

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

BRECHAS DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ SOBRE DISTINTO  
ANTECESOR DE VERANO PARA DOS VARIEDADES DE ALTO POTENCIAL  
PRODUCTIVO

por

Andrés HERNÁNDEZ BARRIOS  
Gonzalo ROVIRA TARIGO

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2019

Tesis aprobada por:

Director: \_\_\_\_\_

Ing. Agr. (PhD.) José Terra

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. (MSc.) Ignacio Macedo

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. (PhD.) Sebastián Martínez

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. (PhD.) Guillermo Siri

Fecha: 11 de diciembre de 2019

Autores: \_\_\_\_\_

Andrés Hernández Barrios

\_\_\_\_\_

Gonzalo Rovira Tarigo

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares, amigos y compañeros que fueron parte fundamental en el desarrollo de nuestra carrera.

A Ignacio Macedo, José Terra, Jesús Castillo y Sebastián Martínez por su apoyo y orientación que hicieron posible la realización de este trabajo.

Al personal de INIA Treinta y Tres.

A Facultad de Agronomía.

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN.....  | II     |
| AGRADECIMIENTOS.....   | III    |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....  | VI     |
| <br>   |        |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....   | 1      |
| <br>   |        |
| 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....   | 3      |
| 2.1. <u>CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES UTILIZADAS</u> .....                               | 3      |
| 2.1.1. <u>Cultivar Parao</u> .....   | 3      |
| 2.1.2. <u>Cultivar INIA Merín</u> .....  | 4      |
| 2.1.3. <u>Diferencias en respuesta a la temperatura de genotipos índica y japónica</u> ..... | 5      |
| 2.2. <u>BRECHAS DE RENDIMIENTO</u> .....   | 5      |
| 2.2.1. <u>Componentes de las brechas de rendimiento</u> .....                                | 6      |
| 2.2.2. <u>Factores que causan las brechas de rendimiento</u> .....                           | 6      |
| 2.2.3. <u>Importancia del análisis de las brechas de rendimiento</u> .....                   | 7      |
| 2.2.4. <u>Factores a considerar para la disminución de las brechas de rendimiento</u> .....  | 7      |
| 2.2.5. <u>Brechas de rendimiento en Uruguay</u> .....  | 8      |
| 2.3. <u>ROTACIONES</u> .....   | 10     |
| 2.3.1. <u>Rotación con pasturas</u> .....  | 11     |
| 2.3.2. <u>Rotación con cultivos</u> .....  | 13     |
| 2.3.3. <u>Problemática del arroz como cultivo continuo</u> .....                             | 14     |
| 2.4. <u>MANEJO DEL CULTIVO</u> .....   | 15     |
| 2.4.1. <u>Nutrición nitrogenada</u> .....  | 15     |
| 2.4.2. <u>Protección sanitaria de enfermedades</u> .....                                     | 22     |
| 2.5. <u>PROBLEMA E HIPÓTESIS</u> .....   | 24     |
| <br>   |        |
| 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....   | 26     |
| 3.1. <u>UBICACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL</u> .....  | 26     |
| 3.2. <u>EXPERIMENTO DE LARGO PLAZO Y UBICACIÓN DEL TRABAJO</u> .....                         | 26     |
| 3.3. <u>SUELO Y MANEJO PREVIO</u> .....  | 27     |
| 3.4. <u>TRATAMIENTOS</u> .....   | 28     |
| 3.5. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u> .....  | 30     |
| 3.6. <u>MANEJO DEL CULTIVO</u> .....   | 30     |
| 3.6.1. <u>Siembra</u> .....  | 30     |
| 3.6.2. <u>Fertilización nitrogenada</u> .....  | 30     |

|  |    |
|--|----|
| 3.6.3. <u>Aplicación de fungicidas</u> .....     | 31 |
| 3.6.4. <u>Cosecha</u> .....                      | 31 |
| 3.7. DETERMINACIONES.....                        | 32 |
| 3.7.1. <u>Durante el ciclo del cultivo</u> ..... | 32 |
| 3.7.2. <u>A cosecha</u> .....                    | 32 |
| 3.7.3. <u>Etapa post cosecha</u> .....           | 33 |
| 3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....                   | 35 |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....           | 37 |
| 4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS.....                 | 37 |
| 4.1.1. <u>Temperatura</u> .....                  | 37 |
| 4.1.2. <u>Heliofanía</u> .....                   | 38 |
| 4.1.3. <u>Precipitaciones</u> .....              | 38 |
| 4.2. EVOLUCIÓN ALTURA DE PLANTA.....             | 39 |
| 4.3. ÍNDICE DE CLOROFILA.....                    | 40 |
| 4.4. EVOLUCIÓN DE BIOMASA.....                   | 41 |
| 4.5. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....            | 42 |
| 4.5.1. <u>Granos por metro cuadrado</u> .....    | 42 |
| 4.5.2. <u>Peso de grano</u> .....                | 43 |
| 4.5.3. <u>Esterilidad</u> .....                  | 44 |
| 4.6. ENFERMEDADES.....                           | 45 |
| 4.7. RENDIMIENTO.....                            | 47 |
| 4.8. ANÁLISIS ECONÓMICO.....                     | 49 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> .....                     | 51 |
| 6. <u>RESUMEN</u> .....                          | 52 |
| 7. <u>SUMMARY</u> .....                          | 54 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....                     | 56 |

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No.   | Página |
|--|--------|
| 1. Secuencia de cultivos previos a la fase arroz en 2016/2017 de cada rotación.....  | 27     |
| 2. Dosis de nitrógeno aplicada en macollaje y primordio del cultivo de arroz, en cada tratamiento y rotación .....                     | 30     |
| 3. Margen bruto relativo al manejo recomendado según tratamiento de nitrógeno y protección del cultivo en el cultivar Parao.....       | 49     |
| 4. Margen bruto relativo al manejo recomendado según tratamiento de nitrógeno y protección del cultivo en el cultivar INIA Merín ..... | 49     |
| Figura No.   |        |
| 1. Mapas de rendimiento potencial, actual, brecha de rendimiento y rendimiento relativo.....   | 9      |
| 2. Rotaciones evaluadas en el experimento de largo plazo y fases de la rotación donde se realizó la tesis .....                        | 26     |
| 3. Ilustración de los tratamientos de nutrición nitrogenada y protección con fungicidas en dos cultivares de arroz.....                | 29     |
| 4. Temperatura máxima, media y mínima para la zafra arrocerca 16/17 en comparación con la serie histórica (1971- 2015).....            | 36     |
| 5. Heliofanía (horas) promedios decádicos de la serie histórica (1971- 2015) y durante la zafra arrocerca 2016/2017.....               | 37     |

|   |    |
|---|----|
| 6. Precipitaciones zafra arroceras 16/17 y serie histórica (1971-2015).....   | 38 |
| 7. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la altura de planta en dos cultivares de arroz.....                             | 39 |
| 8. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la evolución del índice de clorofila en dos cultivares de arroz.....            | 40 |
| 9. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la producción de biomasa en dos cultivares de arroz.....                        | 41 |
| 10. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre el número de granos por metro cuadrado en dos cultivares de arroz .....        | 42 |
| 11. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre el peso de granos en dos cultivares de arroz.....                              | 43 |
| 12. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la esterilidad en dos cultivares de arroz.....                                 | 44 |
| 13. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la severidad de enfermedades de tallo y vaina en dos cultivares de arroz ..... | 45 |
| 14. Rendimiento de dos cultivares de arroz en la zafra 2016/2017 según antecesor de verano.....   | 46 |
| 15. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre el rendimiento en grano de dos cultivares de arroz .....                       | 47 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los principales productos de la economía agrícola uruguaya. Es un agronegocio bien integrado completamente dedicado a la exportación, con más del 95% de la cosecha anual vendida a más de 50 países. Con solo 170.000 hectáreas sembradas cada año y un rendimiento promedio de 8.000 kg ha<sup>-1</sup>, uno de los rendimientos reales por hectárea más altos registrados en todo el mundo. Uruguay se ubica en el séptimo lugar entre los exportadores mundiales de arroz. El arroz uruguayo es reconocido por el mercado por su alta calidad, obteniendo precios superiores entre los granos largos. Además, el arroz generalmente rota con pasturas integrados en sistemas de producción animal, un sistema sostenible con insumos agroquímicos relativamente bajos y impactos ambientales reducidos (Zorrilla y Terra, 2017).

Más allá de que los rendimientos obtenidos son de los mayores en el mundo, el arroz es el cultivo extensivo que presenta la mayor inversión de capital por hectárea. Los altos costos operativos del cultivo (insumos y mano de obra) y las inversiones en infraestructura y maquinaria, constituyen una de las principales limitantes del rubro. El estancamiento del precio del producto, hace que el margen neto del cultivo sea cada vez más estrecho y sea necesario invertir esfuerzos en la búsqueda de un uso más eficiente de los recursos y en el logro de mayores rendimientos.

En esto juegan un rol clave los trabajos de investigación llevados a cabo por la Estación Experimental del Este. Dentro de este marco en el año 2012 comienza a funcionar en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (Treinta y Tres), el experimento de rotaciones arroceras de largo plazo con el objetivo de evaluar distintas alternativas de la intensificación del sistema arroz-pasturas típico de Uruguay, con sus correspondientes prácticas de manejo adaptadas a las mismas. El eje central de la plataforma es la intensificación sostenible de los sistemas arroceros, buscando mejorar la productividad y eficiencia de los procesos productivos tanto del arroz como del sistema en su conjunto, minimizando los impactos ambientales y procurando el manejo sostenible de los recursos naturales.

La productividad media del cultivo de arroz del experimento en las primeras 5 zafas ha sido de 9690 kg/ha, que es un 16% mayor al rendimiento comercial medio de la región Este. Entre las tecnologías asociadas que se utilizan en el experimento para alcanzar estos rendimientos, se encuentra el manejo del nitrógeno basado en el potencial de mineralización de nitrógeno en cada una de las rotaciones y el manejo integrado de las enfermedades mediante el uso de una gran proporción de cultivares modernos resistentes a

*Pyricularia oryzae* y la aplicación estratégica de un fungicida a inicios de la floración para control de enfermedades del tallo.

A los efectos de conocer que tan próximos se encuentran los rendimientos obtenidos en el experimento, respecto a los rendimientos alcanzables (sin limitantes de nitrógeno, agua y con los factores de reducción de rendimiento controlados), en la zafra 2016-17 se condujo un trabajo que evaluó el potencial de rendimiento de dos variedades de arroz sembradas sobre distintas rotaciones con agregados no limitantes de nitrógeno y/o fungicida comparadas con el manejo estándar del experimento para estas variables.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES UTILIZADAS

#### 2.1.1. Cultivar Parao

Este cultivar proviene del cruzamiento realizado en el año 1996, entre una línea experimental del programa e INIA Tacuarí. Dentro de los parentales del material se destacan varias líneas del Sur de Estados Unidos con buena calidad y resistencia a Brusone. Ingresó en evaluación preliminar en 2002/03, identificada como L5502, por lo que se cuenta con abundante información sobre su comportamiento (Molina et al., 2011).

Respecto a las características agronómicas, Parao es un cultivar del subtipo japónica tropical, posee tallos fuertes, con hojas erectas de color verde oscuro, sin pilosidad y de senescencia lenta. La altura de planta promedio es de 80 cm. El ciclo a floración de Parao es 6 días más largo que el de INIA Tacuarí y 3 días más corto que el de El Paso 144, aunque su maduración es más lenta, por lo que demora 4 días más que El Paso 144 en llegar a cosecha (Blanco et al., 2013).

Presenta mayor resistencia a desgrane y a vuelco que las demás variedades disponibles, lo que resulta en una muy buena tolerancia a retrasos en la cosecha. Esta variedad también tiene muy buena tolerancia a bajas temperaturas en las etapas vegetativa y reproductiva, mostrando la menor incidencia de esterilidad entre variedades disponibles (Blanco et al., 2013).

En una serie de evaluaciones realizadas en las zafras comprendidas entre el año 2002 y 2010, el cultivar Parao presentó una esterilidad promedio de 15,3 % y fue la de menor valor con respecto a otras variedades comerciales (Molina et al., 2011).

Parao se comporta como resistente a moderadamente resistente al hongo *Pyricularia oryzae*, causante de la enfermedad Brusone, habiéndose comprobado, por estudios moleculares, que la nueva variedad posee el gen de resistencia Pi2. También ha mostrado mejor sanidad en los tallos que INIA Tacuarí, con una incidencia de manchado de vainas (causado por los hongos *Waitea circinata* y *Rhizoctonia oryzae - sativae*) y de podredumbre del tallo (*Nakataea oryzae*) levemente inferior. En el caso de esta última enfermedad presenta mejor tolerancia que El Paso 144 (Blanco et al., 2013).

En cuanto al rendimiento del cultivar, en 63 ensayos conducidos en la cuenca de la laguna Merín, entre 2002/03 y 2011/12, el rendimiento promedio

de Parao fue de 9.163 kg/ha, 2% superior al de El Paso 144 y 8% superior al de INIA Tacuarí (Blanco et al., 2013).

### 2.1.2. Cultivar INIA Merín

INIA Merín es una variedad resultante de la selección local en una población originada en el cruzamiento simple de L1435- INIA Cuaró con CT9506, realizado en 1997 por P. Blanco. CT9506 es un genotipo originado en CIAT, Colombia, de amplios objetivos: calidad de grano, resistencias múltiples a diversas enfermedades (*Pyricularia oryzae*, hoja blanca, manchado de grano, escaldado de la hoja, entre otras) y resistencias a toxicidad de hierro y de aluminio (Martínez, citado por Pérez de Vida, 2016).

Con respecto a las características agronómicas, es un cultivar del subtipo Indica, con macollaje abundante, erecto, y compacto de buena resistencia al vuelco. La altura máxima de la canopia alcanza los 85 cm (similar a El Paso 144 y 5 cm superior a INIA Olimar). El follaje presenta pilosidad y se mantiene erecto durante la etapa de llenado de granos. El largo de la hoja bandera es de 25 cm, similar a El Paso 144 y Olimar. La duración del ciclo de siembra a 50% de floración es de 111 días, estadísticamente similar a su progenitor INIA Cuaró (113) y a El Paso144 (107); INIA Olimar presenta un ciclo intermedio de 102 días. La respuesta a fertilización nitrogenada es muy buena, asociada al mantenimiento de un índice de área foliar (IAF) a floración no demasiado elevado (6,5-7) y alta sanidad (Pérez de Vida, 2016).

Presenta reacción de resistencia HR en hoja a *Pyricularia oryzae*. En 2012/13, de modo similar a años previos, la reacción en hojas y cuello de INIA Merín fue de 1, mientras que los testigos (El Paso 144 y INIA Olimar) alcanzaron valores de 7-8. En cuanto al complejo de enfermedades del tallo predominan síntomas asociados a *Sclerotium oryzae* con muy baja prevalencia de *Rhizoctonia* spp. En el primer caso se han registrado valores de ISD=61,3, mientras que los testigos presentaron 80,3 y 70,2 para El Paso 144 y INIA Olimar respectivamente (Pérez de Vida, 2016).

La productividad de INIA Merín es aproximadamente 5% superior a la de los cultivares comerciales El Paso 144 e INIA Olimar, incluidos como testigos comunes en los experimentos. En una serie de 18 experimentos, en ocho años, las variedades comerciales presentaron rendimientos entre 8.000 y 11.200 kg ha<sup>-1</sup>, con medias de 9.270 y 9.650 kg ha<sup>-1</sup>. INIA Merín alcanzó una productividad media de 9.920 kg ha<sup>-1</sup> (Pérez de Vida, 2016).

### 2.1.3. Diferencias en respuesta a la temperatura de genotipos índica y japónica

Según Vergara, citado por Ferreira y Mountanban (1998), las variedades resistentes a bajas temperaturas son las que mantienen altas tasas fotosintéticas aún a bajas temperaturas e intensidades de luz. En condiciones óptimas no hay diferencia entre variedades sobre el total del período de crecimiento.

A su vez define el óptimo rango de temperatura para la actividad fotosintética de variedades índicas entre 25 – 35 °C, y para variedades japónicas entre 18 – 33 °C.

Las variedades índicas son marcadamente más afectadas por las variaciones climáticas principalmente por temperatura, seguido por horas de sol.

La distribución del parénquima clorofiliano es diferente en índicas y japónicas (clorénquima más compacto). En japónicas al ser más compacto conserva más la temperatura siendo esto importante en la etapa de plántula.

Según Stansel, citado por Castera (2000a) cuando la temperatura cae por debajo de 10°C por más de tres días durante el llenado y maduración del grano, el rendimiento se detiene en los cultivares índicos. Sin embargo, los cultivares japónicos pueden seguir desarrollándose hasta con 2 a 3°C menos.

## 2.2. BRECHAS DE RENDIMIENTO

Para comprender el concepto de brecha de rendimiento es necesario definir los conceptos de rendimiento potencial, rendimiento alcanzable y rendimiento actual.

Cassman, citado por Blanco (2013) define rendimiento potencial como el rendimiento teóricamente alcanzable de un cultivo solamente determinado por características genéticas y clima (radiación solar y temperatura). Esto se da en una situación con nutrientes y agua no limitantes y plagas y enfermedades controladas eficazmente (Evans, citado por Cassman et al., 2003).

Rendimiento alcanzable se define como aquel que puede ser alcanzado minimizando factores de estrés bióticos y abióticos, a través de la mejor tecnología disponible, en un lugar determinado, en un típico campo de producción (Cassman, citado por Blanco, 2013).

El rendimiento actual es definido por van Ittersum et al. (2003) como el rendimiento realmente logrado en el campo de un agricultor.

La brecha de rendimiento es la diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento promedio de los agricultores en una escala espacial y temporal específica (Lobell et al., 2009).

### 2.2.1. Componentes de las brechas de rendimiento

Según FAO (2004), las brechas de rendimiento pueden descomponerse en tres componentes. El primer componente, es la brecha existente entre el rendimiento potencial teórico y el rendimiento a nivel de estación experimental para la cual los científicos conciben y desarrollan mejores variedades potenciales.

El segundo componente, es la brecha entre el rendimiento de la estación experimental y el rendimiento agrícola potencial, y es causado principalmente por los factores que generalmente son intransferibles, como las condiciones ambientales y algunas tecnologías que están disponibles en las estaciones de investigación (FAO, 2004).

Por último, el tercer componente de las brechas de rendimiento es la diferencia entre el rendimiento agrícola potencial y el rendimiento agrícola real o rendimiento actual, y es causado principalmente por las diferencias en las prácticas de manejo (FAO, 2004).

