenilantranílico y se tituló con sal de Mohr. Se utilizó el factor de Bemmelen (1,724) para convertir el resultado de carbono orgánico en materia orgánica (Carreira, 2005).

Capacidad de intercambio catiónico y cationes de intercambio

La extracción de los cationes de intercambio se realizó con NH_4Oac 1 mol/L pH 7. El exceso de NH_4^+ se eliminó con alcohol. El NH_4^+ adsorbido se extrajo con NaCl y luego fue destilado y titulado. El K^+ y el Na^+ se cuantificaron por fotometría de llama y el Ca^{++} y el Mg^{++} por complejometría con EDTA.

2 g de suelo fueron agitados con 10 mL de NH_4Oac 1 mol/L pH 7 durante 5 minutos. Luego de centrifugar, se filtró el extracto y se recogió para la determinación de los cationes cambiabiles. El procedimiento se realizó 3 veces por muestra. Para determinar la CIC, el exceso de NH_4Oac se eliminó mediante tres agitaciones con 10 mL de alcohol etílico de 5 minutos. Luego se utilizó 10 mL NaCl al 10% para desplazar el NH_4^+ agitando 5 minutos y filtrando 3 veces también. La concentración del NH_4^+ en el extracto se determinó por destilación por arrastre de vapor, recogiendo en ácido bórico 2% junto con una mezcla indicadora de rojo de metilo y verde de bromocresol, y titulando con ácido sulfúrico 0,005 N. (Bartels, 1996).

Fósforo extraíble

Para la determinación del fósforo disponible del suelo se utilizó el método Bray y Kurtz N°1 siguiendo los procedimientos recomendados por Boschetti y Quintero (2005).

Se extrajo el fósforo del suelo agitando 1 gramo de suelo con 7 ml de solución extractiva (NH_4F 0,03 mol/L + HCl 0,025 mol/L) durante 5 minutos en un agitador de movimiento horizontal. Luego se centrifugó a 6000 rpm por 5 minutos. El P en el extracto se determinó colorimétricamente por el método de Murphy-Riley (1962).

Análisis granulométricos

La granulometría de los suelos analizados se determinó por el método de la pipeta de Robinson (Kroetsch y Wang, 2008). Luego de eliminar la materia orgánica con agua oxigenada y los carbonatos con ácido clorhídrico, se cuantificaron las fracciones arcilla ($< 2 \mu\text{m}$), limo (2 a $50 \mu\text{m}$) y arena ($> 50 \mu\text{m}$). La determinación fue realizada sobre 50 gramos de suelo.

Hierro, Cobre, Manganeso, Zinc y Boro disponibles

Los cationes de Fe, Cu, Mn y Zn se extrajeron con DTPA 0,005 mol/L pH 7,3, relación suelo:solución 1:2 y luego fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Bartels, 1996). El B se extrajo con agua caliente en ebullición a baño maría por 10 minutos, relación suelo:solución 1:2 ; luego se centrifugó, se tomó 1 mL que se colocó en un vasito, se agregó 4 ml de solución de curcumina 0,04% en alcohol y se secó a $55 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$. El residuo se disolvió en alcohol etílico y se midió en espectrofotometro a 550 nm.

III.2.2.- Variables de manejo del cultivo

Mediante una planilla, en cada sitio se registraron las siguientes variables de manejo:

Antecedentes de cultivo de los últimos 5 años. Se registró el uso de la tierra en los 5 años anteriores al arroz.

Labranzas realizadas para la preparación de la tierra. Fechas de laboreos y tipo de herramientas utilizadas.

Fecha y densidad de siembra. Maquinaria utilizada, distancia entre líneas.

Fertilización de base y fertilizaciones posteriores. Fuentes, momentos y dosis de productos utilizados.

Variedad utilizada y calidad de la simiente (poder germinativo). Tratamientos de semillas con fungicidas u otros productos si los hubiera.

Control de malezas, plagas y enfermedades. Momento productos y dosis utilizados.

Fecha de inicio y fin de riego.

Fecha de cosecha y rendimiento obtenido en todo el lote.

III.2.3.- Condiciones climáticas

En las estaciones meteorológicas de Concordia, Gualeguaychú y Paraná, se registraron diariamente las variables climáticas:

Temperatura media

Temperatura máxima

Temperatura mínima

Radiación global

Precipitaciones

Se dispuso además de los registros históricos de dichas estaciones desde 1971 a 2008.

III.2.4.- Evaluación de la estructura del cultivo y los componentes del rendimiento.

Cada sitio fue visitado entre 4 y 5 veces durante el ciclo de cultivo para registrar:

Numero de plantas logradas: a inicios del macollaje, se contaron las plantas logradas en un metro lineal de surco por 5 repeticiones.

Numero de tallos. De manera similar, en un metro lineal de surco por 5 repeticiones, a fin de macollaje o en diferenciación, se contaron el número de macollos o tallos.

Se registraron las **fechas de estadios fenológicos** importantes: Emergencia, Diferenciación, Floración y Madurez.

En cada visita, se registraron las **plagas, malezas y enfermedades presentes** durante el ciclo del cultivo. Se consideró su presencia y severidad el ataque. Se utilizó una escala arbitraria de 1 a 5; donde 1 indicó la no presencia de malezas, plagas o enfermedades y 5 la pérdida del cultivo o daño total.

También se realizó una **calificación general de la arrocera**, con una escala de 1 a 10. Para esto se tuvieron en cuenta: el desarrollo del cultivo para su ciclo y estadio, la cobertura, color de las hojas y vigor de las plantas, homogeneidad, presencia de plagas, malezas y/o enfermedades, aspecto general, etc.

Cuando el cultivo llegó a madurez fisiológica se evaluó:

Biomasa total producida y rendimiento de grano: Para esto se cortó un metro cuadrado a 5-10 cm del suelo con 5 repeticiones. El material fue trillado con máquina experimental fija. Se registró el peso seco total de rastrojo; el peso de los granos se corrigió a 14% de humedad. Se acondicionaron muestras de grano y rastrojo para su análisis de contenido de nutrientes por los métodos que se describirán más adelante.

Número de panojas: se contaron las panojas en un metro lineal de surco con 5 repeticiones.

Granos por panoja: Se colectaron 30 panojas de arroz al azar por 3 repeticiones para luego en laboratorio determinar número de granos llenos y vacíos y peso de 1000 granos. Las panojas fueron secadas a estufa (60°C), luego desgranadas a mano y los granos vanos separados de los llenos mediante una corriente de aire suave. Luego, fue pesado el total de cada fracción. Se contaron 100 granos llenos y 100 granos vanos y se pesaron. A partir de estos datos se calculó el número de granos llenos, vacíos y totales por panoja, así como la esterilidad y peso de 1000 granos.

Malezas: previo a la cosecha, en cada metro cuadrado, se registrará la cantidad de inflorescencias de gramíneas y plantas latifoliadas presentes, consignando su especie.

III.2.5.- Análisis en el tejido vegetal

En algunos casos en pleno macollaje, en otros en diferenciación y hasta floración, se tomaron muestras vegetales cortando al ras del suelo 0,5 m de surco por tres repeticiones, para conocer la biomasa producida y su concentración de nutrientes. También se analizó la concentración de nutrientes en el rastrojo y en los granos.

Para evaluar la concentración de nutrientes en el tejido de la biomasa aérea, el material fue secado a estufa a 60 °C por 48 horas y molido hasta un tamaño inferior a 1 mm. Luego 0,5 gramos de material vegetal fueron calcinados en la mufla a 500 °C. Las cenizas obtenidas se disolvieron con HCl concentrado y luego se filtró el residuo lavando con agua destilada, hasta un volumen de 100 ml, donde se determinó la concentración de los elementos. El P fue cuantificado colorimétricamente por el método de Murphy-Riley (1962). El K y el Na, por fotometría de llama; el Ca y el Mg por titulación con EDTA. Los micronutrientes (Fe, Cu, Zn, B, Mn), fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

El nitrógeno total fue determinado luego de una digestión por el método de Kjeldahl sobre 0.3 g de muestra. La concentración del NH_4^+ en el extracto se determinó por destilación por arrastre de vapor, recogiendo en ácido bórico 2% junto con una mezcla indicadora de rojo de metilo y verde de bromocresol, y titulando con ácido sulfúrico 0,005 N (Bartels, 1996).

III.2.6.- Análisis del agua de riego

Una vez inundado el cultivo, se midió la altura de la lámina de agua con 5 repeticiones. Además se tomó una muestra del agua de riego para su análisis. Las determinaciones analíticas para muestras de agua siguieron la

metodología propuesta por el Sistema de Apoyo Metodológico de Laboratorios de Suelos y Aguas (SAMLA, 2004).

Las determinaciones realizadas fueron:

Determinación de Calcio: A 20 mL de una muestra de agua se le añaden 10 mL de KOH (8 N) y una pizca de Ácido ascórbico, para reducir el Fe^{+2} y Mn^{+2} . Se agrega indicador HHSNN (de Patton y Reeder). Se titula con solución EDTA (0,02 N) hasta primera aparición de un color azul cielo permanente.

Determinación de Calcio y Magnesio: Se utilizan 20 mL de una muestra de agua. Se agregan 20 mL de solución buffer de $\text{ClNH}_4 + \text{NH}_3$ y una pizca de Ácido ascórbico. Se añade indicador Eriocromo Negro T. La titulación se realiza con solución EDTA (0,02 N), hasta coloración azul cielo permanente.

Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos: La alícuota a medir para la determinación está relacionada con la Conductividad Eléctrica de la muestra. Se coloca una alícuota de 5 mL de muestra en una cápsula de porcelana para hacer más notorio el punto de viraje. Se agregan 3 gotas de fenolftaleína, si se mantiene incoloro indica la ausencia de carbonatos, si se torna rosado, la solución se titula con H_2SO_4 (0,025 N), descargando una gota cada 2 o 3 segundos, hasta viraje del indicador.

A la misma solución resultante de la determinación de $\text{CO}_3^{=}$, para valorar los bicarbonatos se le añadieron 3 gotas de anaranjado de metilo, y se valoró con H_2SO_4 (0,025 N) sin enrasar la bureta, hasta el primer cambio de color del anaranjado a rosa permanente.

Relación de Adsorción del Sodio

El peligro de provocar un aumento en el contenido del sodio intercambiable en el suelo, a partir de los riegos depende de la relación de las concentraciones de sodio y las de calcio y magnesio, y el valor de la concentración salina total, o su equivalente expresado en conductividad eléctrica. Para medir la concentración relativa del sodio con respecto a otros

cationes se realiza la estimación del RAS (Relación de Adsorción del Sodio, USSL):

$$\text{RAS} = \text{Na}^{+1} / \sqrt{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / 2}$$

Esto puede usarse como un índice del peligro de sodificación que tiene el agua. Este peligro reside en las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro y si por el contrario predominan el calcio y el magnesio, el peligro es menor.

RAS ajustado: Ayers y Westcot (1976), introdujeron el concepto de RAS ajustado, si bien no se adaptan totalmente a las condiciones regionales, son las que contemplan las influencias de la mayor variedad de parámetros, y en este cálculo se tiene en cuenta la concentración de CO_3^{-2} y HCO_3^{-1} .

$$\text{RAS aj} = \text{RAS} * [1 + (8.4 - \text{pHc}^*)]$$

En donde pHc es:

$$\text{pHc} = (\text{pK}'2 - \text{pK}'c) + \text{p}(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) + \text{p}(\text{Alk})$$

$(\text{pK}'2 - \text{pK}'c)$ = se obtiene a partir de la suma de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^{+1}$

$\text{p}(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ = se obtiene a partir de la suma de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$

$\text{p}(\text{Alk})$ = se obtiene a partir de la suma de $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$.

III.3.- ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para cada sitio se dispuso entonces de más de 80 variables. Los datos colectados de las diferentes variables fueron sometidos a análisis de estadística descriptiva. Análisis de variancia y test de comparación de medias.

Las variables registradas no fueron preseleccionadas ni controladas dado que los datos fueron colectados de las observaciones de campo sin tratamientos. Por esto el nivel de independencia de las variables pueden considerarse aleatorias, dado que no cambian a intervalos definidos.

Los principales métodos matemáticos y estadísticos utilizados para describir la relación entre las variables fueron los siguientes:

El análisis de correlación lineal fue utilizado para evaluar el grado de asociación lineal entre las variables.

La regresión lineal simple y múltiple fue utilizada para modelizar la relación entre variables y predecir el valor de la variable independiente a partir de variables conocidas.

Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2008.

III.3.1.- Establecimiento de la línea de máximos (Boundary Line Developmen System. BOLIDES)

Existe una metodología estadística para establecer límites críticos para análisis de suelo o de plantas mediante el desarrollo de líneas de límite máximo (Schung, et al. 1996). Básicamente los valores observados de nutrientes en suelo o en planta, y el rendimiento absoluto o relativo alcanzado son graficados en un espacio bidimensional. La línea que describe los rendimientos más altos observados en el rango de valores de nutrientes medidos es conocida como la línea de límite máximo o de frontera y toma la forma del filo o borde superior del cuerpo de datos disponibles. Esta línea describe la respuesta a variaciones en el parámetro analizado cuando los otros factores están lo mas cerca posible de un óptimo o condición no limitante.

El algoritmo para su cálculo es el siguiente:

Analizar el set de datos original (S_1) y eliminar los valores fuera de rango o anormales (outliers) para evitar distorsiones que invaliden los resultados. Para esto pueden utilizarse distintos criterios o métodos.

Si es oportuno los datos se pueden clasificar por una tercera variable que influya sobre la relación analizada y analizarlos separadamente.

Los pares de datos se ordenan de manera creciente del valor de X. Se identifica el valor mas alto de Y (Y_{max}).

Antes de ajustar la línea de máximo se genera un nuevo set de pares de datos de igual número de datos (S₂). Para esto se utiliza el siguiente criterio:

$$X_i^{(2)} = X_i^{(1)} \quad \text{para } i= 1, 2, \dots N.$$

$$Y_1^{(2)} = Y_2^{(1)}$$

$$Y_{i+1}^{(2)} = \begin{cases} Y_i^{(2)} & \text{si } Y_{i+1}^{(1)} < Y_i^{(2)} \\ Y_{i+1}^{(1)} & \text{si } Y_{i+1}^{(1)} \geq Y_i^{(2)} \end{cases} \quad \text{y: } 1 \leq i \leq i_{(\max)}-1$$

$$Y_{i-1}^{(2)} = \begin{cases} Y_i^{(2)} & \text{si } Y_{i-1}^{(1)} < Y_i^{(2)} \\ Y_{i-1}^{(1)} & \text{si } Y_{i-1}^{(1)} \geq Y_i^{(2)} \end{cases} \quad \text{y: } i_{(\max)+2} \leq i \leq N_1$$

El primer y último dato, el punto de máximo rendimiento y el número de pares de datos son iguales en los dos set de datos S₁ y S₂. Dado que S₁ está ordenado de manera creciente S₂ también lo está. El sentido de esta transformación es que cada par de datos sea fijado con respecto a su vecino. Los valores de Y_i⁽²⁾ son crecientes hasta llegar a Y_(max) y decrecientes luego.

La función de límite máximo (f_(x)) es ajustada a los datos de S₂.

$$f_{(x)} := \begin{cases} 0 & \text{para } X < X_i^{(2)} \\ Y_i^{(2)} & \text{para } X_i^{(2)} \leq X < X_{i+1}^{(2)} \\ Y_{(\max)}^{(2)} & \text{para } X = X_{(\max)}^{(2)} \\ Y_{i-1}^{(2)} & \text{para } X_i^{(2)} < X \leq X_{i+1}^{(2)} \\ 0 & \text{para } X > X_{N_2}^{(2)} \end{cases} \quad \text{y: } 1 \leq i \leq i_{(\max)}-1$$

$$\text{y: } i_{(\max)} \leq i \leq N_2$$

En muchos casos es preferible disponer de una expresión funcional de esta relación, donde la misma es función únicamente de X y no depende del número de datos. La segunda derivada respecto a X debe existir y ser continua.

Lo más conveniente es recurrir a un polinomio de cuarto grado. Aunque puede ser de menor grado. Luego es posible estimar el óptimo o el máximo, o definir un rango óptimo para el nutriente o variable X. Esta metodología permite la identificación del rango óptimo de nutrientes en hojas o en suelo con un criterio estadístico (Schung, et al. 1996).

III.3.2.- Ley del mínimo o de los factores limitantes (método Mín-Máx) Casanova, et al (1999, 2002)

Se basa en la Ley del mínimo propuesta por von Liebig en 1855 y para su aplicación matemática los pasos para trazar la línea de máximo entre una variable independiente X y una dependiente Y son los siguientes:

Categorizar la variable X en 10 grupos

Seleccionar todos los grupos con mas de 2 datos.

Para cada grupo de datos, corroborar y ajustar a una distribución normal de Y.

Para cada grupo, tomar la media de X y la Y al 95% de confianza (media mas dos desvíos estándar).

Ajustar la regresión lineal entre las X media de cada grupo y la Y 95%

Este procedimiento se realiza para cada variable independiente y así se obtienen las líneas de máximo para cada una de ellas que pueden ser consideradas imaginariamente como el rendimiento plató cuando sólo esa variable es limitante.

Para determinar el valor de Y en un sitio (en nuestro caso el rendimiento) finalmente se toma la función que arroja el mínimo resultado para cada caso.



CAPITULO IV

IV.- RESULTADOS

Resumen: En este capítulo se presenta y discuten los resultados obtenidos para los principales aspectos analizados. Se analizan los efectos del clima, los suelos, el agua de riego, el manejo que realizan los productores y la nutrición mineral del cultivo como aspectos centrales que impactan sobre la estructura del cultivo y el rendimiento.

IV.1.- EL CLIMA Y EL AMBIENTE

IV.1.1.- Introducción

Como se planteó anteriormente, existe la necesidad de incrementar la producción de arroz y hay pocas posibilidades de hacerlo mediante un incremento de la superficie. La salida que queda a esta disyuntiva es el incremento de la productividad. Sin embargo, como se ha dicho ya, muchos países productores se encuentran en un estancamiento de la productividad. Muchos productores logran los rendimientos que se alcanzan en las estaciones experimentales y las variedades modernas de arroz no han logrado mejoras genéticas que incrementen el rendimiento potencial desde hace varias décadas (Cassman, et al. 2003).

Por otro lado, se han reportado a nivel mundial rendimientos de campo superiores a 13 Mg/ha en sitios como Yunan (China), Yanco (Australia), Tsaranoro (Madagascar), Delta del Nilo (Egipto) y Maharashtra (India).

Para conocer cuales son las barreras que limitan el rendimiento es muy importante clarificar los efectos del ambiente sobre la productividad del arroz así como las bases fisiológicas que permiten la alta productividad.

En Yunan los altos rendimientos han sido relacionados con un extenso ciclo de cultivo, junto con una alta tasa de crecimiento (Katsura et al. 2008). Mientras que en Yanco, fue como resultado de una elevada radiación solar. (Horie et al. 1997). Otros aspectos relacionados al manejo como la densidad de siembra o la fertilización son difíciles de comparar.

Un ciclo de 150 días de emergencia a madurez parece ser un factor necesario pero no suficiente para alcanzar rendimientos mayores a 15 Mg/ha. Una radiación media relativamente baja de 17 Mj/m²/d, si se la compara con los 23 Mj/m²/d de Yanco o 26 Mj/m²/d del Delta del Nilo, fue suficiente para lograr rendimientos de 16 Mg/ha en Yunan. Sin embargo, estas condiciones deben ser acompañadas de una alta tasa de crecimiento y absorción de N en estadíos tempranos. Una alta radiación incidente interceptada (que incrementa la fotosíntesis) acompañada de temperaturas relativamente bajas (que reducen

las pérdidas por respiración) permite aprovechar el N absorbido y lograr altos rendimientos (Katsura et al. 2008).

IV.1.2.- Características climáticas de los años de evaluación

La oferta de radiación en Entre Ríos decae en invierno y es máxima en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, donde alcanza valores en torno de los 20 Mj/m²/d con amplias variaciones diarias (Figura 4).

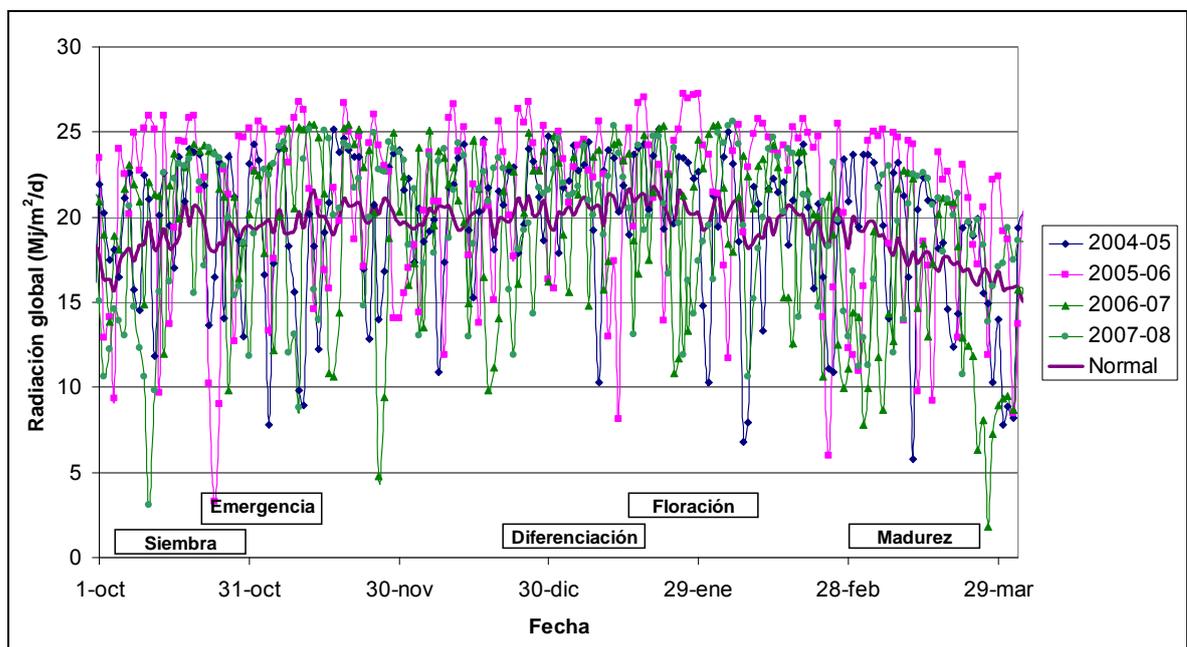


Figura 4. Evolución de la radiación global a lo largo del ciclo de cultivo para las campañas 2004-08 y la normal de 1971-2008.

Las temperaturas medias de emergencia a madurez están entre los 20 y 25 grados, es decir algo por debajo del óptimo. Pueden registrarse temperaturas bajas en el período de siembra a emergencia que demoran el nacimiento del cultivo. Hacia fines de enero y principio de febrero comienzan a registrarse ciclos de entrada de aire frío que producen descensos de las temperaturas medias por debajo de los 20°C en floración (Figura 5).

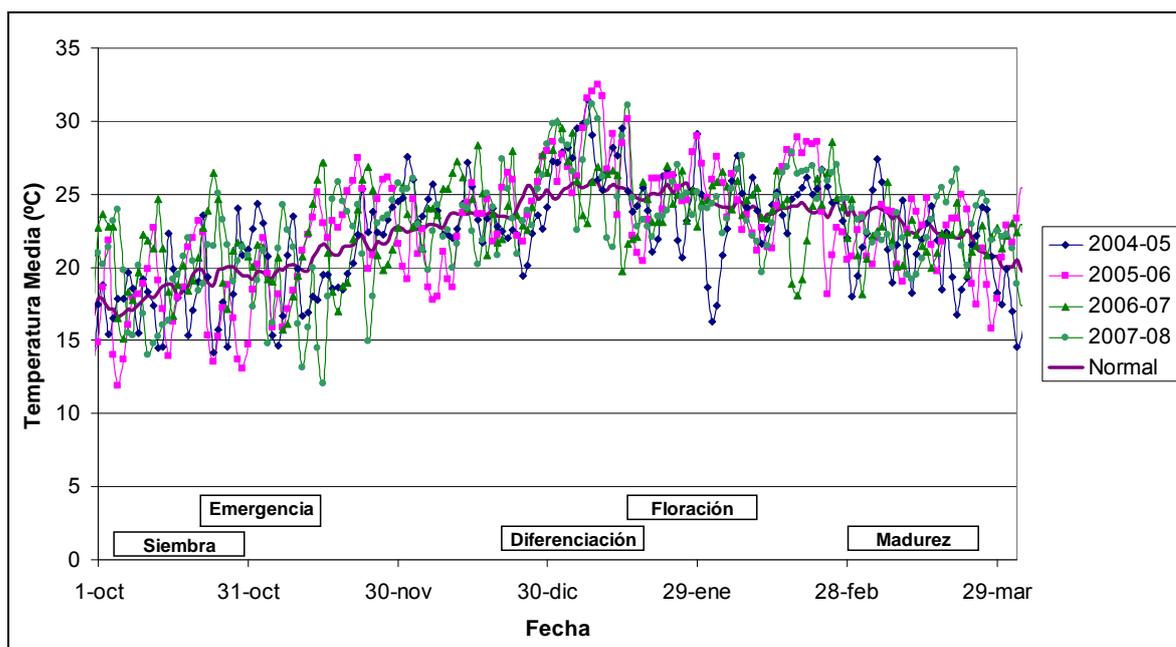


Figura 5. Evolución de la temperatura media diaria a lo largo del ciclo de cultivo para las campañas 2004-08 y la normal de 1971-2008.

La disponibilidad de radiación así como las temperaturas medias de Entre Ríos en los años 2004 a 2008, fueron comparables con las registradas en Yunan donde se han registrado los rendimientos más altos de arroz (Katsura et al. 2008). En general se trató de ciclos de producción considerados de buena oferta ambiental, sin limitaciones importantes (Tabla 9), lográndose buenos rendimientos de arroz en esos años (Figura 3)

Tabla 9. Características climáticas de los años de ensayo y el promedio del período 1971-08.

Campaña	Rad. 1 Mj/m ²	Rad. 2 Mj/m ²	Rad. 3 Mj/m ²	Rad. Total Mj/m ²	Temp. 1 °C	Temp. 2 °C	Temp. 3 °C
2004-5	1381 b	619 ab	674 b	2585 a	21,3 a	25,2 ab	23,8 ab
2005-6	1252 a	591 ab	954 c	2767 b	22,5 b	25,7 b	24,3 b
2006-7	1398 bc	561 a	645 b	2569 a	22,7 bc	25,3 b	23,7 ab
2007-8	1500 c	661 b	483 a	2644 ab	23,5 c	24,7 a	23,3 a
Normal	1283	660	663	2589	22,2	25,3	24,0

1: Período de emergencia a diferenciación. 2: Período diferenciación-floración. 3: período floración-madurez. Normal:1971-2008, para un ciclo promedio.

VI.1.3.- Duración de los períodos fenológicos

Los factores climáticos que definen la productividad del arroz son la temperatura y la radiación. Dado que es un cultivo bajo riego, la provisión de agua normalmente está asegurada. La temperatura afecta principalmente el desarrollo del cultivo y la duración de los períodos fenológicos. Algunas variedades son sensibles además al fotoperíodo pero todas responden a la temperatura. La tasa de desarrollo del cultivo está linealmente relacionada a la temperatura media por encima de una temperatura base por sobre la cual el cultivo crece hasta llegar a una temperatura máxima. Por encima o por debajo de estas temperaturas la tasa de desarrollo es nula. Así es que existen tres temperaturas claves que para el arroz son: la temperatura base, que está entre 8 y 12 °C ; una temperatura óptima, que se encuentra entre 28 a 30 °C y una temperatura máxima que es del orden de los 42 a 45 °C.

Las sumas térmicas o los grados días (GD) requeridos para alcanzar determinado estadio se calculan de la siguiente manera:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b)$$

T_m ; es la temperatura media diaria. T_b es la temperatura base. n , es el número de días en el período considerado.

Si las medias diarias no superan la temperatura óptima, se utiliza una tasa de crecimiento lineal por sobre la temperatura base. No existen en Entre Ríos determinaciones de los grados días requeridos para cada período en las distintas variedades. En un trabajo de Brasil, a partir de 6 ensayos de campo, se estiman los grados días requeridos para varios cultivares utilizados en Entre Ríos, sobre una temperatura base de 11°C. Como puede verse en la tabla 10, las diferencias entre las variedades no son muy grandes. Hay un máximo de 10 días de diferencia de ciclo.

Tabla 10. Sumas térmicas en grados días para alcanzar los principales estadios fenológicos en algunas variedades utilizadas en Entre Ríos. (Tomado de Steinmetz, et al. 2007).

Estadio	Puitá	Taim	Paso 144	Media
Diferenciación de panícula	673	733	714	707
Floración	1065	1126	1117	1103
Madurez	1408	1443	1373	1408

A partir de las observaciones realizadas en los años 2004 a 2008 se estimaron los requerimientos térmicos para las variedades sembradas en Entre Ríos. Las fechas promedio para los distintos momentos del cultivo se ven en la tabla 11.

Tabla 11. Fechas medias de acontecimiento de los principales estadios del arroz en las 4 campañas evaluadas (2004-08).

Momento	Fecha	Rango medio de variación
Siembra	16-octubre	10 al 28 de octubre
Emergencia	30-octubre	23 de octubre al 10 de noviembre
Diferenciación	02-enero	25 de diciembre al 21 de enero
Floración	02-febrero	24 de enero al 24 de febrero
Madurez	07-marzo	28 de febrero al 21 de marzo
Cosecha	18-marzo	7 al 30 de marzo

La duración del período siembra emergencia depende de la humedad del suelo o las lluvias posteriores a la siembra, dado que es frecuente que se siembre sobre suelo seco. El periodo de madurez a cosecha depende de la capacidad de cosecha y secado de cada productor y de las condiciones ambientales en ese momento.

La duración media del ciclo de cultivo desde emergencia a madurez fisiológica fue de 129 (± 11) días. La radiación media recibida durante el ciclo de cultivo fue de 20,5 ($\pm 1,0$) Mj/m²/d haciendo un total de 2639 (± 140) Mj/m².