### 2.2.2. Factores que causan las brechas de rendimiento

Según FAO (2004), los factores que causan brechas de rendimiento en arroz pueden clasificarse según su modalidad y el grado en el cual contribuyen a las mismas en:

- Biofísicos: clima, condiciones atmosféricas, suelos, agua, presión por plagas, malezas.
- Técnicos o de manejo: labranza, selección de variedades, agua, nutrientes, malezas, plagas y manejo en post cosecha.
- Socioeconómicos: nivel socioeconómico, tradiciones y conocimiento de los agricultores, tamaño de la familia, ingresos, gastos, inversiones del hogar.
- Institucionales y/o políticos: política del gobierno, precios del arroz, crédito, oferta de insumos, tenencia de la tierra, mercados, investigación, desarrollo, extensión.
- Transferencia de tecnología y vínculos: idoneidad y servicios del personal de extensión; integración entre investigación, desarrollo y extensión; resistencia de los agricultores frente a la nueva tecnología;

conocimientos y habilidades; vínculos débiles entre el personal de extensión de los sectores público, privado y no gubernamental.

### 2.2.3. Importancia del análisis de las brechas de rendimiento

La demanda mundial de alimentos está creciendo rápidamente, gran parte de las tierras cultivadas actualmente tienen rendimientos muy por debajo de su potencial, y la trayectoria global de expansión agrícola tiene serias implicancias para el medio ambiente en el largo plazo (Tilman et al., 2011).

Las trayectorias futuras de los precios de los alimentos, la seguridad alimentaria y la expansión de las tierras cultivadas están estrechamente relacionadas con los rendimientos medios futuros de los cultivos en las principales regiones agrícolas del mundo. Debido a que los rendimientos máximos posibles logrados en los campos de los agricultores podrían nivelarse o incluso disminuir en muchas regiones en las próximas décadas, es esencial reducir la brecha entre los rendimientos promedio y potencial (Lobell et al., 2009).

La reducción de las brechas de rendimiento aumenta la productividad del arroz, mejora el uso de la tierra y de la mano de obra, reduce los costos de producción y aumenta la sostenibilidad (FAO, 2004).

### 2.2.4. Factores a considerar para la disminución de las brechas de rendimiento

Según FAO (2004), las brechas existen porque los agricultores emplean dosis de insumos y prácticas culturales sub óptimas. Este componente es manejable y puede reducirse al aumentar las actividades de investigación y los servicios de extensión, así como mediante intervención gubernamental apropiada, especialmente en asuntos institucionales.

Por otro lado Fischer et al. (2009) sostienen que existen brechas de rendimiento porque las tecnologías conocidas que se pueden aplicar en las estaciones experimentales no se aplican en los campos de los agricultores que tienen la misma dotación de recursos naturales. Estos autores consideran que la economía y la aversión al riesgo son las principales razones que lo explican.

Las perspectivas para el cierre de las brechas de rendimiento pueden ser inciertas. Una multitud de restricciones puede reducir el rendimiento agrícola, desde infraestructurales a institucionales, que tienen que ver con el costo de los agricultores y los precios, las habilidades y actitudes de los mismos y diversas limitaciones técnicas. La resolución de esto último a su vez depende en gran medida de intervenciones agronómicas y de mejoramiento, aunque

deben resolverse en conjunto con las otras limitaciones para que tengan un impacto significativo en los predios de pocos recursos (Fischer et al., 2009).

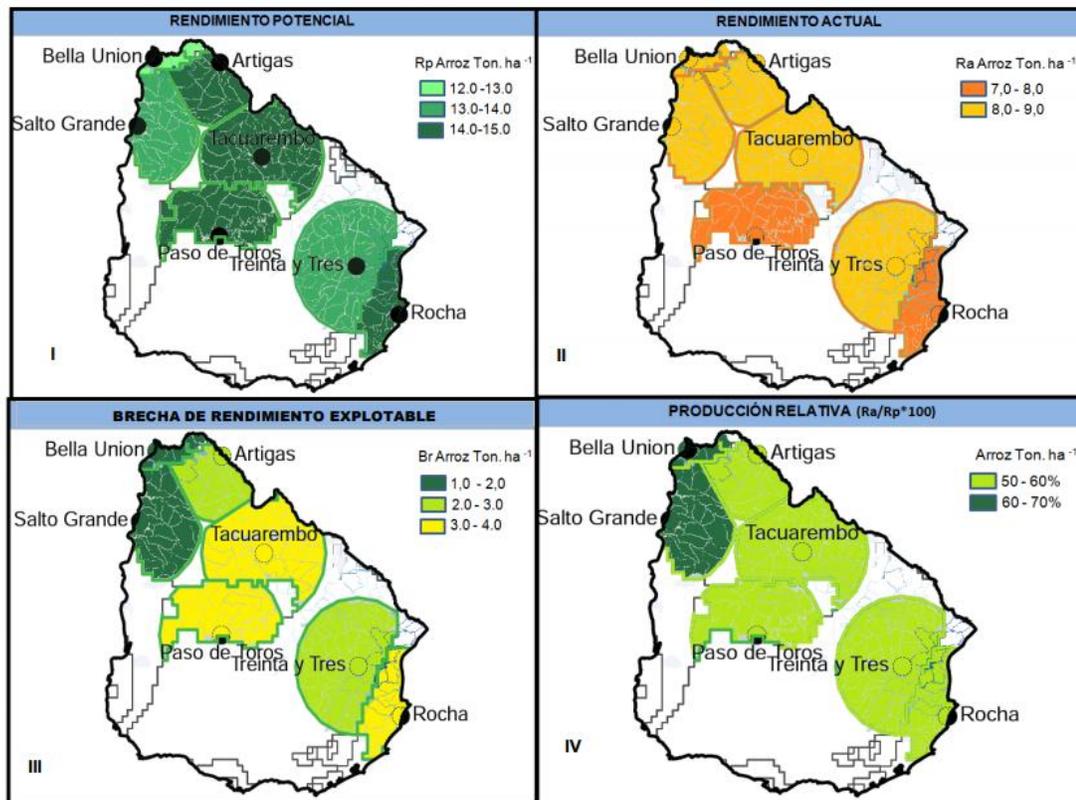
#### 2.2.5. Brechas de rendimiento en Uruguay

Según Zorrilla y Terra (2017) durante muchos años el potencial de rendimiento del cultivo de arroz en las condiciones agroclimáticas uruguayas fue tema de debate, y algunos autores sostienen que los agricultores alcanzan un techo de rendimiento biofísico al obtener  $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$  en sus campos. En 2016, estos valores fueron estimados, modelados y mapeados en un trabajo conjunto de INIA y la Universidad de Nebraska, Lincoln, aplicando la metodología y los protocolos desarrollados por Global Yield Gap Atlas (GYGA, Carracelas et al., citados por Zorrilla y Terra, 2017).

Este trabajo consistió en determinar el potencial de rendimiento ( $R_p$ ), el rendimiento actual geo-referenciado ( $R_a$ ) y la brecha de rendimiento explotable existente ( $Br = R_p * 80\% - R_a$ ) a escala local y regional en Uruguay con una nueva metodología utilizando modelos eco-fisiológicos del cultivo de arroz y grandes bases de datos.

Se definieron áreas arroceras geo-referenciadas, se determinaron las zonas agroclimáticas y seleccionaron las estaciones meteorológicas para la base de datos.

Se determinó el rendimiento potencial ( $R_p$ ) mediante un modelo de simulación para un período de 18 años en 7 estaciones meteorológicas de referencia. Los rendimientos actuales ( $R_a$ ) de una serie de cinco años (2010-2014) geo-referenciados por área fueron extraídos de las bases de datos de tres Industrias de arroz de Uruguay (Casarone S.A., Coopar S.A. y Saman S.A.). La brecha de rendimiento explotable ( $Br$ ) se determinó como la diferencia entre el 80% del  $R_p$  y el promedio del  $R_a$  en los últimos cinco años ponderado por el área de arroz (Cassman et al., Lobell et al., citados por Carracelas et al., 2016).



Rendimiento potencial, (II) Rendimiento actual (2010-2014), (III) Brecha de rendimiento explotable (Br) y (IV) producción relativa ( $Ra/Rp \cdot 100$ ) para cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas en las regiones arroceras.

Figura 1. Mapas de rendimiento potencial, actual, brecha de rendimiento y rendimiento relativo

Fuente: Carracelas et al. (2016).

Los resultados mostraron un potencial de rendimiento promedio de 14 t/ha para las diferentes regiones arroceras uruguayas, un rendimiento real promedio del país de 8 t/ha y una brecha de rendimiento explotable de 3 t/ha. La mayor brecha se encontró en el Centro- Este: Tacuarembó, Paso de los Toros, Rocha y la menor brecha en el Norte: Bella Unión y Salto (Carracelas et al., 2016). Estos resultados indican que sería posible continuar mejorando los rendimientos de arroz y cerrar la brecha de rendimiento explotable existente.

Por otra parte, en 2013 comenzó un proyecto conjunto entre el INIA, la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA) y la Gremial de Molinos Arroceros (GMA), para explorar cómo se podría obtener mayores rendimientos integrando tecnologías conocidas, incluidas variedades mejoradas. El objetivo era

comprobar si combinando las opciones de manejo de cultivos disponibles había posibilidades de aumentar hasta un 10% los rendimientos de los productores líderes (Zorrilla y Terra, 2017). Se identificaron los mejores 40 agricultores de la región Este del país y se realizaron encuestas personales con cada uno. Se extrajo de estos datos un "manejo del cultivo estándar de productores líderes" y se llevaron a cabo experimentos de campo dos años durante las zafras productivas 2014-2015 y 2015-2016, contrastando este paquete de gestión con otras alternativas mejoradas propuestas por el equipo técnico del proyecto. Los resultados preliminares indicaron que incluso el mejor manejo estándar del productor podría alcanzar hasta 12-13 t/ha si se aplica adecuadamente y algunas de las mejoras propuestas pudieron aumentar los rendimientos en un 10% sobre esos valores (Deambrosi et al., citados por Zorrilla y Terra, 2017).

Según Saldías et al. (2016), existe coincidencia en que el principal motivo que explica la no aplicación del paquete tecnológico que representa las mejores prácticas de manejo para optimizar los rendimientos, se relaciona con problemas o dificultades en la gestión por parte del productor o de los acuerdos comerciales entre productores ganaderos, propietarios de la tierra, y productores arroceros, que no integran adecuadamente ambas producciones.

### 2.3. ROTACIONES

Silva et al. (2015), definen rotación de cultivos como una práctica de manejo que busca maximizar la productividad por unidad de superficie, optimizando el uso de los recursos. Una rotación consiste en la sucesión de diferentes cultivos en el mismo suelo a través del tiempo.

La rotación de arroz con otros cultivos o con pasturas sembradas, es una alternativa que debe ser analizada cuidadosamente, en el momento en que se encara la producción de arroz (Gamarra, 1996).

Así como el arroz necesita un ambiente adecuado para crecer, sus enemigos, en su mayoría, necesitan el mismo ambiente. Partiendo de esa premisa se procede a implantar rotaciones para conformar un ambiente distinto (Topolanski, 1975).

Según Gamarra (1996), refiriéndose a rotaciones en Uruguay, el uso tradicional de la tierra en la zona Este del país previo a la década del 70, estaba comprendida por dos años de arroz (continuo o alterno) y 6 o 7 años de descanso, por lo tanto, de diez años solamente se plantaba arroz en dos. Este uso de la tierra es totalmente ineficiente, por la baja frecuencia del cultivo, y por el bajo rendimiento del rastrojo en la producción de carne. Por otra parte, hay una gran subutilización de la infraestructura de riego, de drenaje y de la red de caminos.

En la década del 70 se comenzó a trabajar por parte de la Estación Experimental del Este en alternativas de mejoramiento de la tecnología. Paralelamente se profundizó la posibilidad de rotación de arroz con pasturas sembradas y con cultivos anuales. El objetivo de estas rotaciones era el siguiente:

- Aumentar la frecuencia de arroz en la rotación.
- Disminuir los problemas de cultivo continuo utilizando una tecnología de manejo mejorada.
- Cambiar el barbecho poco productivo por opciones más productivas como pasturas mejoradas, aumentando la producción de carne. Pueden ser también otros cultivos, como maíz, sorgo y soja, que se benefician de la infraestructura del arroz.

#### 2.3.1. Rotación con pasturas

La implementación de rotaciones de arroz con pasturas debe ser tenida en cuenta con un enfoque global del sistema de manera de optimizar el uso de los recursos y lograr una producción sostenible, de esta manera se puede mantener o aumentar la fertilidad del suelo, mejorar el control de malezas, enfermedades y plagas, con esto el aumento del rendimiento del cultivo, así como también la diversificación de rubros, permitiendo distintos ingresos y menor riesgo.

Gamarra (1996), identifica las siguientes ventajas y desventajas que tendría la implementación de este sistema.

Ventajas para el arroz:

- En términos físico-económicos el arroz se ve beneficiado luego de un período de pradera.
- Se mejoran las condiciones físicas del suelo.
- Si la pradera está bien drenada puede ayudar a disminuir la presencia de malezas perjudiciales para el arroz.

Desventajas para el arroz:

- Si se pastorea con animales adultos el primer año hay mucho huelleado.
- Si no se drena bien puede haber proliferación de gramas que además aprovechan la fertilización de la pradera.
- Aún en el caso que se drene bien se ha constatado, un aumento de la incidencia de gramilla (*Cynodon dactylon*) que afecta luego la preparación de la tierra para el arroz y el trabajo de nivelación y puede competir en las primeras etapas del cultivo.

- Si la implantación de la pradera no es buena, puede aparecer arroz rojo y llegar a semillar, si no se pastorea adecuadamente.

Ventajas para la pradera:

- Aprovecha la fertilización del arroz.
- Puede ser regada en caso de sequía.
- Se beneficia con la nivelación y el drenaje realizados para el arroz tanto en implantación como en la producción de forraje posterior.
- La paja de arroz protege contra las heladas y ayuda a mantener la humedad.

Desventajas para la pradera:

- Las propiedades físicas del suelo en general no son buenas tiene que desarrollarse en suelos mal drenados y con problemas de mesorrelieve, si no se realiza un manejo adecuado.
- El pisoteo del ganado en este tipo de suelos provoca daños considerables en el tapiz.

Por otra parte, Méndez (1993), en un experimento llevado a cabo en la estación experimental Paso de la Laguna, encontró un 16 % de aumento de rendimiento de arroz luego de la fase pasturas, con respecto al arroz sin pastura sembrada previa. El efecto positivo de la pastura se consideró como la principal causa de este incremento.

Según Olaizola, citado por Topolanski (1975) además del beneficio directo que se obtiene en forma de productos pecuarios, las praderas y los cultivos forrajeros de leguminosas bien explotados restablecen la fertilidad del suelo y mejoran sustancialmente la estructura del mismo.

La inclusión de un descanso a base de praderas en las rotaciones es también muy aconsejable para combatir las enfermedades y plagas. Los pastos perennes compiten muy bien con las malezas de los cultivos anuales, que resultan difíciles de eliminar en tierras regadas y que reducen los rendimientos en forma considerable (Olaizola, citado por Topolanski, 1975).

#### 2.3.1.1. Efecto de la pastura sobre la productividad del arroz

Da Rosa (1981), encontró que el rendimiento de arroz sobre praderas fue superior al del retorno. Sin embargo, el buen nivel de fertilidad de la pradera se reflejó principalmente en los caracteres vegetativos altura de planta y producción de materia seca, y en menor grado en el rendimiento en grano, logrado principalmente por el mayor tamaño de panoja (espiguillas/panoja).

Beecher et al. (1994), muestran que los tratamientos con pasturas rindieron lo mismo que el tratamiento con arroz continuo que recibió 160 kg de urea /ha, y fueron significativamente más altos que el arroz continuo sin fertilización.

Los autores también encontraron que en las secuencias con pasturas cortas y pasturas largas, los tratamientos sin fertilización fueron capaces de suministrar suficiente nitrógeno como para acumular un total de materia seca igual a los que recibieron fertilización, pero produjeron menos tallos y tuvieron menor rendimiento en grano.

En otro trabajo realizado por Beecher et al. (1994), constataron que las secuencias de cultivos que tenían pasturas rindieron significativamente más que las secuencias basadas en cultivos, pero no hubo diferencias significativas en el rendimiento de arroz luego de dos o de cuatro años de pasturas. Estos resultados sugieren que la fase de pasturas de la rotación de arroz-cultivos, podría constar de dos años, si se logra alta productividad y dominancia de trébol.

### 2.3.2. Rotación con cultivos

Históricamente el arroz alterna con pasturas que cumplen la función de regeneración de suelo, sin embargo, existe una tendencia a la intensificación de los sistemas, ya sea por el aumento de la frecuencia del cultivo de arroz, la incorporación de pasturas de productividad más corta y/o la inclusión de otros cultivos, sobre todo, la soja. Para Terra et al. (2014) esta intensificación productiva se debe realizar de una manera sustentable, orientada a mejorar la productividad global.

Por otro lado, Anders et al. (2006) afirman que luego de siete años de estudio comparando rotaciones, diferentes laboreos, fertilidad y variedades utilizadas, una combinación adecuada de cultivos en rotación resulta en el aumento de las ganancias, explicado en gran parte por la posibilidad de reducir tanto los laboreos como la fertilización de los cultivos.

En estos mismos estudios realizados por Anders et al. (2006) se reportó que el efecto rotación es el que explica gran parte de las diferencias de rendimiento y que la rotación arroz-soja aparenta ser el tratamiento que da mayores rendimientos y a su vez mayor estabilidad del mismo.

En términos de rendimientos de arroz según rotación, Macedo et al. (2017), en el resumen de las zafas desde el inicio del experimento de rotaciones sobre el cual se desarrolla esta tesis muestran que el rendimiento de arroz en rotación con cultivos tuvo un promedio de 10.300 kg/ha y fue algo mayor y más estable que en las otras rotaciones.

Con respecto a la inclusión de cultivos alternativos en las rotaciones con arroz, Gamarra (1996) destaca las siguientes ventajas y desventajas para el cultivo de arroz.

Ventajas:

- Control de especies malezas problema, especialmente gramilla y arroz rojo.
- Ayudan a recuperar las condiciones físicas del suelo.
- Aprovechamiento de la mejor fertilidad del suelo.

Desventajas:

- Competencia por maquinaria, mano de obra y agua de riego en momentos claves
- Alguna enfermedad puede ser común a ambos cultivos (*Rhizoctonia* spp).

A su vez la decisión de los cultivos alternativos va a depender del precio de comercialización. En medida que estos sean buenos, es una alternativa que permite seguir trabajando en la nivelación, drenaje, control de malezas, todo siendo practicas compatibles y benéficas para el cultivo de arroz.

Haciendo énfasis en el cultivo de soja, al ser una leguminosa se plantea la posibilidad que el cultivo soja deje residuos de nitrógeno aprovechable por el arroz, sin embargo, Gamarra (1996) no ha encontrado que esto ocurra, y se produce una alta respuesta al agregado de nitrógeno en el cultivo de arroz siguiente. Por otra parte, Olk et al. (2005) expresan que la captación de nitrógeno por cultivos de arroz en rotación con soja, es mayor que los cultivos de arroz en rotaciones más intensas. También se expresa que el menor rendimiento en arroz continuo se debe principalmente a la disminuida captación de nitrógeno en etapas tempranas del cultivo, en comparación con la captación en rotaciones con soja.

### 2.3.3. Problemática del arroz como cultivo continuo

Según Gamarra (1996) el arroz como cultivo continuo presenta una serie de problemas que resultan negativos para la obtención de buenos rendimientos y de calidad de grano. En mediano plazo estos problemas ya se manifiestan si se planta por más de dos años en el mismo campo usando la tecnología tradicional.

Gamarra (1996) identifica como principales dificultades:

- Pérdida de nutrientes y de materia orgánica del suelo.
- Deterioro de las condiciones físicas del suelo.
- Infestación creciente de malezas.
- Problemas de nivelación y drenaje.
- Mayor incidencia de enfermedades y plagas.

Litzenberger (1974) sostiene que en la mayoría de las zonas productoras de arroz de los Estados Unidos, los cultivos se rotan porque, en cultivos continuos, el suelo generalmente se agota en fertilidad y en materia orgánica. El deterioro resultante de la condición física del suelo hace que la preparación de una buena cama de siembra sea muy difícil. Además, el suelo se infesta progresivamente con malezas y enfermedades que disminuyen el rendimiento y la calidad del arroz.

De acuerdo con Topolanski (1975) en el caso del arroz, como en cualquier otro cultivo, se cumple que la productividad y la calidad disminuyen si se continúa en forma permanente con el mismo cultivo en el mismo terreno. Por lo que si se desea mantener una buena productividad se debe optar por la implantación de rotaciones de cultivos.

Topolanski (1975) constata que en Argentina, en el Sur de Brasil y en Uruguay, la producción en los arrozales sin rotaciones decrece de más de 5000 kg/ha en el primer año a 2000 kg/ha en el cuarto año de cultivo de arroz. La mayoría de los productores no llegan al cuarto año, debido a que las condiciones del suelo los obliga a migrar e instalarse en tierras nuevas.

La continuidad del cultivo genera otros inconvenientes. Además de que la fertilidad disminuye y la asimilación de los nutrientes se dificulta, aumenta la acción nociva de otros enemigos del arroz (Topolanski, 1975). Se identifican estos como, malezas, hongos, insectos, bacterias y virus.

En un trabajo llevado a cabo por Anders et al. (2006), en Arkansas entre el año 2000 y 2006 donde se evaluó el efecto de distintas rotaciones sobre el rendimiento de arroz, de las cinco rotaciones estudiadas, el arroz continuo tendió a tener el menor rendimiento cada año y fue significativamente más bajo en 2000, 2001, 2002 y 2004.

## 2.4. MANEJO DEL CULTIVO

### 2.4.1. Nutrición nitrogenada

#### 2.4.1.1. Funciones del nitrógeno para el arroz

Entre las principales funciones del nitrógeno en las plantas se destacan su participación en la estructura de las proteínas y enzimas, las primeras

cumplen funciones estructurales, constitutivo-estructurales, de transporte y de almacenamiento, mientras que las segundas se encargan de catalizar procesos de nutrición. El nitrógeno es también un regulador de crecimiento, por su acción a nivel de promoción de la reproducción celular y por lo tanto del macollaje, aumento del tamaño de las hojas, incremento en el número de granos por panícula, tamaño y contenido de proteína de los granos (Mejía de Tafur y Menjivar, 2010).

Según De Battista (2006) el nitrógeno es constituyente esencial de aminoácidos, nucleótidos y clorofila de la planta de arroz. Este nutriente favorece el macollaje, el crecimiento de hojas y su duración, aumenta el número de granos por panoja y el contenido de proteína en el grano.

El nitrógeno mejora el sistema radicular interviniendo en una mayor absorción de agua y nutrientes (Fageria y Baligar, 2005). A su vez, promueve la actividad fotosintética debido a la mayor intercepción de radiación y mejora la eficiencia de ésta (Fageria et al., 2003).

Yoshida, citado por Fageria y Baligar (2005) reporta que una de las funciones del nitrógeno es establecer el potencial y mantener la capacidad fotosintética durante el llenado del grano.

#### 2.4.1.2. Requerimientos de nitrógeno

El cultivo de arroz cubre sus requerimientos de nitrógeno desde diferentes fuentes, las dos principales son el aplicado como fertilizante y el disponible a partir del suelo, según De Datta (1981) el arroz fertilizado con nitrógeno obtiene entre el 50 y el 80 % de sus requerimientos desde el suelo.

La demanda de nitrógeno es baja al inicio del macollaje pero se incrementa drásticamente al final de este estadio y se prolonga hasta la anthesis (Bueno y Onofre 2004, De Battista 2006).

De Datta (1981) repasando la concentración crítica de nitrógeno de varios autores sugiere como valor crítico 25 gramos de nitrógeno por kilogramo de materia seca producida en plantas en activo macollaje. Wells et al. (1993) sugieren un rango crítico de 25 a 32 gramos por kilogramo de materia seca de nitrógeno en hoja a iniciación de panoja, lo que coincide con lo reportado por Fageria et al. (1997).

Más recientemente Fageria y Baligar (2001) mencionan que para producir un kilogramo de grano de arroz es necesario acumular de 20 a 23 gramos de nitrógeno en grano y paja.

El cultivo de arroz, para variedades de alto rendimiento, puede realizar extracciones en torno a los 200 kg N/ha, lo cual se corresponde con 18,4kg de nitrógeno por tonelada de grano producido (Atanasiu, 1985).

Benintende et al. (2011) reportan valores promedio de nitrógeno absorbido durante todo el ciclo del cultivo para tres cultivares de arroz, de 119kg N/ha, similares a los encontrados por Angus et al., citados por Benintende et al. (2011) de 111 kg N/ha.

De Battista y Arias (2005) reportan requerimientos de nitrógeno diferenciales según variedad: para El Paso 144 de 15-17 kg de N/tonelada de grano, Bluebelle y Don Juan INTA 18-20 Kg de N/tonelada de grano. Estos autores además citan que García reportó requerimientos promedio de 22 kg de N/tonelada de grano.

En Uruguay, los cultivos de arroz para obtener los rendimientos promedio alcanzados a nivel comercial (superiores a 8 tt/ha) absorben aproximadamente 170kg/ha de nitrógeno (Deambrosi y Méndez, 2007), de los cuales según Fagueria, citado por Castillo et al. (2011) 90 kg/ha son extraídos en los granos, mientras que el resto queda en el rastrojo.

#### 2.4.1.3. Absorción de nitrógeno

La cantidad total de nitrógeno absorbido por la planta está determinada por la disponibilidad del nutriente en el suelo más que por la demanda nutricional de la planta o por su habilidad de tomar nitrógeno después del inicio de la panícula (Yamakawa et al., citados por Mejía de Tafur y Menjivar, 2010). Por lo tanto el rendimiento es una variable dependiente de la disponibilidad de nitrógeno en las etapas claves del desarrollo de las plantas.

La planta de arroz absorbe el nitrógeno de la solución del suelo como nitrato ( $\text{NO}_3$ ) o amonio ( $\text{NH}_4$ ). La mayoría de las plantas pueden absorber las dos formas, la mayor absorción de una u otra está determinada por su abundancia y accesibilidad. En suelos bien drenados el  $\text{NO}_3$  es dominante; para condiciones anaeróbicas o en climas fríos es el  $\text{NH}_4$  (De Datta, 1981).

El suministro de nitrógeno debe ser constante durante todo el ciclo del cultivo, pero la planta de arroz realiza una extracción diferencial en términos relativos, dependiendo de la etapa fenológica en la cual se encuentre. Desde la siembra hasta el máximo macollaje, la extracción es de aproximadamente un 37% del total, mientras que desde el comienzo de primordio floral a inicio de floración la misma es de un 31%, descendiendo a un 20% en el período que abarca desde inicio de floración hasta maduración total (Ishizuka, citado por Atanasiu, 1985).

Según De Datta (1981) el nitrógeno absorbido por la planta en los diferentes momentos del ciclo del cultivo ejerce acción sobre diferentes componentes de rendimiento. Desde macollaje hasta primordio floral, el nitrógeno absorbido tiende a aumentar el número de macollos y panículas, el

absorbido entre primordio floral y floración aumenta el número de espiguillas llenas y el absorbido posterior a la floración aumenta el peso de granos.

#### 2.4.1.4. Fuentes de nitrógeno

De Datta (1986) sostiene que el suministro de nitrógeno en el cultivo de arroz proviene mayoritariamente de: nitrógeno inorgánico presente en el suelo al momento de la inundación; nitrógeno mineralizable de la materia orgánica del suelo y residuos de planta en condiciones de inundación; nitrógeno fijado por algas y bacterias heterotróficas y nitrógeno aplicado como fertilizante.

El arroz fertilizado obtiene de 50 a 80% del nitrógeno del suelo, siendo esta proporción mayor, en términos relativos, en un cultivo sin fertilizar, por lo cual depende mayoritariamente de la mineralización de fuentes orgánicas para la absorción de nitrógeno (Koyama y Broadbend, citados por De Datta, 1986).

Deambrosi y Méndez (2007) reportan una respuesta relativamente baja al agregado de nitrógeno como fertilizante, donde los rendimientos logrados por los testigos sin fertilizar alcanzan rendimientos equivalentes a 80-90% respecto a la dosis óptima de fertilizante. La eficiencia del nitrógeno aplicado como fertilizante es muy baja, con un valor promedio de 30%.

Por otro lado, Castillo et al. (2011) usando técnicas isotópicas encontraron que ni el nitrógeno proveniente de fijación biológica ni el agregado como fertilizante nitrogenado constituyen una fuente importante del nutriente para el cultivo. Estos autores estimaron la cantidad del nitrógeno derivado del fertilizante que queda en el suelo al momento de la cosecha sin ser tomado por el cultivo, reportando valores promedio de 81, 75 y 17% del nitrógeno agregado en siembra, macollaje y primordio respectivamente.

#### 2.4.1.5. Fertilización nitrogenada y su fraccionamiento

Existen varios trabajos en Uruguay que demuestran la ventaja de fraccionar el nitrógeno de acuerdo a los requerimientos de las plantas, minimizando las posibles pérdidas del nutriente e incrementando su eficiencia (Chebataroff y Deambrosi, citados por Deambrosi y Méndez, 2007).

Deambrosi y Méndez (1998) estudiando la respuesta a la aplicación de nitrógeno y su fraccionamiento en la variedad El Paso 144 en Paso de la Laguna, encontraron que el mejor fraccionamiento fue 20%-30%-50% en siembra, macollaje y primordio respectivamente; y la mejor dosis resultó ser 90 kg/ha de nitrógeno.

Deambrosi et al. (2005) en un trabajo realizado también en Paso de la Laguna con el cultivar INIA Olimar, evaluaron 5 dosis de nitrógeno (0- 35-70-105 y140 kgN/ha) y 4 tipos de fraccionamiento, encontrando que el mejor fraccionamiento fue 20% a la siembra, 50% en macollaje y 30% en primordio,

donde el máximo físico se presentó a los 88 kg de nitrógeno, con una eficiencia agronómica de 8,9 kg de arroz por unidad de nitrógeno aplicado.

Por otro lado, Marzari et al. (2005) encontraron que existe mayor producción de materia seca de grano en los tratamientos que recibieron mayor cantidad de nitrógeno en las fases vegetativas iniciales. Para los tratamientos que recibieron dosis equivalentes de nitrógeno en siembra, macollaje y primordio se observó una menor producción. También señalan que los testigos sin aplicación de nitrógeno no presentaron mayores diferencias.

Méndez et al. (2013), trabajando con la variedad Parao en un ensayo en La Charqueada encontraron que el fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno de 25% al macollaje y 75% a primordio es el que obtuvo mayor respuesta en rendimiento.

En Uruguay a partir de la zafra 2011/2012 se viene realizando trabajos experimentales con el objetivo de evaluar la respuesta en rendimiento frente al agregado de nitrógeno a macollaje (V5) y primordio (R0). Estos trabajos revelaron que los indicadores, potencial de mineralización de nitrógeno del suelo (PMN), y absorción de nitrógeno por el cultivo, son de mejor ajuste para modelar la respuesta a fertilizaciones nitrogenadas para cada momento respectivamente (Castillo et al., 2014).

Siguiendo esta línea, Aguirre y Posser (2017), trabajaron con la variedad INIA Merín utilizando indicadores objetivos como PMN y absorción de nitrógeno para fertilización a macollaje y primordio respectivamente.

Estos encontraron incrementos de rendimiento de 4 % fertilizando a macollaje, y 13 % fertilizando a macollaje y a primordio, frente a un testigo sin agregado de nitrógeno, además observaron que excesos en las dosis agregadas a primordio no se traducen en mayor rendimiento en grano, y de esta manera disminuye eficiencia de uso de nitrógeno.

#### 2.4.1.6. Altura y macollaje

En diversos trabajos en los cuales se estudia la respuesta del cultivo de arroz a la fertilización nitrogenada, se observa respuesta en altura de planta y macollaje.

En este sentido, Fabre et al. (2011), estudiando dosis y épocas de aplicación de nitrógeno en el Norte de Brasil, observaron que el aumento en la dosis de nitrógeno promueve un aumento en la altura de las plantas, en las diferentes épocas de aplicación, ya que cuando se aplicaron sólo 50 kg/ha de nitrógeno, la altura de las plantas, en general, fue menor en relación con los promedios obtenidos con dosis de 100; 150 y 200 kg/ha de nitrógeno, sin observar vuelco de plantas.

Coincidiendo con los datos obtenidos por de Medeiros et al. (2007), quienes estudiando la respuesta de diferentes cultivares de arroz a diferentes dosis de nitrógeno, encontraron que la productividad de grano y la altura de plantas variaron según la dosis de nutriente. Se observó la máxima producción con 200 kg/ha de nitrógeno lo cual se justificó por el gran número de macollos fértiles. Al aumentar la dosis de nitrógeno se encontraron plantas más altas que proporcionaron más resistencia a enfermedades.

Por otro lado, Latheef y Govind (2007) sostienen que hay un incremento en el número de macollos al aumentar el nitrógeno agregado, también se ve incrementada la producción de materia seca en los diferentes estadios de crecimiento del cultivo; lo que se debe al aumento de la división celular y al alargamiento de estas.

#### 2.4.1.7. Índice de clorofila

El medidor de clorofila, Soil Plant and Analysis Development (SPAD), permite conocer la actividad clorofiliana que presenta el cultivo en determinado estadio. Algunos autores relacionan el índice de clorofila con el contenido de nitrógeno en planta.

En este sentido Turner y Jund (1994) observaron que la magnitud de respuesta en rendimiento del nitrógeno aplicado y los valores de SPAD tuvieron una alta correlación ( $r=0,62$ ) cuando las lecturas fueron realizadas previo a la diferenciación o iniciación de panículas.

Turner y Jund (1994) también afirman que valores de lectura de SPAD por encima de 40 en el cultivo de arroz durante primordio, en las condiciones de Texas, para el cultivar Lemont, se asociaron a niveles de suficiencia de nitrógeno en planta en ese cultivo.

Terra et al. (2007) hallaron diferencias significativas en el contenido de clorofila a fines de macollaje, encontrando a alta dosis de nitrógeno mayor valor de SPAD; al inicio de floración no hubo diferencias.

#### 2.4.1.8. Biomasa

La aplicación de nitrógeno favorece el crecimiento vegetativo, permitiendo aumentar el macollaje y crecimiento de hojas y tallos; lo que conlleva a un aumento en la producción de materia seca.

Fabini et al. (2018), estudiando curvas de dilución de nitrógeno con las mismas variedades que se utilizan en este trabajo, encontraron que la respuesta en producción de biomasa se dio solo en aplicaciones de nitrógeno a macollaje, a su vez en INIA Merín la dosis a macollaje de 100 kg/ha de nitrógeno siempre produjo más biomasa durante el ciclo que la dosis de 0 kg/ha, mientras que con dosis de 25 y 50 kg/ha hubo respuesta intermedia.

Para la variedad Parao con dosis de 100 kg/ha la respuesta en producción de biomasa fue mayor que la de 0 kg/ha N y 25 kg/ha N durante todo el ciclo, comportándose con la dosis de 50 kg/ha N, de forma intermedia.

#### 2.4.1.9. Componentes del rendimiento

Según Deambrosi y Méndez (1998) la aplicación de nitrógeno diferencia los componentes del rendimiento, incrementando el número de panojas/m<sup>2</sup> y el porcentaje de esterilidad.

Existe una correlación alta y positiva entre el nitrógeno en planta durante las semanas anteriores a floración y el número de granos por panoja. El contenido de nitrógeno junto con otros nutrientes influye en la fotosíntesis y respiración determinando mayor o menor número de granos (Morel y Miura, 2007).

Deambrosi et al. (2002) en un ensayo realizado con la variedad INIA Olimar observaron la respuesta en rendimiento por agregado de nitrógeno, donde destacan que al incrementar el nitrógeno el peso de granos disminuyó y que los granos vacíos aumentaron significativamente.

Según Deambrosi y Méndez (2007) la esterilidad se correlaciona en forma negativa con el rendimiento, debido a un incremento en el número de granos semi llenos y vacíos.

Por otro lado Dobermann y Fairhurst (2000) sostienen que aplicaciones excesivas o desbalanceadas de nitrógeno pueden reducir el rendimiento por las siguientes razones: sombreado entre hojas causado por el excesivo crecimiento vegetativo; incremento en el número de macollos improductivos que compiten con los fértiles reduciendo la producción de granos; vuelco causado por la producción de tallos largos y delgados; incremento en el número de granos estériles; incremento en la incidencia de enfermedades causadas por bacterias tales como *Xanthomonas* u hongos como *Pyricularia oryzae*, debido al mayor crecimiento de las hojas y a una excesiva biomasa e incremento en la incidencia de insectos.

#### 2.4.1.10. Enfermedades de tallo y fertilización nitrogenada

Las enfermedades más frecuentes a nivel nacional son la podredumbre de tallo y la mancha de vainas, cuyos organismos causales son *Sclerotinium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae-sativae* respectivamente.

El suministro de nitrógeno puede determinar un aumento en la ocurrencia de enfermedades, debido a un mayor desarrollo de las plantas, condiciones que crean un microclima predisponente para su aparición. Cultivos de arroz que absorbieron mayores cantidades de nitrógeno resultaron más

afectados (Bueno y Onofre 2004, Chebataroff et al., Rodríguez y Zuluaga, citados por Deambrosi y Méndez 2007).

Castera et al. (2000a) constataron que la aplicación de dosis creciente de nitrógeno tuvo un efecto significativo aumentando la incidencia de manchado de las vainas en los cultivares El paso 144 e INIA Tacuarí.