Las sumas térmicas determinadas para Entre Ríos (Tabla 12) son coincidentes con las propuestas por Steinmetz, et al. 2007 (Tabla 10), sobre todo para los estadios de emergencia, diferenciación a floración. La suma térmica para alcanzar la madurez es algo mayor, lo que determinaría un período de llenado de granos un poco más extenso.

Tabla 12. Duración media de los períodos ontogénicos, temperaturas medias y sumas térmicas promedios para las 4 campañas evaluadas (04-08).

Período	Duración (días)	Temp. media diaria °C	Suma Térmica °C/día
Siembra – Emergencia	14 (± 2)	-	-
Emergencia – Diferenciación	64 (± 8)	22,4 (± 0,8)	731 (± 127)
Diferenciación – Floración	31 (± 4)	25,6 (± 0,8)	1180 (± 121)
Floración – Madurez	33 (± 7)	24,0 (± 0,8)	1618 (± 55)
Madurez – Cosecha	12 (± 5)	-	-

VI.1.4.- Efecto de la temperatura sobre la esterilidad de las espiguillas

Las temperaturas altas y bajas, por encima y por debajo de los límites críticos, afectan el rendimiento de grano ya que inciden sobre el macollaje, la formación de espiguillas y la maduración. Las bajas temperaturas limitan la duración de los períodos, la tasa de crecimiento y el desarrollo de las plantas, mientras que, las altas temperaturas causan estrés térmico sobre las plantas de arroz.

Hasta el momento de la iniciación del primordio de la panoja, los puntos de crecimiento de las hojas y los tallos están debajo del agua y la temperatura del agua controla el crecimiento y el desarrollo de la planta. La elongación de las hojas y la altura de la planta son afectadas, sin embargo, por la temperatura del agua y del aire. En las primeras etapas de crecimiento la temperatura del agua afecta el rendimiento por su incidencia sobre el número de panojas por planta, el número de espiguillas por panoja y el porcentaje de granos que maduran. En las etapas posteriores la temperatura del aire afecta el rendimiento incidiendo sobre el porcentaje de espiguillas no fertilizadas y el porcentaje de granos que maduran. El clima fresco favorece una mayor eficiencia de uso del nitrógeno pero la fertilización nitrogenada aumenta la esterilidad en caso de bajas temperaturas. Cuando las temperaturas se encuentran por encima o por debajo de niveles críticos, la provisión de nitrógeno tiene poco efecto sobre la esterilidad. La aplicación de mayores cantidades de fertilizantes fosfatados alivia los efectos adversos de altas cantidades de nitrógeno en la etapa reproductiva a bajas temperaturas.

Las temperaturas muy altas o muy bajas pueden causar esterilidad en el arroz reduciendo el rendimiento potencial por falta de destinos.

Las altas temperaturas, particularmente en antesis, pueden dañar el polen cuando se superan los 35°C. El modelo ORIZA (Bouman, et al. 2001) utiliza una función para estimar el daño por altas temperaturas:

$$S_c = 1/(1+\exp(0,853(T_{\max} - 36,6))).$$

Donde S_c es la proporción de espiguillas fértiles y T_{\max} es la temperatura máxima diaria, dentro del período 0,96 a 1,22 DVS, (3-4 días antes a 7-8 días después de floración). Siendo DVS=1 la floración.

Como puede verse en la figura 6, pueden registrarse algunos días en los cuales las máximas superan los 35°C. Hacia fin de año y primeros días de enero cuando el cultivo se encuentra en diferenciación generalmente se producen altas temperaturas. Durante la floración pueden registrarse algunos días con máximas por sobre los 35°C pero no parece ser un problema serio dado la baja frecuencia de días con elevadas temperaturas y que las mismas apenas superan el valor crítico (Figura 6).

El frío provoca un daño en el grano de polen más que un daño sobre el estigma. Una disminución de la fertilidad de los granos de polen limita la polinización y lleva a la esterilidad de las espiguillas. La sensibilidad es máxima durante la microsporogénesis, cuando la panoja está embuchada, unos diez días antes de la floración. Las bajas temperaturas interfieren con la división del grano de polen de las células madres. El rango crítico de esterilidad es de 15 a 17 °C para los materiales tolerantes el frío y de 17 a 19 °C para los susceptibles. Por lo cual puede ocurrir alta esterilidad con temperaturas debajo de 15 °C en los tolerantes y debajo de 20 °C en los cultivares sensibles (Steinmetz, 2004).

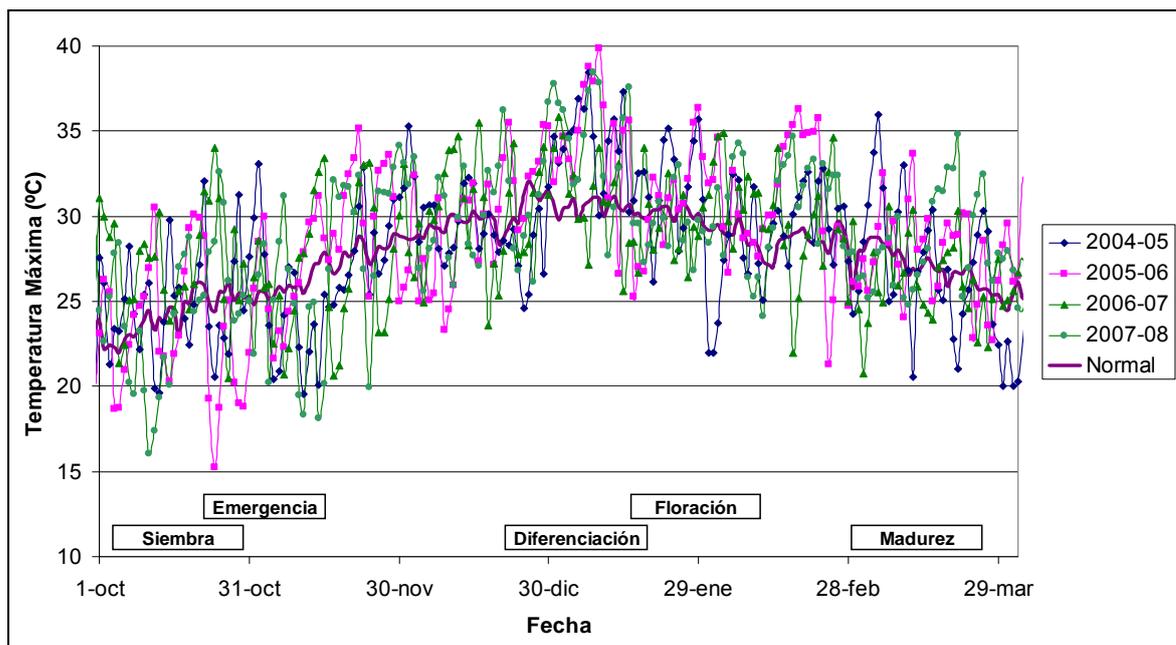


Figura 6. Evolución de la temperatura máxima diaria a lo largo del ciclo de cultivo para las campañas 2004-08 y la normal de 1971-08.

En el caso del efecto del frío se tienen en cuenta los llamados “grados día de frío” que para el arroz son $GDF = \sum (22 - T_m)$, donde T_m es la temperatura media diaria. La sumatoria se realiza en el período de mayor sensibilidad de 0,75 a 1,2 DVS (20 días antes a una semana luego de la floración). La relación entre la esterilidad por frío (S_f) y la sumatoria de grados día de frío (GDF) es:

$$S_f = 1 - (4,6 + 0,054 \text{ GDF}^{1,56})/100 \quad (\text{Bouman, et al. 2001}).$$

Otra fórmula de cálculo es la propuesta por (Shimono et al 2007):

$GDF = \sum (20 - T_m) W_{DVI}$. En este caso toman una temperatura crítica de 20°C y lo afectan por un factor de peso del estadio fenológico W_{DVI} entre diferenciación ($DVI=1$) y floración ($DVI=2$). El factor W_{DVI} es once veces mayor en el estadio de panoja embuchada ($DVI=1,57$) que en diferenciación y floración donde vale uno (Figura 7).

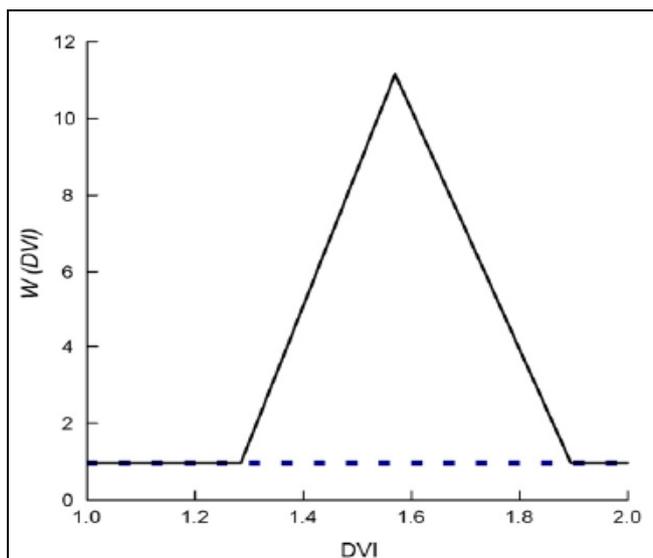


Figura 7. Diferencia entre la susceptibilidad a la esterilidad por frío durante el desarrollo de la panícula. DVS 1 = diferenciación, DVS 2 = floración.

Si bien Shimono et al. (2007) encontraron una relación positiva entre la suma de grados de días fríos y el incremento de la esterilidad, la regresión explicó menos del 50% de los valores observados en distintos años. El efecto no explicado pudo ser atribuido en parte al efecto del frío en el período vegetativo. Estos autores concluyen que el frío (menos de 18-19°C de media), en etapas tempranas vegetativas (30 días antes de diferenciación de panículas), hace más susceptible al arroz a la esterilidad por frío en etapas reproductivas. Si bien el mecanismo fisiológico no es conocido, remarcan la necesidad de tener en cuenta el efecto del frío y la resistencia de los distintos cultivares en etapas tempranas. Este efecto podría ser importante en Entre Ríos y en siembras tempranas, dado que pueden registrarse temperaturas medias inferiores a las mencionadas en algunos años, durante las etapas vegetativas tempranas.

Durante los días previos a la floración hacia fines del período (mediados de enero a mediados de febrero) se registran temperaturas mínimas por debajo de los 15°C que pueden provocar algún grado de vaneo o esterilidad de las espiguillas (Figura 8). En el sur de Brasil se han reportado pérdidas de rendimiento por el efecto del frío del 25 al 50% (Steinmetz, 2004). Desafortunadamente no existen registros o evaluaciones de pérdidas por esterilidad por frío en Entre Ríos. Sin embargo los daños son conocidos y

temidos por los agricultores y técnicos de la zona. En la campaña 1999-2000, una extensa sequía que afectó el litoral, determinó que los cultivos de arroz tengan su emergencia hacia fines de año. Con esto el período de floración se trasladó hacia fines de marzo y las pérdidas fueron notables. El rendimiento medio provincial fue de 4,3 Mg/ha cuando las medias provinciales del año anterior y siguiente fueron de 5,8 a 5,9 Mg/ha (Figura 3), lo que representa una disminución del 25 %.

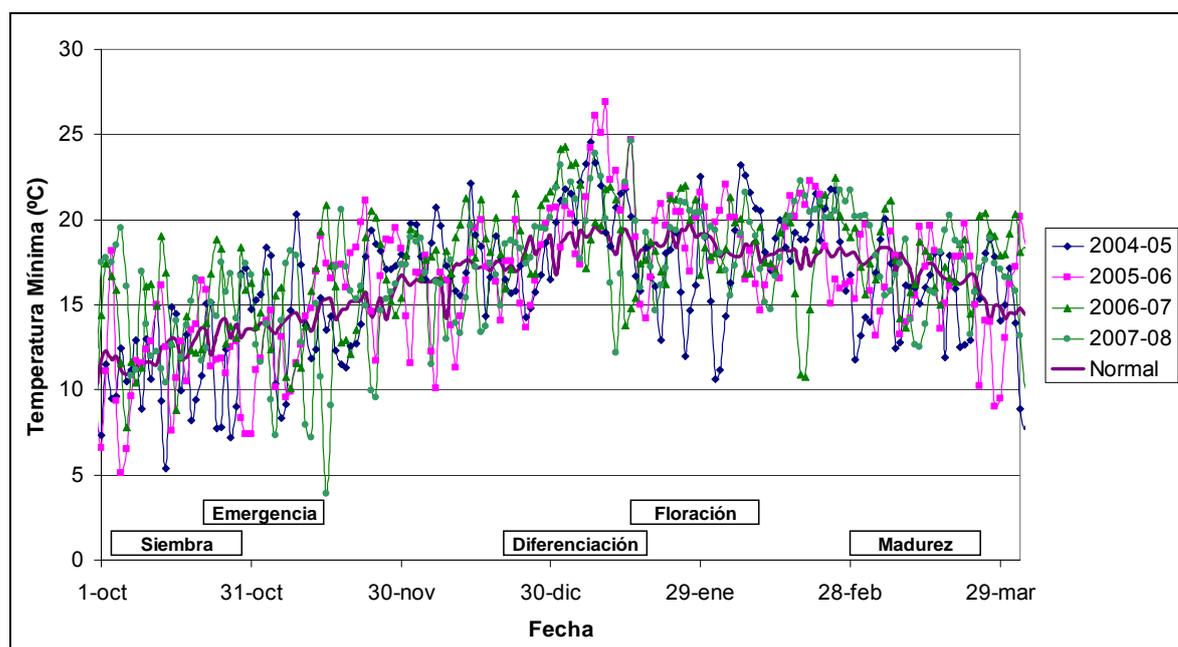


Figura 8. Evolución de la temperatura mínima diaria a lo largo del ciclo de cultivo para las campañas 2004-08 y la normal de 1971-08.

Un análisis de los modelos disponibles para estimar esterilidad, indica que en Entre Ríos la media de esterilidad por frío es muy baja dentro de las fechas de siembra normales y que puede incrementarse cuando la floración se retrasa hacia fines del mes de marzo o abril.

Algunos autores consideran que debajo de 15 °C se producen daños o retrasos en el crecimiento del cultivo en las distintas etapas. Por esto en la figura 9 se presenta la frecuencia de días con temperaturas mínimas por debajo de los 15 °C. Como puede verse, es muy frecuente y probable que en siembras tempranas de septiembre a octubre se produzcan bajas temperaturas y se observen retrasos o daños en germinación y emergencia del cultivo. La

frecuencia de días fríos decae linealmente hacia fin de año y el cultivo puede transcurrir su período reproductivo con baja probabilidad de daño por frío. El mes de enero es el que presenta menor frecuencia de temperaturas bajas (10 %) pero hasta la primera quincena de marzo es de esperar menos de 20 % de días con mínimas inferiores a 15 °C.

Floraciones posteriores al 15 de marzo en Entre Ríos corren serios riesgos de ser dañadas por eventos de frío.

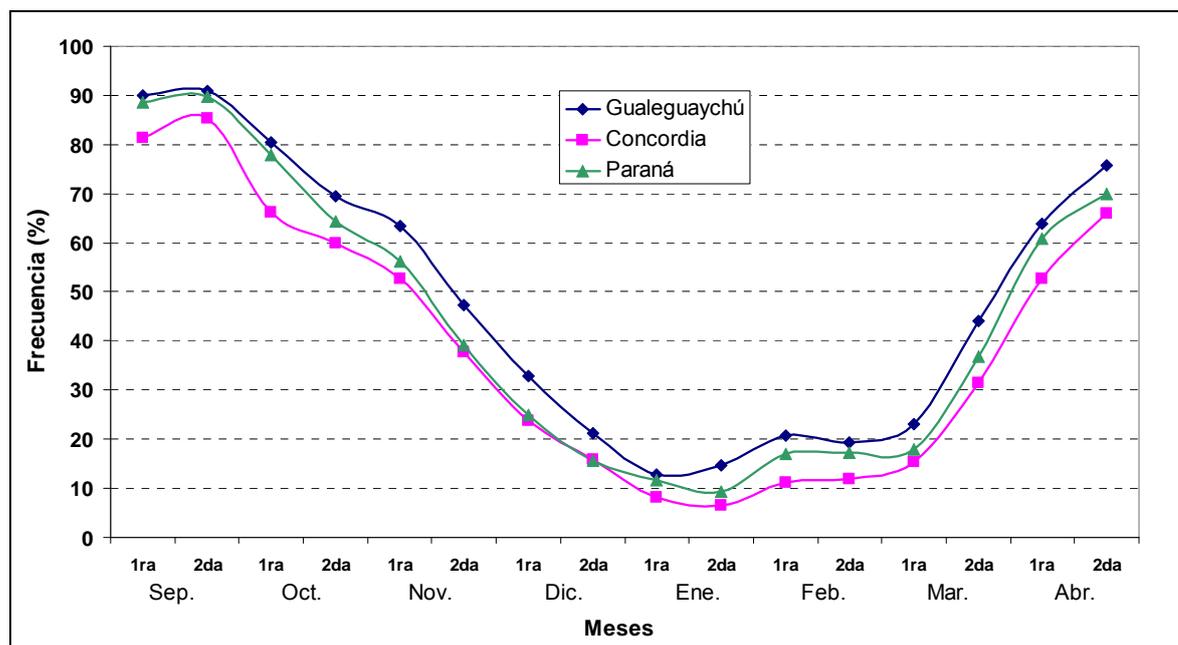


Figura 9. Frecuencia de días con temperaturas mínimas diarias inferiores a 15°C para cada quincena de los meses septiembre a abril. Serie de datos 1971-2008.

IV.2.- RENDIMIENTO POTENCIAL

IV.2.1.- Introducción

El **rendimiento potencial** es definido como el rendimiento de un cultivo cuando crece en un ambiente al que está adaptado, sin limitaciones de agua y nutrientes y cuando las plagas y malezas son efectivamente controladas. Por lo tanto, para una determinada variedad o híbrido en un ambiente específico, el rendimiento potencial es determinado por la cantidad de radiación solar incidente, la temperatura y la densidad de plantas (éstas últimas gobiernan la tasa de desarrollo de hojas).

El **rendimiento actual** es el que obtienen los agricultores, donde la pérdida de rendimiento se debe a un insuficiente abastecimiento de agua, ya sea de lluvia o de riego, a lo que se suma una reducción del rendimiento por factores tales como deficiencias de nutrientes, nutrición desbalanceada, enfermedades, insectos y competencia de malezas, etc.

La diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento actual alcanzado por los agricultores representa la brecha explorable para posibles incrementos en la productividad (Figura 10). A medida que los rendimientos de los agricultores se aproximan al rendimiento potencial, se hace cada vez más difícil lograr nuevos progresos, por lo que para conseguir nuevas ganancias es necesario eliminar pequeñas imperfecciones en el manejo integrado del suelo, cultivo, agua, nutrientes y plagas. En general este ajuste riguroso no es económicamente viable a escala de producción comercial por lo que los rendimientos tienden a estancarse cuando el promedio de producción se acerca al 80 % del rendimiento potencial.

Podemos decir entonces que hay un **rendimiento económicamente alcanzable** que está en el orden del 80% del rendimiento potencial. Por lo tanto, para mantener una brecha explorable de rendimiento a medida que nos acercamos al 80% del potencial, hay que lograr incrementar el rendimiento potencial por mejoramiento genético.

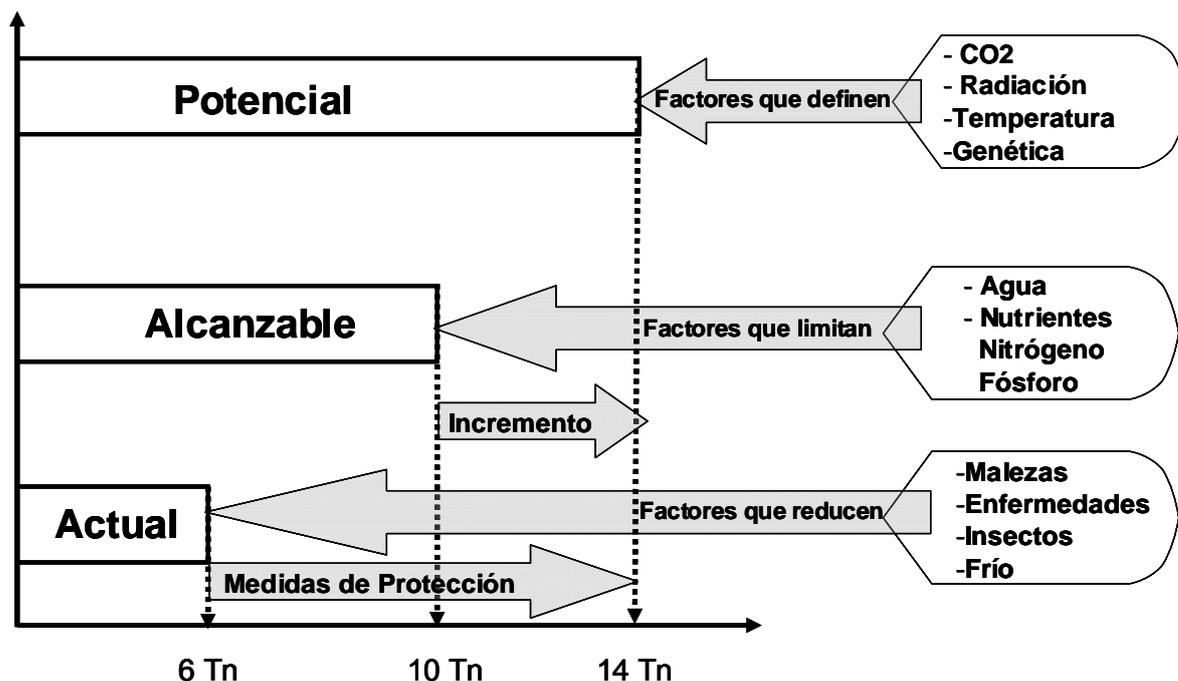


Figura 10. Marco conceptual del rendimiento potencial, rendimiento alcanzable y rendimiento actual alcanzado por los productores como resultados de los factores limitantes. Modificado de Ittersum y Rabigine (1997).

Las medidas de protección requieren de la aplicación de insumos ecológicamente conocidos como sustituibles, como los pesticidas o las labranzas. Mientras que las medidas de incremento del rendimiento están relacionadas a la inclusión de insumos no sustitutivos, como los nutrientes.

IV.2.2.- Rendimiento potencial del arroz

El rendimiento potencial de arroz ha sido estimado en 16 Mg/ha; sin embargo el rendimiento medio mundial es de unos 4 Mg/ha. El bajo rendimiento está asociado con factores de estrés bióticos y abióticos sumados a las condiciones sociales y económicas de los agricultores (Fageria, 2007). En Yunnan, China, Katsura et al. (2008) registraron un rendimiento de 16,5 Mg/ha, siendo el registro mas alto que se ha publicado sin considerar los 20 Mg/ha reportados en Madagascar, dado que, según el análisis realizado por Sheehy et al. (2004), se deberían a errores de medición.

IV.2.3.- Estimación del rendimiento potencial de arroz para Entre Ríos

Existe una relación lineal entre la radiación fotosintéticamente activa que es interceptada y la producción de biomasa cuando el cultivo crece en condiciones adecuadas de temperatura, agua y abastecimiento de nutrientes. La pendiente de esta relación lineal es conocida como la eficiencia de uso de la radiación (EUR). La EUR expresa la capacidad que tiene el cultivo de convertir la radiación fotosintéticamente activa interceptada en biomasa. Para cultivos de arroz de alto rendimiento Sheehy et al (2004) han propuesto un valor medio de 2,6 g/Mj que podría utilizarse cuando no se dispone de información local.

La ecuación utilizada para estimar el rendimiento potencial es:

$$Y = IC \times EUR \sum_{i=1}^n (PAR_i \times f_i)$$

Donde: Y: rendimiento en grano del arroz como materia seca.

IC: Índice de Cosecha. Relación en peso de los granos y toda la biomasa producida.

EUR: Eficiencia de uso de la radiación.

PAR_i: Radiación fotosintéticamente activa media diaria. Se puede considerar como el 45% de la Radiación Global medida en las estaciones meteorológicas.

f_i: Fracción de la PAR interceptada diariamente.

n : Es el número de días del ciclo de cultivo.

La fracción de la PAR interceptada diariamente (f_i) puede ser estimada a partir de Índices de Estadío Fenológico (DVS). Donde existen cuatro estadíos claves. DVS = 0 : emergencia; DVS = 0,65 : diferenciación de panícula; DVS = 1, floración y DVS = 2 , madurez fisiológica (máximo peso de grano, 25% de humedad).

$$f = \frac{a}{1 + \exp((b-DVS)/c)} \quad (\text{Horie et al., 1995})$$

Donde las constantes empíricas son: $a=0,943$, $b=0,480$ y $c=0,116$, $r^2=0,99$ (Horie et al., 1995).

Dado que los cultivares utilizados en Entre Ríos no responden al fotoperíodo, los DVS fueron calculados en función de las sumas térmicas. Los datos de grados días necesarios para alcanzar cada estadio fenológico fueron calculados a partir de las observaciones relevadas en los años 2004 a 2008 con una temperatura base de 11 °C (Tabla 13).

Tabla 13. Relación entre los Indices de Estadío Fenológico (DVS) y las sumas térmicas de cada estadio.

Estadío	DVS	°C día
Diferenciación de panícula	0,65	731
Floración	1	1180
Madurez	2	1618

El índice de desarrollo por grado día es de $8,89 \cdot 10^{-4}$ DVS/°C/d de emergencia a diferenciación; $8,47 \cdot 10^{-4}$ DVS/°C/d de diferenciación a floración y $22,83 \cdot 10^{-4}$ DVS/°C/d de floración a madurez. Con estos cálculos fue posible estimar los períodos fenológicos.

La EUR (RUE en inglés) es un parámetro importante en los modelos de cultivo que debería representar el máximo potencial para el cultivo. Los factores externos que reducen la EUR como estadio fenológico, nivel de radiación, temperatura, daños por frío o enfermedades, deberían ser simuladas por el modelo de crecimiento utilizado. Esto garantiza el funcionamiento del modelo en condiciones distintas a las experimentales. Si bien la mayoría de los experimentos se pueden llevar adelante previniendo los estreses por agua, malezas y plagas es raro que no se presenten limitaciones por temperatura. La temperatura representa por si un factor que limita la estimación de la EUR

especialmente en especies macrotérmicas como el arroz creciendo en clima templado. Es decir que habría que tener en cuenta la reducción fisiológica de la EUR cuando la temperatura está por encima o por debajo del rango óptimo de crecimiento (Boschetti et al., 2006).

Los valores de EUR para arroz varían en torno de 2,2 a 2,56 g/Mj en variedades americanas según Kiniry et al (1989) y Kiniry et al (2001) aunque Campbell et al (2001) presentaron valores de hasta 5,66 g/Mj. Boschetti et al. (2006) calculan un valor de 3,14 g/Mj para una variedad índica y 1,8 g/Mj para la japónica, pero sugieren utilizar un valor de 2,9 g/Mj cuando no se disponga de información.

Utilizando una eficiencia de 2,9 g/Mj según lo propuesto por Boschetti et al. (2006), es posible estimar un rendimiento potencial para Entre Ríos de 11,1 Mg/ha, valor que ha sido alcanzado y superado en ensayos comparativos de rendimiento en parcelas. Por lo cual es probable que exista un error en la estimación, que puede estar dado por considerar una baja intersección de la radiación (f) o baja EUR. Para estimar correctamente f habría que conocer el coeficiente de extinción de la luz en distintos períodos y ese valor no ha sido valorado para los cultivares utilizados en Argentina.

Para estimar la EUR en las variedades y condiciones de Entre Ríos se tomaron datos de ensayos de fertilización realizados, donde se disponía de evaluaciones de biomasa en distintos períodos. Se consideraron los datos de mayor productividad. Se tomó la radiación incidente en cada período de la estación meteorológica más cercana y se la afectó por un factor de 0,45 para transformarla en radiación fotosintéticamente activa (PAR). Luego utilizando la ecuación de Horie et al. (1995) se estimó el factor de intersección (f) para cada período. Así se calculó la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR = PAR x f).

Esta estimación realizada a partir de 7 ensayos en dos años dio un valor de EUR de 3,6 g/Mj (Figura 11). Con este valor el rendimiento potencial, para emergencias del 15 octubre al 15 de noviembre, da una media de 13,9 ($\pm 1,3$) Mg/ha.

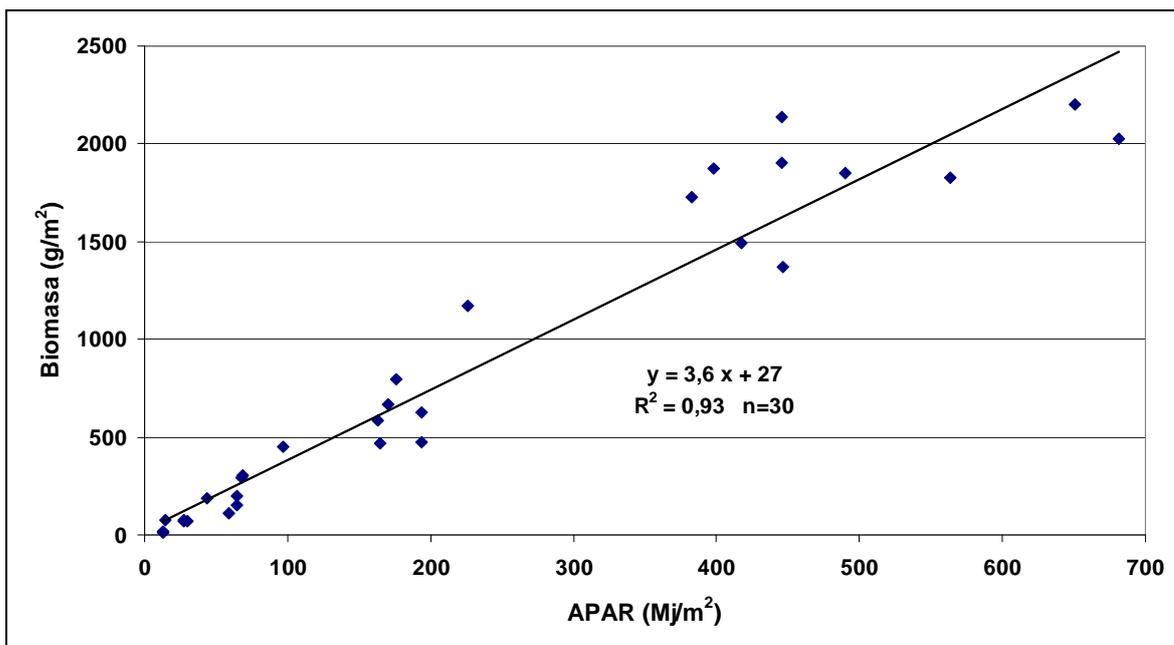


Figura 11. Relación entre la radiación absorbida y la biomasa producida en Entre Ríos. Materiales: Paso 144, Puitá, Supremo 13, Cambá, RP2. INOV.

Estas estimaciones o aproximaciones permiten inferir que el potencial de productividad del arroz en la provincia de Entre Ríos es de alrededor de 14 Mg/ha con una base de cálculo fisiológico. Lo que permitiría sostener que es posible alcanzar una media de producción de 10 Mg/ha con los materiales genéticos actuales. Es decir que hay una brecha de rendimiento explorable de unos 3 Mg/ha entre el rendimiento actual y el potencial. Conocer cuales son los factores limitantes para alcanzar esos niveles de producción es el objetivo principal de este trabajo.

IV. 3.- ESTRUCTURA DEL CULTIVO Y RENDIMIENTO

IV.3.1.- Rendimientos alcanzados y sus componentes

En un contexto global el rendimiento medio registrado en este trabajo (8732 kg/ha) puede considerarse como un valor de alta productividad. El mismo se encuentra por encima de los valores medios obtenidos por los agricultores en los últimos años (7000 kg/ha), dado que se trata de una cosecha manual. La estimación sobre el rendimiento real de campo que obtienen los agricultores fue de 15 a 20 %.

Como se mostró anteriormente, las condiciones ambientales de los años de evaluación (2004-08) no presentaron restricciones importantes y permitieron alcanzar altos rendimientos con un 22 % de los casos por encima de los 10 Mg/ha. Los rendimientos medios provinciales en estos años fueron los más altos de los que se tienen registros. De todas maneras existieron diferencias significativas entre años atribuidas a las condiciones ambientales. Claramente los altos rendimientos alcanzados a nivel provincial y en las evaluaciones de campo de la campaña 2005-6 pueden atribuirse a la mayor oferta de radiación en el ciclo. Sin embargo en el 2006-7 la radiación fue baja pero las dosis de nitrógeno utilizadas en los sitios evaluados, fueron más altas (Tabla 14).

Tabla 14. Rendimientos medios, radiación y dosis de N utilizadas en las 4 campañas evaluadas 2004-08.

Campaña	n	Rendimiento (kg/ha)	Radiación Mj/m² ciclo	Dosis N (kg/ha)
2004-5	50	8253 a	2585 a	40 a
2005-6	41	9159 b	2767 b	45 ab
2006-7	47	8933 b	2569 a	69 c
2007-8	42	8707 ab	2644 ab	53 b

Como puede verse en la tabla 15 el rendimiento de grano de arroz varió de 4148 a 12468 kg/ha. La distribución de los datos se presenta en el histograma de la figura 12. Tanto los datos de rendimiento como los de las

variables estructurales o componentes del rendimiento, tuvieron una distribución normal, hecho que fue comprobado mediante los tests de normalidad (Shapiro-Wilks y Kolmogorov-Smirnov) y además puede apreciarse en la similitud de las medias y las medianas.

Tabla 15. Rendimiento y variables estructurales del cultivo (n=180)

Variable	Unidad	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
Plantas	# / m ²	217	81	56	160	204	270	482
Tallos	# / m ²	631	160	314	520	618	723	1105
Tallos/planta	#	3,2	1,5	1,6	2,4	2,9	3,8	15,2
Panojas	# / m ²	451	88	242	387	454	507	716
Granos Vanos/panoja	#	17	10	4	9	14	21	48
Granos llenos/panoja	#	84	19	33	71	84	96	136
Total granos/panoja	#	101	22	53	86	98	113	183
Esterilidad	%	16,2	8,9	4,0	9,0	14,0	21,0	58,0
Peso de 1000 granos	g	26,2	3,3	16,4	24,2	25,6	27,9	39,4
Rastrojo	kg/ha	6952	1694	3505	5740	6747	8146	10980
Rendimiento en grano	kg/ha	8732	1708	4148	7740	8902	9770	12468
Indice de cosecha	%	52,1	5,4	36,0	49,0	53,0	56,0	63,0

El rango de observaciones presenta una buena variabilidad y puede considerarse representativo de las condiciones que se pueden encontrar en Entre Ríos (Figura 12).

Los valores medios del rendimiento y sus componentes observados en este estudio difieren a los presentados por Dobermman y Fairhust (2000) para evaluaciones realizadas en Asia. En base a 700 observaciones, estos investigadores reportan un rendimiento medio de 5,2 Mg/ha con bajos valores medios de granos por panoja (67), peso de granos (23 g) e índice de cosecha (47%), pero similares valores medios de panojas (490). Las diferencias seguramente están dadas por la utilización de materiales genéticos distintos en condiciones de menor productividad.

La esterilidad media fue baja si se considera que un 15 % es un valor normal como sugiere Fageria (2007). Si bien se llegó a un máximo de 58 %, hubo pocos valores por sobre el 30 %.

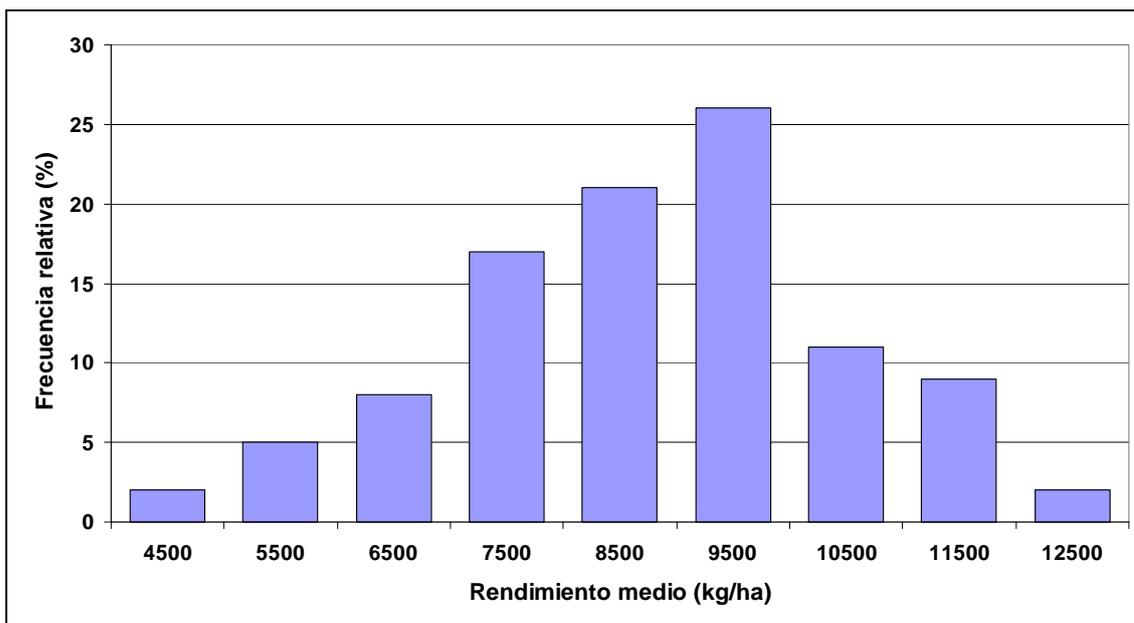


Figura 12 Histograma de frecuencias para los datos de rendimiento observados. N = 180.

El análisis de correlación entre variables indica que el rendimiento estuvo significativamente asociado al número de panojas, el número de granos llenos por panoja y al índice de cosecha en forma positiva (Tabla 16).

Tabla 16. Coeficientes de correlación (Pearson) entre el rendimiento y las componentes.

Variable	Unidad	Coefficiente	Probabilidad
Plantas	# / m ²	-0,02	0,78
Tallos	# / m ²	0,34	< 0,001
Tallos/planta	#	0,31	< 0,001
Panojas	# / m ²	0,48	< 0,001
Granos Vanos/panoja	#	0,02	0,81
Granos llenos/panoja	#	0,44	< 0,001
Total granos/panoja	#	0,37	< 0,001
Esterilidad	%	-0,17	0,03
Peso de 1000 granos	g	-0,14	0,07
Rastrojo	kg/ha	0,55	< 0,001
Indice de cosecha	%	0,33	< 0,001

La figura 13 muestra la relación que existe entre el rendimiento y el número de panojas por metro cuadrado y la Figura 14 muestra la relación con el número de granos llenos por panoja. Estos dos componentes son los principales responsables del rendimiento del arroz.

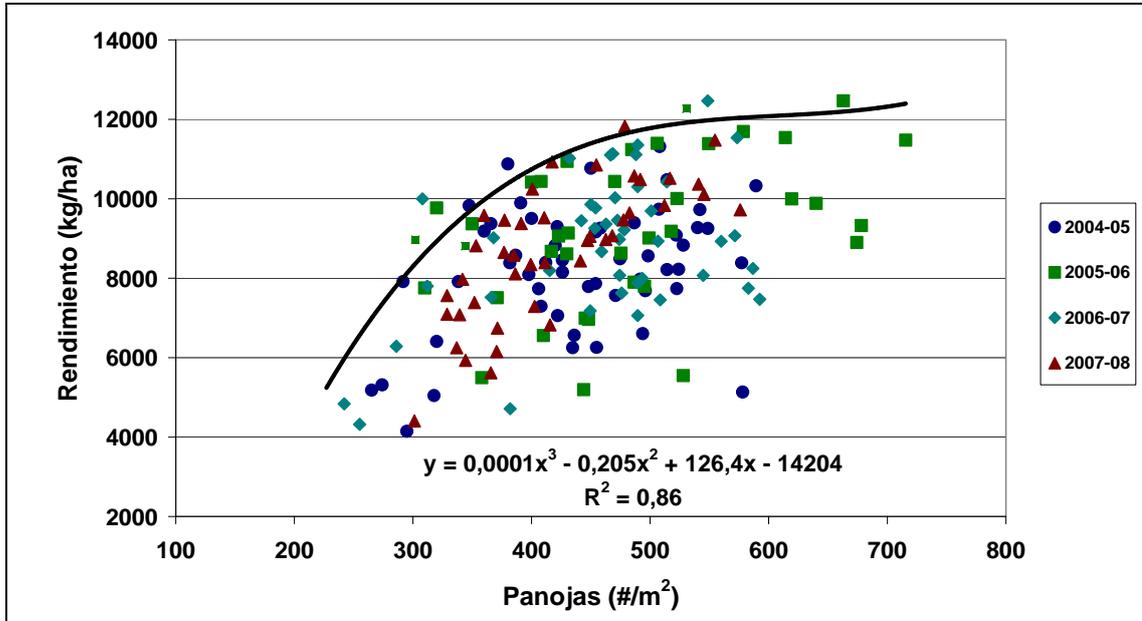


Figura 13. Relación entre el número de panojas por metro cuadrado y el rendimiento.

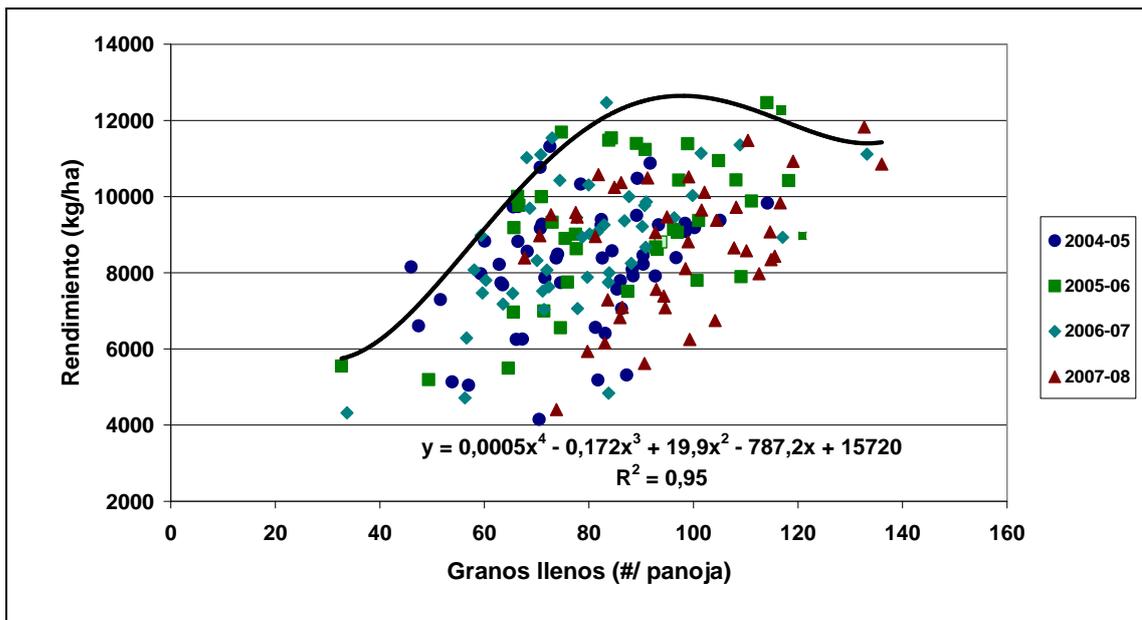


Figura 14. Relación entre el número de granos llenos por panoja y el rendimiento.

El efecto de la esterilidad de las espiguillas parece ser importante cuando supera el 35 % hecho que se observó en muy pocos casos (Figura 15).

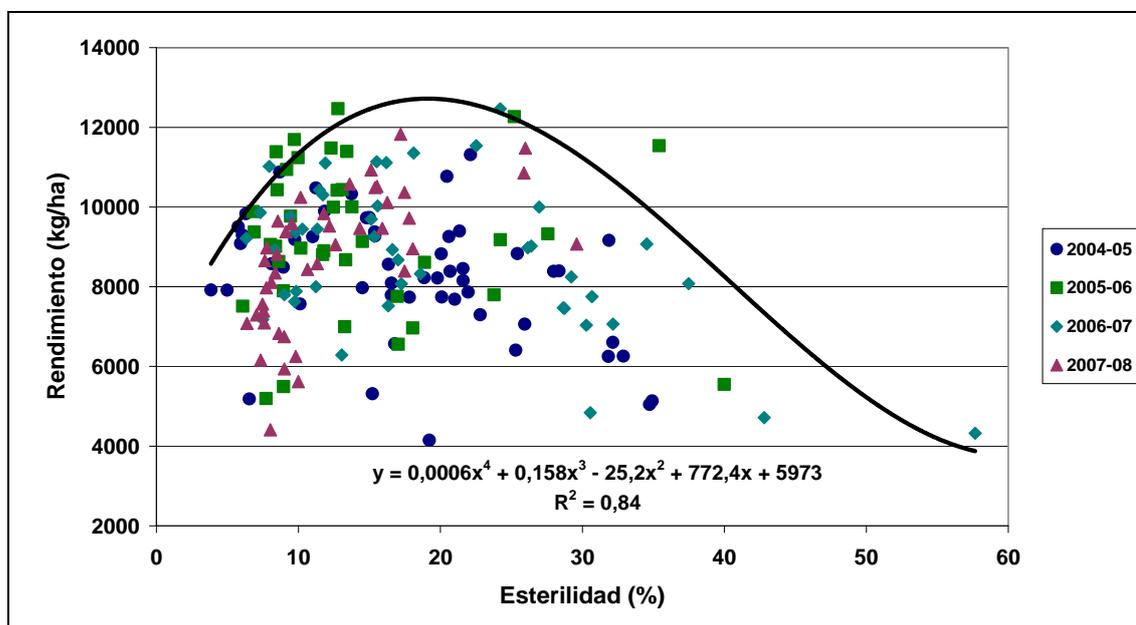


Figura 15. Relación entre la esterilidad de los granos y el rendimiento.

El índice de cosecha (IC) se relacionó positivamente con el rendimiento (Figura 16) Con un IC por debajo del 45 % no se observaron altos rendimientos y los mejores resultados se registraron con un IC en torno a 55%.

Sólo se observaron 4 valores por debajo de 40 %, umbral que es considerado por algunos autores como indicador de problemas ambientales severos o pérdidas de rendimiento por enfermedades (Dobermann y Withe, 1999).

En principio, para obtener altos rendimientos (superiores a 10 Mg/ha) se requiere que el cultivo desarrolle durante su ciclo más de 350 panojas por metro cuadrado y que logre fecundar y llenar al menos de 70 espiguillas por panoja.

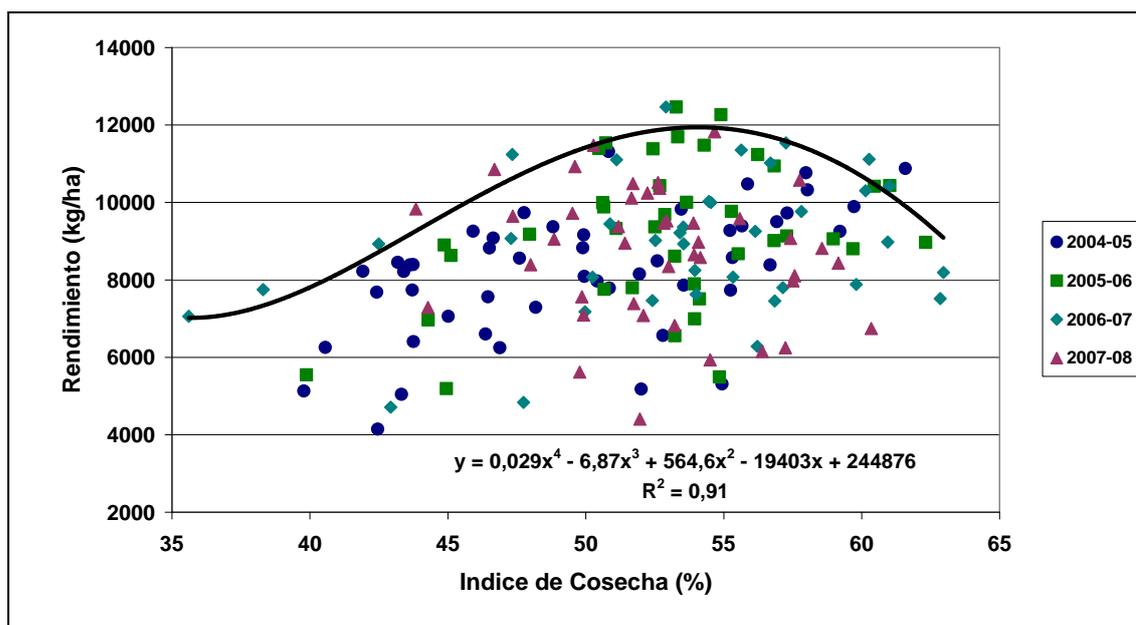


Figura 16. Relación entre el índice de cosecha y el rendimiento.

IV.3.2.- Comportamiento de las variedades

Las variedades utilizadas en la región son de tipo indicas que producen granos que clasifican como largo fino a excepción del la variedad YERUA que es de tipo japónica y produce arroz doble carolina o largo ancho.

Las variedades estudiadas representan los materiales que se siembran en Entre Ríos y la cantidad de datos, en alguna medida corresponde a la proporción sembrada de cada una en los últimos años (Tabla 17).

Tabla 17. Promedio de rendimiento y componentes para las variedades evaluadas. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey 5%).

Variedad	n	Plantas (#/m ²)	Tallos (#/m ²)	Panojas (#/m ²)	Granos (#/panoja)	Esterilidad (%)	P1000 (g)	IC (%)	Rendimiento (kg/ha)
Yerúa	9	168 abc	382 a	344 a	84 a	21,1 cd	36,0 e	47,9 a	6145 a
Puitá-IG417	25	190 bc	611 b	408 ab	96 abc	11,9 ab	23,4 a	52,4 ab	7793 b
RP2	46	257 c	616 b	420 abc	91 ab	16,2 abc	27,9 d	52,0 ab	8495 bc
Paso 144	36	222 bc	672 b	488 cd	98 abc	17,0 abc	25,4 bc	50,3 ab	8825 bc
Cambá	27	221 bc	701 b	462 bc	103 bc	10,7 a	26,0 c	53,0 ab	9208 bcd
Supremo 13	19	225 bc	686 b	496 cd	109 c	17,7 abc	23,8 ab	54,3 b	9634 cd
Taim	8	164 ab	660 b	560 d	112 c	28,1 d	22,5 a	51,4 ab	9642 cd
Híbridos	10	87 a	616 b	432 bc	147 d	20,1 bcd	26,8 cd	55,1 b	10531 d

Los materiales genéticos difieren en su potencial de productividad para la zona. Yeruá es un material conocido por su menor potencial de rendimiento, aunque con un manejo adecuado se pueden obtener rendimientos altos. Se caracterizó por presentar poca cantidad de panojas y granos por panoja. Al ser un grano doble, tuvo un elevado peso de granos. Habitualmente tiene problemas de vuelco por lo que se lo siembra menos denso y por ello presentó menor cantidad de plantas. Otra estrategia común para este cultivar es destinarlo a suelos poco fértiles y sembrarlo con alta densidad para que no macolle. Esto puede explicarse por que Yeruá presentó el menor número de tallos por unidad de superficie, siendo significativamente inferior a los demás materiales (Tabla 17).

Las semillas híbridas de arroz son de alto costo y al tener una gran capacidad de macollaje se las siembra en muy baja densidad, por eso se logra un bajo número de plantas pero luego su alto macollaje, le permite alcanzar un número suficiente de panojas.

Las variedades y los híbridos de grano largo fino con mayor rendimiento se destacan por un alto número de panojas y de granos por panoja, junto con un elevado índice de cosecha. El peso de los granos es propio de la variedad, aunque hay que destacar que hubo cierta variabilidad dentro de cada cultivar y que el peso de los granos aumentó junto con el rendimiento. El grado de esterilidad medio de las variedades depende de la interacción con el ambiente (salinidad y frío).

IV. 4.- CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO

En lo que respecta a los suelos, como puede apreciarse en la tabla 18, mayormente se trata de suelos franco arcillosos a arcillo limosos, con buenos tenores de materia orgánica. Mayoritariamente son clasificados como Vertisoles, algunos son Alfisoles y Molisoles y en menor medida Entisoles e Inceptisoles. Presentan una reacción tendiente a la neutralidad, son deficitarios en P disponible y tienen una buena capacidad de intercambio catiónico mayormente saturada en Ca. El potasio es abundante y no son frecuentes los valores deficientes, aunque su relación con el Ca y el Mg puede ser desfavorable en algunos casos. Dentro de los microelementos, el Zn presenta bajos valores de disponibilidad generalizados. Las variables de suelo mostradas en la tabla 18 presentaron una distribución normal.

Tabla 18. Variables de suelo (n=180)

Variable	Unidad	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
Materia Orgánica	%	3,82	1,21	1,10	3,10	3,80	4,30	11,30
pH	-	6,2	0,7	4,6	5,7	6,2	6,8	9,3
P disponible	mg/kg	10,0	6,0	1,8	5,0	8,2	14,1	35,7
NO ₃	mg/kg	55,6	49,5	1,5	19,9	39,8	77,9	241,9
Cond. Eléctrica	dS/m	1,11	0,77	0,4	0,71	0,86	1,14	5,00
Arcilla	%	32,8	8,7	13,6	25,9	35,1	40,1	46,1
Limo	%	54,7	7,3	39,5	49,9	54,0	60,2	72,3
Arena	%	11,7	10,7	1,6	3,5	7,0	19,1	45,4
CIC	cmol ₍₊₎ /kg	26,7	6,2	11,3	22,7	26,6	30,9	45,1
Ca intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	15,7	5,3	3,7	13,0	15,5	17,2	37,0
Mg intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	3,9	1,3	1,1	3,0	3,6	4,6	8,5
K intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	0,6	0,2	0,1	0,5	0,6	0,7	1,2
Na intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	1,0	0,7	0,2	0,5	0,8	1,1	7,2
Zn disponible	mg	1,15	0,38	0,72	0,96	1,08	1,23	4,17
Cu disponible	mg	2,74	0,79	0,68	2,20	2,81	3,20	4,64
Fe disponible	mg	81,6	55,9	7,6	44,2	66,2	105,6	343,1
Mn disponible	mg	116,5	58,9	19,5	82,0	108,5	141,5	305,9
B disponible	mg/kg	0,88	0,46	0,16	0,54	0,81	1,17	2,26

Las variables de suelo más relacionadas con el rendimiento del arroz fueron la salinidad y la alcalinidad. El rendimiento se relacionó negativamente con el pH, la conductividad eléctrica del suelo y el sodio intercambiable (Tabla 19). Estas tres variables estuvieron ligadas entre si, dado que el Na se correlacionó con el pH ($r=0,41$ $p < 0,001$) y con la CE ($r=0,58$ $p < 0,001$) aunque el pH no correlacionó significativamente con la salinidad del suelo. Las figuras 17, 18 y 19 muestran gráficamente la relación entre estas variables y el rendimiento.

Tabla 19. Coeficientes de correlación (Pearson) entre el rendimiento y las componentes.

Variable	Unidad	Coeficiente	Probabilidad
Materia Orgánica	%	0,19	0,01
pH	-	-0,32	< 0,001
P disponible	mg/kg	-0,03	0,72
NO ₃	mg/kg	0,22	0,05
Cond. Eléctrica	dS/m	-0,27	< 0,001
Arcilla	%	-0,10	0,50
Limo	%	-0,15	0,28
Arena	%	0,20	0,16
CIC	cmol ₍₊₎ /kg	-0,05	0,48
Ca intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	-0,16	0,30
Mg intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	-0,04	0,54
K intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	-0,09	0,25
Na intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	-0,43	< 0,001
Zn disponible	mg/kg	-0,10	0,18
Cu disponible	mg/kg	-0,01	0,95
Fe disponible	mg/kg	0,13	0,12
Mn disponible	mg/kg	0,31	< 0,001
B disponible	mg/kg	-0,07	0,46

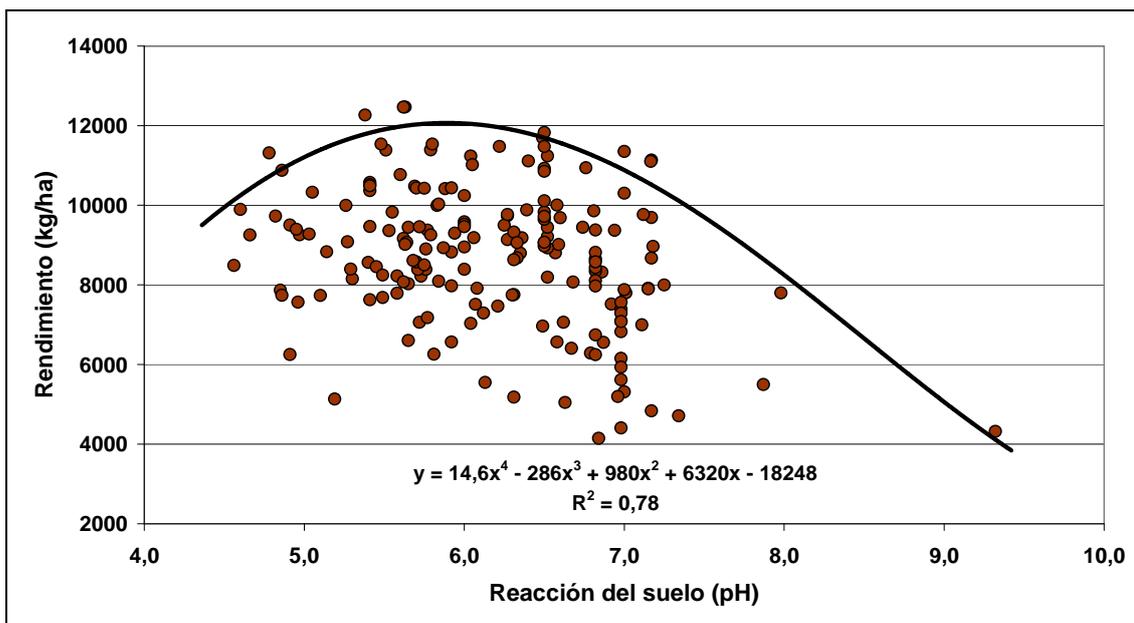


Figura 17. Relación entre el pH del suelo y el rendimiento.

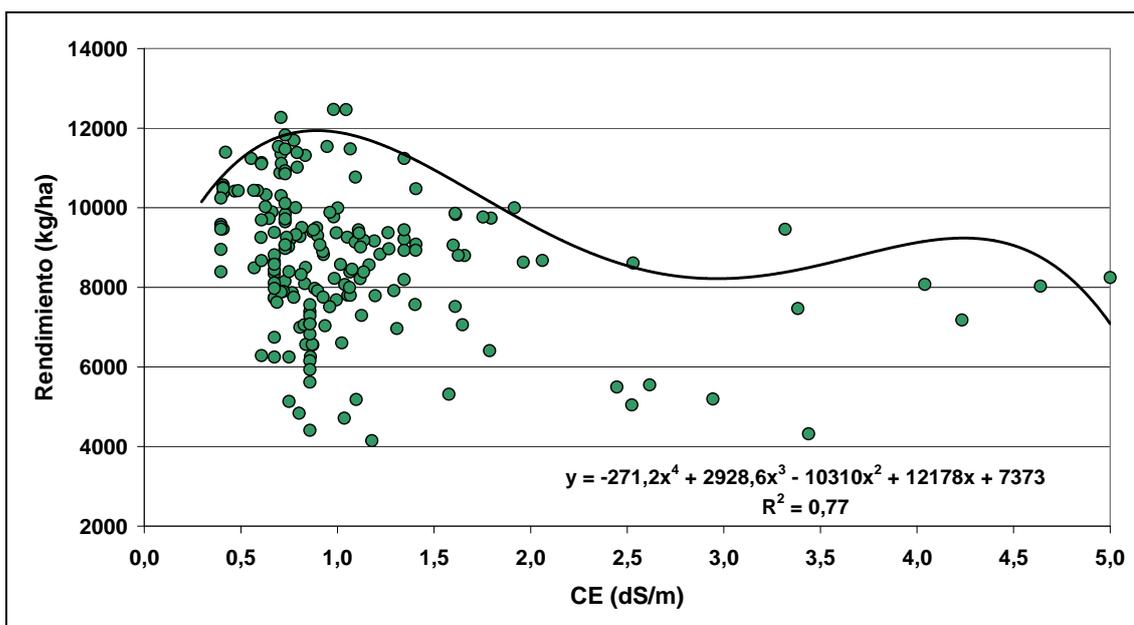


Figura 18. Relación entre la conductividad eléctrica del suelo y el rendimiento.