Según Ávila (2000) las enfermedades de tallo y vaina pueden ser favorecidas por factores de manejo tales como la excesiva fertilización nitrogenada, el manejo temprano del riego y las excesivas densidades de siembra.

Cuando los niveles de severidad de podredumbre de tallo promedian 50% las mermas de rendimiento que se producen son inferiores al 10% pudiendo llegar a 30% cuando el índice de grado de severidad es cercano al 80%. El porcentaje de esterilidad es el componente que explica la merma en rendimiento, éste se correlaciona en forma positiva y alta con la enfermedad (Ávila, 2000).

#### 2.4.2. Protección sanitaria de enfermedades

La intensificación de la producción de arroz en las últimas décadas, tiene efectos sobre las poblaciones de hongos patógenos, incrementando su importancia en algunas situaciones.

Según Martínez et al. (2016) las enfermedades más importantes a nivel país son, Brusone (*Pyricularia oryzae Cavara*) manejada en gran medida mediante la utilización de cultivares resistentes. Por lo tanto, para cultivares resistentes a esta enfermedad, la atención se centra en el complejo de enfermedades de vaina y tallo. Para estos casos no existe resistencia genética, por lo que se deben adoptar otras medidas, como el manejo cultural o químico para su control.

Del mencionado complejo de enfermedades de vaina y tallo se destacan las causadas por los patógenos *Rhizoctonia oryzae-sativae* y *Sclerotinium oryzae*, agentes causales de manchado confluyente de las vainas y podredumbre de tallo respectivamente.

En ambos casos, uno de los manejos recomendados es la rotación de cultivos o descanso, que permitiría reducir el inóculo primario, no descartándose la aplicación de fungicidas.

##### 2.4.2.1. Manchado de vaina (*Rhizoctonia*)

Según Martínez et al. (2018) para la enfermedad de manchado de vainas, los síntomas aparecen desde el final del macollaje, en las vainas inferiores, como manchas ovaladas de color verde grisáceo con borde de color

castaño. Estas manchas cuando se expanden forman bandas concéntricas de tejido necrosado.

Las láminas de las vainas afectadas, amarillean y mueren y en casos graves puede hasta morir hasta la hoja bandera, produciendo granos estériles o parcialmente vacíos. Las plantas muy afectadas, pueden morir o acamarse por debilitamiento de los tallos afectados.

La fuente de inóculo primario son los esclerocios en suelo o rastrojo y micelio en restos vegetales presentes.

Cuando se inunda el cultivo, los esclerocios flotan en el agua y se activan, produciéndose la infección de la planta por la penetración de hifas que crecen desde esclerocios o restos vegetales. También pueden ocurrir infecciones de planta infectada a planta sana. No se conoce en el país la existencia de infecciones secundarias mediante basidiosporas (esporas sexuales).

La diseminación se da mediante el movimiento de esclerocios o micelio en restos vegetales o suelo, mediante maquinaria o agua, principalmente.

Como ya se mencionó no existen cultivares resistentes, pero sí más tolerantes principalmente de tipo *índica*, siendo este el caso de INIA Merín.

Con respecto al daño que causa esta enfermedad, Ávila (2000) afirma que el nivel de daño está condicionado a la medida en que el hongo impide o disminuye las posibilidades de translocación de nutrientes, incluso pudiendo destruir los órganos de conducción o almacenamiento, o disminuyendo la disponibilidad de los mismos por destrucción de hojas y vainas.

A su vez Ávila (2000), menciona que el control químico debe realizarse de forma preventiva o cuando aparecen los primeros síntomas, por lo que es necesario detectar la enfermedad en sus primeras etapas de evolución. El momento óptimo de aplicación de productos, está entre el final del embarrigado y las primeras etapas de floración.

Esto permite tomar medidas de control, enlenteciendo la evolución, con el objetivo de llegar al final del ciclo con menores niveles de severidad.

#### 2.4.2.2. Podredumbre de tallo (*Sclerotium oryzae*)

Para la podredumbre de tallo, los síntomas se observan desde mediados de macollaje en adelante. Estos consisten, en manchas difusas de color castaño oscuro en la cara externa de las vainas inferiores. Estas manchas coinciden con la altura de la lámina de agua donde ocurrió la infección.

El patógeno progresa provocando lesiones en la parte interna de las vainas y llega hasta el tallo necrosando parte del tejido. El mayor daño se da cuando el patógeno llega a necrosar el tejido de los nudos causando en casos severos el quebrado de tallos. En casos donde el tallo es afectado pero no muere, se observan granos vacíos o parcialmente vacíos en la panoja.

En etapas avanzadas se observa micelio y esclerocios en la zona interna del tallo o bajo las vainas necrosadas.

Es un patógeno con biología similar a los causantes de manchados de vainas, siendo la fuente de inóculo esclerocios en el suelo y rastrojo. En la lámina de agua los esclerocios flotan en superficie y germinan infectando por la penetración de las hifas. Generalmente se dan infecciones de planta infectada a planta sana mediante micelio.

La diseminación ocurre por el movimiento de esclerocios o micelios en restos vegetales o suelo. En suelos con historia de la enfermedad, esta puede aparecer generalizada causando grandes pérdidas de rendimiento.

No existen cultivares resistentes, pero sí más tolerantes, generalmente de tipo *japónica*, como es el caso de Parao.

En general Ávila (2000), afirma que cuando los niveles de severidad promedian el 50%, las mermas de rendimiento que se producen son inferiores al 10%, pero pueden llegar a 30% cuando el índice de grado de severidad se ubica cerca de 80%, para los cultivos sembrados en esa época. El componente de rendimiento más afectado por la enfermedad es la esterilidad de granos, también afecta el peso de los mismos.

## 2.5. PROBLEMA E HIPÓTESIS

Para explorar el alto potencial de rendimiento de los nuevos cultivares resistentes a *Pyricularia* como INIA Merín y Parao se recomienda ajustar la dosis de nitrógeno a macollaje y a iniciación del primordio floral basados en indicadores de suelo y planta ponderados por la historia de chacra, Además, no se recomienda aplicar fungicidas excepto cuando exista alta incidencia de enfermedades del tallo en embuchado que lo justifique.

Ambos cultivares se caracterizan por tener alto potencial y estabilidad de rendimiento sustentado en sus altas respuestas al agregado de nitrógeno y resistencia/tolerancia a enfermedades causadas por hongos (Blanco et al. 2013, Martínez et al. 2018). Un experimento de rotaciones arroceras es un sitio privilegiado, ubicado sobre un mismo suelo y sometido a las mismas condiciones climáticas, para evaluar y validar recomendaciones de manejo del

cultivo sobre distintas intensidades de uso del suelo que afectan la disponibilidad de nitrógeno y la incidencia de enfermedades.

La hipótesis fue que las prácticas recomendadas de manejo del nitrógeno y de enfermedades en ambos cultivares son las adecuadas para explorar los rendimientos alcanzables del arroz en distintos sistemas de producción. No es esperable una respuesta adicional al agregado de nitrógeno en torno a primordio por encima de las recomendadas por los indicadores de suelo y planta. La incidencia de enfermedades del tallo no justifica una aplicación de fungicida adicional, aun en las condiciones de mayor riego como rastrojos con altas aplicaciones de nitrógeno.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL

El trabajo se realizó durante la zafra 2016 - 2017 dentro del experimento de rotaciones arroceras instalado en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (UEPL), 28 Km al Este de la ciudad de Treinta y Tres, 33° 14' Latitud Sur, 54° 22' Longitud Oeste, a una altitud de 25 metros sobre el nivel del mar.

#### 3.2. EXPERIMENTO DE LARGO PLAZO Y UBICACIÓN DEL TRABAJO

El experimento de rotaciones arroceras de largo plazo fue instalado en 2012 y evalúa 6 tratamientos de rotaciones, repetidas 3 veces en el espacio y cuyas fases están presentes todas al mismo tiempo. Para esto se dispone de 60 parcelas de 1200 m<sup>2</sup> cada una representando las distintas rotaciones y sus respectivas fases.

Para este trabajo se seleccionaron cultivos de arroz en 4 de las 6 rotaciones. Los cultivares utilizados fueron INIA Merín de grano largo tipo indica e INIA Parao grano largo tipo japónica tropical, ambas de alto potencial de rendimiento. Las flechas rojas muestran las fases en las cuales se realiza el trabajo (Figura 2) resultando esto en la evaluación de tres antecesores de verano (pradera, arroz y soja).

| AÑO             | 1       |                    | 2       |                    | 3       |    | 4       |                    | 5  |    | 6  |    |
|-----------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|----|---------|--------------------|----|----|----|----|
| ROTACIÓN        | PV      | OI                 | PV      | OI                 | PV      | OI | PV      | OI                 | PV | OI | PV | OI |
| AZ-Continuo     | Arroz   | Ta                 |         |                    |         |    |         |                    |    |    |    |    |
| AZ-Cultivos     | Arroz1  | Rg                 | Soja    | Ta                 | Arroz2  | Ta | Sorgo   | Ta                 |    |    |    |    |
|                 |         |                    |         |                    | ↖ Merín |    |         |                    |    |    |    |    |
| AZ-PPcorta      | Arroz   | Pastura permanente |         |                    |         |    |         |                    |    |    |    |    |
|                 | ↖ Merín |                    |         |                    |         |    |         |                    |    |    |    |    |
| AZ-PPlarga      | Arroz1  | Rg                 | Arroz2  | Pastura permanente |         |    |         |                    |    |    |    |    |
|                 | ↖ Parao |                    | ↖ Merín |                    |         |    |         |                    |    |    |    |    |
| AZ-Soja-PPcorta | Arroz1  | Rg                 | Soja1   | Rg                 | Soja2   | Ta | Arroz2  | Pastura permanente |    |    |    |    |
|                 |         |                    |         |                    |         |    | ↖ Parao |                    |    |    |    |    |
| AZ-Soja         | Arroz   | Rg                 | Soja    | Ta                 |         |    |         |                    |    |    |    |    |

PV (primavera-verano); OI (otoño-invierno); AZ (arroz); PP (pastura permanente); Ta (trébol alejandrino); Rg (raigrás).

Figura 2. Rotaciones evaluadas en el experimento de largo plazo y fases de la rotación donde se realizó la tesis

Fuente: modificado de Macedo et al. (2016).

Dentro de las 60 parcelas totales de la plataforma experimental, para este trabajo se seleccionaron 15 de las 27 que tuvieron arroz en la zafra 2016-2017, estando la variedad INIA Merín presente en nueve y Parao en seis, debido a que el antecesor de verano arroz solamente fue evaluado sobre INIA Merín.

### 3.3. SUELO Y MANEJO PREVIO

El suelo en el cual se ubica el experimento es clasificado como Solod Melánico L correspondiente a la unidad de suelos La Charqueada de la carta de suelos 1:1.000.000. La misma tiene como materiales generadores sedimentos limo – arcilloso de la formación Dolores.

Este trabajo se realizó en el quinto año desde el inicio del experimento de rotaciones de largo plazo, siendo el último año en el proceso de estabilización de estas. Es por esto que las parcelas difieren en el manejo previo, dependiendo de la rotación y la fase que se encuentre. A su vez el potrero donde se ubica el experimento previamente formó parte de la Unidad de Producción Arroz - Ganadería (UPAG), donde durante 10 años se cumplieron dos ciclos de la rotación arroz -raigrás - laboreo - arroz - pradera - pradera.

Cuadro 1. Secuencia de cultivos previos a la fase arroz 2016/2017 de cada rotación

| Rotación - fase | CULTIVO POR ZAFRA |           |           |           |                  |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|
|                 | 2012/2013         | 2013/2014 | 2014/2015 | 2015/2016 | <b>2016/2017</b> |
| AzCul - Az2     | Arroz             | Sorgo     | Arroz     | Soja      | <b>Arroz</b>     |
| AzPc - Az       | Arroz             | Pastura   | Arroz     | Pastura   | <b>Arroz</b>     |
| AzPI - Az1      | Arroz             | Pastura   | Pastura   | Pastura   | <b>Arroz</b>     |
| AzPI - Az2      | Pastura           | Pastura   | Pastura   | Arroz     | <b>Arroz</b>     |
| AzSjPc - Az2    | Pastura           | Arroz     | Soja      | Soja      | <b>Arroz</b>     |

Rotaciones: AzCul (arroz-cultivos); AzPc (arroz-pradera corta); AzPI (arroz-pradera larga); AzSjPc (arroz-soja-pastura corta)

### 3.4. TRATAMIENTOS

En cada uno de los cultivos de arroz de las rotaciones seleccionadas con diferentes antecesores de verano (arroz, soja y pastura), se evaluaron 5 tratamientos combinados de fertilización nitrogenada y aplicación de fungicidas.

1. Manejo recomendado (MR).
2. Nitrógeno solo a macollaje (Nmac).
3. Nitrógeno no limitante (NNL).
4. Protección total fungicida (PTF).
5. Nitrógeno no limitante y protección total (NNL+PTF).

El manejo recomendado por INIA consistió en el fraccionamiento de la aplicación del nitrógeno en dos momentos (V5 y R0), sumado a una aplicación estratégica de fungicida a inicio de floración para enfermedades del tallo. La aplicación de macollaje (V5), se basó en el potencial de mineralización de nitrógeno (PMN) del suelo, y la de primordio (R0) en la absorción de nitrógeno del cultivo (Figura 3).

El tratamiento de nitrógeno a macollaje (Nmac), solo tuvo una aplicación de nitrógeno en V5 a partir de datos de PMN del suelo y no tuvo aplicaciones de fungicida.

En el tratamiento de nitrógeno no limitante (NNL), la dosis total de nitrógeno aplicada alcanzó los 276 kg/ha, equivalente a 600 kg urea/ha fraccionada en 6 momentos. Esto se basa en el fundamento de la cantidad absorbida estimada para un cultivo de 15.000 kg/ ha (IPNI, 2002). No tuvo aplicaciones de fungicida (Figura 3).

La protección total del cultivo se realizó mediante cuatro aplicaciones de fungicidas para el control de enfermedades de tallo, a partir de primordio (Figura 3).

El tratamiento 5 (NNL+PTF), combinó el manejo utilizado en los tratamientos de nitrógeno no limitante y protección total fungicida (Figura 3).

Ordenando los tratamientos por nivel de nitrógeno aplicado, los de mayor nivel fueron NNL y NNL+PTF, seguidos por MR, y los de menor nivel aplicado fueron PTF y Nmac.

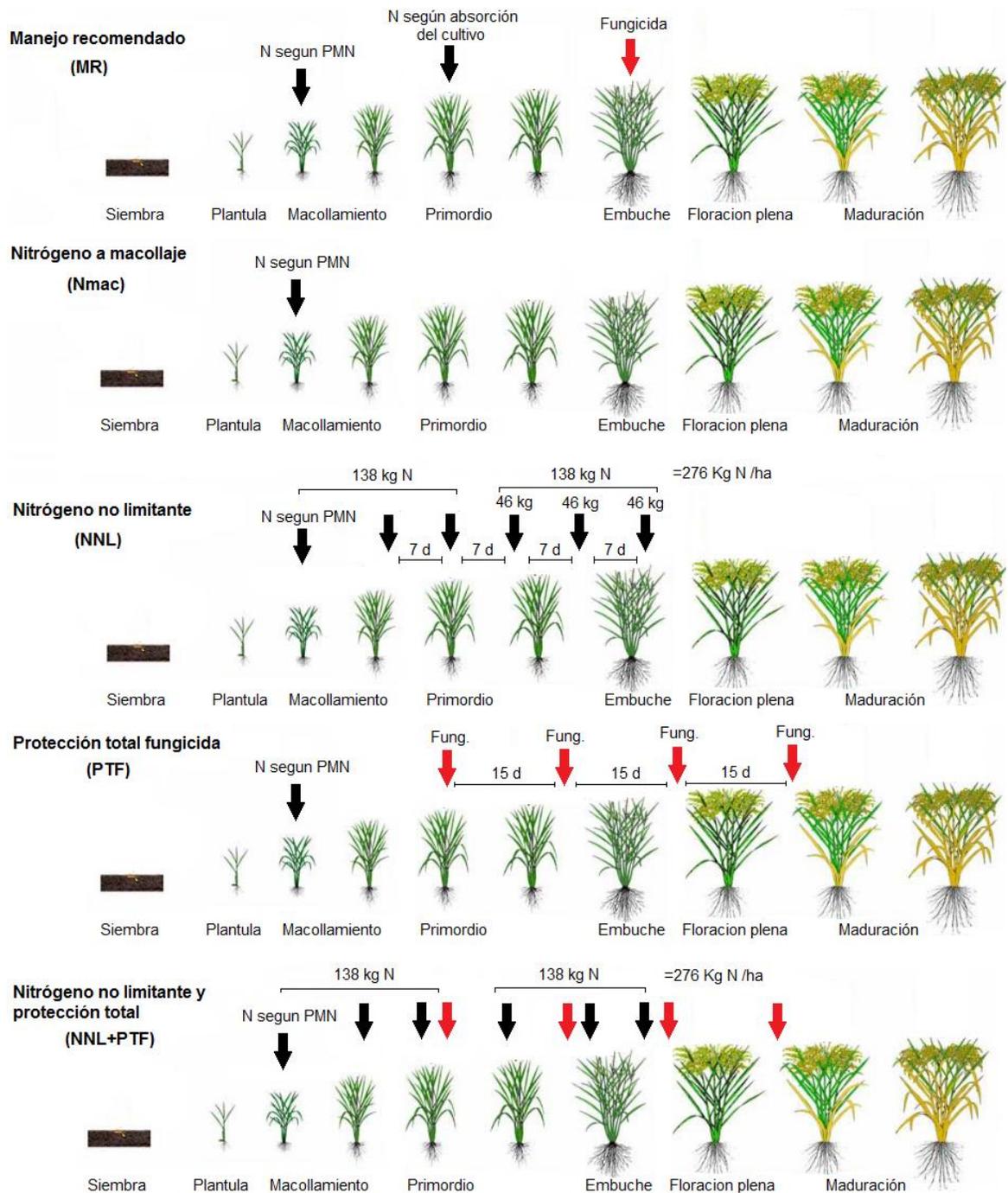


Figura 3. Ilustración de los tratamientos de nutrición nitrogenada y protección con fungicidas en dos cultivares de arroz

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se analizaron los dos cultivares por separado.

Para cada cultivar, se utilizó un diseño en bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, contando con tres repeticiones. Las parcelas mayores 15 x 18 m correspondieron al efecto rotación y antecesor de verano, mientras que las cinco sub-parcelas de 3 x 18 m evaluaron la respuesta al nitrógeno y protección contra hongos.

### 3.6. MANEJO DEL CULTIVO

#### 3.6.1. Siembra

El cultivo se sembró el 17 de octubre de 2016, con una sembradora Baldan SPD-3000 de doble disco y 16 cuerpos separados a una distancia de 0,17 m, a una densidad de 144 kg/ha de semilla en el Cv. INIA Merín y 156 kg/ha en el Cv. Parao.