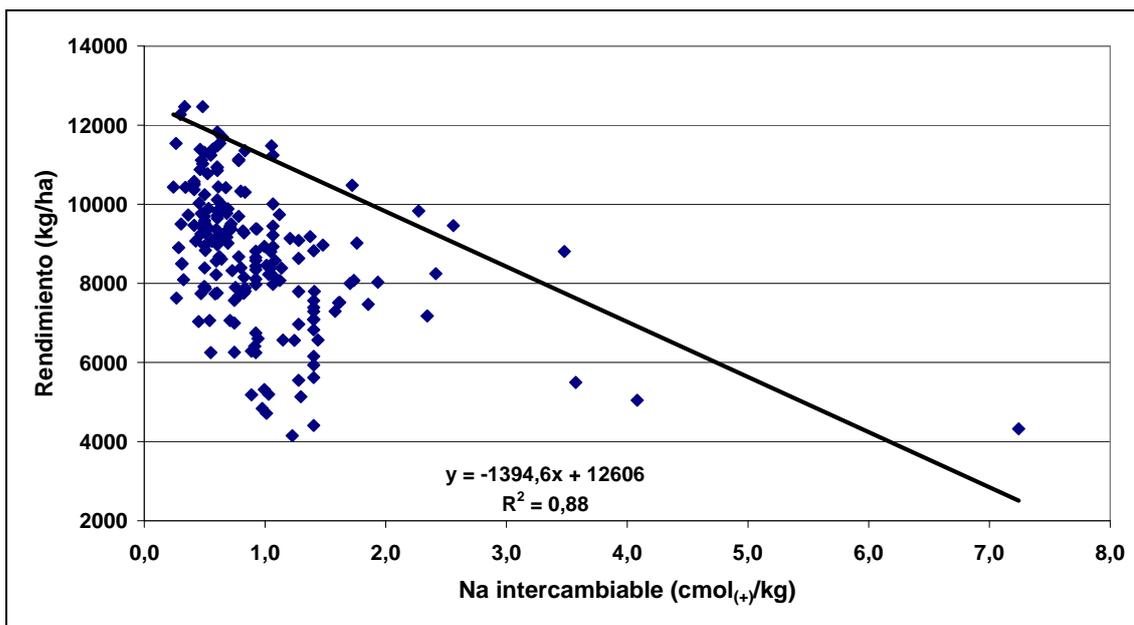


Figura 19. Relación entre el Na intercambiable del suelo y el rendimiento.

El manganeso disponible en el suelo se correlacionó de manera positiva con el rendimiento (Tabla 19). La figura 20 muestra como los rendimientos de arroz fueron mas altos con tenores de Mn superiores a 75 ppm. Sin embargo habría que tener en cuenta que el Mn correlacionó negativamente con el pH ($r = -0,29$; $p < 0,001$) y la CE ($r = -0,30$; $p < 0,001$).

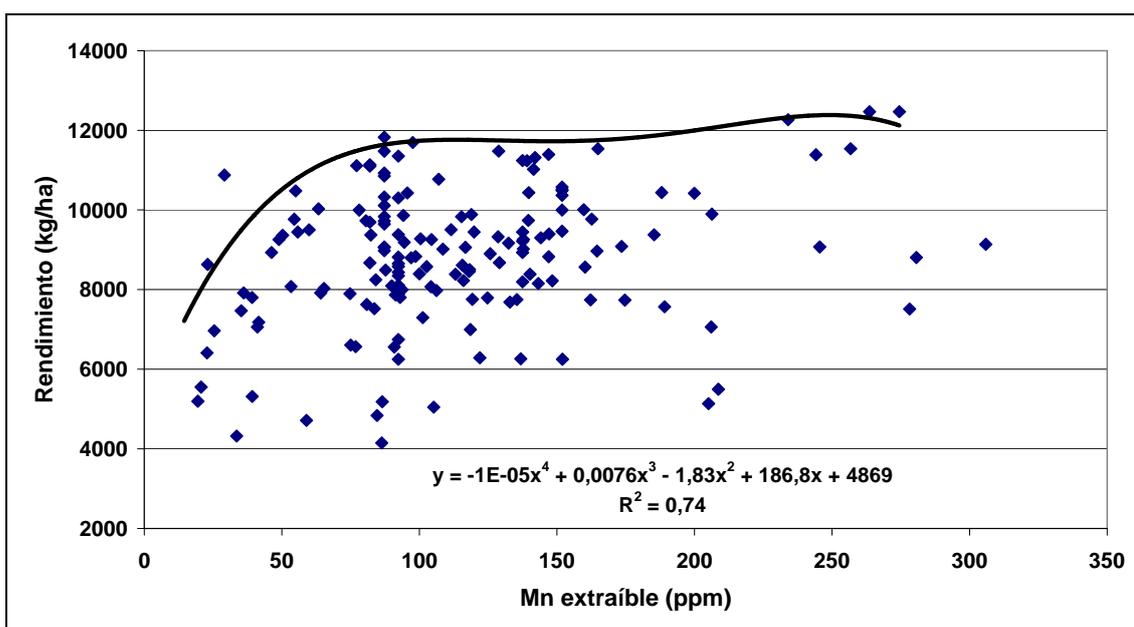


Figura 20. Relación entre el Mn extraíble del suelo y el rendimiento.

Los modelos de regresión múltiple ajustados por mínimos cuadrados, utilizando diversos modelos de ajustes, no alcanzaron un coeficiente de determinación aceptable para objetivos predictivos. Los valores de R^2 entre variables de suelo y rendimiento estuvieron en el orden del 0,30. Esto está indicando que las variables de suelo analizadas tienen poco efecto sobre el rendimiento del arroz o que solamente podrían explicar un 30% del mismo.

Estimando los rendimientos mínimos utilizando la metodología de BOLIDES y Mín-Max a partir de las variables de suelo más importantes (pH, CE, Na y Mn), puede verse también que estas características de los suelos permiten alcanzar altos rendimientos. Las productividades observadas fueron reducidas en la mayoría de los casos por otro factor que no fue el suelo.

En la figura 21 se puede observar como el rendimiento estimado a partir de las variables del suelo, ronda los 10 a 12 Mg/ha y pocas estimaciones están por debajo de este rango. Sin embargo se obtienen menores productividades que son debidas a otro factor que no es el suelo.

En pocos casos los productores logran rendimientos superiores a los estimados, lo que podría indicar que algunas prácticas de manejo pueden mitigar o reducir los efectos adversos o restrictivos que los suelos tienen.

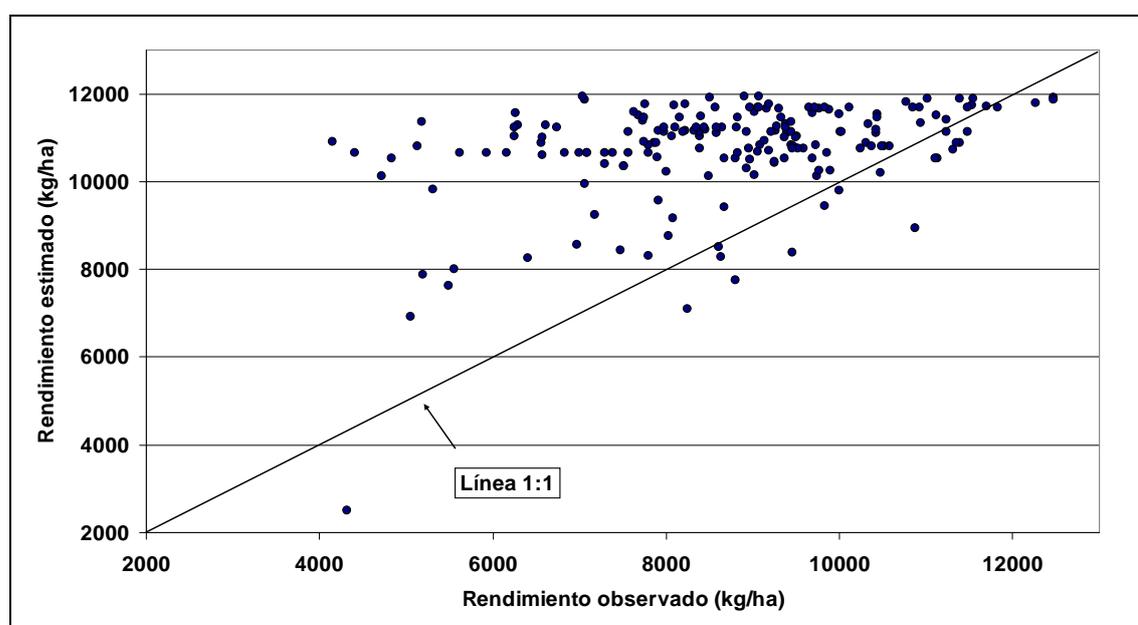


Figura 21. Relación entre el rendimiento observado y el estimado a partir de las variables del suelo pH, CE, Na y Mn.

IV.4.1.- Interpretación de los análisis de suelos para arroz

En base a curvas de límite máximo para todos los elementos analizados y consultas de la bibliografía, se pudo establecer una tabla de interpretación en la cual se propone un rango óptimo donde el rendimiento no estaría limitado por el nutriente o característica química analizada (Tabla 20). Para el caso del P extraíble por Bray I y los Nitratos no se pudo establecer un rango óptimo o valor crítico, debido posiblemente a que los cultivos son fertilizados regularmente con P y N.

Los límites coinciden en algunos casos con la bibliografía, aunque los mismos fueron establecidos para arroces tropicales en suelos más evolucionados y de menor productividad (Dobermann y Fairhurst, 2000; Fageria y Breseghello, 2004). En este trabajo, los límites están pensados para producciones superiores a 10.000 kg/ha en arroz de clima templado.

Tabla 20. Rangos óptimos para alta productividad de arroz en Entre Ríos.

Determinación	Rango Optimo
Materia Orgánica	2,5 - 8 %
Reacción del suelo	4,8 - 7,0
Saturación básica	50 - 100 %
Conductividad Eléctrica	< 1,5 dS/m
Zn Extraíble (DTPA)	0,8 -1,5 mg/kg
Fe Extraíble (DTPA)	20 - 200 mg/kg
Cu Extraíble (DTPA)	1,2 - 4 mg/kg
Mn Extraíble (DTPA)	40 - 300 mg/kg
B Extraíble (Agua)	0,2 - 2 mg/kg
Ca intercambiable	5 - 30 cmol/kg
Mg intercambiable	1,5 – 6,5 cmol/kg
K intercambiable	0,3-1,2 cmol/kg
Saturación Cálcica	30-80 %
Saturación Magnésica	8-22 %
Saturación Potásica	1 - 4 %
Saturación Sódica	< 8 %

Comparando los resultados mostrados en la tabla 18 con los rangos óptimos presentados en la tabla 20, se podría inferir que la principal limitación estaría ligada al pH ligeramente alcalino y a una elevada proporción de Ca en el complejo de cambio que podría inducir deficiencias de Zn y K. La salinidad y sodicidad de algunos suelos podría ser un problema, mientras que los micronutrientes en general presentan dotaciones adecuadas.

El mayor efecto del pH fue la disminución del número de plantas logradas. Lógicamente el resultado fue una reducción del número de panojas por unidad de superficie, lo que explica la caída del rendimiento. Con pH mayores a 6,5 no se alcanzó el número suficiente de órganos reproductivos que son necesarios para alcanzar altos rendimientos. Se trata de una limitante que hay que solucionar temprano, desde la siembra o antes y que como máximo se puede extender hasta el macollaje. Existe suficiente evidencia experimental que muestra que el problema del pH esta directamente relacionado a un exceso de Ca lo que provoca una deficiencia de Zn y K (Quintero et al, 2006).

Con respecto a la alcalinidad y salinidad de los suelos, con valores de Saturación con Na superiores al 8 % o de CE mayor a 1,5 dS/m los rendimientos se vieron deprimidos, fundamentalmente por un aumento de la esterilidad de las espiguillas, lo cual coincide con la bibliografía (Dobermann y Fairhust, 2000; Wilson et al., 2000).

Es de notar que la mayoría de los suelos analizados presentaron valores que podrían considerarse dentro del rango óptimo y no limitarían el rendimiento del arroz. Por otro lado también de esta manera se confirma que los suelos utilizados para el cultivo de arroz en Entre Ríos no presentan limitaciones importantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

IV. 5.- LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO

La tabla 21 muestra la estadística descriptiva de los resultados encontrados en los análisis de agua realizados. En términos medios las aguas son de buena calidad para riego. Sin embargo, existen algunas aguas con valores de salinidad medios a altos, acompañados de una RAS no deseable (Figura 22).

De manera similar a lo informado por Valenti et al (2006), las aguas de origen subterráneo utilizadas para el cultivo de arroz en Entre Ríos son bicarbonatadas sódicas de salinidad media, por lo que presentan riesgo de sodificación de los suelos con el consiguiente deterioro de su estructura. Mientras que por otro lado, el agua de origen superficial es apta para su utilización en el riego de arroz, dado que presenta baja relación de adsorción de sodio y baja conductividad eléctrica.

Tabla 21. Estadística descriptiva de los análisis de agua realizados. (n =118)

Variable	Unidad	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
Na ⁺	mEq/L	2,67	2,41	0,28	0,58	1,29	5,53	8,95
Ca ⁺⁺	mEq/L	1,02	0,69	0,28	0,44	0,64	1,48	3,96
Mg ⁺⁺	mEq/L	1,04	0,61	0,04	0,56	1,00	1,64	2,48
CO ₃ ⁼	mEq/L	0,25	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	3,36
HCO ₃ ⁻	mEq/L	3,12	2,66	0,77	1,07	1,92	5,56	9,93
pH	-	7,10	0,6	6,2	6,5	7,1	7,6	8,4
CE uS/cm	uS/cm	382,0	305,7	71,0	118,0	234,0	672,0	1204,1
RAS	-	2,4	1,9	0,3	0,9	1,6	4,4	5,8

Los análisis realizados sobre las muestras de aguas destinadas al riego de los sitios seleccionados, mostraron una clara diferencia en función del origen. Existieron dos poblaciones de datos, las aguas originadas en pozos profundos y las de origen superficial. Esa diferencia en la composición química del agua fue acompañada por un rendimiento mayor en los sitios regados con aguas superficiales (Tabla 22).

Tabla 22. Características medias de las aguas profundas y superficiales utilizadas para el riego de arroz en Entre Ríos.

Origen Del agua	Rendimiento (kg/ha)	Na mEq/L	Ca mEq/L	Mg mEq/L	CO ₃ mEq/L	HCO ₃ mEq/L	pH -	CE μS/cm	RAS -
Superficial	9.273 a	1,45 a	0,74 a	0,86 a	0,01 a	1,59 a	6,97 a	242 a	1,57 a
Profunda	8.158 b	5,80 b	1,74 b	1,48 b	0,84 b	7,07 b	7,40 b	742 b	4,64 a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey p<0,05).

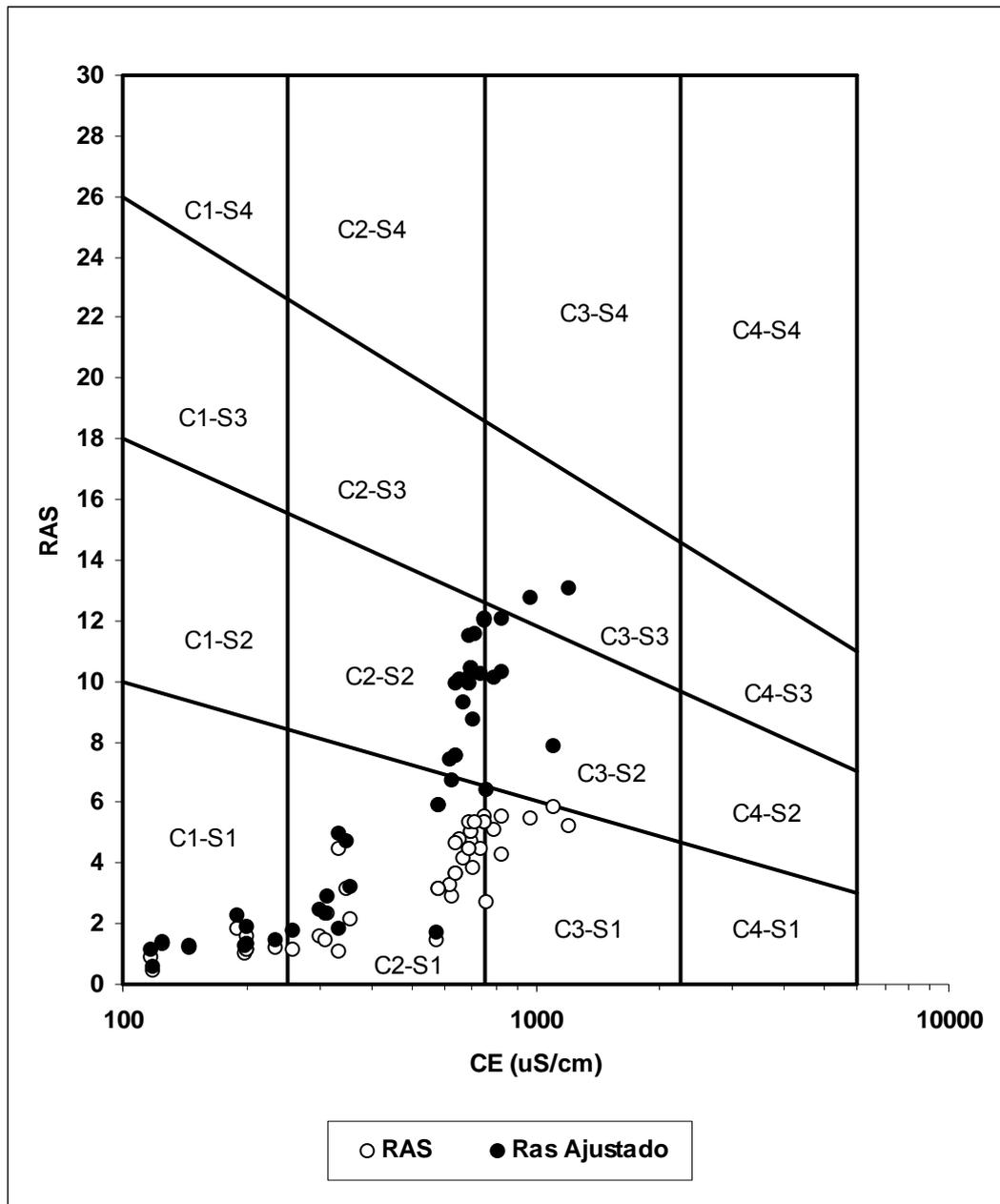


Figura 22. Diagrama de Riverside y resultados observados para las muestras de agua analizadas.

El cultivo de arroz continuo regado con aguas superficiales, no mostró efectos negativos sobre el rendimiento. Pero por otro lado, cuando se utilizaron aguas superficiales, una intensidad de arroz en la rotación superior al 40 % mostró efectos depresores del rendimiento de manera significativa. No se observaron casos de arroz continuo regados con agua subterránea.

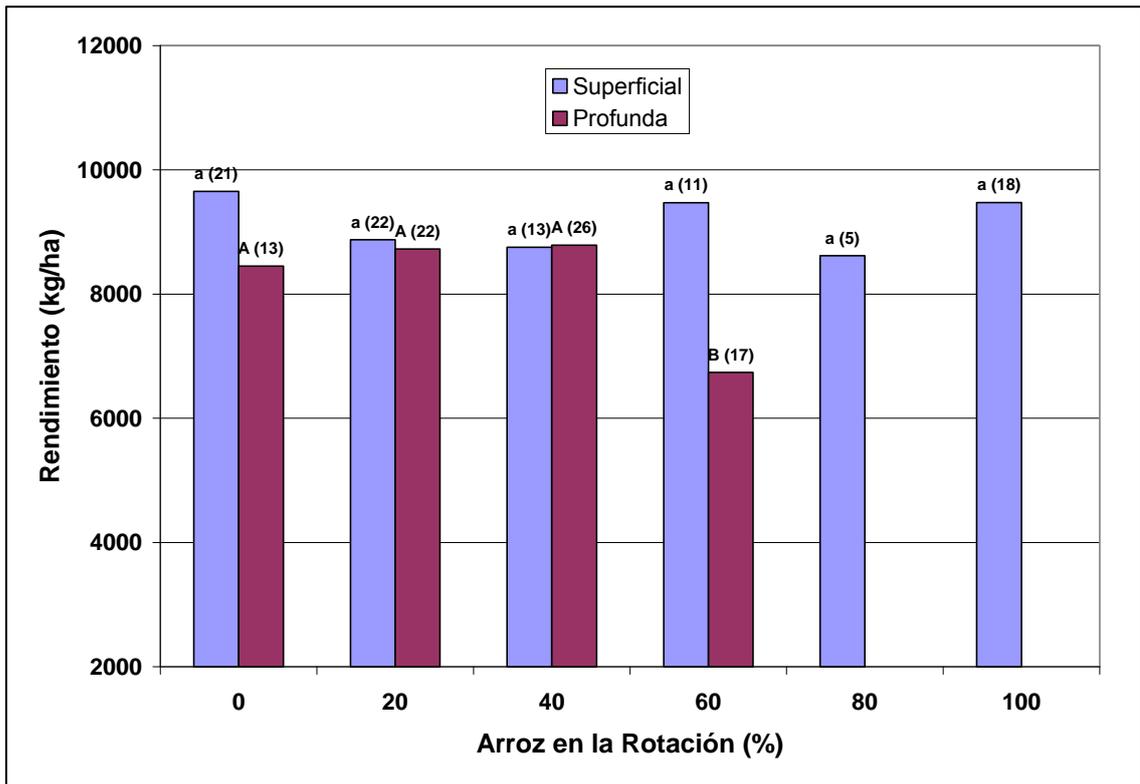


Figura 23. Rendimiento de arroz con diferente intensidad de cultivo y origen del agua de riego.

El rendimiento correlacionó negativamente con la salinidad de las aguas, la concentración de cationes (CE, Ca y Na; $r=-0,31$; $p< 0,001$) y la RAS ($r=-0,32$; $p< 0,001$). El elemento que mejor relación mostró con el rendimiento del arroz fue el Ca. El incremento en su concentración en el agua de riego no fue favorable.

IV. 6.- LAS PRÁCTICAS DE MANEJO

IV.6.1.- Efectos de las principales prácticas de manejo evaluadas

Los resultados de los relevamientos realizados durante el ciclo del cultivo se presentan en la tabla 23.

La distancia media entre líneas de siembra fue de 19,2 cm variando entre 15 y 21 cm. La mayoría de los productores sembró a 20 cm (53%) y a 21 cm (15%); un 21 % a 17,5 cm, sólo un 7% sembró a 15 cm. La distancia entre líneas no tuvo efecto sobre el rendimiento.

La altura de la lámina de agua en la chacra varió desde 0,4 a 13,4 cm, con una media de 5,8 cm. Como se dijo en la introducción, la utilización de taipas bajas permite un manejo de láminas de poca altura. Los desniveles dentro de las taipas estuvieron en el orden de 0 a 9,2 cm. Estos aspectos ligados al nivel de agua y su variabilidad, no presentaron efectos sobre el cultivo. Se ha observado en algunos trabajos que la falta de nivelación adecuada produce una mayor presencia de malezas como *Echinochloa sp.* y menor rendimiento (Dobermann, 1994).

Tabla 23. Estadística descriptiva para las variables analizadas. N = 123.

Variable	Unidad	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
Distancia entre líneas	cm	19,2	1,72	15	17,5	20	20	21
Nivel de lámina de agua	cm	5,8	3,04	0,4	3,3	5,3	7,9	13,4
Malezas (1 - 5)	-	1,5	0,65	1	1	1	2	3
Plagas (1 - 5)	-	1,1	0,27	1	1	1	1	2,5
Enfermedades (1 - 5)	-	1,1	0,32	1	1	1	1	2
Calificación (1 – 10)	-	7,8	1,37	4	7	8	9	10
pH agua en la arrocera	-	7,6	0,71	6,1	7	7,8	8	9,6
Nivelación	cm	3,8	1,85	0	2,3	3,5	4,8	9,2
Emergencia - Inicio riego	días	29	8	11	26	28	33	51
Tiempo de Riego	días	91	13	69	84	89	93	128

La inundación por riego comenzó en promedio a los 29 días de emergido el cultivo manteniendo la lámina por unos 91 días. Tanto el tiempo de emergencia a inicio del riego, como la duración del mismo no tuvieron relación con el rendimiento. Sin embargo, el retraso en el inicio del riego determinó un alargamiento del ciclo de emergencia a diferenciación ($r=0,59$; $p<0,001$).

El pH del agua en la arrocera mostró valores neutros a ligeramente alcalinos algo superior al de las aguas de riego (Tabla 23). El pH del agua en la arrocera es afectado por la respiración de las algas que alcalinizan el medio (Greenland, 1997).

El efecto de los factores que reducen el rendimiento como son las plagas, malezas y enfermedades se evaluó mediante una escala de severidad de 1 a 5. Siendo 1 el efecto nulo, o la ausencia del agente perjudicial, y 5 donde el daño debido al mismo fue total.

Las enfermedades y las plagas insectiles se presentaron en pocos casos y con poca importancia, por ello el valor medio en la escala de valoración fue de 1,1 para enfermedades y plagas con máximos de 2 a 2,5 y sin efectos sobre el rendimiento. Dentro de las enfermedades se detectó la presencia de manchas foliares en 8% de los sitios (*Cercospora sp.* y otras) y enfermedades del tallo en 5% (*Rizoctonia sp.*). Hacia el final del ciclo se observó una mayor incidencia de algunas enfermedades de tallo pero de baja severidad, por lo cual no se registraron daños importantes por estas enfermedades.

Los insectos perjudiciales detectados fueron orugas desfoliadoras (*Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*), gorgojos acuáticos (*Oryzophagus oryzae*), chiches (*Tibraca limbativentris*, *Oebalus poecilus*) y tucuras (*Dichroplus sp.*).

En relación a las malezas, se observó un buen control en la mayoría de los sitios. En algunos casos se registró la presencia de malezas a mediados de ciclo calificándolas con un máximo de 3 en la escala utilizada. El efecto sobre el rendimiento a ese nivel fue significativo (Figura 24). Como puede verse, un nivel medio o moderado de enmalezamiento a mediados de ciclo, aunque sea posteriormente controlado, reduce los rendimientos de manera significativa.

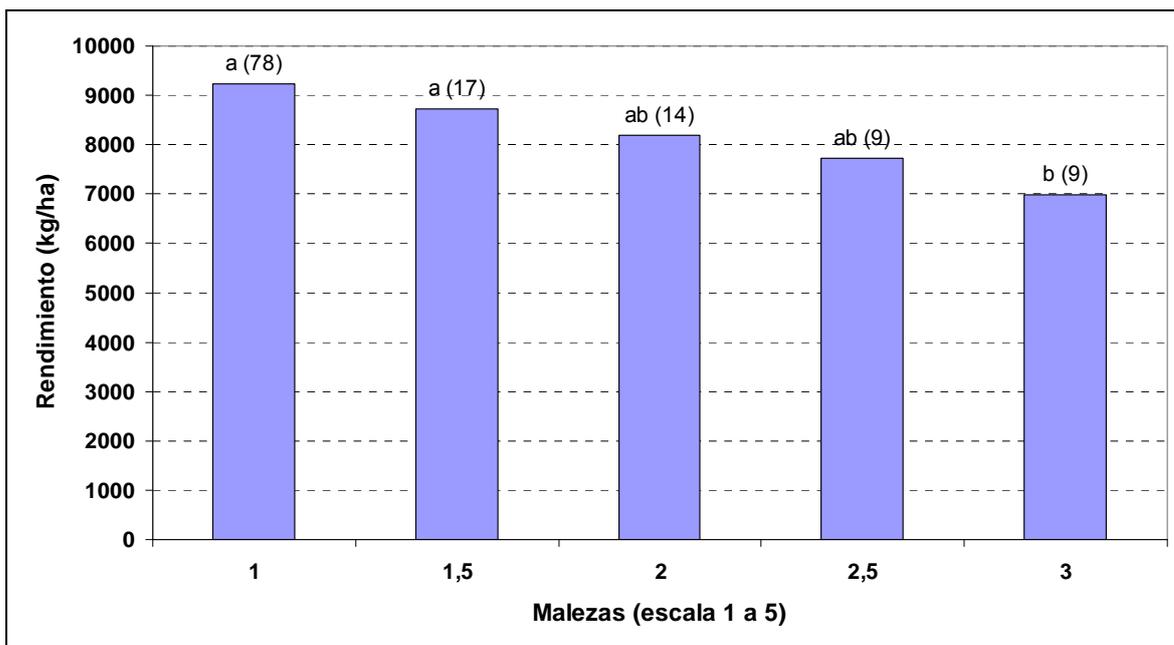


Figura 24. Efecto de las malezas presentes a mediados de ciclo sobre el rendimiento. Valores entre paréntesis son los números de observaciones para cada nivel de la escala. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$).

Las malezas más importantes y frecuentes fueron las gramíneas y dentro de ellas los capines (*Echinochloa* sp) también se suman las Brachiarias Digitarias Eragrostis y Paspalum. El arroz colorado (*Oriza sativa*) estuvo presente en 30 % de los sitios. Los *Cyperus* también fueron frecuentes junto con algunas malezas de hoja ancha como *Aeschynomene*, *Polygonum*, *Ipomoea* y *Vernonia*.

La evaluación subjetiva de la arrocera mediante una escala de 1 a 10, realizada a mediados de ciclo, se correlacionó significativamente con el rendimiento ($r=0,60$; $p < 0,001$). Para obtener rendimientos de 10 Mg/ha fue necesario que la arrocera se encuentre en un estado general muy bueno a mediados de su ciclo y que pueda ser calificado por un experto en 8,5 puntos o más (Figura 25). Dada la variabilidad observada ($CV=17\%$), la relación encontrada podría tener utilidad a nivel regional pero no a nivel de predio.

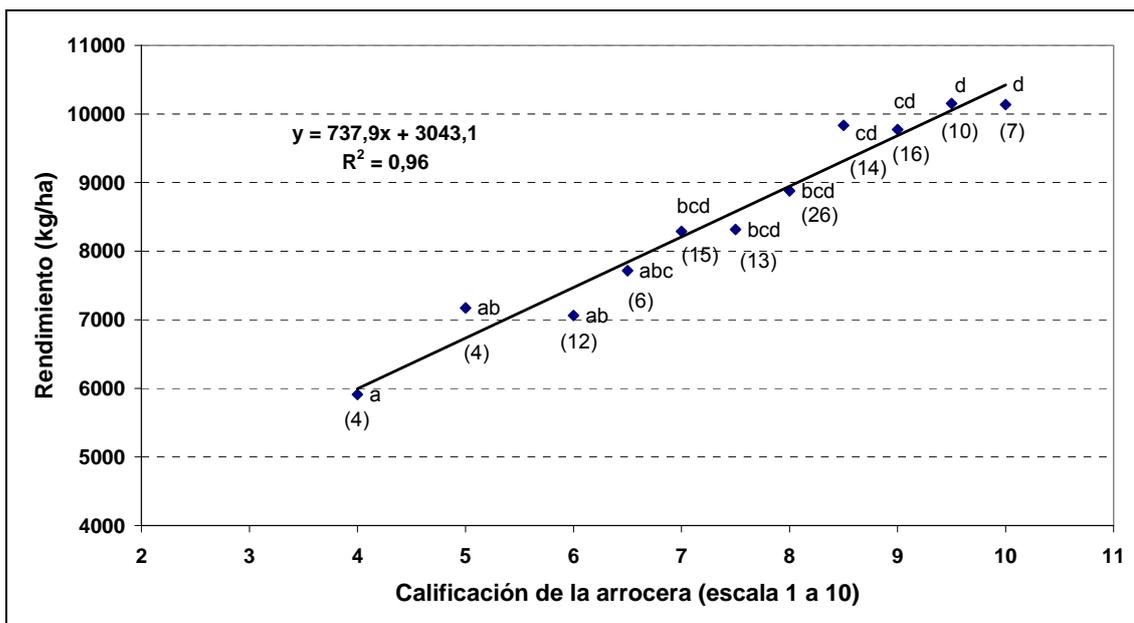


Figura 25. Relación entre la calificación de la arrocería a mediados de ciclo y el rendimiento final del cultivo. Valores entre paréntesis son los números de observaciones para cada nivel de la escala. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$).

Dentro de otras variables que hacen al manejo del cultivo se tuvieron en cuenta la rotación y los antecesores al cultivo analizado en los 5 años anteriores. Se consideró también la dosis de fertilizantes (NPK), el control de malezas, la fecha y densidad de siembra (Tabla 24)

Tabla 24. Estadística descriptiva para las variables analizadas. N = 174.

Variable	Unidad	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
Arroz en la rotación	%	39	32	0	20	40	60	100
Años arroz continuo	#	1,3	1,7	0	0	1	2	5
Densidad de Siembra	kg/ha	159	35	35	145	165	180	210
Dosis N	kg/ha	51	26	0	37	54	64	154
Dosis P	kg/ha	14	6	0	12	14	16	35
Dosis K	kg/ha	8	12	0	0	0	16	34
Malezas Gramíneas	#/m ²	3,1	6,2	0	0	0	2	35
Malezas Hoja Ancha	#/m ²	0,7	2,4	0	0	0	0	19,6

En general se cultiva el arroz en rotación en una media de 2 años cada 5. Pero la intensidad de cultivo de arroz varía de nula a 100% con similares

proporciones en cada nivel. En sólo un 13% de los sitios se observó arroz continuo y en 20 % se sembró arroz sin antecedentes cercanos o recientes de su cultivo.

El efecto de la intensidad de la rotación con arroz sobre el rendimiento, no fue significativo. Antiguamente, luego de varios años de arroz, los cultivos decaían principalmente por el aumento en la presión de malezas. En la actualidad el control de malezas es menos costoso y más efectivo por lo cual los problemas son menores. También se ha mostrado que cuando se riega con agua de pozos, el incremento del sodio en el suelo provoca problemas sobre la estabilidad estructural y deteriora la condición física (Benavidez y Wilson, 2006), aunque no se ha demostrado que esto afecte al cultivo. Sin embargo, el incremento en la salinidad y en el sodio intercambiable del suelo, mostró un efecto adverso sobre los rendimientos (Tabla 19).

De todas maneras el antecesor inmediato anterior tuvo cierto efecto sobre el cultivo de arroz siguiente (Tabla 25). Los mejores resultados se observaron en siembras sobre campo natural de 5 años o más y los peores sobre pasturas o praderas cultivadas. Es probable que esto esté relacionado a la duración del barbecho o la eficacia en la preparación de la tierra. En el caso de las praderas los productores mantienen lo más posible los animales en pastoreo y esto demora el comienzo de los laboreos hasta el invierno. En el caso del arroz, la soja o los campos naturales la preparación de la tierra comienza con mayor tiempo.

Tabla 25. Efecto del antecesor sobre el rendimiento del arroz. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0,05$).

Antecesor inmediato anterior	Rendimiento kg/ha
Pradera	8.328 a
Arroz	8.571 ab
Soja	8.879 ab
Campo Natural	9.287 b

Las fechas de siembra evaluadas fueron del 15 de septiembre hasta el 12 de diciembre pero la emergencia del cultivo se observó desde el 1^o de octubre al 22 de diciembre. Sólo 5 casos se presentaron con emergencias en diciembre, lo que pudo haber repercutido en menores rendimientos, el resto estuvo distribuido homogéneamente en octubre y noviembre, sin efecto sobre el rendimiento.

La densidad de siembra fue muy variable, los híbridos presentaron las menores densidades observadas, entre 35 y 80 kg/ha de semilla, mientras que las variedades se registraron de 110 a 210 kg/ha de simiente. Así es que se observaron eficiencias de siembra de 20 a 90 %, tanto de híbridos como de las variedades. El promedio de eficiencia fue del 42 %. En un 61 % de los sitios los productores realizaron un tratamiento de las semillas previo a la siembra consistente en mezclas variadas de fungicidas con fertilizantes líquidos que aportan básicamente Zn. Estos tratamientos no pudieron relacionarse con mejoras en el rendimiento o con el número de plantas logradas.

En lo que respecta a la fertilización, los productores utilizaron una dosis media de P de 14 kg/ha, se aplicó fósforo en casi todos los casos en dosis de hasta 35 kg/ha de P. Esto está relacionado a la existencia de respuestas consistentes al P en los otros cultivos más que en el arroz y a la baja disponibilidad natural de fósforo de los suelos. La correlación encontrada entre el P agregado y el rendimiento fue baja ($r=0,18$; $p=0,02$).

La utilización de K no fue frecuente dado que los ensayos realizados en Entre Ríos no han mostrado respuestas claras a la incorporación de este nutriente (De Batistta, 2006) y por que los suelos son considerados bien provistos; por ello más del 50 % de los productores no fertilizó con K y el resto lo hizo con dosis relativamente bajas.

En Entre Ríos, el N se utiliza de manera generalizada y solamente se restringe en lotes que se siembran sobre campos vírgenes. La dosis total media de N fue de unos 50 kg/ha, fraccionados 10 a 20% a la siembra, 50 a 60% previo a la inundación y 40-50% luego en diferenciación. La correlación entre la dosis de N y el rendimiento fue significativa ($r=0,26$; $p<0,001$). La relación entre la dosis de N y el rendimiento puede verse en la figura 26. El ajuste sobre los máximos describe la respuesta a N esperada cuando los

demás factores se encuentran cerca del óptimo. En estas condiciones la eficiencia de uso del N podría ser de 40 a 50 kg de grano por kg de N, valor que es superior al frecuentemente observado de 20 a 30 kg grano/kg N.

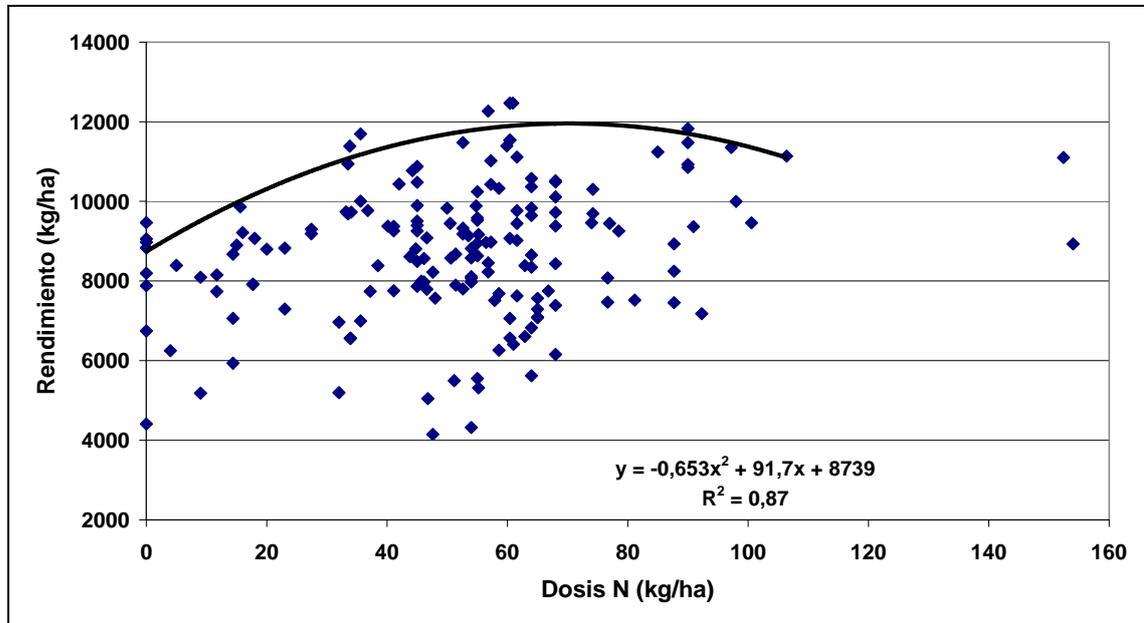


Figura 26. Relación entre la dosis total de N y el rendimiento.

La evaluación de malezas a fin del ciclo del cultivo mostró que en el 50 % de los casos el control de malezas fue excelente y no se registraron malezas a la cosecha. Solamente en un 25 % de los casos se presentaron malezas en un grado importante (Tabla 24). Las malezas gramíneas encontradas a cosecha se correlacionaron negativamente y significativamente con el rendimiento ($r = -0,47$; $p < 0,001$). Las malezas latifoliadas o de hoja ancha tuvieron un efecto menor ($r = -0,16$; $p = 0,03$).

El efecto de las malezas gramíneas puede verse claramente en la Figura 27. Por cada inflorescencia por metro cuadrado el rendimiento decayó en más de 200 kg/ha. Esto también fue observado por Casanova, et al. (2002) de manera similar, con pérdidas de 121 kg/ha.

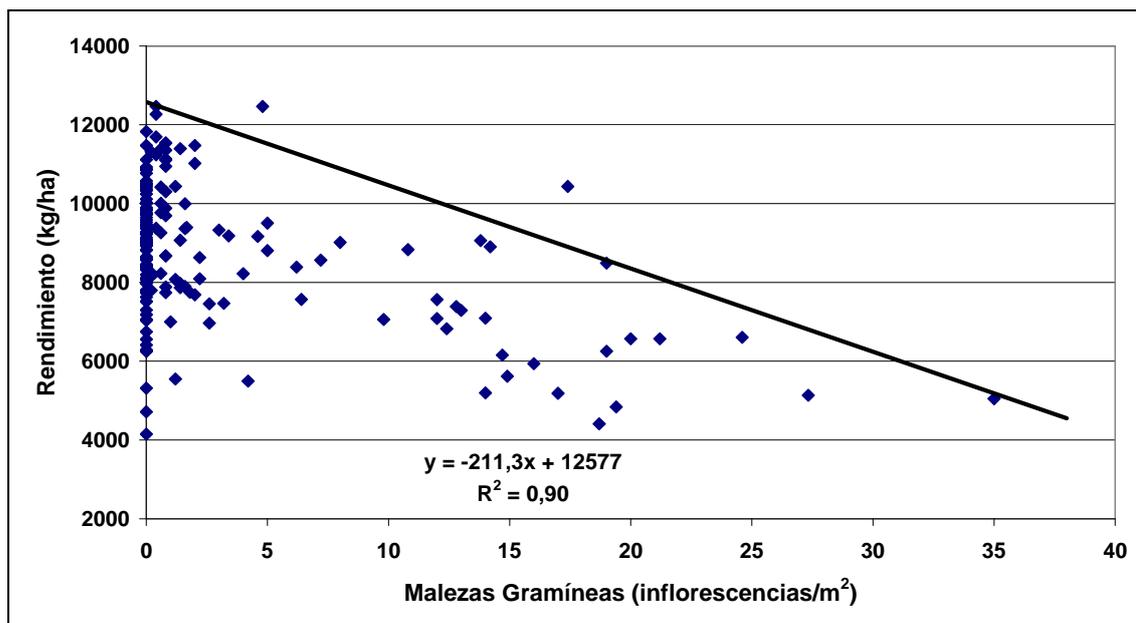


Figura 27. Relación entre el número de inflorescencias de malezas gramíneas presentes a la cosecha y el rendimiento del arroz.

IV.6.2.- Comparación entre mejores y peores productividades

Otra alternativa para comprender o entender que factores hacen a la mayor productividad del arroz en Entre Ríos es comparar los casos de alta productividad con los de baja productividad. Para esto se realizó un análisis de varianza y un test de comparación de medias entre las poblaciones de datos debajo del percentil 25 (<7740 kg/ha) y sobre el percentil 75 (>9770 kg/ha) en lo que hace a rendimiento de grano.

En la tabla 26 se pueden ver las principales diferencias en la estructura del cultivo para las dos poblaciones de datos. Partiendo de un número similar de plantas, los casos de alto rendimiento, mostraron un mayor macollaje logrando un significativo aumento en el número de panojas por unidad de superficie. A su vez estas panojas fijaron un mayor número de destinos y lograron más granos llenos y menor esterilidad. El peso de los granos no fue diferente entre grupos. Finalmente se observaron importantes diferencias en el rendimiento de grano y rastrojo, pero al mismo tiempo la partición fue más favorable hacia el grano en los casos de alta productividad con un índice de cosecha de 54%.

Tabla 26. Diferencias en las variables estructurales del cultivo para los conjuntos de datos P25 (n= 45) y P75 (n=45) en rendimiento.

Variable	Unidad	Casos de baja productividad	Casos de alta productividad
Plantas	# / m ²	201 a	218 a
Macollos	# / m ²	544 a	684 b
Macollos/planta	#	3,1 a	3,6 a
Panojas	# / m ²	402 a	491 b
Granos Vanos/panoja	#	16 a	17 a
Granos llenos/panoja	#	73 a	94 b
Total granos/panoja	#	90 a	111 b
Esterilidad	%	18,8 a	15,0 b
Peso de 1000 granos	g	26,5 a	26,3 a
Rastrojo	kg/ha	5685 a	7999 b
Rendimiento en grano	kg/ha	6427 a	10782 b
Indice de cosecha	%	49,9 a	54,0 b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0,05$)

Las principales diferencias entre los grupos en lo que respecta a las variedades sembradas están dadas por el hecho que en el grupo de altos rendimientos no se observó ningún caso con la variedad Yeruá, así como no hubo híbridos en el grupo de bajo rendimiento (Tabla 27). Yeruá es una variedad de grano doble tipo japónica y de menor potencial de rendimiento cultivada en los peores ambientes, mientras que los híbridos son de mayor potencial y se cultivan en los mejores campos y con las mejores técnicas por el elevado costo de las semillas. El resto de las variedades se sembraron en proporciones variadas pero con mayor participación de Cambá, Supremo 13 y Taim en los sitios más productivos.

Tabla 27. Porcentaje de casos con cada variedad para los conjuntos de datos P25 (n= 45) y P75 (n=45) en rendimiento.

Variedad	Casos de baja productividad	Casos de alta productividad
Yeruá	21,9	0,0
Puitá-IG417	3,1	4,3
RP2	43,8	21,3
Paso 144	15,6	17,0
Cambá	6,3	21,3
Supremo 13	6,3	14,9
Taim	3,1	6,4
Híbridos	0,0	14,9

En esencia, las características de los suelos para los dos grupos fueron similares (Tabla 28). Solamente el Mn fue más disponible en los sitios de mayor rendimiento. Los sitios de bajo rendimiento se ubicaron en suelos de pH y salinidad más elevada, ligado a una mayor participación del Ca y el Na en el complejo de cambio, pero sin mostrar valores medios muy elevados. Es decir que el grupo de productores de bajos rendimientos podría haber obtenido mejores resultados en esos suelos con prácticas de manejo apropiadas, hecho que puede verse en la tabla 29. Las principales diferencias de manejo estuvieron dadas por la presencia de malezas a mediados y fines de ciclo en los casos de baja productividad. Se observó un mayor grado de enfermedades en los casos de alta productividad, posiblemente relacionado a una mayor densidad de tallos. Otros factores como nivel de agua, nivelación, intensidad de arroz en la rotación, no tuvieron un efecto significativo.

Tabla 28. Diferencias entre los suelos donde se observaron bajas y altas productividades, para los conjuntos de datos P25 (n= 45) y P75 (n=45) en rendimiento.

Variable	Unidad	Casos de baja productividad	Casos de alta productividad
Materia Orgánica	%	3,54 a	3,96 a
pH	-	6,5 a	6,0 b
P disponible	mg/kg	8,5 a	8,3 a
NO ₃	mg/kg	44 a	73 a
Cond. Eléctrica	dS/m	1,38 a	0,80 b
Arcilla	%	35 a	32 a
Limo	%	57 a	55 a
Arena	%	7 a	13 a
CIC	cmol ₍₊₎ /kg	27,6 a	26,3 a
Ca intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	17,1 a	14,4 b
Mg intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	4,0 a	3,9 a
K intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	0,65 a	0,60 a
Na intercambiable	cmol ₍₊₎ /kg	1,40 a	0,65 b
Zn disponible	mg/kg	1,2 a	1,1 a
Cu disponible	mg/kg	2,9 a	2,7 a
Fe disponible	mg/kg	68,9 a	84,8 a
Mn disponible	mg/kg	100 a	133 b
B disponible	mg/kg	1 a	0,77 b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0,05$)

La densidad de siembra más baja en los casos de alto rendimiento estuvo relacionada a la utilización de híbridos en baja densidad de siembra.

Otro punto importante fue la mayor dosis de N que se aplicó en los casos de mayor productividad, sin diferencias en las dosis de P y de K.

Un buen control de malezas permitió la entrada del agua unos días más tarde en los casos de mejor rendimiento.

En lo que respecta a las fechas de las tareas y estadios, los casos de menor productividad mostraron un atraso en la siembra de unos 6 días que no fue significativa (Tabla 30).

Tabla 29. Comparaciones entre el manejo, para los conjuntos de datos P25 (n= 45) y P75 (n=45) en rendimiento.

Variable	Unidad	Casos de baja productividad	Casos de alta productividad
Distancia entre líneas	cm	19 a	19 a
Nivel de lámina de agua	cm	6,6 a	6,1 a
Malezas (1 - 5)	-	1,8 a	1,2 b
Plagas (1 - 5)	-	1,2 a	1,0 a
Enfermedades (1 - 5)	-	1,1 a	1,3 b
Calificación (1 – 10)	-	6,6 a	8,6 b
pH agua en la arrocera	-	7,8 a	7,6 a
Nivelación	cm	3,8 a	4,3 a
Emergencia - Inicio riego	días	27 a	32 b
Tiempo de Riego	días	91 a	90 a
Arroz en la rotación	%	47 a	34 a
Años arroz continuo	#	1,4 a	1,1 a
Densidad de Siembra	kg/ha	171 a	146 b
Dosis N	kg/ha	50 a	62 b
Dosis P	kg/ha	14 a	15 a
Dosis K	kg/ha	10 a	7 a
Malezas Gramíneas	# / m ²	8 a	1 b
Malezas Hoja Ancha	# / m ²	1 a	0 b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0,05$)

Tabla 30. Comparaciones entre Fechas significativas, para los conjuntos de datos P25 (n= 45) y P75 (n=45) en rendimiento.

Fecha	Casos de baja productividad	Casos de alta productividad
Siembra	21-octubre	15-octubre
Emergencia	5-noviembre	28-octubre
Diferenciación	6-enero	1-enero
Floración	7-febrero	25-enero
Madurez	12-marzo	3-marzo

IV. 7.- ASPECTOS NUTRICIONALES

IV.7.1.- Introducción

Un aspecto que frecuentemente limita el rendimiento de los cultivos es la nutrición o el estado nutricional. El arroz en Entre Ríos puede cultivarse exitosamente sin fertilizantes solamente cuando se siembra en campos vírgenes. Debido a la expansión de la agricultura y a la protección de los montes remanentes, cada vez es menos frecuente la siembra sobre campos nuevos o descansados. La intensificación de la agricultura en los últimos años lleva a que la mayoría del arroz se cultive en campos con varios años de agricultura donde el rendimiento está limitado si no se fertiliza.

Las limitantes de fertilidad en los suelos arroceros no son tan graves como para impedir la producción, pero sí para reducir severamente los rendimientos, al punto de transformarla en antieconómica. Los costos de producción según diversas fuentes atribuyen a la fertilización entre el 10 y el 15 % del costo operativo total, incidencia muy similar a los EE.UU y el Brasil, de sistemas de cultivo semejantes. Mayor eficiencia agronómica y económica, puede obtenerse mediante un buen diagnóstico de fertilidad para determinar las cantidades y formas de aplicación, de las formulaciones recomendadas.

El arroz es un cultivo extensa e intensamente fertilizado con mezclas arrancadoras a base de N-P-K, y con urea en estadios posteriores del crecimiento. Sin embargo, existen diferencias entre las distintas regiones, en cuanto a las prácticas de fertilización. Los suelos arroceros de Corrientes son muy deficientes en fósforo y potasio disponible, por eso, la mayor parte de las arroceras aplican una mezcla de fósforo y potasio como arrancador a la siembra, de formulación equivalente a 5-30-15, 5-30-20 o similares, con cantidades que oscilan entre 130 a 180 kg/ha. Los requerimientos de nitrógeno son complementados por aplicaciones aéreas o terrestres de urea más tardías, en cantidades que varían entre 70 a 120 kg/ha en 1 o 2 aplicaciones. Los arroceros de Entre Ríos fertilizan con fosfato diamónico (o monoamónico) a la

siembra, en menor medida que en Corrientes y generalmente no aplican potasio.

La principal característica diferencial en la nutrición del arroz, respecto a otros cultivos, es que se trata de un cultivo que transcurre un periodo de su ciclo en condiciones anaeróbicas. El arroz se siembra en condiciones oxidadas, germina y transcurre las primeras etapas vegetativas en estas condiciones, pero luego de los 20 a 40 días de emergido, es inundado con una lámina de agua superficial de 5 a 15 cm hasta fines del período reproductivo. Esta alternancia de condiciones aireadas a reducidas determina cambios electroquímicos en el suelo que afectan la dinámica y disponibilidad de los nutrientes. Además implica que hay que nutrir al arroz en condiciones aeróbicas en estadios tempranos y en condiciones reducidas a partir de la inundación.

En la primera etapa, en condiciones aeróbicas, la materia orgánica se mineraliza a un ritmo determinado por la humedad y la temperatura del suelo; el N disponible se encuentra en forma de NO_3^- , los cationes (K^+ , Ca^+ , Mg^+) están mayormente adsorbidos en el complejo de cambio y los micro elementos están más o menos disponibles en función del pH. El abastecimiento de P depende de su disponibilidad y facilidad de difusión hacia las raíces.

Mientras que cuando el suelo es inundado, primeramente se agota el O_2 ; luego se reduce el Mn^{3+} a Mn^{2+} y se desnitrifican los NO_3^- reducidos a N_2 . A medida que disminuye el potencial oxido-reducción, el Fe^{3+} pasa a Fe^{2+} y los SO_4^{2-} a H_2S , mientras que el pH del suelo tiende a la neutralidad. Es un proceso que puede tomar 18 a 32 días para llegar a una condición estable. En estas condiciones y en términos generales, en el suelo inundado aumentaría la disponibilidad de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Mo y podría disminuir la de Zn, S y Cu.

La planta de arroz está adaptada para crecer en estas condiciones generando un aerénquima en sus tallos a través del cual puede llegar el oxígeno a las raíces para la respiración de sus células y en cantidades excedentes como para liberarlo en la rizósfera. En estas condiciones de oxigenación se genera acidez en la rizósfera debido a dos procesos:

a) oxidación del Fe (II) y otros elementos reducidos por la liberación de O_2 en la raíz, según la siguiente reacción:



b) exportación de H^+ desde la raíz para balancear la absorción de cationes sobre aniones bajo una nutrición de N como NH_4^+ .

De ésta manera el arroz evita la intoxicación con elementos disponibles en cantidades excesivas por la anaerobiosis como el Fe y el Mn, y además favorece la solubilidad de compuestos de P o de Zn. Por esto, es fundamental mantener un sistema radical saludable y bien nutrido mediante una fertilización balanceada.

IV.7.2- Concentración de elementos durante el ciclo del cultivo

Una manera de evaluar el estado nutricional de los cultivos es mediante la determinación de la concentración de los nutrientes minerales. De esta manera se obtiene un valor que es comparado con tablas de referencia, o con los rendimientos alcanzados, y así es posible diagnosticar si el mismo es normal, alto o bajo. Los valores observados se presentan resumidos en la tabla 31.

Tabla 31. Estadística descriptiva para los resultados de muestras vegetales colectadas durante el ciclo del cultivo.

Variable	Unidad	n	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
Mat. Seca	kg/ha	125	4256	3202	87	2080	3391	5900	18606
N	%	125	1,72	0,63	0,70	1,27	1,54	2,14	3,65
P	%	104	0,20	0,04	0,08	0,17	0,20	0,22	0,32
K	%	104	1,76	0,50	0,48	1,52	1,75	1,96	2,95
Ca	%	83	0,31	0,14	0,07	0,20	0,32	0,41	0,63
Mg	%	83	0,17	0,06	0,08	0,13	0,15	0,20	0,36
Na	%	83	0,21	0,15	0,04	0,13	0,15	0,21	0,78
Mn	ppm	83	334	142	69	232	317	433	884
B	ppm	83	32	12	5	24	33	42	62
Fe	ppm	83	150	118	59	88	111	156	686
Zn	ppm	104	17,0	9,8	4,5	10,7	14,2	19,0	49,1
Cu	ppm	83	3,5	1,2	1,0	2,7	3,5	4,4	6,8

Como puede apreciarse, considerando los valores de materia seca producida, el muestreo abarcó desde estadíos tempranos de inicio de macollaje

hasta floración y principios de llenado de grano. Sin embargo, la mayoría de las muestras fueron tomadas a fines del período vegetativo y principios del reproductivo, por lo cual el rango de variación fue similar al informado por Fageria y Breseghello (2004) para muestras tomadas en diferenciación en Brasil.

Dentro de los elementos analizados, solamente la concentración de K mostró una correlación significativa con el rendimiento final ($r=0,32$; $p<0,001$). El N respondió a la curva de dilución planteada por Greenwood et al. (1990) y es analizado especialmente más adelante. El resto de los elementos no tuvo este comportamiento.

Considerando que las concentraciones de los elementos que permitieron alcanzar un rendimiento de 10 Mg/ha o más, constituyen un rango óptimo es posible analizar los resultados en este marco.

Se observó más de un 20 % de valores de K por debajo del óptimo, más de 50 % de valores que podrían interpretarse como altos en Mg y un 30 % de valores altos en Na.

El P se presentó en valores normales en la mayoría de los casos. Esto podría deberse a que la mayoría de los productores aplica una cantidad razonable de fertilizante con P y a la liberación de P que acontece cuando el suelo se inunda, lo que garantiza una buena nutrición con este elemento.

Las concentraciones de micro nutrientes en el ciclo del cultivo se presentaron mayormente dentro de los valores normales, con pocos casos deficientes o excesivos. Esto no quiere decir que no ocurran deficiencias como la de Zn, dado que ha sido establecido que la misma se produce por un exceso de Ca mas que por una carencia del elemento (Quintero et al. 2006).

IV.7.2.1.- Nitrógeno

Sin lugar a dudas el N es el elemento crítico para la producción de arroz, por la cantidad requerida y por el impacto que tiene sobre los rendimientos.

Curvas de dilución de N. Marco conceptual

La concentración de N declina cuando los cultivos crecen según la siguiente función:

$$N = a W^{-b}$$

Donde W es la biomasa expresada en t/ha y N es la concentración de nitrógeno en porcentaje. El coeficiente “a” representa la concentración de N cuando la masa del cultivo es 1 t/ha y el coeficiente “b” es adimensional. Se puede obtener una curva de dilución crítica que permite conocer cual es la concentración mínima de N que permite alcanzar la máxima tasa de crecimiento del cultivo:

$$N_c = a_c W^{-b}$$

y para las distintas especies hay curvas características (Tabla 32)

Tabla 32. Valores de los coeficientes de la ecuación $N_c = a_c W^{-b}$ para diferentes especies. Tomado de Lemaire et al. (2008).