Problemas de implantación generaron la necesidad de resembrar cuatro parcelas de la variedad INIA Merín, de las cuales tres tienen como antecesor arroz y una con antecesor pastura.

Todas las parcelas fueron sembradas con semilla curada con insecticida y fungicida, y fertilizadas con 54,4 kg/ha de 9-25/25-25 (NPK) +3 (S). En todas las parcelas se aplicaron dosis variables de cloruro de potasio (0-0-60) de acuerdo a análisis de suelos, 53 kg/ha en las fases AzCul-Az<sub>2</sub> y AzPI-Az<sub>1</sub>; 95 kg/ha en AzPc-Az y AzPI-Az<sub>2</sub>; y 68 kg/ha en la fase AzSjPc-Az<sub>2</sub>.

#### 3.6.2. Fertilización nitrogenada

En todas las aplicaciones la fuente utilizada fue urea (46-0-0).

Todos los tratamientos fueron fertilizados con nitrógeno a V5 (Cuadro 2) el 23 de noviembre, ajustando la dosis en base a datos de potencial de mineralización de nitrógeno (PMN) de análisis del suelo en cada parcela grande.

Cuadro 2. Dosis de nitrógeno aplicada en macollaje y primordio del cultivo de arroz, en cada tratamiento y rotación

| Rotación- fase | kg N / ha |    |         |    |          |     |          |    |            |    |
|----------------|-----------|----|---------|----|----------|-----|----------|----|------------|----|
|                | AzCul-Az2 |    | AzPc-Az |    | AzPI-Az1 |     | AzPI-Az2 |    | AzSjPc-Az2 |    |
| Tratamiento    | V5        | R0 | V5      | R0 | V5       | R0  | V5       | R0 | V5         | R0 |
| MR             |           | 27 |         | 30 |          | 45  |          | 21 |            | 27 |
| Nmac           |           | 0  |         | 0  |          | 0   |          | 0  |            | 0  |
| NNL            | 76        | 62 | 61      | 77 | 24       | 114 | 89       | 49 | 76         | 62 |
| PTF            |           | 0  |         | 0  |          | 0   |          | 0  |            | 0  |
| NNL+PTF        |           | 62 |         | 77 |          | 114 |          | 49 |            | 62 |

Az (arroz); V5 (macollaje); R0 (primordio). Rotaciones: AzCul (arroz-cultivos); AzPc (arroz-pradera corta); AzPI (arroz-pradera larga); AzSjPc (arroz-soja-pastura corta).

En los tratamientos NNL y NNNL+PTF tomando en cuenta la dosis a V6, el 3 de enero se aplicó la cantidad necesaria para alcanzar 138 kg N/ha (300 kg urea) aplicados a R0. Después de primordio se aplicaron tres dosis de 46 kg N/ha (100 kg urea) con un intervalo de siete días entre las mismas, completando 276 kg N/ha totales, equivalente a 600 kg de urea.

### 3.6.3. Aplicación de fungicidas

En todas las aplicaciones se utilizó 500 cc/ha de ZUPERIOR (azoxistrobin + kresoxim metil + ciproconazole) más 500 cc/ha DASH (coadyudante).

Las primeras aplicaciones de fungicida se realizaron a primordio en los tratamientos, PTF y NNL+PTF. Luego a partir de primordio se realizaron tres aplicaciones adicionales cada 15 días en los tratamientos.

En el tratamiento MR la aplicación de fungicida se realizó en embuche el 8 de febrero en la variedad Parao y el 14 de febrero en INIA Merín.

### 3.6.4. Cosecha

La fecha de cosecha fue diferente dependiendo de la variedad debido a diferencias en los días del ciclo de cada una. Se realizó con una cosechadora automotriz marca FOTON con 2 m de ancho de cabezal.

El primer cultivar cosechado fue Parao, el día 31 de marzo. Mientras tanto, la cosecha de INIA Merín se realizó el 5 de abril, por último, el 18 de abril, se cosecharon las cuatro parcelas que debieron ser sembradas.

### 3.7. DETERMINACIONES

#### 3.7.1. Durante el ciclo del cultivo

##### 3.7.1.1. Porcentaje de implantación

Doce días después de la emergencia el cultivo, el 24 de noviembre, se contabilizó el número de plantas por metro. Se realizaron 6 muestreos con una regla de 2 m de largo, lo que permitió calcular la población obtenida y el porcentaje de implantación.

##### 3.7.1.2. Panojas potenciales

A los 52 días post emergencia (primordio) se realizó el conteo de tallos, mediante 4 submuestras con una regla de 50 cm en cada sub-parcela.

##### 3.7.1.3. Evolución de altura, biomasa, e índice de clorofila

Se tomaron registros de la evolución de la altura, materia seca e índice de clorofila en cada sub-parcela a los 52; 60; 67; 74 y 85 días post emergencia.

Las mediciones de altura fueron el resultado promedio de 5 submuestras por parcela tomando como criterio la altura de la hoja superior del canopeo.

Para medir la biomasa se tomaron cuatro submuestras de plantas de 50 cm lineales en los surcos destinados a realizar muestreos destructivos de cada sub-parcela. Luego se secaron las muestras en estufa a 100 °C durante 48 horas, y se registró el peso seco de las mismas con una balanza electrónica para estimar los kg materia seca/ha producidos.

Por último, el índice de clorofila se midió en la hoja superior más desarrollada utilizando un SPAD 502 Plus Chlorophyll meter, mediante cinco registros por sub-parcela.

#### 3.7.2. A cosecha

##### 3.7.2.1. Biomasa total

La biomasa total a cosecha fue determinada mediante cuatro submuestras de 50 cm lineales en cada sub-parcela. Las muestras fueron secadas en estufa a 100 °C durante 48 horas, posteriormente se pesaron las muestras con una balanza digital y se estimó los kg MS/ha.

### 3.7.2.2. Número de panojas

El número de panojas por metro lineal fue estimado mediante 4 submuestras lineales de 30 cm en cada sub-parcela.

### 3.7.2.3. Rendimiento de chacra

El rendimiento de cada tratamiento fue cuantificado mediante la cosecha de los 2 m centrales de cada sub-parcela con cosechadora automotriz hasta completar 36,4 m<sup>2</sup>. En el bloque 3 se realizó la cosecha a mano debido a la presencia de taipas dentro de las parcelas. Se realizaron cortes con hoz en doce hileras de seis metros cada una y una distancia entre hileras de 0,17 metros por lo que el área cosechada fue de 12,24 m<sup>2</sup> en cada sub-parcela. Se embolsaron separadamente los granos de cada parcela para su posterior pesaje.

### 3.7.2.4. Humedad

Para la determinación de la humedad de grano se utilizó un sensor de humedad digital, DICKEY-john GAC 2100, realizándose dos lecturas para calcular el promedio por sub-parcela.

## 3.7.3. Etapa post cosecha

### 3.7.3.1. Granos por panoja y peso de mil granos

Las muestras de panojas se secaron en estufa a 100 °C durante 48 horas, luego se desgranaron las panojas manualmente. Se separaron los granos enteros de los granos chuzos e impurezas mediante un aspirador de impurezas, para determinar el peso de mil granos se tomaron tres muestras de 500 granos las cuales se pesaron y se estimó el peso de mil granos, con este dato y el peso total de los granos de la muestra se estimó el número de granos por panoja.

### 3.7.3.2. Rendimiento sano, seco y limpio

El rendimiento en grano seco se calculó a partir del rendimiento de chacra. Se corrigió por humedad tomando en cuenta 13% que es la base a la cual se seca el grano para ser almacenado.

### 3.7.3.3. Lectura de enfermedades

Se realizó una lectura por apreciación visual de enfermedades de tallo y vaina, mancha de las vainas y podredumbre de tallo, cuyos organismos causales son *Rhizoctonia oryzae-sativae* y *Sclerotium oryzae* respectivamente. Para el análisis se calculó el Índice de Grado de Severidad (IGS) de Yoshimura (1985), que considera la incidencia (% de tallos afectados) y severidad (según grado de severidad en escala 0 a 9, abajo) de las enfermedades, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IGS} = \frac{(0*A + 1*B + 2*C + 3*D + 4*E)}{4*n} 100$$

Siendo:

- A: % de tallos sin síntomas.
- B: % de tallos con grado 1 y 3.
- C: % de tallos con grado 5
- D: % de tallos con grado 7.
- E: % de tallos con grado 9
- n: número total de tallos observados

$$A+B+C+D+E = n = 100$$

*Rhizoctonia oryzae-sativae*: manchado de vainas.

Grado 1: presencia de lesiones en la vaina inferior, por debajo de un cuarto de la altura de la planta.

Grado 3: lesiones presentes hasta el cuarto inferior de la altura de la planta.

Grado 5: lesiones hasta la mitad de la planta.

Grado 7: lesiones hasta tres cuartos de la altura de la planta.

Grado 9: síntomas por encima de tres cuartos de altura de la planta.

*Sclerotium oryzae*: podredumbre del tallo.

- Grado 1: manchas pequeñas, superficiales, de color negro, que afectan las vainas inferiores.
- Grado 3: infección leve; manchas más extendidas, con amarillamiento de vainas y láminas de hojas inferiores; tallos afectados superficialmente.
- Grado 5: infección moderada; vainas y tallos afectados, con amarillamiento de las vainas y láminas de todas las hojas.
- Grado 7: infección severa; el hongo penetra y coloniza los tallos interiormente, con formación de micelio y esclerocios.
- Grado 9: infección muy severa con podredumbre y deterioro de los tallos, láminas y vainas de las hojas totalmente secas y panojas total o parcialmente vacías con quebrado y vuelco de plantas.

### 3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A los efectos de realizar los análisis estadísticos correspondientes, se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2017. Para evaluar el efecto del tratamiento se realizaron análisis de varianza y para la comparación de tratamientos se realizó comparación de medias a partir de mínima diferencia significativa (MDS) con la prueba de Tukey. Para esto se usaron niveles de significancia de 0,05.

Se utilizó el siguiente modelo estadístico para realizar el ANAVA:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Observación de la unidad experimental. Rendimiento

$i$  = Antecesor (parcela).

$j$  = Manejo (sub-parcela).

$k$  = Bloque.

$\mu$  = Media general del ensayo.

$\gamma_k$  = Efecto del “k-ésimo” bloque.

$\tau_i$  = Efecto del “i-ésimo” antecesor.

$(\gamma\tau)_{ki}$  = Error de la parcela.

$\beta_j$  = Efecto del “j-ésimo” manejo.

$(\tau\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción de los tratamientos de antecesor y manejo.

$\varepsilon_{ijk}$  = Error de la sub-parcela.

La hipótesis nula planteada es que no existen diferencias entre los tratamientos estudiados (combinación de antecesores con tratamientos de manejo) en términos productivos, mientras que la hipótesis alterna es que al menos un tratamiento difiere de los demás.

Ho: todos los tratamientos son iguales.

Ha: al menos un tratamiento difiere de los demás.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS

#### 4.1.1. Temperatura

De modo de analizar las condiciones climáticas de la zafra se la comparó con una serie histórica (SH) de 44 años de datos de INIA Treinta y Tres en la unidad experimental Paso la Laguna.

Para situar el comportamiento climático en términos de temperatura se analizan tanto temperaturas máximas como medias y mínimas (Figura 4).

De la comparación entre la zafra estudiada y la serie histórica se destaca que el mes de febrero presentó en promedio 2 °C más respecto a la media histórica siendo en promedio el febrero más cálido registrado.

Las temperaturas medias registradas en febrero significaron muy buenas condiciones en torno a floración y comienzo de llenado de granos, período crítico en la definición del rendimiento en el cultivo de arroz (Chebataroff, 2012).

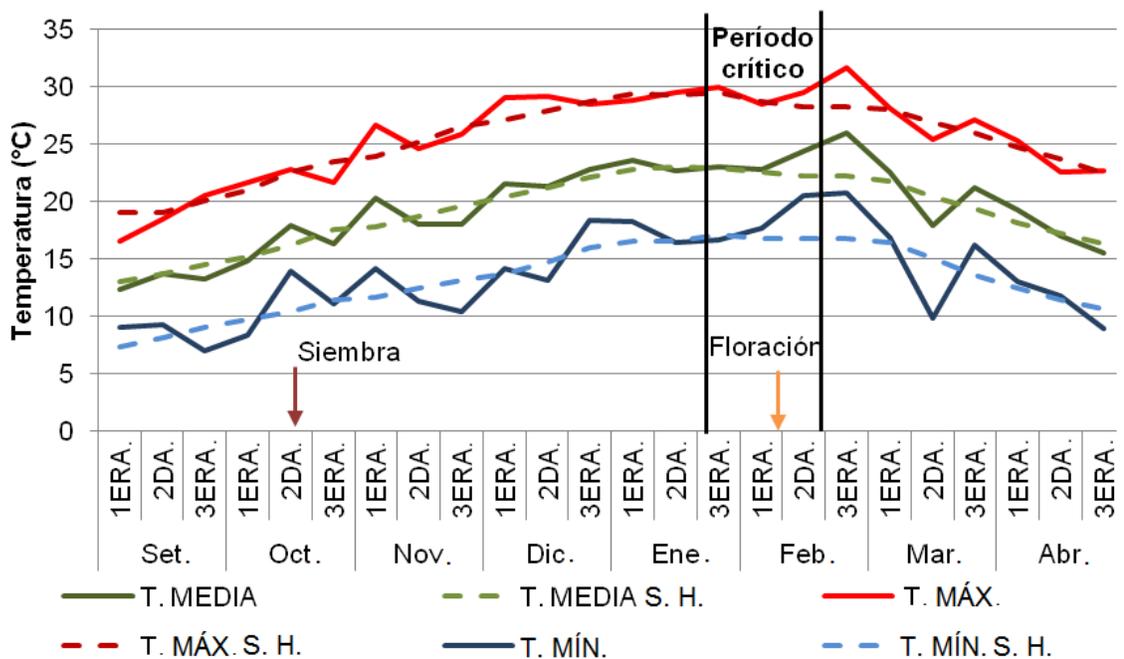


Figura 4. Temperatura máxima, media y mínima para la zafra arrocera 16/17 en comparación con la serie histórica 1971-2015

Fuente: INIA (2018).

#### 4.1.2. Heliofanía

Se destaca la buena cantidad de horas de sol acumuladas en la última década de enero y primera de febrero, 9,8 % más que el promedio en la serie histórica para este período. Posteriormente, en marzo hubo 9,6% más horas de sol que el promedio histórico para este mes (Figura 5).

La buena disponibilidad de luz que se dio entre fines de enero y principios de febrero sumado a las condiciones del mes de marzo permitieron un óptimo desarrollo, de la etapa crítica del cultivo comprendida entre la diferenciación de la panícula a 10 días previos a la madurez (Stansel, 1975).

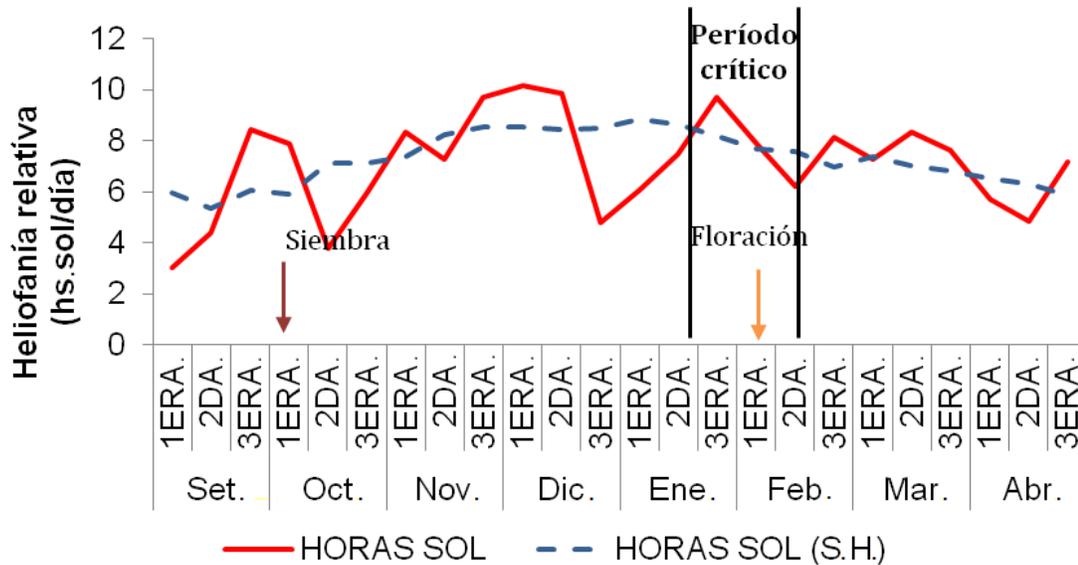


Figura 5. Heliofanía (horas) promedios decádicos de la serie histórica (1971-2015) y durante la zafra 2016/2017

Fuente: INIA (2018).

#### 4.1.3. Precipitaciones

Las precipitaciones durante la zafra estudiada fueron 22 % menores a los registros históricos en el sitio (966 mm). De todas maneras, no hubo problemas de riego en el experimento (Figura 6).

Se destacan las pocas precipitaciones que se registraron durante los meses de marzo y abril, lo que generó condiciones de poca humedad, favorable a la sanidad del cultivo y a su vez buena radiación disponible durante el llenado de grano que pudo ser aprovechada por las variedades de ciclo largo utilizadas.