Especie	a_c	b
Pasturas templadas C3	4,8	0,32
Alfalfa C3	4,8	0,33
Trigo C3	5,3	0,44
Arroz C3	5,2	0,52
Maíz C4	3,4	0,37
Sorgo C4	3,9	0,39
Pasturas tropicales C4	3,6	0,34

El coeficiente a_c es muy diferente para especies C3 y C4 reflejando la diferente vía metabólica, pero es relativamente constante dentro de cada grupo.

Dado que existe una curva crítica de absorción de N , para cada situación y momento del cultivo, es posible determinar un índice de nutrición nitrogenada (INN) como la relación entre la absorción actual de N (N_a) y la absorción crítica de N (N_c) para la biomasa actual (W_a) (Lemaire et al. 2008). El INN puede determinarse también a partir de la concentración de N y las curvas de dilución.

$$\text{INN} = N_a/N_c = \%N_a/\%N_c$$

Valores de INN cercanos a 1 indican una buena nutrición, no limitante en N. Valores superiores a 1 indican consumo de lujo de N. Valores menores a 1 indican deficiencias de N, la intensidad de la deficiencia depende del valor del índice. Un valor de 0,6 significa que la disponibilidad de N para el cultivo es de un 60 % del valor crítico.

El trabajo de Sheehy, et al. (1998) muestra que la curva de dilución de N para arroz es independiente de la región climática considerada (Filipinas, Australia o China). Quiere decir que la captura de C y N es similar para distintos ambientes, independientemente del resultado final al que se llega.

En los años de 2004 a 2008 se colectaron 284 muestras de plantas enteras en distintos estadios fenológicos, para caracterizar la relación entre la biomasa producida y la concentración de N. Las observaciones realizadas muestran que la distribución de los datos sigue un patrón de dilución como el planteado por Greewood et al. (1990) (Figura 28). Sin embargo, las concentraciones de N están mayormente por debajo del valor crítico u óptimo para altos rendimientos. Calculando el índice de nutrición nitrogenada como lo propone Lemaire et al. (2008), se observó que la concentración media de N fue de un 0,57 ($\pm 0,16$) % de la óptima o crítica para altos rendimientos determinada por Sheehy et al. (1998). El índice tomó estos valores a lo largo de todo el ciclo del cultivo, no habiendo evidencias de mayor o menor disponibilidad en algún período o estadio fenológico.

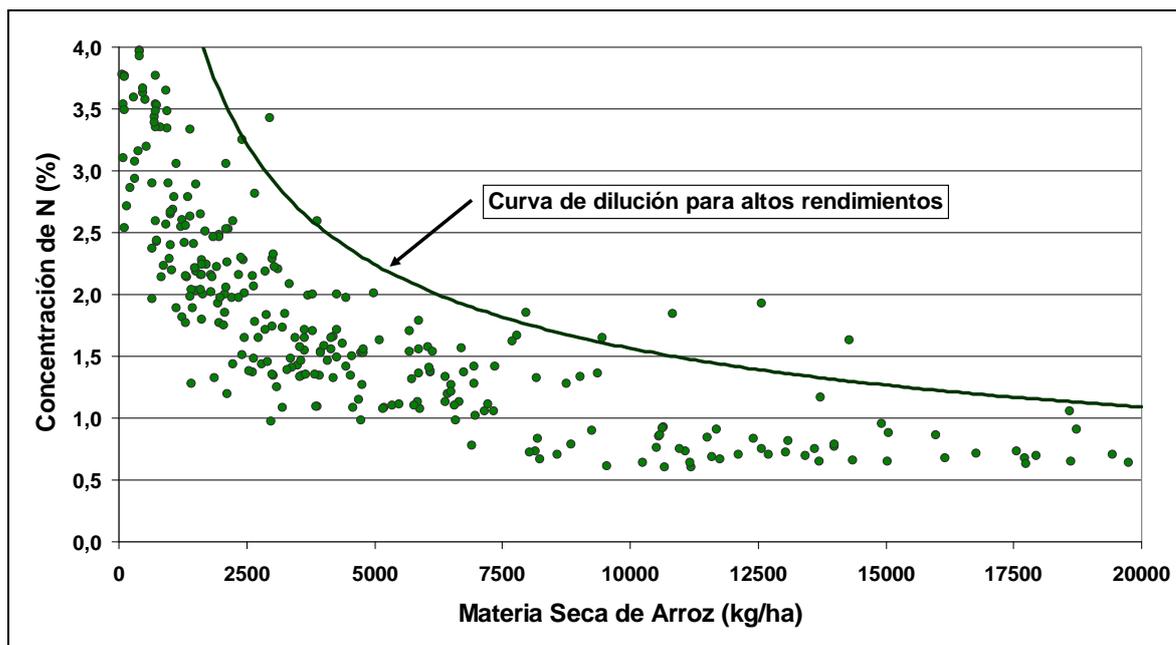


Figura 28. Curva de dilución de N tomada de Sheehy, et al. (1998), y datos de arroceras de Entre Ríos 2004-2008 (n=284).

IV.7.3.- Concentración de elementos a cosecha

El análisis de la composición elemental a cosecha permite conocer las demandas nutritivas del cultivo en las condiciones locales. En la tabla 33 se pueden apreciar los resultados obtenidos en los análisis realizados a los rastrojos y en la tabla 35 en los granos.

Concentración en Rastrojos

Los valores medios obtenidos de concentración de elementos a cosecha se compararon con los publicadas por Dobermann y Fairhurst (2000) para Asia. Los análisis químicos de los rastrojos de arroz en Entre Ríos, mostraron valores promedios algo más bajos en N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn; y más altos en B y Cu que en Asia, tal como puede apreciarse en la tabla 34.

Tabla 33. Estadística descriptiva para los resultados de muestras vegetales de rastrojos colectadas en madurez del cultivo.

Variable	Unidad	n	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
N	%	166	0,50	0,12	0,24	0,42	0,49	0,59	0,86
P	%	145	0,08	0,03	0,02	0,06	0,07	0,09	0,19
K	%	145	1,27	0,50	0,27	0,93	1,30	1,62	2,54
Ca	%	124	0,29	0,05	0,16	0,26	0,29	0,33	0,43
Mg	%	124	0,17	0,07	0,02	0,12	0,16	0,22	0,36
Na	%	115	0,29	0,23	0,08	0,13	0,19	0,42	1,00
Mn	ppm	124	453	159	152	333	450	557	877
B	ppm	124	27,5	11,0	5,9	18,0	29,8	35,8	70,8
Fe	ppm	124	99,3	55,5	50,4	66,6	81,9	109,4	351,7
Zn	ppm	145	22,9	10,4	7,7	13,0	19,8	33,9	48,2
Cu	ppm	124	4,9	2,0	1,2	3,0	5,0	6,4	10,1

Tabla 34. Concentración media de elementos en el rastrojo. Cuadro comparativo.

	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	B (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
Media E.R.	0,50	0,08	1,3	0,29	0,17	453	28	99	23	5
Asia	0,65	0,10	1,4	0,30	0,20	450	10	350	30	3

La concentración de K en el rastrojo se correlacionó significativamente con el rendimiento ($r=0,53$; $p<0,001$) y en menor medida también el Mn ($r=0,26$; $p=0,004$). No hubo correlación entre el rendimiento y los otros elementos.

Concentración en Granos

En Entre Ríos, la concentración media en el grano de N, K, Mg, B, Fe y Cu fue menor a la normal de Asia; con valores mas altos en Ca, Mn y Zn (Tabla 36). No se observó ninguna asociación significativa entre la concentración de nutrientes en grano y el rendimiento.

Tabla 35. Estadística descriptiva para los resultados de muestras de granos de arroz colectados en madurez del cultivo.

Variable	Unidad	n	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
N	%	177	0,92	0,14	0,58	0,83	0,91	0,99	1,28
P	%	156	0,23	0,05	0,12	0,19	0,23	0,27	0,37
K	%	155	0,23	0,07	0,07	0,19	0,22	0,28	0,43
Ca	%	134	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	0,11	0,33
Mg	%	134	0,13	0,04	0,02	0,10	0,13	0,15	0,22
Na	%	134	0,05	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07
Mn	ppm	134	87	33	39	64	79	102	228
B	ppm	134	21,4	5,1	5,6	20,0	21,9	23,9	38,5
Fe	ppm	134	52,5	15,0	28,3	42,4	50,4	61,4	104,0
Zn	ppm	155	24,4	12,6	11,3	15,8	20,3	31,5	86,0
Cu	ppm	134	5,0	2,0	1,3	3,3	5,7	6,6	8,7

Tabla 36. Concentración media de elementos en el grano. Cuadro comparativo.

	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	B (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
Media E.R.	0,92	0,23	0,23	0,10	0,13	87	21	53	24	5
Asia	1,10	0,20	0,29	0,05	0,15	50	50	250	20	10

Consumo de nutrientes

En base a las concentraciones de los elementos en el grano y en el rastrojo, y conociendo los rendimientos, fue posible calcular la demanda de elementos por tonelada de grano; es decir la cantidad de nutrientes que debe absorber toda la planta para producir 1 Mg de arroz (Tabla 37). Para las condiciones analizadas en Entre Ríos, con relativamente bajas dosis de fertilizantes, los consumos de los principales elementos son más bajos que los publicados por Ciampitti y Garcia (2007) (Tabla 38).

Tabla 37. Estadística descriptiva para los consumos de nutrientes por tonelada de grano producido a 14% de humedad.

Variable	Unidad	n	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
N	kg	166	13	2,6	8	12	13	15	24
P	kg	145	3	0,7	2	2	3	3	6
K	kg	145	12	4,7	4	9	12	15	31
Ca	kg	124	3	0,8	2	3	3	4	7
Mg	kg	124	3	0,8	1	2	3	3	5
Na	kg	115	3	1,9	1	1	2	3	11
Mn	g	124	456	174	192	331	410	549	949
B	g	124	44	14	15	34	44	52	86
Fe	g	124	133	58	77	98	113	141	428
Zn	g	145	39	15	18	26	36	47	104
Cu	g	123	9	2	5	8	9	10	16

El rendimiento estuvo correlacionado con un mayor consumo de K ($r=0,27$; $p<0,001$), pero de manera negativa con mayores consumos de B ($r= -0,38$; $p<0,001$) y Mg ($r=-0,27$; $p=0,003$).

Tabla 38: Consumo de nutrientes por tonelada de grano a 14% de humedad. Cuadro comparativo.

	N (kg/tn)	P (kg/tn)	K (kg/tn)	Ca (kg/tn)	Mg (kg/tn)	Mn (g/tn)	B (g/tn)	Fe (g/tn)	Zn (g/tn)	Cu (g/tn)
Media E.R.	13	3	12	3	3	456	44	133	39	9
Normal Asia	15	3	15	4	3	439	13	439	44	11
Normal USA	19	3	23	2	2	325	14	307	35	24

En un trabajo realizado por Witt, et al. en 1999, donde analizaron más de 2000 muestras de arroz en Asia, encontraron que el consumo promedio de N, P y K fue de 14,7, 2,6 y 14,5 kg de nutrientes por tonelada de grano respectivamente. Sin embargo, la eficiencia interna (kg de grano por kg de nutriente absorbido), que es la inversa del consumo, fue muy variable sobre todo para P y K. El rango de variación medio fue de 42 a 96 kg grano por kg de N; 206 a 622 kg de grano por kg de P y 36 a 115 kg grano por kg de K. Estos valores representan la máxima dilución y la máxima acumulación de cada

elemento respectivamente. Las observaciones cercanas a la máxima dilución evidencian que el nutriente limita el rendimiento dado que se aprovecha con alta eficiencia. En cambio, cuando se observa una alta acumulación de un nutriente, el rendimiento está limitado por otro factor o el nutriente es proporcionado por el suelo o los fertilizantes en altas cantidades. Las figuras 29, 30 y 31 muestran las observaciones realizadas en Entre Ríos y los límites de máxima dilución y acumulación propuestos por Witt et al (1999). Como puede apreciarse en la figura 29, los resultados registrados en Entre Ríos se presentan alineados mayormente sobre la recta de máxima dilución, con pocos valores de alta acumulación. Esto estaría indicando algún grado de deficiencia o limitación por parte del N. En el caso del P (Figura 30), las observaciones se presentan bien distribuidas dentro del rango de valores propuesto por Witt et al (1999). El K muestra una excesiva dilución en algunos casos con valores por encima de la recta de Witt et al (1999), lo que indicaría una gran deficiencia (Figura 31).

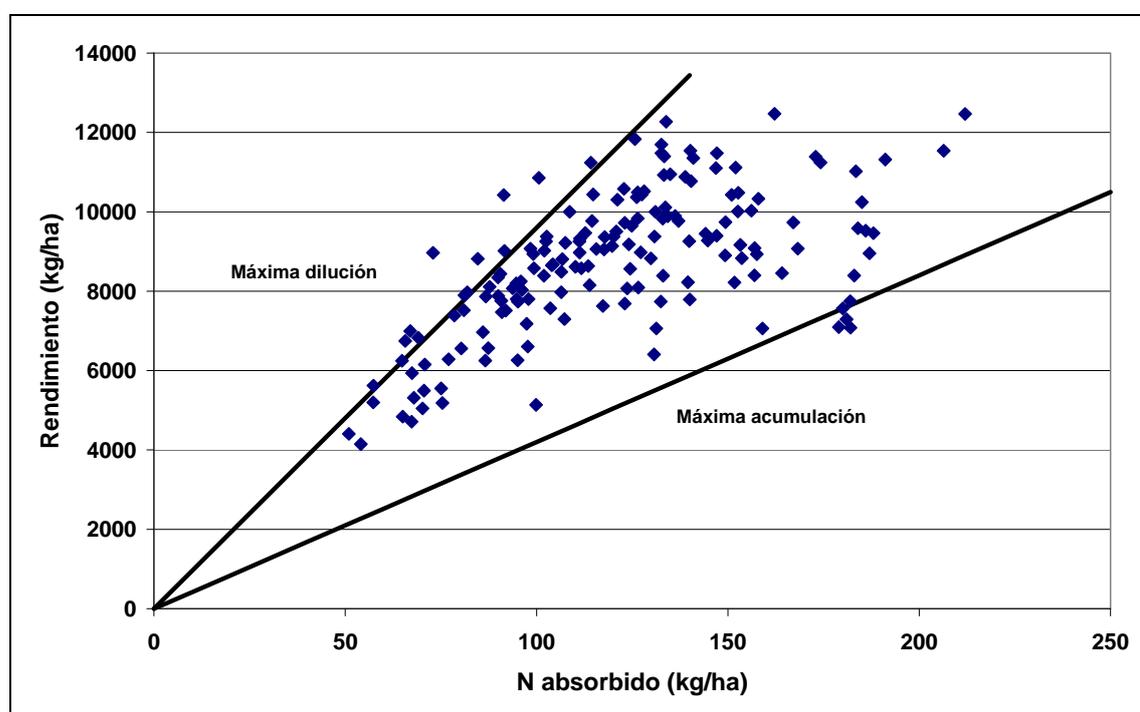


Figura 29. Relación entre la cantidad total de N absorbida por el cultivo y el rendimiento alcanzado. Líneas de máxima acumulación y dilución tomadas de Witt et al. (1999).

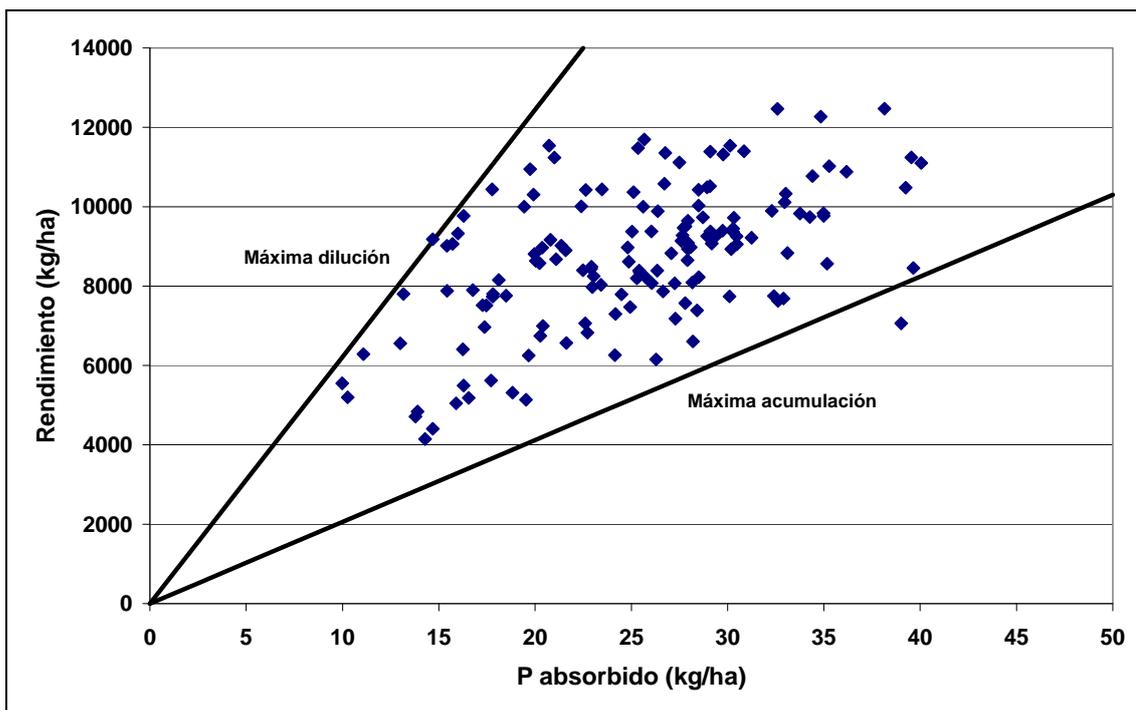


Figura 30. Relación entre la cantidad total de P absorbida por el cultivo y el rendimiento alcanzado. Líneas de máxima acumulación y dilución tomadas de Witt et al. (1999).

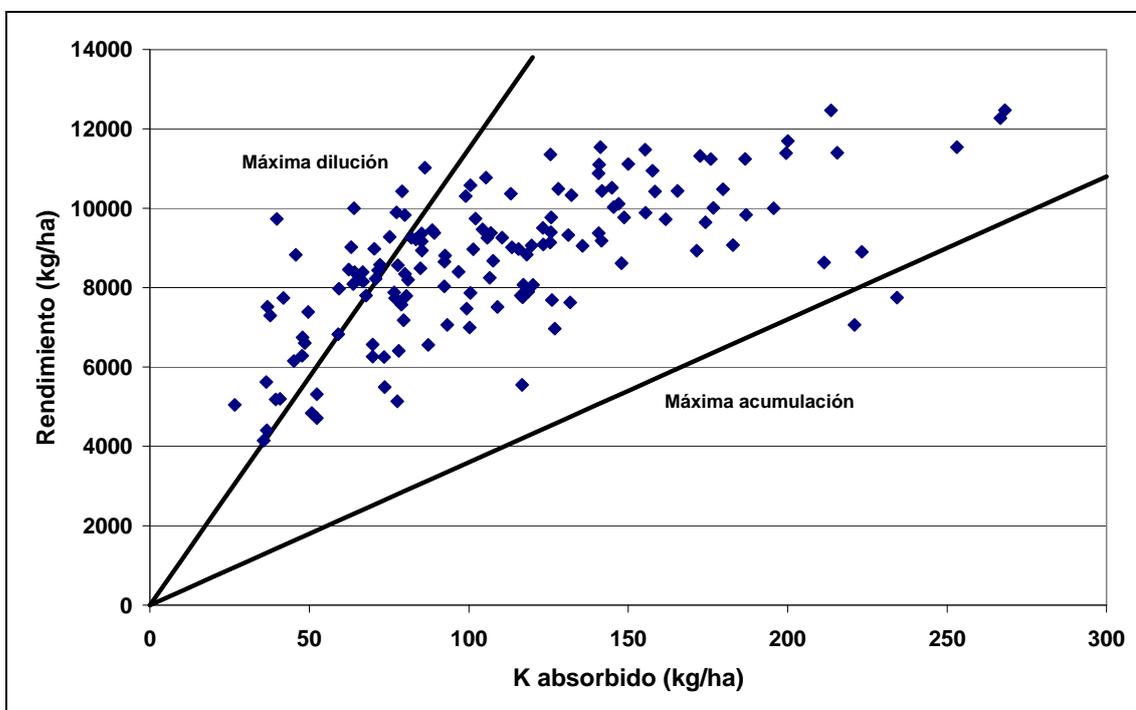


Figura 31. Relación entre la cantidad total de K absorbida por el cultivo y el rendimiento alcanzado. Líneas de máxima acumulación y dilución tomadas de Witt et al. (1999).

Indices de cosecha de nutrientes

De la cantidad de nutrientes requerida por el arroz, según lo mostrado en la tabla 37, la proporción que se retiró en los granos es la que se presenta en la tabla 39. Como puede verse, los nutrientes como el P, el N y en Zn, son cosechados en gran proporción y retirados del sistema. Mientras que los cationes alcalinos (K, Ca y Na) quedan mayormente en el rastrojo. La diferencia entre estos elementos se puede visualizar en las figuras 32, 33, 34 y 35, que muestran las curvas de producción de biomasa y la absorción de nutrientes durante el ciclo del cultivo

Tabla 39. Estadística descriptiva para el índice de cosecha de nutrientes. Valores en por ciento.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	P(25)	P(50)	P(75)	Máx
N	166	70	7	47	66	71	75	82
P	145	75	9	49	70	76	81	92
K	145	20	8	6	15	19	24	52
Ca	124	29	9	10	24	29	34	58
Mg	124	49	16	7	37	50	60	94
Na	79	19	8	5	13	17	25	36
Mn	124	21	7	8	16	19	25	38
B	124	51	12	27	42	50	57	83
Fe	124	42	11	19	34	42	50	70
Zn	145	58	11	29	50	58	65	85
Cu	124	55	20	12	37	60	72	86

Tabla 40: Indices de Cosecha del nutriente (%). Cuadro comparativo.

	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Fe	Zn	Cu
Media E.R.	70	75	20	29	49	21	51	42	58	55
Normal Asia	60	66	15	13	43	10	33	40	40	75
Normal USA	66	84	26	4	42	16	50	57	50	92

IV.7.4.- Curvas de acumulación de materia seca y nutrientes

A partir de los muestreos realizados en distintos momentos del ciclo del cultivo y los análisis de concentración de elementos realizados, fue posible construir curvas de producción de materia seca y acumulación de nutrientes para un rendimiento de 10 Mg/ha. A partir de estas curvas se puede ver diferencias entre las tasas de acumulación de nutrientes y materia seca, así como las diferencias entre los nutrientes con distinto índice de cosecha.

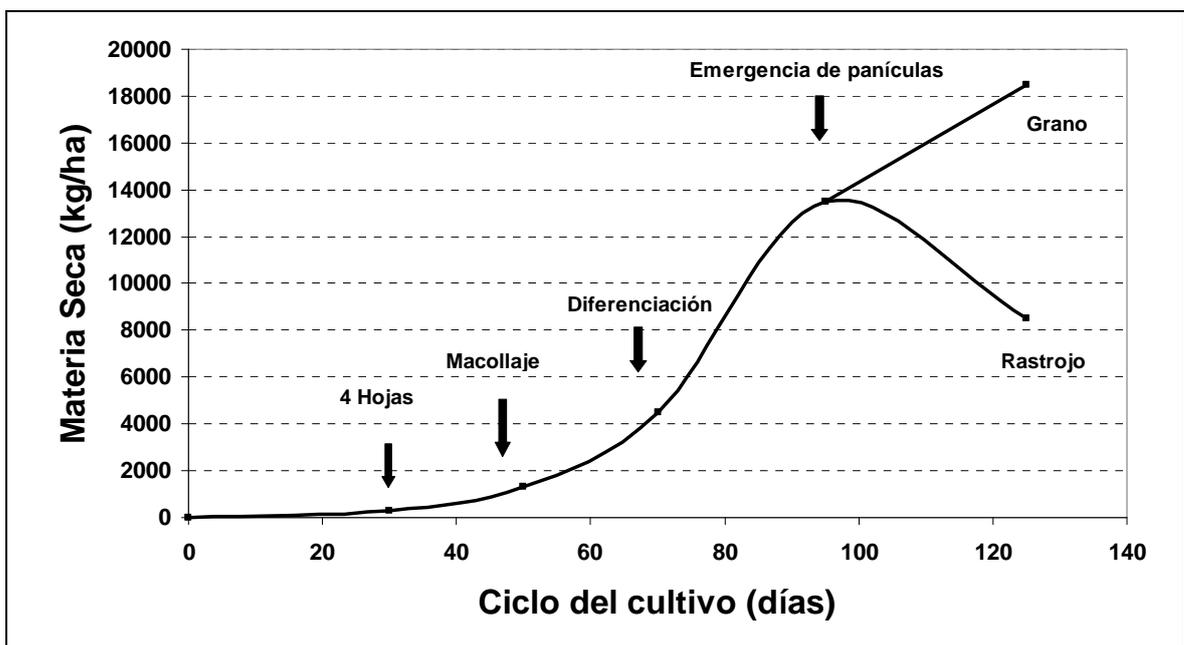


Figura 32. Curva de acumulación de Materia Seca de arroz para un rendimiento de 10 Mg/ha.

La tasa de acumulación de materia seca es máxima entre diferenciación y llenado de granos (Figura 30), mientras que la tasa de acumulación de N es máxima entre macollaje y diferenciación, con bajas tasas de absorción luego de la floración (Figura 33). Las hojas y los tallos actúan como reservorio de alrededor del 50 % del N que llega los granos, dado que la tasa a la que se acumula N en los granos es muy superior a la tasa a la que absorbe N la planta en ese momento.

En Australia también se ha visto que el rendimiento está muy relacionado a la cantidad de N absorbida en diferenciación de primordio.

Además, la aplicación de N previo a la inundación fue más eficiente y rentable que aplicaciones divididas (Russell, et al. 2006).

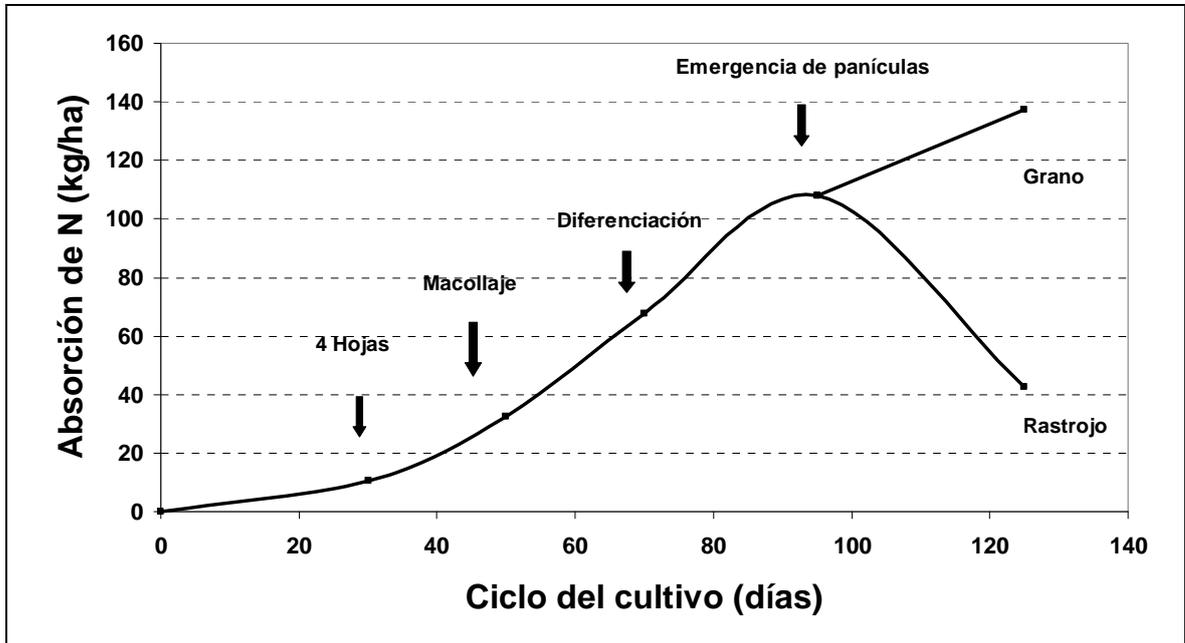


Figura 33. Curva de acumulación de N en arroz, para un rendimiento de 10 Mg/ha.

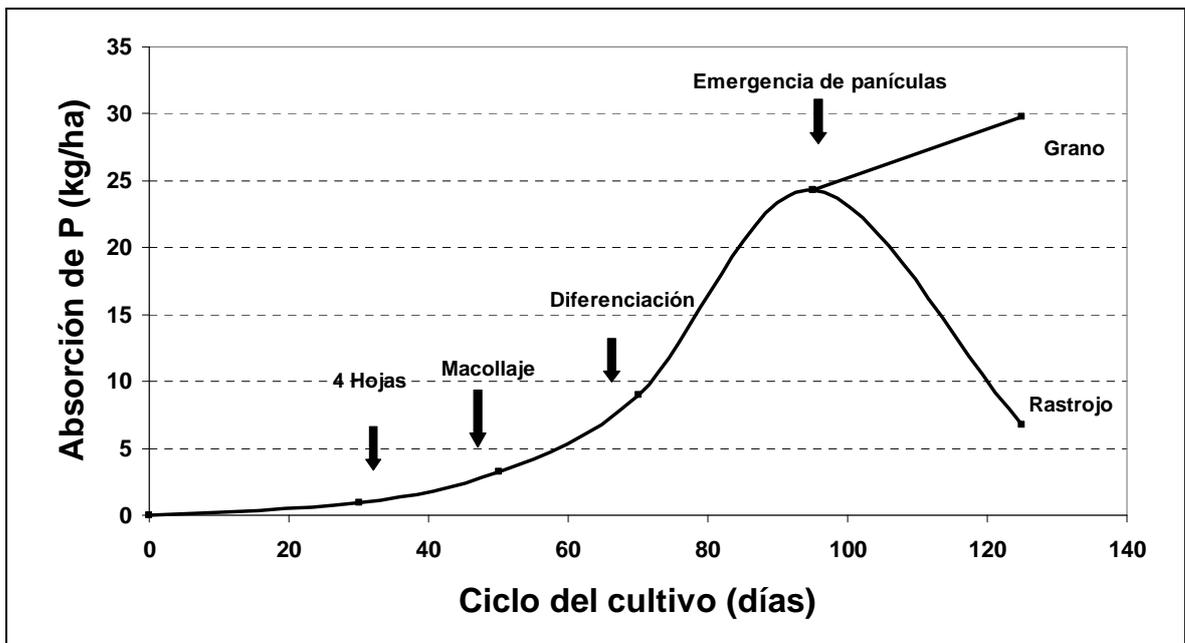


Figura 34. Curva de acumulación de P en arroz para un rendimiento de 10 Mg/ha.

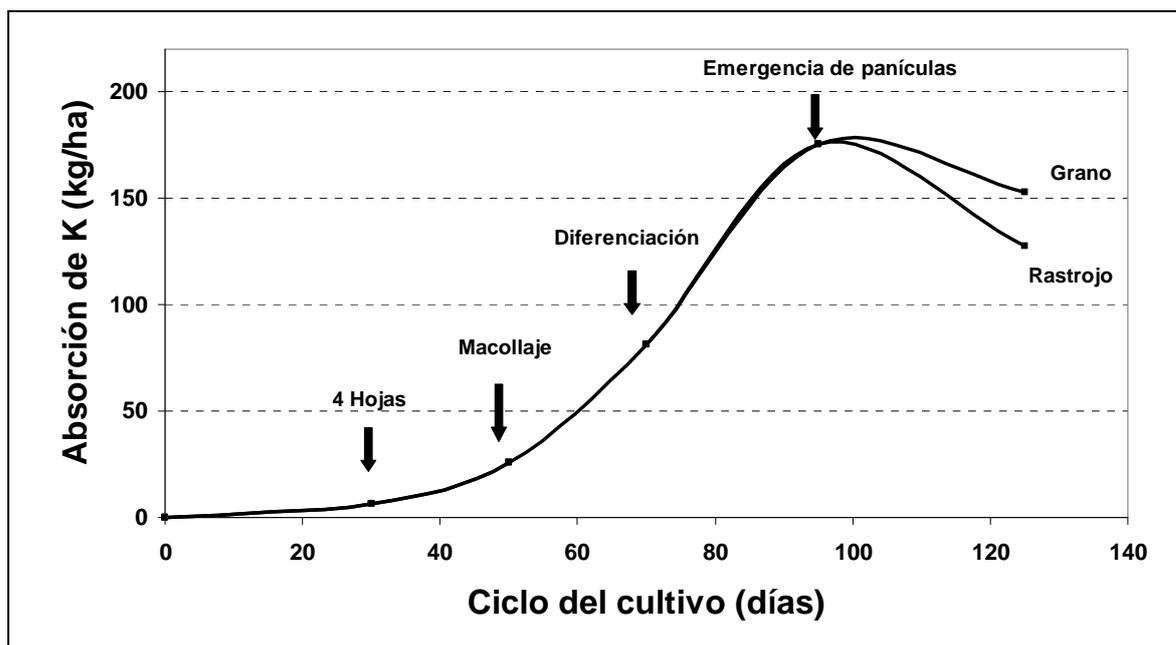


Figura 35. Curva de acumulación de K en arroz para un rendimiento de 10 Kg/ha.

Los aspectos nutricionales del cultivo, así como la nutrición balanceada, constituyen uno de los factores limitantes para el rendimiento de arroz en Entre Ríos.

Los análisis de plantas de inicio a mitad de ciclo, indican que el nivel de N es bajo y limita el rendimiento del cultivo, relacionado a un bajo macollaje, reducción del número de macollos fértiles y menor producción de granos llenos.

El P en planta se presentó en valores adecuados y no parece limitar el rendimiento en la mayoría de los casos. Sin embargo, los estudios realizados, indican que aunque se logre una adecuada nutrición del cultivo entre la dosis de fertilizante y el P liberado por el suelo, en muchos casos el balance es negativo y las reservas de P en el suelo disminuyen. Hay que recordar que su índice de cosecha es muy alto.

En el caso del K, existen evidencias de deficiencias probablemente cuando el complejo adsorbente del suelo está desbalanceado hacia los otros cationes (Ca, Mg, Na), dado que el K no es deficitario por su cantidad en los suelos de Entre Ríos. Sobre este elemento habría que desarrollar o investigar estrategias de fertilización e identificar las situaciones de probable deficiencia.

Si la hipótesis de deficiencia de K inducida por exceso de Ca o Mg es verdadera, podría ser difícil obtener respuestas a dosis normales o bajas de K por vía sólida aplicada al suelo y es probable que aplicaciones foliares o fuentes alternativas muestren una mejor respuesta. Habría que tener en cuenta que en algunas situaciones el déficit de K está relacionado a suelos salinos donde se ha observado un alto vaneo y granos más livianos. Otro aspecto a considerar es el efecto sobre el vuelco ante mayores dosis de N y sobre las enfermedades del tallo.

Si bien el Zn se ha encontrado en concentraciones normales en la planta, existe mucha evidencia de su deficiencia en arroz a nivel internacional y local. Esto podría estar relacionado a que en muchos de los sitios evaluados se aplicó Zn en la semilla y/o por vía foliar. Además no hay que olvidar que las investigaciones realizadas por Quintero et al. (2006), han demostrado que no es un problema de menor absorción de Zn o baja concentración en la planta, si no que está más relacionado al funcionamiento metabólico dentro de la planta. En los ensayos donde se ha incorporado Zn se han registrado respuestas en la mayoría de los casos, por lo que es una práctica cada vez mas generalizada la aplicación de Zn en arroz.

En los que respecta a otros microelementos, se han observado altos valores de boro, con síntomas de toxicidad en algunos momentos, pero que no han afectado de manera significativa el rendimiento. Por otro lado, se han registrado algunos valores tóxicos o elevados de Fe en planta, pero no es un problema generalizado.



CAPITULO V

V.- DISCUSION GENERAL

Rendimientos esperables

Desde un comienzo de esta tesis se ha intentado valorar como funciona el sistema suelo-clima–arroz–manejo en Entre Ríos. Se ha tratado como primera medida de cuantificar la disponibilidad de energía lumínica, la longitud del ciclo y las temperaturas adversas. Fue posible entonces estimar el rendimiento potencial de arroz en Entre Ríos para los materiales actuales, siendo éste de 14 Mg/ha. Este valor parece razonable dado que existe solamente un registro de 13,8 Mg/ha obtenido en ensayos comparativos de rendimientos pero el promedio de los máximos rendimientos alcanzados en los últimos años fue de 11,5 Mg/ha (Livore et al. 2005; Livore et al.2006; Livore et al.2007, Livore et al.2008).

En Yanco, Australia, donde se han alcanzado rendimientos de 13 Mg/ha, se ha estimado que el rendimiento potencial es de 18 Mg/ha (Horie et al. 1997). Fageria (2007), en Brasil, informa que se han obtenido rendimientos de 10 Mg/ha y que ha estimado el rendimiento potencial en 16,4 Mg/ha. Sheehy et al. (2004) calculan que el rendimiento potencial de Madagascar es de 15 Mg/ha y no concuerdan con los reportes que informan haber alcanzado más de 20 Mg/ha. Por otro lado Casanova et al (2000) utilizando el modelo ORYZA1 estiman que el potencial para las condiciones mediterráneas del Ebro en España es de 16 Mg/ha.

Estos resultados dan expectativas de crecimiento para superar los niveles actuales de productividad que en promedio se alcanzan en Entre Ríos. Es decir que es posible plantearse en la actualidad, y con los materiales genéticos disponibles, metas de rendimientos promedios de 10 Mg/ha. Esto implica alcanzar un 70 % del nivel potencial. Los ajustes en las prácticas de manejo deberían hacer hincapié en el control total de malezas, un incremento de la dosis y mejor uso del N y siembras tempranas. Estas técnicas son conocidas por los profesionales del sector, existe mucha información al respecto y debería transferirse a los agricultores, mediante planes de extensión hacia productores que están por debajo de la media de rendimiento. Con esto la producción media subiría rápidamente. Sin embargo, habría que tener en cuenta que es imposible que todos los productores logren un perfecto manejo de todas las prácticas de cultivo.

Por otro lado, hay que considerar que, al acercarse al rendimiento potencial, la respuesta a los insumos disminuye, los costos se incrementan y el retorno marginal decrece. Es decir que para aquellos productores que hoy obtienen rendimientos de 10 Mg/ha las expectativas de incremento son menores y las necesidades de información, así como los ajustes tecnológicos son mayores. Algunos autores piensan que con un ajuste minucioso podría aspirarse a alcanzar un 85 % del rendimiento máximo o potencial con buenos resultados económicos (Cassman, et al. 2003). Es decir que los mejores productores podrían aspirar a metas de 12 Mg/ha, cuidando al máximo todos los detalles productivos y realizando mayores gastos en insumos. Este es un camino que seguramente será difícil de llevar adelante y que requiere de investigaciones para un apropiado manejo de insumos claves como el nitrógeno. En coincidencia con lo que plantea Cassman (1999), la investigación disponible para este objetivo es escasa y deberían trazarse planes de investigación para lograr alta productividad. Para lo cual profundizar en el conocimiento de la fisiología del arroz, ecofisiología, agroecología y ciencia del suelo, es de suma importancia para lograr al mismo tiempo intensificar e incrementar la producción manteniendo o conservando el medio ambiente

La disponibilidad de recursos suelo-agua-clima en Entre Ríos parece ser lo suficientemente apta como para aspirar a rendimientos más altos. Sin cambios en el potencial de transformación de la energía lumínica en biomasa, es posible aspirar a mayores rindes con cultivares de ciclos más largos. Dichos materiales deberían tener tolerancia al frío en estadíos tempranos. En Yanco, un período vegetativo más largo, combinado con una alta radiación incidente y absorción de N lleva a una alta densidad de panojas/m² (Horie et al. 1997). Sumado a esto, un período de llenado de granos más prolongado contribuye a rendimientos más altos (Yang, et al. 2008). Los ciclos en Entre Ríos no fueron muy variables, con una media de 129 (±11) días, con un promedio de 64 (±8) días de emergencia a diferenciación; 31 (±4) días hasta floración y 33 (±7) días a madurez. Se podría pensar en desarrollar cultivares de ciclo más largo, que puedan captar más radiación y convertirla en biomasa manteniendo un elevado índice de cosecha. Esto es particularmente importante para disponer de una variedad de arroz doble con mayor potencial de rendimiento.

Los componentes del rendimiento

El número de plantas logradas en los distintos sitios fue muy variable; de 55 a 100 plantas/m² en los híbridos y de 100 a 500 plantas/m² en las variedades. En este rango no se observaron limitaciones al rendimiento. Aún con bajos stands de plantas, el cultivo fue capaz de compensar y producir suficientes destinos como para alcanzar altos rendimientos. Para las variedades resulta apropiado y suficiente un stand de plantas de 150 a 200 plantas/m² bien distribuidas en el espacio. Las variedades utilizadas en Entre Ríos han mostrado una capacidad media de emitir 2 macollos o hijuelos por planta, es decir que con esa cantidad de plantas, se pueden lograr 450 a 600 panojas/m², suficientes para alcanzar altos rendimientos (Figura 36). En España, Casanova et al (1999) recomiendan un mínimo de 180 plantas/m² para lograr suficientes destinos reproductivos. Los resultados del programa de manejo del FLAR (Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego, 2007) en campos comerciales de muchos países indican claramente la necesidad de obtener entre 120 a 200 plantas/m² para que las plantas puedan responder a la fertilización requerida para alta productividad.

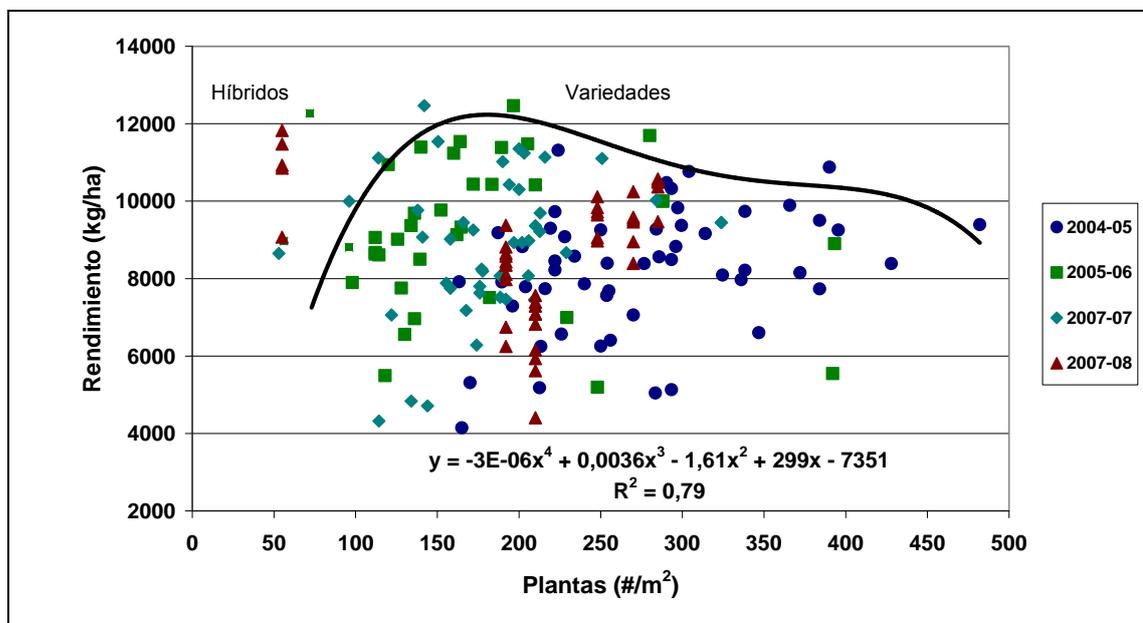


Figura 36. Relación entre el stand de plantas y el rendimiento.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la relación entre el número de plantas y el número de tallos por plantas fue negativa ($r=-0,62$; $p<0,001$), lo que significa que el incremento en la densidad de plantas redujo la capacidad de macollaje. Por encima de las 350 plantas/m² solamente se observó la emisión de un macollo por planta, mientras que con 150 a 200 plantas/m² se observaron 2 a 3 hijuelos (Figura 37).

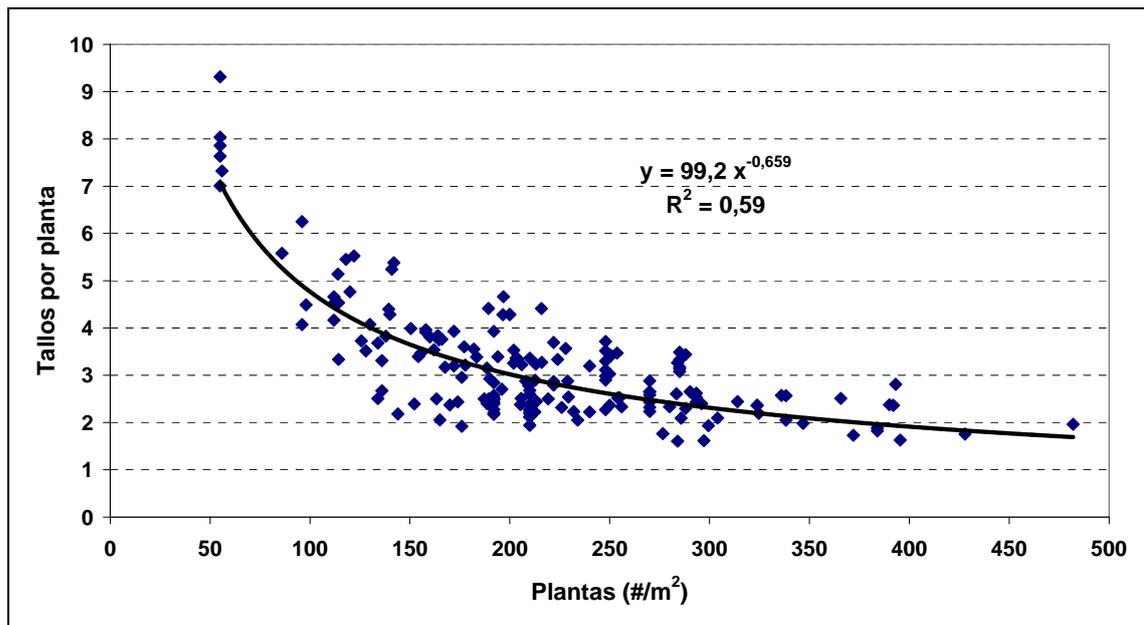


Figura 37. Relación entre el stand de plantas y los tallos por planta.

Es importante destacar que se trata de plantas logradas y no de plántulas emergidas. En el período que va de la emergencia hasta la 3^{ra} a 4^{ta} hoja ocurre una significativa pérdida de individuos, sobre todo en suelos de alto pH. Se observó que a mayor pH el número de plantas logradas fue menor ($r=-0,43$; $p<0,001$) y la eficiencia de implantación decreció significativamente en suelos con más Ca intercambiable ($r=-0,46$; $p<0,001$) (Figura 38). Se ha detectado una proteína (MAKORIN Zn-finger protein) que está involucrada en la emisión de hojas y raíces durante la germinación y podría inactivarse por el exceso de bicarbonato (Arumugam, et al. 2007). Además, existen evidencias de que los tratamientos de semillas previos a la siembra con productos ricos en Zn disminuyen la mortandad de plántulas en suelos con calcáreo (Quintero et al. 2006). En condiciones de pH neutro a alcalino, el cultivo no pudo compensar

esta disminución en el stand de plantas por lo cual el número de tallos/m² decayó con el incremento del pH ($r=-0,47$; $p<0,001$) y consecuentemente el número de panojas/m² también ($r=-0,36$; $p<0,001$). Existen varias evidencias de que hay una importante componente genética en la susceptibilidad al pH alto del suelo, existiendo cultivares eficientes e ineficientes ante la deficiencia de Zn. La concentración de bicarbonato en el medio de crecimiento es la principal causa que induce la deficiencia de Zn en arroz. Los cultivares ineficientes presentan una reducción en la elongación de las raíces finas y un incremento excesivo en la concentración de ácidos orgánicos como el malato en la zona de crecimiento radical (Haiboland et al. 2005). En los suelos calcáreos el bicarbonato y el Ca²⁺ pueden alcanzar concentraciones elevadas en solución debido al alto nivel de pH y a la disolución de los carbonatos en presencia de dióxido de carbono y agua. Los dos iones referidos pueden causar serios desequilibrios fisiológicos en las plantas. La concentración de Ca²⁺ en el citoplasma debe mantenerse en valores muy bajos para que no se presenten problemas metabólicos. La planta confina el Ca principalmente en la pared celular, la membrana plasmática y dentro de la vacuola o el retículo endoplasmático. Este mecanismo implica un importante gasto energético dado que la concentración en la vacuola y retículo es 10⁵ veces superior a la del citoplasma. La baja concentración de calcio en el citoplasma es esencial para prevenir la precipitación del P, la competencia con Mg²⁺ por sitios de enlace y para el funcionamiento de algunas enzimas claves. En condiciones de exceso de Ca, la concentración de elementos como el Fe y el Zn puede permanecer en valores normales o incluso incrementarse. Sin embargo la planta manifiesta un síntoma claro de deficiencia (Marschner, 1998). Posiblemente la reducción en el rendimiento observada con aguas bicarbonatadas cálcicas también esté relacionada a estos fenómenos.

Contrariamente, Casanova et al. (1999) encontraron un efecto positivo del incremento de pH en el rango 7,6 a 8,2 pero lo atribuyeron a un efecto indirecto, dado que los sitios de mayor pH coincidieron con menores concentraciones salinas. En suelos ácidos más intemperizados el incremento del pH es acompañado de mayor capacidad de intercambio y fertilidad por ello

es positivo para el arroz, siendo el pH óptimo sugerido por Dobermann et al. (1994) de 6,6.

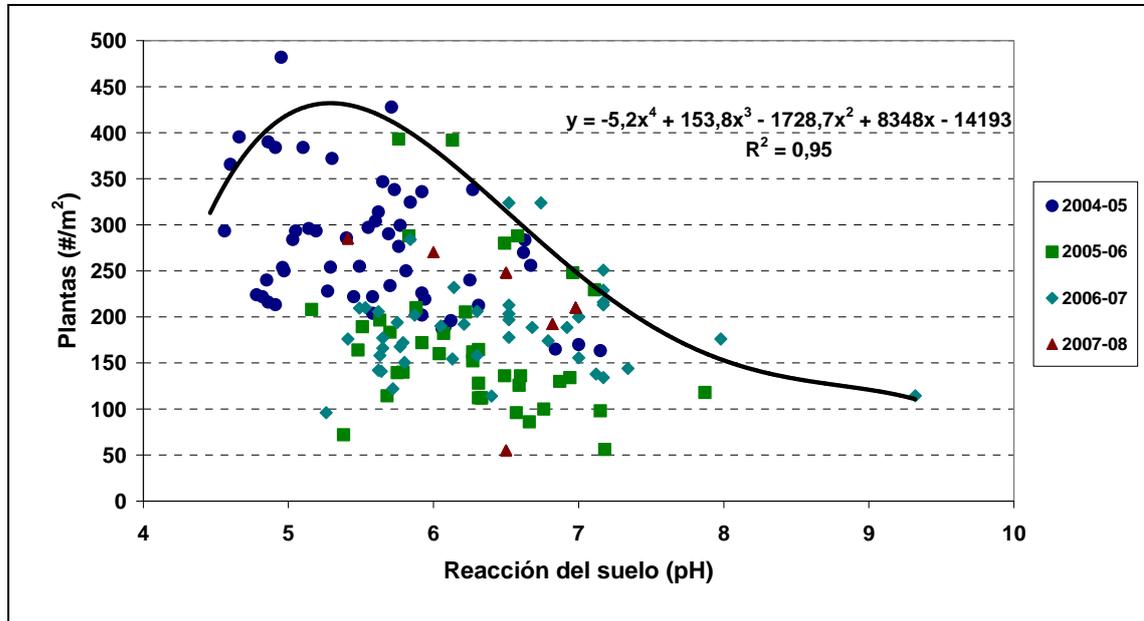


Figura 38. Relación entre el pH del suelo y en número de plantas logradas.

El componente más importante en la definición del rendimiento fue el número de panojas/m². Lógicamente a medida que hubo mas panojas, mayor fue el número de espiguillas/m² ($r=0,68$; $p<0,001$) y por lo tanto el rendimiento.

La concentración de K en el rastrojo se relacionó positivamente con el número de panojas/m² ($r=0,40$; $p<0,001$), con la cantidad de granos por panoja ($r=0,38$; $p<0,001$) y obviamente con el número de espiguillas/m² ($r=0,53$; $p<0,001$). El K cumple una función fisiológicamente importante dado que promueve la translocación de los fotoasimilados hacia los granos (Dobermman y Fahirust, 2000). Su catión antagónico es el Na por lo que a medida que el suelo tuvo más Na intercambiable menor fue la concentración de K en el rastrojo ($r=-0,25$; $p<0,001$). Algo similar fue observado por Casanova et al. (2002) en el delta del Ebro. Dado que los suelos cultivados con arroz en Entre Ríos son considerados bien provistos de K, parece poco probable que se trate de una deficiencia de K; podría tratarse de un desbalance con los otros cationes alcalinos (Ca, Mg y Na) como lo sugieren Dobermman y Fahirust

(2000). Este aspecto debería investigarse en profundidad, algunos antecedentes han mostrado respuestas a altas dosis de K en suelos bien provistos de Entre Ríos (Quintero, et al. 2006). Es posible también, que si la absorción radical está inhibida por algún mecanismo, la aplicación por vía foliar sea más efectiva.

Si bien no se observaron muchos casos de suelos salinos y/o sódicos, este tipo de suelos mostró su efecto negativo sobre el número de granos por panojas y la esterilidad de las mismas, así como sobre el peso de los granos. La salinidad del suelo afecta tanto el peso y la dimensión de los granos así como incrementa la esterilidad de las espiguillas (Fabre, et al. 2005). El efecto salino fue notorio por encima de los 2 dS/cm de conductividad eléctrica en la pasta del suelo (Figura 39). Superado este valor el número medio de granos llenos por panoja fue 64, la esterilidad del 25 % y el peso de los 1000 granos de 23,8 g, valores sensiblemente diferentes a los promedios observados.

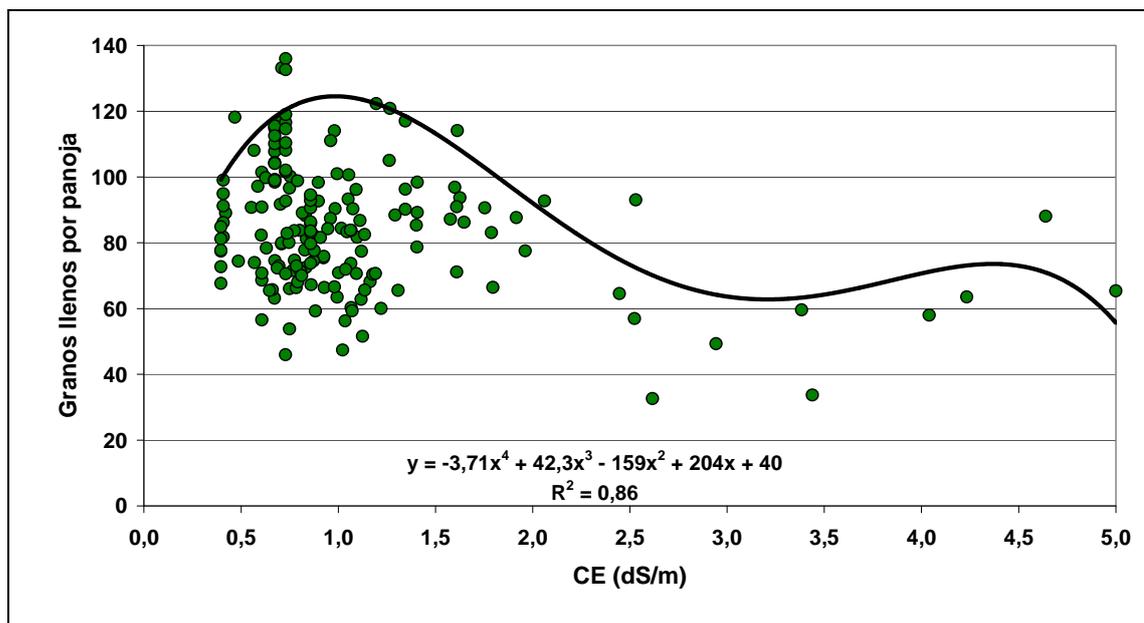


Figura 39. Relación entre la conductividad eléctrica y el número de granos llenos por panoja.

El número de espiguillas por unidad de superficie varía de acuerdo al genotipo y al ambiente. En un estudio reciente, Yoshida et al (2006) intentaron identificar los procesos fisiológicos que determinan el número de espiguillas por

unidad de superficie. Es bien sabido que la producción de espiguillas comienza con la diferenciación del raquis primario, secundario y terciario en una panoja seguido de la generación de espiguillas en cada raquis. Este proceso culmina hacia el final del estadio de diferenciación, que ocurre dos semanas antes de la floración. Luego comienza una etapa de degeneración de algunas espiguillas. Así el número final de espiguillas por panoja o por unidad de superficie es el resultado de las espiguillas generadas menos las degeneradas. El número de espiguillas generadas es proporcional al N absorbido al final del período de diferenciación (2 semanas antes de floración). Pero existe una componente genética, siendo las variedades modernas más eficientes en generar más espiguillas por unidad de N absorbido. Por otro lado, el número de espiguillas degeneradas depende de la disponibilidad de carbohidratos no estructurales y la consiguiente tasa de crecimiento en el período de dos semanas antes de floración.

Estos resultados son consistentes con los presentados por Russell et al (2006) en Australia, donde el N absorbido en diferenciación mostró una buena relación con el rendimiento final. Los datos colectados en Entre Ríos mostraron también una buena correlación entre el rendimiento final de granos y el N absorbido en diferenciación ($r=0,56$; $p<0,001$). La regresión indica que el N absorbido en diferenciación podría explicar más del 30% de la variabilidad del rendimiento (Figura 40). De manera similar a los resultados presentados por Russell et al (2006), el cultivo debe absorber en diferenciación alrededor de 100 kg/ha de N para alcanzar altos rendimientos. A esto podría agregarse, en concordancia con los resultados de Horie et al (2006), que a mayor radiación recibida en el período de diferenciación a floración se logró un número mayor de granos por panoja ($r=0,31$; $p<0,001$).

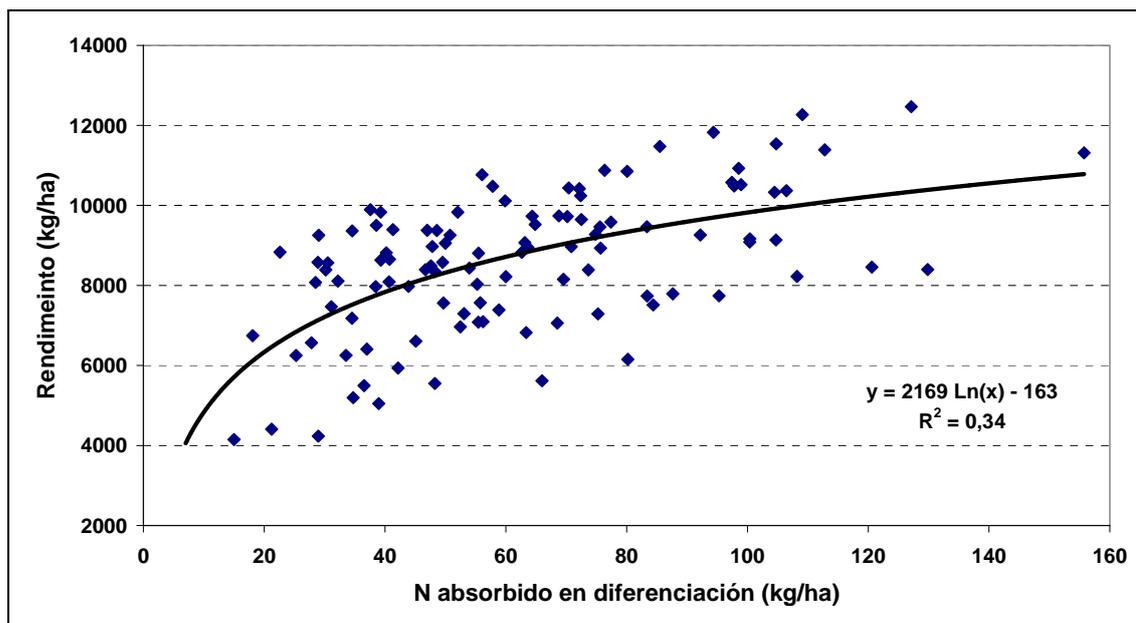


Figura 40. Relación entre el N absorbido en diferenciación y el rendimiento en grano.