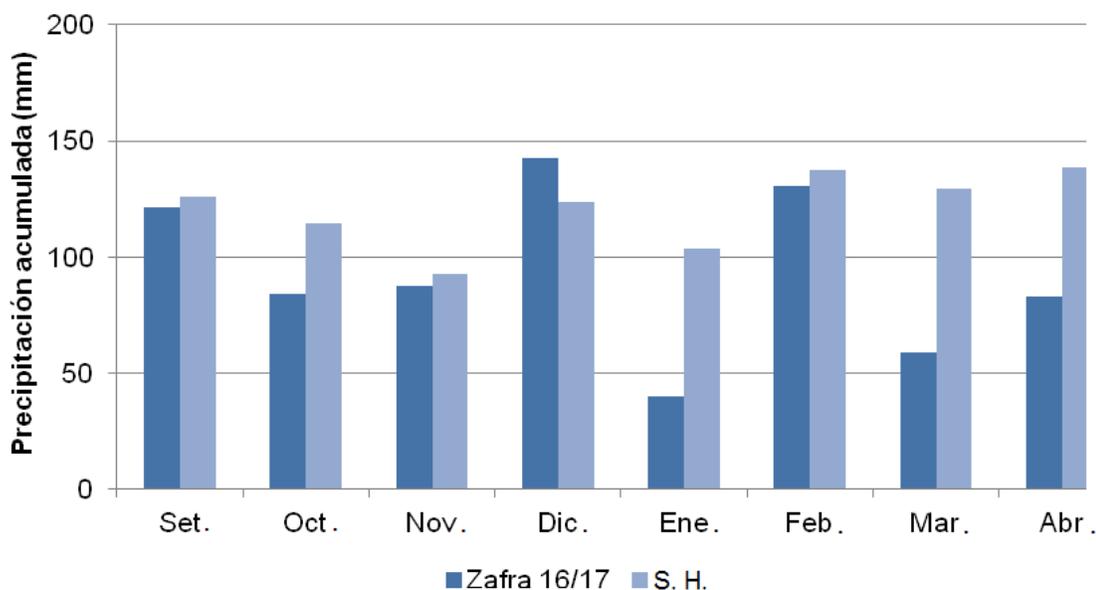


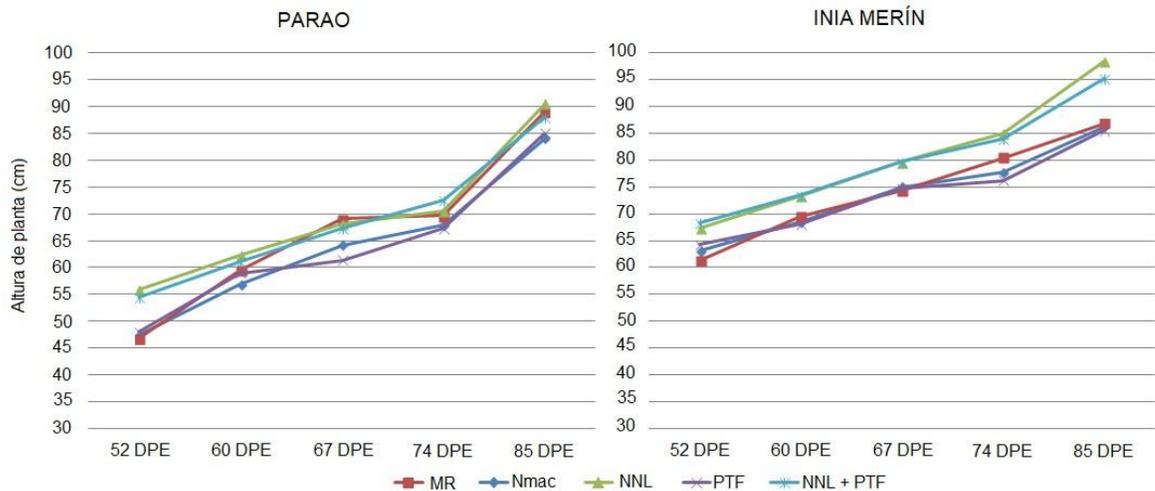
Figura 6. Precipitaciones zafra arrocerca 16/17 y serie histórica (1971-2015)  
Fuente: INIA (2018).

#### 4.2. EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DE PLANTA

No se encontraron diferencias significativas en altura de planta en términos de antecesor de verano, para ninguna de las dos variedades estudiadas.

En el cultivar Parao solo se observó diferencias significativas en altura de planta en las primeras etapas del cultivo, mostrando mayor altura de planta en los tratamientos con agregado no limitante de nitrógeno (Figura 7).

En INIA Merín la altura de planta de los tratamientos con agregado de nitrógeno no limitante fue superior al resto de los tratamientos durante todo el ciclo del cultivo (Figura 7). Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Medeiros et al. (2007), Oliveira et al. (2011).



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); FPT (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida); DPE (días post emergencia)

Figura 7. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la altura de planta en dos cultivares de arroz

#### 4.3. ÍNDICE DE CLOROFILA

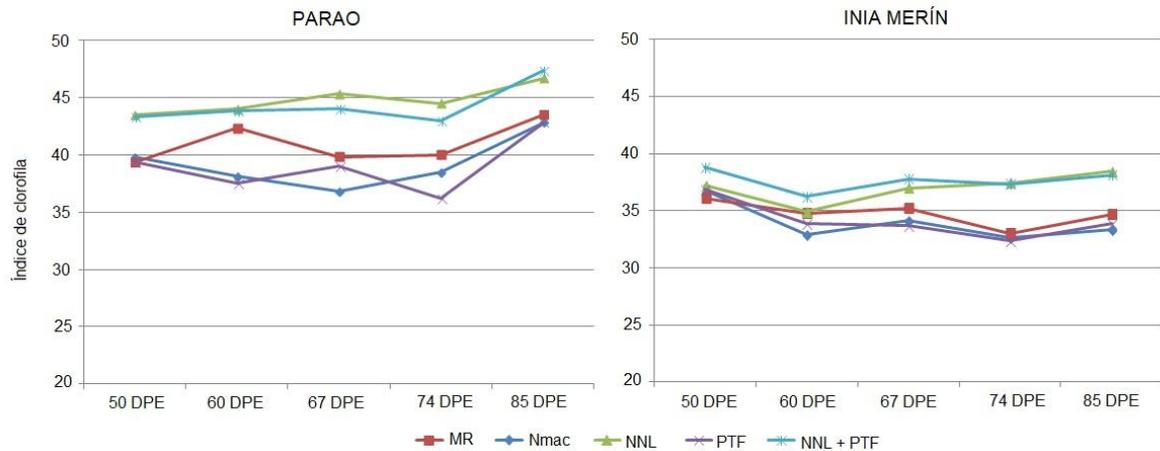
No se observaron diferencias en el índice de clorofila entre antecesores de verano en ninguna de las dos variedades.

Sin embargo, se encontraron diferencias entre los tratamientos dentro de cada variedad (Figura 8).

En el cultivar Parao los tratamientos de nitrógeno no limitante (NNL y NNL+PTF) tuvieron valores de índice de clorofila durante el ciclo del cultivo 11% superior a Nmac y PTF que no se diferenciaron entre sí (Figura 8).

Por otro lado, en el cultivar INIA Merín el mayor contenido de clorofila en los tratamientos con nitrógeno no limitante respecto a los otros se manifiesta más adelante en el ciclo del cultivo (Figura 8).

La respuesta del índice de clorofila al agregado de nitrógeno encontrado en este trabajo (NNL) está alineado a lo reportado por Terra et al. (2007) trabajando con dosis entre 0 y 210 kg N/ha.



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); FPT (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida); DPE (días post emergencia)

Figura 8. Efecto del manejo del nitrógeno y la aplicación de fungicidas sobre la evolución del índice de clorofila en dos cultivares de arroz

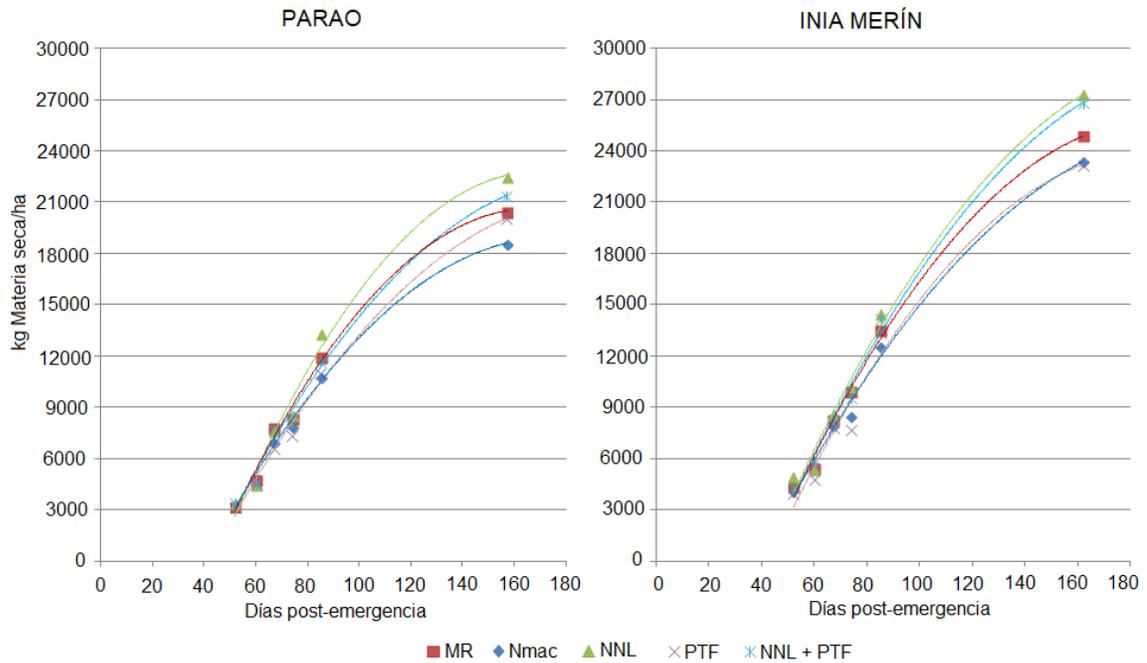
#### 4.4. EVOLUCIÓN DE BIOMASA

No hubo diferencias en producción de materia seca entre antecesor de verano durante el ciclo del cultivo.

En el cultivar Parao, el tratamiento MR tuvo una producción total de 20476 kg Ms/ha, no se diferenció estadísticamente de NNL (22514 kg MS/ha) y tampoco de Nmac (18590 kg MS/ha), entre estos tratamientos si hubo diferencias siendo los de mayor y menor promedio respectivamente (Figura 9).

En INIA Merín la producción total de MR fue de 24832 kg MS/ha, la misma no se diferenció de NNL que con 27269 kg MS/ha tuvo el mayor promedio, y tampoco se diferenció de PTF que produjo 23130 kg MS/ha, el de menor promedio (Figura 9).

El suministro de nitrógeno a macollaje y a primordio (MR) permitiría una alta producción de biomasa, a su vez, condiciones de nitrógeno no limitante favorecerían la producción de materia seca frente al suministro únicamente en etapas iniciales del cultivo (macollaje), aunque no asegurarían mayor rendimiento en grano.



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); PTF (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida).

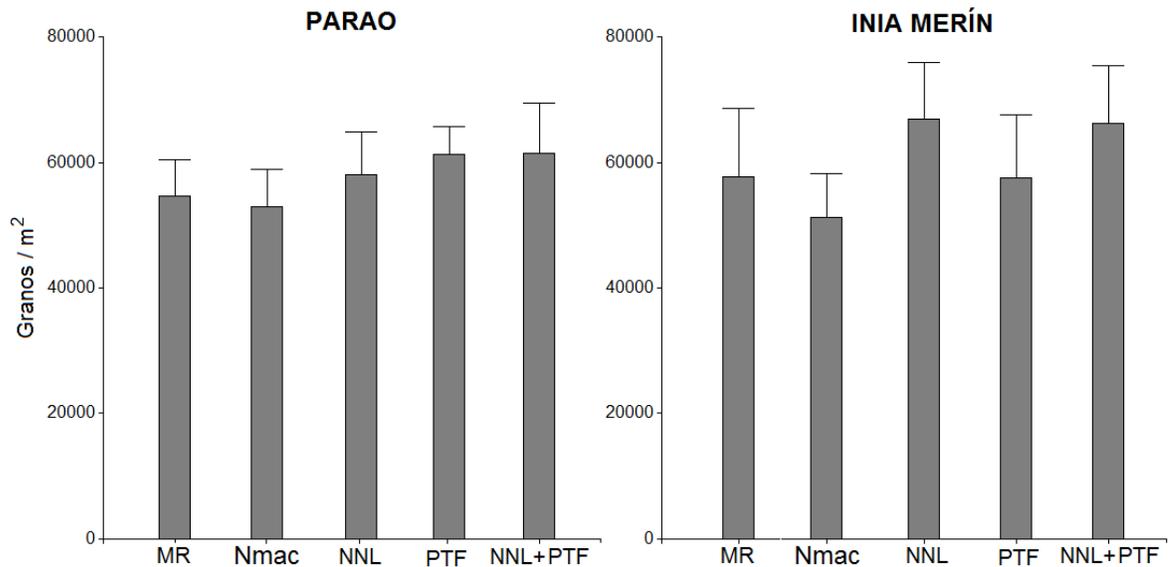
Figura 9. Efecto del manejo de nitrógeno y la aplicación de fungicidas sobre la producción de biomasa en dos cultivares de arroz

#### 4.5. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

##### 4.5.1. Granos por metro cuadrado

No se encontraron diferencias significativas en el número de granos por metro cuadrado entre antecesores de verano para ninguna de las dos variedades.

No se observaron diferencias en la cantidad de granos por metro cuadrado en el cultivar Parao. Sin embargo, en INIA Merín los tratamientos con mayores dosis de nitrógeno (NNL y NNL+PTF), tuvieron en promedio 25 % más granos por unidad de superficie que cuando se aplica nitrógeno solo a macollaje (Nmac, Figura 10).



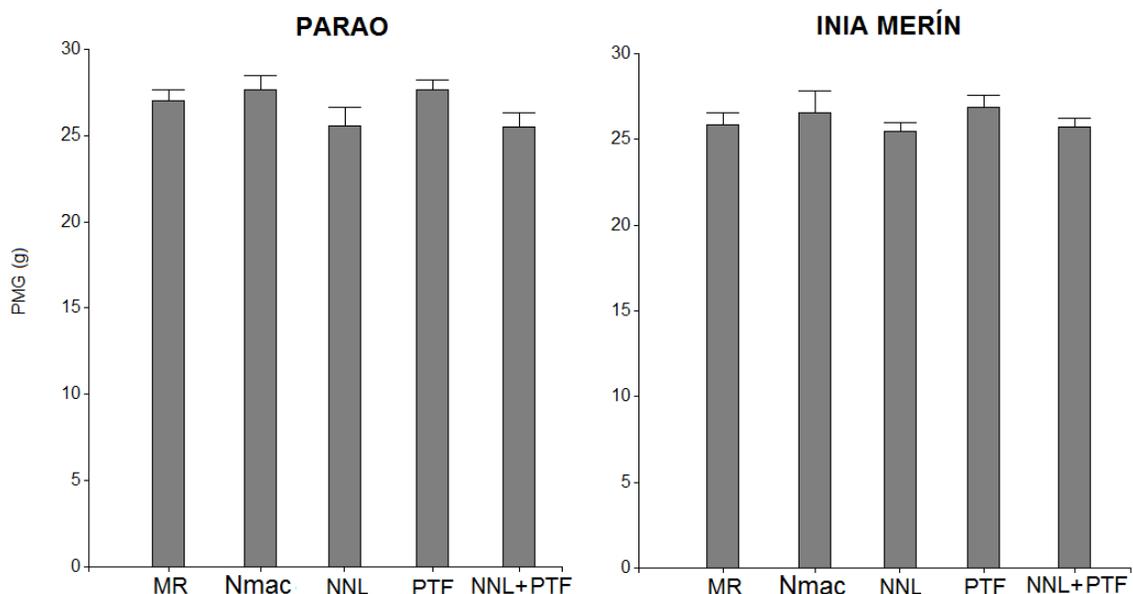
MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); PTF (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida).

Figura 10. Efecto del manejo de nitrógeno y la aplicación de fungicidas sobre el número de granos por metro cuadrado en dos cultivares de arroz

#### 4.5.2. Peso de grano

No se observaron diferencias de peso de grano entre antecesores de verano en ninguna de las dos variedades.

El cultivar Parao presentó menor peso de mil granos en los tratamientos con mayor nivel de nitrógeno, lo que coincide con lo reportado por Deambrosi et al. (2002). INIA Merín presentó un comportamiento similar, aunque las diferencias no son tan marcadas, resultando en NNL un 7 % mayor que los tratamientos con menor nivel de nitrógeno aplicado (Nmac y PTF, Figura 11).



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); PTF (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida).

Figura 11. Efecto del manejo del nitrógeno y la aplicación de fungicidas sobre el peso de grano en dos cultivares de arroz

#### 4.5.3. Esterilidad

No se encontraron diferencias de esterilidad entre antecesor de verano en ninguno de los dos cultivares.

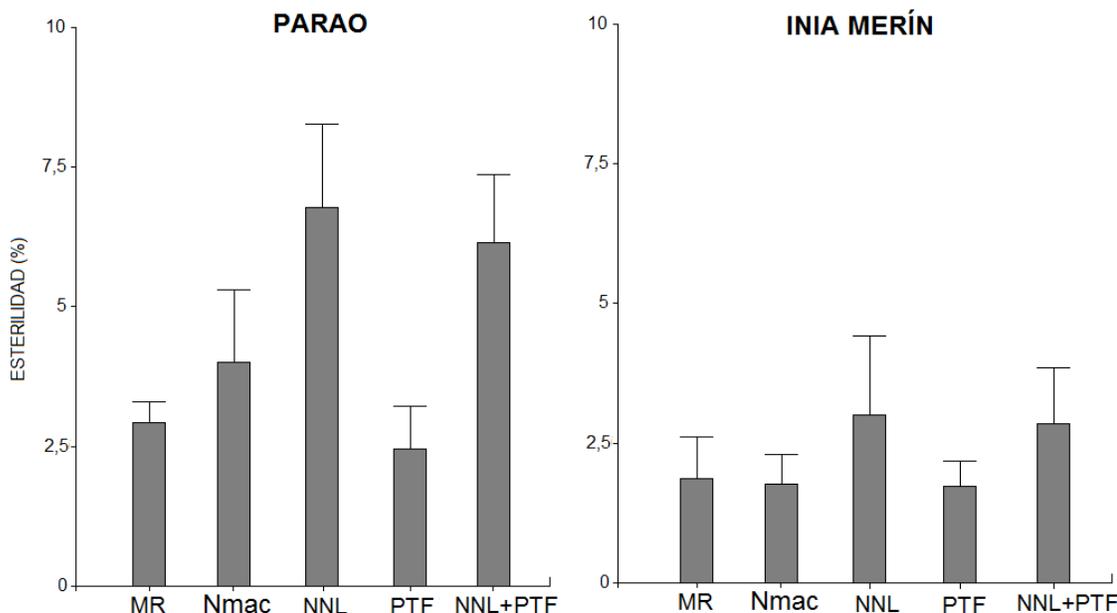
En el cultivar Parao la esterilidad de los tratamientos con agregado de nitrógeno no limitante fue en promedio 4 % superior a lo registrado bajo el manejo recomendado (Figura 12).

La esterilidad registrada con el manejo recomendado en el cultivar INIA Merín fue 2 % y se diferenció de los tratamientos con agregado de nitrógeno no limitante que presentaron un 3 % de esterilidad (Figura 12).

En ambos cultivares la esterilidad fue mayor en los tratamientos sin limitantes de nitrógeno, esto se debe a que el agregado excesivo de nitrógeno genera un desbalance en la relación fuente/fosa aumentando el número de granos semi llenos y vacíos. Coincidiendo con los datos reportados por Deambrosi y Méndez (1998, 2007), Deambrosi et al. (2002).

Parao alcanzó mayores valores de esterilidad que INIA Merín, esto indicaría que el frío no fue el principal causante de la esterilidad en esta zafra ya

que como reporta la bibliografía, las variedades japónicas tienen mejor comportamiento frente a bajas temperaturas que las índicas.



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); PTF (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida).

Figura 12. Efecto del manejo del nitrógeno y la aplicación de fungicidas sobre la esterilidad en dos cultivares de arroz

#### 4.6. ENFERMEDADES

No se encontraron diferencias de valores de IGS (%) entre antecesores de verano para ninguno de los dos cultivares.

Si bien en la bibliografía consultada se sostiene que la incidencia de enfermedades de tallo debería ser mayor cuando se siembra sobre rastrojo de arroz (Gamarra, 1996), los resultados pueden explicarse por la tolerancia que presentan los cultivares Parao e INIA Merín a enfermedades de tallo y vaina (Blanco et al. 2013, Martínez et al. 2018).

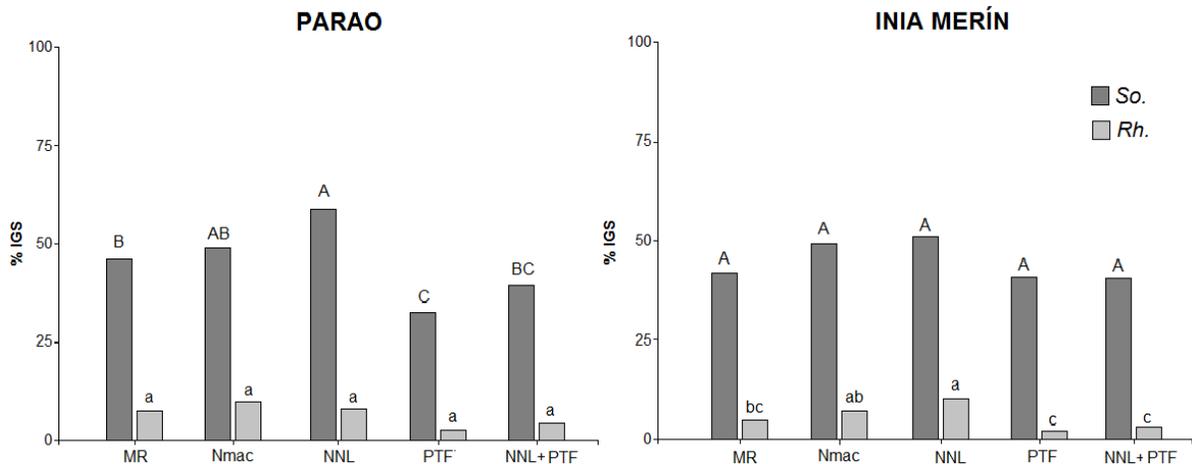
En la variedad Parao, la podredumbre de tallo causada por *Sclerotium oryzae*, fue máxima en el tratamiento con mayor suministro de nitrógeno y sin aplicación de fungicida, mientras que el menor valor de IGS (%) fue observado en el tratamiento con protección total del cultivo (Figura 13).

En INIA Merín no se encontraron diferencias significativas en severidad (IGS%) de podredumbre de tallo causada por *Sclerotium oryzae* para los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo (Figura 13), la misma presentó un grado de IGS promedio de 45 %.

Cabe destacar que las condiciones de temperaturas moderadamente bajas y pocas precipitaciones durante el mes de marzo, fueron desfavorables para el desarrollo de enfermedades, permitiendo buena sanidad del cultivo durante la etapa de concreción del rendimiento.

En cuanto al manchado de tallo y vaina causado por *Rhizoctonia* spp., los valores de IGS fueron muy bajos, lo que hace difícil evaluar estadísticamente esta enfermedad ya que la alta severidad de podredumbre de tallo enmascara el manchado de tallo y vaina.

Los resultados obtenidos en el cultivar Parao coinciden con los reportados por Castera et al. (2000), y se debe al mayor desarrollo de las plantas con mayor suministro de nitrógeno que genera un microclima con condiciones predisponentes para la aparición de estas enfermedades (Chebataroff et al. 1998, Bueno y Onofre 2004, Rodríguez y Zuluaga, citados por Deambrosi y Méndez 2007).



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); PTF (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida); So (*Sclerotium oryzae*); Rh (*Rhizoctonia* spp.).

Figura 13. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre la severidad de enfermedades de tallo y vaina en dos cultivares de arroz

#### 4.7. RENDIMIENTO

El rendimiento medio del experimento fue de 11297 kg/ha, con rendimientos promedio de INIA Merín y Parao de 11549 y 11044 kg/ha respectivamente destacando las excelentes condiciones climáticas de la zafra.

No se observaron diferencias significativas de rendimiento entre antecesores en ninguno de los dos cultivares. Sin embargo, en INIA Merín se observó una tendencia que en el cultivo sobre rastrojo la productividad fue 2091 kg/ha menos que sobre los otros antecesores (Figura 14).

La bibliografía es coincidente en la obtención de rendimientos decrecientes bajo cultivo continuo de arroz (Litzenberger 1974, Topolanski 1975, Anders et al. 2005) y en la obtención de mayores rendimientos en grano de arroz cuando este cultivo es rotado con otros, especialmente soja y pasturas (Da Rosa 1981, Beecher et al. 1994, Anders et al. 2006, Macedo et al. 2017).

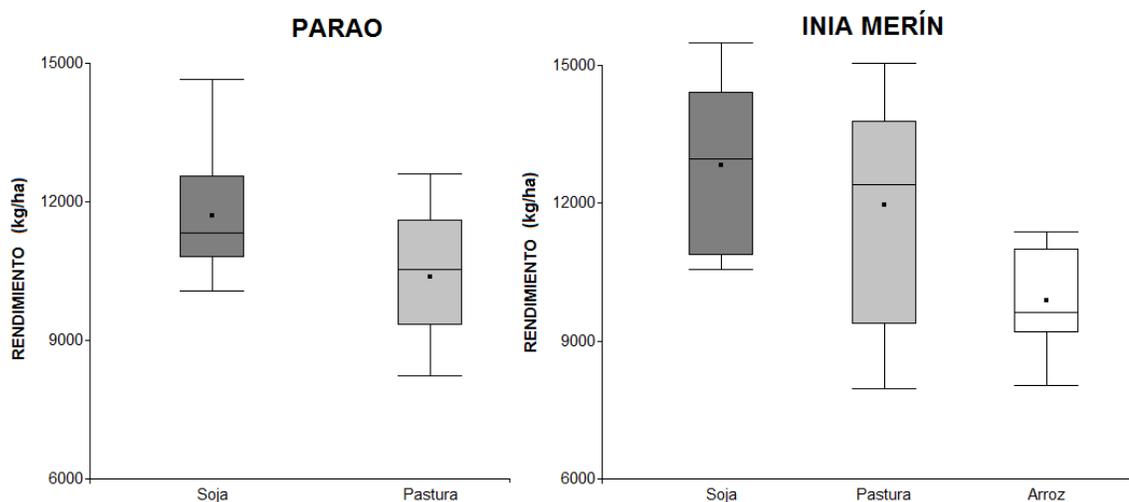


Figura 14. Rendimiento de dos cultivares de arroz en la zafra 2016/2017 según antecesor de verano

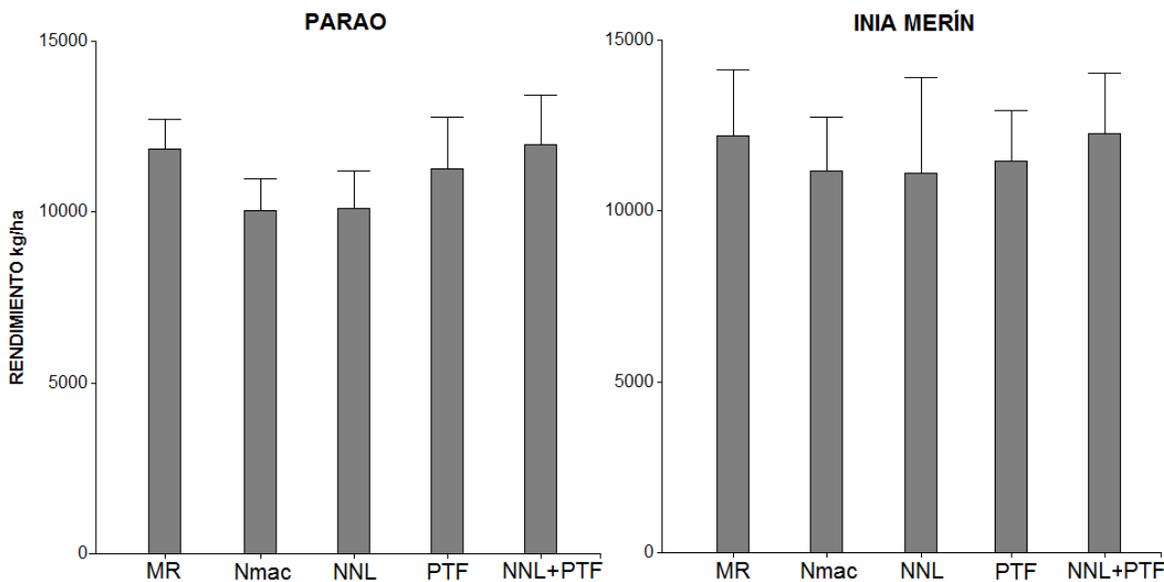
En cuanto al rendimiento según tratamiento de nitrógeno y protección del cultivo (Figura 15), en el cultivar Parao, la productividad obtenida con el manejo recomendado fue de 11840 kg/ha, 17 % superior a lo obtenido en Nmac (10080 kg/ha) y NNL (10111 kg/ha), y no se diferenció estadísticamente de los rendimientos de PTF (11263 kg/ha) y NNL+PTF (11961 kg/ha).

En el cultivar INIA Merín no se encontraron diferencias en productividad entre tratamientos (Figura 15). El manejo recomendado tuvo un rendimiento de 12014 kg/ha el cual se contrastó frente a Nmac (10777 kg/ha) para comprobar el efecto del agregado de nitrógeno a primordio y la aplicación de fungicida a inicio de floración, el mismo fue significativo y favorable a MR.

Para analizar estos resultados, en primer lugar, es necesario destacar las excelentes condiciones ambientales de la zafra 2016/2017, que permitieron explorar el rendimiento alcanzable del cultivo de arroz en la zona Este, incluso a nivel comercial, el cual estaría en torno a los 11000 kg/ha (80 % Rp= 14 ton arroz/ha, Carracelas et al., 2016).

En estas condiciones, el rendimiento obtenido con el manejo recomendado no fue superado por el que se obtuvo en situaciones de nitrógeno y fungicida no limitantes, resultando en mayor eficiencia agronómica por parte del MR, que con menor uso de insumos logró explorar el rendimiento alcanzable (Cassman, citado por Blanco, 2013).

Se logró mayor rendimiento cuando se aplicó nitrógeno a macollaje y primordio y al menos una aplicación de fungicida frente al tratamiento que no aplicó nitrógeno a primordio ni fungicidas, estos resultados reafirman que la recomendación de INIA para el manejo del nitrógeno y protección del cultivo es adecuada para lograr altos niveles de productividad en el cultivo de arroz (Castillo et al. 2014, Martínez et al. 2018).



MR (manejo recomendado); Nmac (nitrógeno solo a macollaje); NNL (nitrógeno no limitante); PTF (protección total fungicida); NNL+PTF (nitrógeno no limitante y protección total fungicida)

Figura 15. Efecto de los tratamientos de nitrógeno y protección del cultivo sobre el rendimiento en grano de dos cultivares de arroz

#### 4.8. ANÁLISIS ECONÓMICO

A modo de resumen se plantean los valores relativos de margen bruto según tratamiento, tomando como base los costos aportados por Sanguinetti (2018), y valores de referencia tanto de los costos de fertilizantes como fungicidas.

El costo total aportado por ACA es de U\$D 1860 por hectárea, para poder comparar el costo de los tratamientos, se resta al costo total el 18% que es lo que representan los insumos en la construcción del mismo. A ese costo base se suma en cada tratamiento el costo de urea y fungicida aplicados (Cuadros 3 y 4).

Los valores de referencia son:

- Costo total ACA – 15% de insumos= 1581 U\$D/ha
- Urea verde: 0,425 U\$D/kg
- Fungicida (Zuperior): 35 U\$D/lt
- Coadyuvante (Dash): 4 U\$D/lt
- Bolsa de arroz: 9,55 U\$D/Bolsa

El manejo recomendado fue el que logró mejor margen en las dos variedades, con rendimientos similares o mayores al resto de los tratamientos, y con un uso intermedio de insumos, esto demuestra que con el manejo recomendado se logra la mayor eficiencia en el uso de los recursos (Cuadros 3 y 4).

El costo de los tratamientos con agregados no limitantes de nitrógeno y fungicidas fueron muy superiores al costo del manejo recomendado, el mayor uso de insumos no tuvo respuesta en la obtención de mayores rendimientos, generando menores márgenes (Cuadros 3 y 4).

Si bien el costo de MR fue superior al de Nmac, la aplicación de nitrógeno a primordio y el uso de un fungicida a inicios de floración permitió obtener más kg arroz/ha frente al tratamiento en el cual solo se aplicó nitrógeno a macollaje, esto justifica el mayor uso de insumos en este caso (Cuadros 3 y 4).

## PARAO

Cuadro 3. Margen bruto relativo al manejo recomendado según tratamiento de nitrógeno y protección del cultivo en el cultivar Parao

| <b>Tratamiento</b> | <b>Costo total /ha<br/>(U\$D)</b> | <b>Ingreso bruto /ha<br/>(U\$D)</b> | <b>Margen bruto (%)</b> |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| <b>MR</b>          | 1696                              | 2262                                | 100                     |
| <b>Nmac</b>        | 1651                              | 1918                                | 47                      |
| <b>NNL</b>         | 1836                              | 1931                                | 17                      |
| <b>PTF</b>         | 1729                              | 2151                                | 75                      |
| <b>NNL+PTF</b>     | 1914                              | 2285                                | 65                      |

## INIA MERÍN

Cuadro 4. Margen bruto relativo al manejo recomendado según tratamiento de nitrógeno y protección del cultivo en el cultivar INIA Merín

| <b>Tratamiento</b> | <b>Costo total /ha<br/>(U\$D)</b> | <b>Ingreso bruto /ha<br/>(U\$D)</b> | <b>Margen bruto (%)</b> |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| <b>MR</b>          | 1696                              | 2295                                | 100                     |
| <b>Nmac</b>        | 1651                              | 2058                                | 68                      |
| <b>NNL</b>         | 1836                              | 2161                                | 54                      |
| <b>PTF</b>         | 1729                              | 2191                                | 77                      |
| <b>NNL+PTF</b>     | 1914                              | 2324                                | 68                      |

## 5. CONCLUSIONES

No se observaron diferencias entre antecesores para ninguna de las variedades en casi ninguna de las variables analizadas. Sin embargo, en el cultivar INIA Merín la productividad del cultivo de arroz sobre rastrojo de arroz tuvo una tendencia de 2000 kg/ha menos que sobre pasturas o soja que es de relevancia agronómica y coincide con la misma tendencia observada en el experimento en otras zafras.

El suministro de nitrógeno a macollaje y a primordio (MR) permitiría una alta producción de biomasa, a su vez, condiciones de nitrógeno no limitante favorecerían la producción de materia seca frente al suministro únicamente en etapas iniciales del cultivo, aunque no asegurarían mayor rendimiento en grano.

Situaciones con arroz como antecesor de verano, no presentaron diferencias en cuanto a severidad de enfermedades de tallo y vaina, frente a situaciones con antecesor soja y pastura, lo que fue explicado por la tolerancia que presentan los cultivares utilizados frente a este tipo de enfermedades.

La superioridad en términos de altura de planta, producción de materia seca y actividad clorofiniana de los tratamientos con nitrógeno no limitante no se tradujo en mayor rendimiento en grano lo que evidencia una menor eficiencia del uso del nitrógeno en estos casos en relación a los restantes tratamientos.

Los rendimientos alcanzados con el manejo recomendado fueron similares a aquellos manejos con suministro de nitrógeno y/o control de enfermedades no limitante, lo que marca una reducida brecha entre los rendimientos del experimento de largo plazo con las tecnologías utilizadas para su manejo y los rendimientos alcanzables.

Se observó superioridad en rendimiento cuando se aplicó nitrógeno a primordio y al menos una aplicación de fungicida frente al tratamiento que no aplicó nitrógeno a primordio ni fungicidas.

El manejo recomendado por INIA presentó el mejor margen económico, esto se debe a que presentó la mejor relación entre las unidades de nitrógeno y/o fungicida aplicados y los kg de arroz obtenidos por hectárea, frente a los otros tratamientos.

El conjunto de la información sugiere que las recomendaciones de manejo del nitrógeno basado en indicadores objetivos y la protección del cultivo con una aplicación de fungicida es adecuado para una diversidad amplia de situaciones del uso del suelo previo al cultivo.

## 6. RESUMEN

La situación actual del sector arrocero presenta ciertas dificultades debido principalmente al estancamiento del precio del producto y los altos costos de producción, lo que genera la necesidad de buscar mayor eficiencia en el uso de los recursos con el fin de lograr mayores rendimientos. En este sentido INIA Treinta y Tres, estableció en el año 2012 un experimento de rotaciones arroceras de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (UEPL), con el objetivo de evaluar distintas alternativas de intensificación del sistema arroz-pasturas típico de Uruguay, con sus correspondientes prácticas de manejo adaptadas a las mismas. Entre las tecnologías asociadas que se utilizan en el experimento, se encuentra el manejo del nitrógeno basado en el potencial de mineralización de nitrógeno en cada una de las rotaciones y el manejo integrado de las enfermedades mediante el uso de una gran proporción de cultivares modernos resistentes a *Pyricularia oryzae* y la aplicación estratégica de un fungicida a inicios de la floración para control de enfermedades del tallo. En la zafra 2016-17 surge este trabajo, con el objetivo de conocer que tan próximos se encuentran los rendimientos obtenidos en el experimento de largo plazo, respecto a los rendimientos alcanzables (sin limitantes de nitrógeno, agua y con los factores de reducción de rendimiento controlados). Se evaluó el rendimiento de dos cultivares de arroz sembrados sobre distintas rotaciones con agregados no limitantes de nitrógeno y/o fungicida y el rendimiento de las mismas con el manejo estándar del experimento de largo plazo para estas variables. Las variedades evaluadas fueron INIA Merín de grano largo tipo indica y Parao de grano largo tipo japónica tropical, ambas de alto potencial de rendimiento. Para cada variedad se utilizó un diseño en bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Se utilizaron 15 parcelas para evaluar el efecto antecesor de verano, 6 parcelas correspondientes a la variedad Parao con antecesores soja o pastura y 9 parcelas correspondientes a INIA Merín con antecesores arroz, soja o pastura. A su vez, cada una de ellas se dividió en cinco sub-parcelas para evaluar el comportamiento del cultivo frente a distintas situaciones de nutrición nitrogenada y protección sanitaria. Los tratamientos de manejo utilizados fueron: manejo recomendado (MR), con aplicación de nitrógeno a macollaje y primordio, y una aplicación de fungicida a inicio de floración; nitrógeno solo a macollaje (Nmac); nitrógeno no limitante (NNL), con aplicaciones de nitrógeno en macollaje, primordio y tres aplicaciones más luego de primordio; protección total fungicida (PTF), nitrógeno a macollaje y cuatro aplicaciones de fungicida a partir de primordio cada 15 días; nitrógeno no limitante y protección total, combina el manejo de los tratamientos NNL y PTF. El efecto antecesor no fue significativo para ninguna de las variables analizadas, se observó superioridad en rendimiento cuando se aplicó nitrógeno

a primordio y al menos una aplicación de fungicida frente al tratamiento que no aplicó nitrógeno a primordio ni fungicidas, a su vez este no se diferenció del rendimiento obtenido en condiciones de nitrógeno y fungicida no limitante. El conjunto de la información sugiere que las recomendaciones de manejo del nitrógeno basado en indicadores objetivos y la protección del cultivo con una aplicación de fungicida es adecuado para una diversidad amplia de situaciones del uso del suelo previo al cultivo, permitiendo lograr una buena eficiencia agronómica, necesaria para obtener mejores resultados económicos.