El costo de la incertidumbre existente en el manejo del nitrógeno es analizado de manera interesante por Lobell (2007). La variabilidad y la pobre estimación del N proveniente del suelo es la principal causa de incertidumbre para determinar la dosis de N. Desafortunadamente, los métodos para estimar la provisión de N por parte del suelo no han sido exitosos.

En Entre Ríos se sabe que cuando los suelos tienen menos de 4,5 % de materia orgánica la respuesta al agregado de N es muy probable. Se han encontrado regresiones estrechas entre la materia orgánica del suelo y el nitrógeno mineralizado en incubaciones anaeróbicas de laboratorio (De Battista y Arias, 2005). Sin embargo, en el trabajo de Russel et al (2006) en Australia, donde ponen a prueba 18 análisis de suelos con incubaciones anaeróbicas para estimar mejor las dosis de N a aplicar en ensayos de campo, se encontró que el método que mejor se comportó, presentó un error inaceptable para hacer recomendaciones de fertilización de arroz. La propuesta de Lemaire et al. (2008) de hacer una evaluación del N en planta a mediados de ciclo, considerando las curvas de dilución de N y luego completar la dosis de N si hace falta, pareciera mas promisorias. Desafortunadamente esto requiere de métodos prácticos y precisos para su implementación. En el caso de Entre

Ríos, la nutrición con N parece estar a un 60% del óptimo relacionado a las bajas dosis de N y a la incertidumbre ligada al abastecimiento por parte del suelo, al miedo al vuelco y daño por frío. Los ensayos realizados indican que el momento mas eficiente para aplicar el N es en estadíos tempranos, previo a la inundación (Quintero y Figueroa, 2008). Esto es consistente con las investigaciones de Sheehy et al. (2004) donde demuestran que gran parte del N se absorbe en estadíos tempranos y luego se transloca a los granos. Sin embargo el objetivo de altos rendimientos requiere de dosis más altas de N y para un uso más eficiente del N se deberá fraccionar su aplicación en el ciclo del cultivo. Por lo cual una evaluación a mediados de ciclo podría ser promisoría para determinar la dosis final de ajuste. Para esto se requiere de nuevas experiencias diseñadas con ese objetivo, con mediciones y calibraciones de sensores remotos.

Dentro de las tecnologías que utilizan insumos sustituibles, todavía es posible realizar ajustes en el correcto uso de herbicidas. Mínimos descuidos en el control de malezas gramíneas provocaron importantes mermas en los rendimientos. La presencia de malezas gramíneas a mediados de ciclo o a cosecha deprimieron el rendimiento ligado a una reducción en el número de espiguillas/m² ($r=0,26$; $p<0,001$). El capín (*Echinochloa sp.*) se destacó como la principal maleza en Entre Ríos, dado que es una eficiente competidora con el cultivo de arroz y desarrolla resistencia a herbicidas (Vidotto, et al. 2007). También el arroz colorado (*Oriza sativa*) se presentó en una proporción considerable. Es una maleza de difícil control dentro del cultivo y de gran competitividad frente al arroz por recursos e insumos como el N (Burgos, et al. 2006).

Necesidad de futuras investigaciones

El trabajo de campo realizado, los resultados alcanzados, así como la revisión de los antecedentes locales e internacionales, ha permitido visualizar algunos aspectos en los que la información regional es escasa y podrían proyectarse como temas prioritarios de investigación para la zona.

Dentro de los aspectos fisiológicos o ecofisiológicos, un punto que todavía deja muchas dudas es el vaneo o esterilidad. Un registro de granos vanos del orden de 16,2 ($\pm 8,9$) % (que fue lo observado en este trabajo) muestra una importante variabilidad. Es un tema que preocupa a los agricultores y asesores y que no se conocen las verdaderas causas en Entre Ríos. Generalmente se lo atribuye al frío, al exceso de materia orgánica del suelo, al mantenimiento de una lámina de agua, etc. aunque podría ser también una limitación por fuente u otro factor.

Para el uso apropiado y calibración de los modelos de crecimiento, sería conveniente determinar, para las variedades más utilizadas, los requerimientos térmicos de cada fase fenológica, los coeficientes de extinción de la radiación en distintos estadíos, la participación de asimilados y el crecimiento del área foliar. Esto podría ayudar a implementar un programa de manejo intensivo del arroz para altos rendimientos.

En lo que hace a la nutrición mineral y fertilización, habría que recabar más información sobre las dosis y los momentos más oportunos de aplicación del nitrógeno para las variedades más utilizadas. Además, habría que realizar investigaciones más profundas sobre la posible deficiencia de potasio en suelos con altos contenidos de Ca intercambiable así como en suelos salinos con alto Na, donde también puede incluirse el Zn. La utilización de fuentes potásicas alternativas al cloruro de potasio, en otros momentos y por vía foliar podrían ser alternativas de prueba de fertilización.

La eficiencia de implantación es baja en Entre Ríos y habría que conocer mejor sus causas y posibles soluciones. Además debería evaluarse el efecto del pH del suelo, la calidad de la semilla, la tolerancia al frío y la aplicación de productos como fungicidas, insecticidas y fertilizantes sobre la simiente.

El programa de mejoramiento genético debería continuar la búsqueda de materiales con mayor potencial de rendimiento en variedades pero también podrían contemplarse los híbridos. Dadas las condiciones de clima relativamente frío a inicios del ciclo de cultivo, deberían buscarse materiales tolerantes al frío en etapas tempranas. También sería apropiado conocer si existen variedades más eficientes para el uso del Zn o cuales no lo son y deberían ser fertilizadas con ese elemento.



CAPITULO VI

VI.- CONCLUSIONES

Con el objeto de determinar cuales son los factores más importantes que limitan el crecimiento y la productividad del arroz en Entre Ríos; durante cuatro años (2004/08) se seleccionaron para el monitoreo alrededor de 40 a 50 sitios por año de las distintas zonas de producción de Entre Ríos. En cada sitio se realizaron análisis químicos de suelos y aguas, se evaluó la biomasa aérea de arroz y la concentración de nutrientes en distintos momentos, los componentes de rendimiento y producción de granos, variables de manejo, plagas malezas y enfermedades presentes, fechas de estadíos fenológicos, se tomaron registros climáticos, etc. Los resultados alcanzados permiten arribar a las siguientes conclusiones:

- 1) La temperatura y la radiación determinaron la duración de los períodos fenológicos y el rendimiento potencial. El período de emergencia a diferenciación duró un promedio de 64 (± 8) días; 31 (± 4) días hasta floración y 33 (± 7) días a madurez. Los ciclos de las distintas variedades no fueron muy variables, con

- 2) Los rendimientos registrados variaron de 4,1 a 12,5 Mg/ha distribuidos normalmente en un total de 180 observaciones. El número de panojas por metro cuadrado y el número de granos llenos por panoja fueron los principales componentes que determinaron el rendimiento. Si no se logran 350 panojas/m² y 70 granos llenos por panoja, no se pueden alcanzar rendimientos superiores a 10 Mg/ha.
- 3) Los suelos destinados al arroz, en general presentaron buenas condiciones para el cultivo. En algunos casos la salinidad mayor a 1,5 dS/m o los altos valores de Na intercambiable deprimieron el rendimiento. El pH del suelo por encima de 6,5 se relacionó con menor estado de plantas y bajos rendimientos, posiblemente relacionado a un déficit de Zn por exceso de Ca.
- 4) Las aguas utilizadas para el riego del arroz en Entre Ríos se pueden dividir en dos grupos por su calidad físico-química: las aguas superficiales de excelente calidad con bajas concentraciones de iones y las de pozos profundos con algunos casos de aguas bicarbonatadas cálcicas, con

- 5) Los productores iniciaron el riego a los 29 (± 8) días de la emergencia del arroz y mantuvieron una lámina de agua de 6 (± 3) cm por 91 (± 13) días. El manejo del agua fue bastante homogéneo entre los distintos sitios.
- 6) No se observaron daños importantes ocasionados por insectos o enfermedades. Estos factores que reducen el rendimiento no tienen una gran presión o importancia en Entre Ríos. Contrariamente, la presencia de malezas gramíneas, de mediados a fines del ciclo, ocasionó un efecto perjudicial notable y significativo, con reducciones importantes en el rendimiento. Se determinó una reducción del rendimiento de 211 kg/ha por cada inflorescencia de gramínea por metro cuadrado presente a la cosecha.
- 7) En general los productores de Entre Ríos siembran arroz 2 de cada 5 años y no siembran más de 2 años seguidos arroz en un mismo lote, pero hay algunos sitios donde se cultiva solamente arroz en forma continua. El antecesor principal fue el arroz en un 54 % de los casos, hubo un 21 % de siembras sobre soja, 21 % sobre campos naturales, con los rendimientos más altos, y sólo un 8 % luego de praderas donde se obtuvo el menor rendimiento medio. Se utilizaron densidades de siembra muy variables con bajas eficiencias de implantación lo que es un aspecto a mejorar en el futuro.
- 8) La fertilización que se realizó fue básicamente con fósforo a la siembra y nitrógeno en el ciclo de cultivo, con escasa a anula aplicación de potasio. Las evaluaciones de concentraciones de

nutrientes minerales en los tejidos vegetales mostraron bajos valores de N y K, relacionados a bajos rendimientos.

- 9) En los sitios donde se lograron altos rendimientos (promedio 10,8 Mg/ha), en comparación con aquellos de baja productividad (media 6,4 Mg/ha), el cultivo desarrolló más tallos y panojas por unidad de superficie, con más granos por panoja y menor esterilidad, por lo se observó también un mayor índice de cosecha. Los suelos se caracterizaron por tener un menor pH, baja salinidad y menos Na y Ca intercambiable. Los mejores productores utilizaron variedades e híbridos de mayor rendimiento, en siembras tempranas; lograron un mejor control de malezas y utilizaron dosis más altas de nitrógeno.
- 10) La disponibilidad de recursos (genética, suelos, agua, clima y manejo) en Entre Ríos es suficiente como para aspirar a rendimientos medios del orden de los 10 Mg/ha, lo que representa un 70% del potencial. Para los productores que obtienen bajas productividades, las prácticas de manejo que deberían promoverse mediante un programa de extensión, serían fundamentalmente el control de malezas y la fertilización. Los mejores productores podrían aspirar a rendimientos de 12 Mg/ha con un ajuste minucioso de todas las prácticas culturales.
- 11) Algunas técnicas como la aplicación de Zn en las semillas y por vía foliar, han mostrado buenos resultados para mitigar o reducir los efectos adversos del exceso de Ca en suelos de pH elevado, pero no hay desarrollos locales para las situaciones de suelos con sales. Dado que los suelos de Entre Ríos son bien provistos en K, no se realizan fertilizaciones con éste elemento. Sin embargo, las concentraciones de K en los

tejidos vegetales se presentaron bajas y asociadas a menores rendimientos, por lo cual la fertilización con K debería considerarse en futuros planes de investigación. Si bien los suelos de Entre Ríos presentan bajos valores de P, la fertilización media utilizada parece adecuada para reponer las cantidades extraídas por la cosecha. Por otro lado, el N es la llave para lograr mayores productividades. Las concentraciones de N en las plantas estuvieron en el 60% del óptimo y las dosis utilizadas fueron inferiores a las recomendadas en otros países productores de arroz. Un mayor desarrollo en lo que respecta a dosis y momentos de aplicación del N, ayudaría a obtener mejores resultados.

Síntesis final

En síntesis y como resultado de lo estudiado en esta tesis puede afirmarse que afortunadamente en Entre Ríos no existen limitaciones insuperables para la producción de arroz. La disponibilidad de energía lumínica y las temperaturas del verano permiten la producción de arroz de clima templado con ciclos de 130 a 150 días. Los materiales genéticos actuales tienen buen potencial productivo y existe una brecha de rendimiento suficiente como para plantearse mejoras en la productividad. De todas maneras los programas de mejoramiento no deberían reducir su esfuerzo en encontrar variedades o híbridos de mayor potencial.

Los suelos vérticos, que pueden tener limitaciones para otros cultivos, son muy aptos para el cultivo de arroz. Pueden encontrarse algunas limitaciones por el exceso de Ca que indirectamente puede generar una deficiencia de Zn y/o de K, reduciendo el estand de plantas, el número de panojas y el rendimiento. En algunos casos puede presentarse algo de salinidad o sodicidad, que incrementa la esterilidad del las espiguillas, reduce el peso de los granos y deprime el rendimiento. Estos factores pueden mitigarse o reducirse con manejo del agua y la fertilización. Cuando se utilizan aguas de riego provenientes de pozos profundos, debido a los altos volúmenes utilizados

y las concentraciones de HCO_3^- , Ca y Na, pueden observarse efectos adversos sobre la estructura del suelo, por lo cual no se recomienda el cultivo de arroz continuo.

Todas aquellas prácticas de manejo que promuevan el macollaje y el crecimiento temprano (fertilización, fecha y densidad de siembra, manejo del agua, etc.) y que finalmente generen mayor número de panojas por unidad de superficie, darán como resultado rendimientos más altos. El control de las malezas debe ser total, dado que su efecto depresor sobre el cultivo es muy importante.

Entre Ríos tiene un potencial productivo de arroz muy importante; sobre todo en los sistemas que utilizan aguas superficiales de menor costo energético para el riego. Existen áreas no cultivadas aún, que podrían incorporarse al cultivo. Por último, no deberían descuidarse o reducirse los planes de investigación y extensión en arroz.



CAPITULO VII

VII.- BIBLIOGRAFIA

- Agropuerto S.A., 2007. Plan estratégico del sector arrocero argentino 2008-2012. Disponible on-line: http://www.proarroz.com.ar/down/Resumen_Ejecutivo28-12-2007.pdf . [Consulta 20/07/08].
- Argissain, G.G. 2006. Ecofisiología del cultivo de arroz. En: El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. UNER-UNL. P:75-94.
- Arumugam, T. U.; Davies, E.; Hayato Morita E.; Abe, S. 2007. Sequence, expression and tissue localization of a gene encoding a makorin RING zinc-finger protein in germinating rice (*Oryza sativa* L. ssp. Japonica) seeds. *Plant Physiology and Biochemistry* 45:767-780.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. 1976. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Paper N° 29. 85 p.
- Bartels, J.M. 1996. Methods of soils analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA, ASA. Madison. Wisconsin, USA.

- Bedendo, D. J. ; Vesco, C. J. J. 1991. Capítulo 2. El Medio. En Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Diamante. Provincia de Entre Ríos. Plan Mapa de Suelos. Acuerdo Complementario INTA-Gobierno de Entre Ríos. INTA Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 9.
- Bedendo, D. J. 2005. Capítulo 2. El Medio. Geología. En Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Gualeguaychú. Provincia de Entre Ríos. Plan Mapa de Suelos. Acuerdo Complementario INTA-Gobierno de Entre Ríos. INTA Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 23.
- Benavidez, R.A. 2006. El Arroz. Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. UNER-UNL. ISBN: 950-698-168.-1. 716 p.
- Benavidez, R.A.; Wilson, M.G. 2006. Estabilidad estructural en suelos arroceros. En: El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. UNER-UNL. P:527-545.
- Boschetti, G. y Quintero C. 2005. Extracción del P disponible por el método de Bray y Kurtz n°1. En: Tecnologías en análisis de suelos. Marban L y Rato S. Editoras. AACCS. P:159-175.
- Boschetti, G. y Quintero C. 2006. Capítulo I, Parte General. Suelos de la cuenca del Río Paraná: Provincia de Entre Ríos (Argentina). En: Bases para la Conservación de Suelos y Aguas en la Cuenca del Río Paraná. Ed: Antonio Paz González. P:17- 29. ISBN-13:978-987-05-1102.
- Boschetti, M.; Bocchi, S.; Stroppiana, D.; Brivio, P. 2006. Estimation of parameters describing morpho-physiological features of mediterranean rice varieties for modelling purpose. Italian Journal of Agrometeorology 3: 40–49.
- Bouman, B.A.M., Kropff, M.J., Tuong, T.P., Wopereis, M.C.S., Ten Berge, H.F.M., Van Laar, H.H., 2001. ORYZA2000: Modelling Lowland Rice. International Rice Research Institute, Wageningen University and Research Centre, Los Baños, Philippines, Wageningen, Netherlands, p. 235.
- Burgos, N.; Norman, .H.; Gealy, D.R.; Black, H. 2006. Competitive N uptake between rice and weedy rice. Field Crops Research 99: 96–105.

- Campbell C.S., Heilman J.L., McInnes K.J., Wilson L.T., Medley J.C., Wu. G., Cobos D.R., 2001. Seasonal variation in radiation use efficiency of irrigated rice. *Agriculture and Forest Meteorology*, 110: 45-54.
- Carñel, G.E. 2008. Censo productivo arrocero 2007-2008 Entre Ríos. Resultados experimentales 2007-2008. *PROARROZ*. XVII:9-14.
- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. En: *Tecnologías en análisis de suelos*. Marban L y Rato S. Editoras. AACS. P:91-102.
- Casanova, D.; Goudriaan, J.; Bosch, A.D. 2000. Testing the performance of ORIZA1, an explanatory model for rice growth simulation, for Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 12:175-189.
- Casanova, D.; Goudriaan, J.; Bouma, J.; Epema, G.F. 1999. Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice. *Geoderma* 91: 191-216.
- Casanova, D.; Goudriaan, J.; Catala Forner, M.; Withagen, J.C. 2002. Rice yield prediction from yield components and limiting factors. *European Journal of Agronomy* 17:41-61.
- Cassman, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:5952-59
- Cassman, K.G.; Dobermann, A.; Walters, D.T.; Yang, H. 2003. Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources And Improving Environmental Quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28:315-58.
- Ciampitti, I.; García, F. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales y oleaginosos industriales. *Archivo Agronómico* N° 11. *Informaciones Agronómicas* N° 33. IPNI. 4p.
- De Battista, J.J.; Arias, N. 2005. Capítulo 19: Arroz. En: *Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos*. Echeverría, H.E. y García, F.O. INTA. P:399-407.
- De Battista, J.J.; Rivarola, S. 2006. Prácticas culturales del arroz en Entre Ríos. En: *El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. UNER-UNL. P:339-343.

- De Petre, A. Boschetti, N.G. 2006. Características de los suelos cultivados con arroz en la provincial de Entre Ríos. En: El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. UNER-UNL. P:205-219.
- Dobermann A, White PF. 1999. Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53:1-18.
- Dobermann, A. 1994. Factors causing field variation of direct-seeded flooded rice. *Geoderma*, 62: 125-150.
- Dobermann, A. Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. PPI-PPIC and IRRI. Singapore and Los Baños.
- Fabre, D.; Siband, P.; Dingkuhn, M. 2005. Characterizing stress effects on rice grain development and filling using grain weight and size distribution. *Field Crops Research* 92 (2005) 11–16.
- Fageria, N.K. 2007. Yield Physiology of Rice. *Journal of Plant Nutrition* 30:1-37.
- Fageria, N.K.; Berghello, F. 2004. Nutritional Diagnostic in Upland Rice Production in Some Municipalities of State of Mato Grosso, Brazil. *Journal of Plant Nutrition*, 27:15-28.
- Filí, M.; Tujchneider, O.; Perez, M.; Paris; M. 1994. Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Temas actuales de la hidrología subterránea. Emilia Bocanegra y Alicia Rapaccini, Editores. Universidad Nacional de Mar del Plata, Consejo Federal de Inversiones. 299: 313.
- FLAR. 2007. Informe técnico anual 2006-2007. Disponible on-line: <http://www.flar.org/pdf/FLAR%20-%20Informe%20Tecnico%20Anual%202006-2007.pdf> [Consulta 20/07/08].
- Foti, O. F. ; Fuentes, R. H. 2005. Capítulo 2. El Medio. Geomorfología. En Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Gualeguaychú. Provincia de Entre Ríos. Plan Mapa de Suelos. Acuerdo Complementario INTA-Gobierno de Entre Ríos. INTA Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 23.
- Greenland, D.J. 1997. The sustainability of Rice Farming. CAB international and International Rice Research Institute. 272 p.

- Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., Neeteson, J.J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66, 425±436.
- Hajiboland, R.; Yang, X.E.; Römheld V.; Neumann, G. 2005. Effect of bicarbonate on elongation and distribution of organic acids in root and root zone of Zn-efficient and Zn-inefficient rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Environmental and Experimental Botany* 54:163–173.
- Horie, T., Nakagawa, H., Centeno, H.G.S., Kropff, M.J., 1995. The rice crop model simulation model SIMRIW and its testing. In: Matthews, R.B., Kropff, M.J., Bachelet, D., van Laar, H.H. (Eds.), *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*. CABI, IRRI, Wallingford, pp. 51–66.
- Horie, T.; Ohnishi, M.; Angus, J.F.; Lewin, L.G.; Tsukaguchi, T.; Matano, T. 1997. Physiological characteristics of high-yielding rice inferred from cross-location experiments. *Field Crops Research* 52:55-67.
- Husson O., Castella J.C., Ha Dinh Tuan, Naudin K (2001) Agronomic diagnosis and identification of factors limiting upland rice yield in mountainous areas of northern Vietnam. SAM Paper Series 2, Vietnam Agricultural Science Institute, Hanoi, Vietnam.
- InfoStat (2008). InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.
- Iriondo, M. H. 1980. El cuaternario en Entre Ríos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*. N° 11, p: 125-141. SIN 0325-2809.
- Ittersum, M.K. Rabbigne, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research* 52: 197-208.
- Katsura, K.; Maeda, S.; Lubis, I.; Horie, T.; Cao, W.; Shiraiwa, T. 2008. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China “A cross-location analysis”. *Field Crops Research* 107:1-11.
- Kiniry J. R., Jones C.A., O'Toole J.C., Blanchet R., Cabelguenne M., Spanel D.A., 1989. Radiation-use-efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. *Field Crops Research*, 20: 51-64.

- Kiniry J. R., Mc Cauley G., Xie Y., Arnorl J.G., 2001. Rice parameters describing crop performance of four U.S. cultivars. *Agronomy Journal*, 93: 1354-1361.
- Kroetsch, D.; Wang, C. 2008. Particle Size Distribution. In: *Soil sampong and Methods of Analysis*. Carter, M.R. and Gregorich, E.G. Ed. CSSS. P:713-725.
- Lemaire, G.; Jeuffroy, M.H.; Gastal, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *Europ. J. Agronomy* 28:614-624.
- Livore, A.B. 2006. La genética del arroz. En: *El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. UNER-UNL. P: 95-110
- Livore, A.B. 2006. Los cultivares de arroz. En: *El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. UNER-UNL. P: 53-74.
- Livore, A.B.; L.; Muller, H.C.; Reggiardo, E.; Ojeda, J.; Alvarez, A.; Henderson, O. 2005. Ensayos comparativos de rendimiento regional. Resultados experimentales 2004-2005. *PROARROZ*. XIV:21-35.
- Livore, A.B.; Pirchi, J.H. Buenar, L.; Muller, H.C.; Reggiardo, E.; Ojeda, J.; Alvarez, A.; Henderson, O. 2006. Ensayos comparativos de rendimiento regional 2005-2006. Resultados experimentales 2005-2006. *PROARROZ*. XV:19-36.
- Livore, A.B.; Pirchi, J.H. Buenar, L.; Muller, H.C.; Reggiardo, E.; Ojeda, J.; Alvarez, A.; Villón, C. Henderson, O. 2008. Ensayos comparativos de rendimiento regional 2007-2008. Resultados experimentales 207-2008. *PROARROZ*. XVII:25-49.
- Livore, A.B.; Pirchi, J.H. Buenar, L.; Muller, H.C.; Regiardo, E.; Ojeda, J.; Alvarez, A.; Villón, C. Henderson, O. Martín, G. 2007. Ensayos comparativos de rendimiento regional 2006-2007. Resultados experimentales 2006-2007. *PROARROZ*. XVI:19-36.
- Lobell D. 2007. Te cost of uncertainty for nitrogen fertilizer management: A sensitivity analysis. *Field Crops Research* 100:210-217.
- Marschner, H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. Norlforlk, Londres. Academyc press Ltd.. p. 277-679.

- Mendez del Villar, P. 2008. Perspectivas de la producción y el comercio mundial de arroz. INFOARROZ. CIRAD. Disponible on-line: http://www.infoarroz.org/portal/uploadfiles/20080219125730_29_perspectivas_de_la_produccion_y_el_comercio_mundial_de_arroz.htm [Consulta 20/07/08].
- Murphy, J., Riley, J.P. (1962): A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta 27, 31-36.
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia De Entre Ríos. (1984). Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 1. Tomo 1. Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. III Edición. 109 p.
- Quintero C., Arévalo, E.; Boschetti N. Spinelli, N. 2006. Clorosis en suelos con calcáreo. Experiencias en el cultivo de arroz en Entre Ríos. En: Micronutrientes en la agricultura. Editora: Mabel Vázquez. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 1ª Edición. Pag.113-125. ISBN: 987-21419-4-0.
- Quintero, C. Gutierrez Boem, F. Befani M. Boschetti, N. (2007). Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina.. J. Plant Nutr. Soil Science. 170:500-505
- Quintero, C.E.; Figueroa, E.A. 2008. Fertilización de Arroz. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas (2da Ed.) Melgar, R. y Díaz-Zorita, M. Emisferio Sur. INTA. P:244-260.
- Russell, C.A.; Dunn, B.W.; Batten, G.D.; Williams, R.L.; Angus, J.F. 2006. Soil test to predict optimum fertilizer rate for rice. Field Crop Research 97:286-301.
- SAGPyA. 2008. Estimaciones agrícolas. Cereales. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>. [Consulta 20/07/08].
- SAMLA. 2004. Recopilación de técnicas de laboratorio. Formato CD-ROM. ISBN: 987-9184-40-8.
- Schung, E.; Heym, J.; Achwan, F. 1996. Establishing Critical Values for soil and plant analysis by means of the boundary line development system. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27(13&14), 2739-2748.

- Sheehy, S.H.; Peng, S.; Dobermann, A.; Michell, P.L.; Ferrer, A.; Yang, J.; Zou, Y.; Zhong, X.; Huang, J. 2004. Fantastic Yields in the system of rice intensification: fact or fallacy. *Field crops Research* 88:1-8.
- Sheehy, S.H.; Dionora, M.J.A.; Mitchell, P.L.; Peng, S.; Cassman, K.G.; Lemaire, G.; Williams, R.L. 1998. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. *Field Crop Research* 59:31-41.
- Sheehy, S.H.; M. Mnzava; K.G. Cassman; P.L.Mitchell; P.Pablico. 2004. Temporal origin of nitrogen in the grain of irrigated rice in the dry season: The outcome of uptake, cycling, senescence and competition studied using ¹⁵N- placement technique. *Field Crop Research* 89 : 337-34.
- Shimono, H.; Okada, M.; Kanda, E.; Arakawa, I. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Research* 101: 221–231.
- Steinmetz, S. 2004. Capítulo 2: Influencia do clima na cultura do arroz irrigado no Rio Grando do Sul. En: *Arroz irrigado no Sul do Brasil*. da Silva Gomez, A. y Martins de Nahalhaes Junior, A. Embrapa. P45-74.
- Steinmetz, S.; Fagundez, P.; Scivittaro, W.; Ulguim, A.; Nobre, F.; Pitanel, J.; Oliveira, J.; da Costa, A. 2007. Estadíos de desenvolvimento de 12 cultivares de arroz irrigado expressos em graus-dia. V Congreso Brasileiro de arroz irrigado. Pelotas, Brasil. *Anais*, volume I, P:368-369.
- Tujchneider, O.C.; Perez, M.A. D´Elía, M.P. París, M.C. 2006 Recursos hídricos subterrneos. En: *El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. UNER-UNL. P:125-136.
- Valenti, R.A.; Cerana, JA.; Wilson, M.G. 2006. Calidad de agua para riego en areas arroceras. En: *El Arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. UNER-UNL. P:169-184.
- Vázquez, M.E. 2005 Acidez del suelo. En: *Tecnologías en análisis de suelos*. Marban L y Rato S. Editoras. AACCS. P:71-88.
- Vidotto, F.; Tesio; F.; Tabacchi, M.; Ferrero, A. 2007 Herbicide sensitivity of *Echinochloa* spp. accessions in Italian rice fields. *Crop Protection* 26:285–293.

- Wilson, C.; Slaton, N.; Norman, R.; Miller, D. 2000. Efficient use of fertilizer. En: Rice Production Handbook. Cooperative Extension Service, University of Arkansas. p 51-74.
- Witt, C. Dobermann, A.; Abdulrachman, S.; Gines, H.C.; Wang Guanghuo; Nagarajan, R.; Satawatananot, S.; Tran Thuc Son; Pham Sy Tan; Le Van Tiem; Simbahan, G.C.; Olk, D.C. 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. Field Crops Research 63:113-138.
- Yang, W.; Peng, S.; Dionisio-Sese, M.; Laza, R.; Visperas, R. 2008. Grain filling duration, a crucial determinant of genotypic variation of grain yield in field-grown tropical irrigated rice. Field Crops Research 105: 221–227.
- Yoshida, H.; Horie, T.; Shiraiwa, T. 2006. A model explaining genotypic and environmental variation of rice spikelet number per unit area measured by cross-locational experiments in Asia. Field Crops Research 97: 337–343.