Palabras clave: Brechas de rendimiento; Rotación de cultivos;  
Fertilización nitrogenada; Control de enfermedades.

## 7. SUMMARY

The current situation of the rice sector presents certain difficulties in mainly due to the stagnation of the product price and high production costs, which generates the need to seek greater efficiency in the use of resources in order to achieve higher yields. In this sense INIA Treinta y Tres, established in 2012 an experiment of long-term rice rotations in the experimental unit Paso de la Laguna (UEPL), with the objective of evaluating different intensification alternatives of the rice-pasture system typical of Uruguay, with its corresponding management practices adapted to them. Some of the technologies used in the experiment are nitrogen management based on the potential of nitrogen mineralization in each of the rotations and the integrated management of diseases through the use of a large proportion of modern cultivars resistant to *Pyricularia*. and the strategic application of a fungicide at the beginning of flowering to control stem diseases. In the 2016-2017 crop, this work begins, to know how close are the yields obtained in the experiment, respect to the attainable yields (without restriction of nitrogen and water and with controlled yield reduction factors). The performance of two varieties of rice planted on different rotations with non-limiting aggregates of nitrogen and / or fungicide and the yield of them with the standard management of the long-term experiment for these variables (commercial control) was evaluated. The varieties evaluated were INIA Merín of long grain indica type and Parao of long grain tropical japonica type, both of high yield potential. For each variety, a randomized complete block with split plots design was used, with three repetitions. In total, 15 plots were used to evaluate the summer predecessor effect, six plots corresponding to Parao with soybean or pasture as predecessors and nine plots corresponding to INIA Merín with rice, soybean or pasture predecessors. In turn, each one of them was divided into five sub-plots to evaluate the crop performance against different situations of nitrogen nutrition and sanitary protection. The management treatments used were: recommended management (MR), with application of nitrogen at tillering and primordium, and an application of fungicide at the beginning of flowering with; nitrogen in tillering (Nmac), a nitrogen application in tillering; non-limiting nitrogen (NNL), with applications of nitrogen in tillering, primordium and three applications after primordium; total protection fungicide (PTF), nitrogen at tillering and four applications of fungicide from primordium every 15 days; non-limiting nitrogen and total protection (NNL+PTF), which combines the management of high nitrogen and fungicide. The predecessor effect was not significant for any of the analyzed variables, superiority was observed in yield when nitrogen was applied to primordium and at least one fungicide application compared to the treatment that did not apply nitrogen at primordium or fungicides, in turn this did not differ of the yield obtained under nitrogen and non-limiting fungicide conditions. The

whole of the information suggests that the recommendations for nitrogen management based on objective indicators and the protection of the crop with a fungicide application is adequate for a wide variety of situations of land use prior to cultivation, allowing to achieve a good agronomic efficiency, necessary to obtain better economic results.

Keywords: Yield gaps; Crop rotation; Nitrogen fertilization; Disease Control.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, F.; Posser, L. 2017. Evaluación de la fertilización nitrogenada a primordio en el cultivo de arroz y el uso del NDVI como herramienta para su ajuste. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 59 p.
2. Anders, M. M.; Watkins, K. B.; Moldenhauer, K. A.; Gibbons, J.; Mc New, R. W. 2007. The Effect of Rotation, Tillage, Fertility, and Variety on Rice Grain Yield. In: Norman, R. J.; Meullenet, J-F.; Moldenhauer, K. A. K.; Wells, B. R. eds. Wells Rice Research Studies 2006. Fayetteville, University of Arkansas System. pp. 251-258 (Research Series no. 550)
3. Atanasiu, N.; Samy, J. 1985. Uso eficaz de los fertilizantes. Zurich, Centro de Estudios del nitrógeno (CEA). 100 p.
4. Ávila, S. 2000. La podredumbre del tallo. Arroz. no. 24:44-48.
5. \_\_\_\_\_. 2001. Mancha agregada o manchado confluyente de las vainas. Arroz. no. 27: 41-45.
6. Beecher, H. G.; Thompson, J. A.; Bacon, P. E.; Heenan, D. P. 1994a. Effect of cropping sequences on soil nitrogen levels, rice growth, and grain yields. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34 (7):977- 986.
7. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Dunn, B. W. 1994b. Soil nitrogen supply to rice: crop sequence effects. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34 (7):987-994.
8. Benintende, S.; Benintende, M.; De Battista, J.; Saluzzio, M.; Sánchez, C.; Sterren, M.; Arias, N.; Oszust, J.; Pretto, G.; Faccendini, N. 2011. Estimación de la mineralización y fijación biológica del nitrógeno en suelos inundados para optimizar su utilización en el cultivo de arroz y minimizar el daño ambiental. Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento. no.1:1-15
9. Blanco, P.; Pérez de Vida, F. 2013a. Evolución del potencial de rendimiento en el programa de mejoramiento genético de arroz. (en línea). In: Jornada Arroz –Soja (2013, Treinta y Tres). Resultados experimentales 2012-2013. Montevideo, INIA. s.p.

Consultado 10 mar. 2018. Disponible en <http://www.inia.org.uy/estaciones/ttres/actividades/2013/1Potencial%20de%20rendimiento.pdf>

10. \_\_\_\_\_.; Molina, F.; Pérez de Vida, F.; Martínez, S.; Bonnacarrére, V.; Rosas, J.; Carracelas, G. 2013b. Parao: nuevo cultivar de arroz INIA. Revista INIA. no. 33:38-40.
11. Bueno, W.; Onofre, M. 2004. Adubação e colagem para a cultura do arroz irrigado. In: Da Silva Gomes, A.; Martins de Magalhães Junior, A. eds. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília, EMBRAPA. pp. 259-302.
12. Carracelas, G.; Guilpart, N.; Grassini, P.; Cassman, K. 2016. Determinación del potencial y de la brecha de rendimiento en los sistemas de arroz en Uruguay. In: Arroz: resultados experimentales 2015-2016. Montevideo, INIA. pp. 32-43 (Actividades de Difusión no. 766)
13. Cassman, K. G.; Dobermann, A.; Walters, D. T.; Yang, H. 2003. Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality. Annual Review of Environment and Resources. 28:315-358
14. Castera, F. 2000a. Cosecha con complicaciones variadas en la zona Este. Arroz. no. 6:46 - 48.
15. \_\_\_\_\_.; Deambrosi, E.; Mendez, R.; Roel, A. 2000b. Momento de inundación y respuesta a nitrógeno. In: Arroz: resultados experimentales 1999-2000. Montevideo, INIA. cap. 4, p. irr. (Actividades de Difusión no. 224)
16. Castillo, J.; Terra, J.; Perdomo, C.; Mori, C. 2011 Contribución relativa de las distintas fuentes de nitrógeno al cultivo de arroz, evaluada mediante técnica isotópica de abundancia natural  $^{15}\text{N}$ . In: Arroz: resultados experimentales 2010-2011. Montevideo, INIA. pp. 54-68 (Actividades de Difusión no. 651)
17. \_\_\_\_\_.; Ferreira, A.; Méndez, R.; Terra, J. 2014. Fertilización N en arroz en base a indicadores objetivos. ¿Qué sabemos luego de 3 años de experimentación? In: Jornada Anual Arroz-Soja (2014, Treinta y Tres). Resultados experimentales 2013-2014. Montevideo, INIA. pp. 4-6 (Actividades de Difusión no. 735).

18. Chebataroff, N. 2012. Arroz uruguayo. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 23-56.
19. Da Rosa, R. 1981. Respuesta del arroz a la fertilización sobre una pradera artificial arada en dos épocas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 189 p.
20. De Battista, J. J.; Arias, N. 2005. Arroz. In: Echeverría, H.; García, F. eds. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires, INTA. pp. 399- 406.
21. \_\_\_\_\_. 2006. Fertilización del arroz con NPK en Entre Ríos. In: Benavides, R. A. ed. El arroz: su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos. Concepción del Uruguay, Universidad Nacional de Entre Ríos. pp. 379-385.
22. De Datta, S.K. 1981. Principles and practices of rice production. New York, Wiley. 618 p.
23. Deambrosi, E.; Méndez, R.; Roel, A. 1997. Estrategia en la producción de arroz para un mejor aprovechamiento de las principales variables climáticas. Montevideo, INIA. 14 p. (Serie Técnica no. 89).
24. \_\_\_\_\_.; Méndez, R.; Avila, S. 2001. Fertilización. In: Jornada Anual de Arroz (2001, Treinta y Tres). Arroz: resultados experimentales 2000-2001. Montevideo, INIA. cap.5, pp. 11-14 (Actividades de Difusión no. 257).
25. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2005. Fertilización. In: Arroz: resultados experimentales 2004-2005. Montevideo, INIA. cap.3, pp.1-5 (Actividades de Difusión no. 418).
26. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2007. Respuesta de cultivares de arroz de tipo indica a densidades de siembra y aplicación de nitrógeno en la zona Este del Uruguay. Montevideo, INIA. 36 p. (Serie Técnica no. 167)
27. Dobermann, A.; Fairhurst, T. 2000. Rice: nutrient disorders and nutrient management. s.n.t. 191 p.

28. Fabini, G.; Castillo, J.; Marchesi, C. 2018. Curvas críticas de dilución de nitrógeno en Uruguay. *In*: Zorrilla, G.; Martínez, S.; Terra, J. A. Saravia, H. eds. Arroz 2018. Montevideo, INIA. pp. 87-89 (Serie Técnica no. 246).
29. Fabre, D.; Cordeiro, A. C.; Ferreira, G.; Vilarinho, A.; Medeiros, R. 2011. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em arroz de várzea. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 41:29-38
30. Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Jones, C. A. 1997. Growth and mineral nutrition of field crop. New York, Marcel Dekker. 624 p.
31. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2001. Lowland rice response to nitrógeno fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32:1405-1429.
32. \_\_\_\_\_.; Slaton, N. A.; Baligar, V. C. 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy*. 80:63-90.
33. \_\_\_\_\_.; Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*. 88:97-185.
34. FAO (Food and Agriculture Organization, IT) 2004. El arroz y la reducción de la brecha de rendimiento. Roma. 2 p.
35. Ferreira, E.; Mountauban, F. 1998. Incidencia de factores climáticos sobre rendimiento y componentes y vías de construcción del rendimiento en cultivares de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 186 p.
36. Fischer, R. A.; Byerlee, D.; Edmeades, G. 2009. Can Technology Deliver on the Yield Challenge to 2050? (en línea). *In*: FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050 (2009, Roma). Technical papers. Roma, FAO. pp. 24-26. Consultado 29 ago. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/background-documents/expert-papers/en/>
37. Gamarra Santa Cruz, G. 1996. Manual de producción de arroz. Montevideo, Hemisferio Sur. 439 p.

38. INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY). 2018. Banco datos agroclimatico. (en línea). Treinta y Tres. s.p. Consultado 17 ago. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
39. IPNI (International Plant Nutrition Institute, AR). 2002. Requerimientos nutricionales de los cultivos. (en línea). Archivo Agronómico. no. 3:s.p. Consultado 20 dic. 2018. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB666503257967007DD076/\\$FILE/AA%203.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB666503257967007DD076/$FILE/AA%203.pdf)
40. Latheef, M.; Govind, M. 2007. Performance of dry seeded irrigated rice under different seed densities and nitrogen levels. *Crop Research*. 33:25-29.
41. Litzenger, S.C. 1974. *Guide for field crops in the tropics and the subtropics*. Washington, D. C., Agency for International Development. 321 p.
42. Lobell, D. B.; Cassman, K. G.; Christopher, B. F. 2009. Crop Yield Gaps: their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34:179-204.
43. Macedo, I.; Castillo, J.; Saldain, N.; Martínez, S.; Bordagorri, P.; Martínez, S.; Escalante, F. 2016. Dinámica de enfermedades de tallo y vaina en sistemas de rotaciones arroceras, primeras cuatro zafras. *In: Arroz: resultados experimentales 2015- 2016*. Montevideo, INIA. cap. 4, pp. 4-6 (Actividades de Difusión no. 765).
44. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Hernández, J.; Terra, J. A. 2017. Cerrando un ciclo de las rotaciones arroceras: rendimiento del cultivo de arroz y cultivos alternativos. *In: Zorrilla, G.; Martínez, S.; Terra, J. A. Saravia, H. eds. Arroz 2017*. Montevideo, INIA. pp. 63-65 (Serie Técnica no. 233)
45. Martínez, S.; Escalante, F. 2016. Dinámica de enfermedades de tallo y vaina en sistemas de rotaciones arroceras, primeras cuatro zafras. *In: Arroz: resultados experimentales 2015-2016*. Montevideo, INIA. cap. 4, pp. 46-48 (Actividades de Difusión no. 766)

46. \_\_\_\_\_.; Bao, L.; Escalante, F. 2018. Manual de identificación de enfermedades y plagas en el cultivo de arroz. Montevideo, INIA. 64 p. (Boletín de Divulgación no. 116)
47. Marzari, V.; Marchezan, E.; Souza da Silva, L.; Kuster, S.; Machado, F.; Rabaiolo, E. 2005. Épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado no sistema convencional de semeadura de arroz irrigado. *Ciência Rural* (Santa María). 35:1190-1193.
48. Medeiros, R. D.; Cordeiro, A.; Mourao, M.; Morais, O.; Rangel, P.; Filho, R. 2007. Resposta de cultivares de arroz irrigado a níveis de nitrogênio aplicados em cobertura no estado de Roraima. *In: Reuniao da Cutura do Arroz Irrigado (27º., 2007, Pelotas, RS) Anais. Pelotas, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. pp.617-618.*
49. Mejía de Tafur, S.; Menjivar, J. 2010. Nutrición mineral del arroz: nitrógeno, funciones importantes. *In: Degiovanni, B.; Martínez, R.; Motta, O. eds. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 306-335.*
50. Méndez, R. 1993. Rotación arroz–pasturas: análisis físico–económico del cultivo. Montevideo, INIA. 13 p. (Serie Técnica no. 38).
51. \_\_\_\_\_.; Castillo, J.; Martínez, S.; Sosa, B.; Casales, L. 2013. Respuesta del cultivar Parao a la aplicación de nitrógeno y a su fraccionamiento. *In: Jornada Anual Arroz – Soja (2013, Treinta y Tres). Resultados experimentales 2012-2013. Montevideo, INIA. cap. 3, pp. 1-3 (Actividades de Difusión no. 713)*
52. Molina, F.; Blanco, P.; Pérez de Vida, F. 2011. Parao INIA, nuevo cultivar de arroz, L 5502, Parao, características y comportamiento. *Arroz. no. 68:26-32.*
53. Morel, D.; Miura, L. 2007. Adubação nitrogenada em pos semeadura do arroz irrigado pregerminado no sul de Santa Catarina-Resultados de três anos. *In: Reuniao da Cultura do Arroz Irrigado (27ª., 2007, Pelotas, RS). Anais. Pelotas, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. pp.495-497.*
54. Olk, D. C.; Anders, M. M.; Boeckmann, J. M.; Grantham, J.; Holzhauer, J. 2005. Impaired cycling of soil nitrogen under continuous rice

rotations in the Arkansas Grand Prairie area. *In*: Rice Technical Working Group Meeting (30<sup>th</sup>., 2004, New Orleans). Proceedings. New Orleans, State University Agricultural Center. pp. 148-149.

55. Saldías, R.; Penengo, C.; Lanfranco, B.; Baethgen, W. 2016. El sector arrocero al 2030: soluciones al desarrollo sostenible. *Revista INIA*. no. 44:47-49.
56. Sanguinetti, M. N. Costo de la producción de arroz en Uruguay. Tendencia zafra 2016/2017. (en línea). Montevideo, ACA. s.p. Consultado jun. 2019. Disponible en <http://www.aca.com.uy/wp-content/uploads/2017/12/Costo-de-la-producci%C3%B3n-de-arroz-en-Uruguay-INFORME.pdf>
57. Silva, P.; Vergara, W.; Acevedo, E. 2015. Rotación de cultivos. Chillán, Chile, INIA. p. 48. (Boletín INIA no. 308).
58. Stansel, J. W. 1975. Effective utilization of sunlight. *In*: Six decades of rice research in Texas. College Station, Texas A&M University Press. pp. 43-50 (Research Monograph no. 4)
59. Terra, J.; Molina, F.; Deambrosi, E.; Pravia, V.; Roel, A.; Casales, L.; Ferreira, D.; Ferreira, R. 2007. Manejo de suelos y nutrición vegetal. *In*: Arroz: resultados experimentales 2006-2007. Montevideo, INIA. cap. 7, pp.1-8 (Actividades de Difusión no. 502)
60. \_\_\_\_\_.; Castillo, J; Saldain, N; Martínez, S; Bermúdez, R; Hernández, J; Macedo, I. 2014. Rotaciones arroceras: resumen de resultados productivos en las primeras zafras. *In*: Jornada Anual Arroz-Soja (2014, Treinta y Tres). Resultados experimentales 2013-2014. Montevideo, INIA. cap. 9, pp. 22-24 (Actividades de Difusión no. 735)
61. Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J.; Befort, B. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. (en línea). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 108 (50): s.p. Consultado 14 nov. 2018. Disponible en <https://www.pnas.org/content/108/50/20260>
62. Topolanski, E. 1975. El arroz: su cultivo y producción. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 304 p.

63. Turner, F. T.; Jund, M. F. 1994. Assessing the nitrogen requirements of rice crops with a chlorophyll meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34:1001-1005.
64. Van Ittersum, M. K.; Cassman, K. G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittone, P.; Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance: a review. (en línea). *Field Crops Research*. 143:4-17. Consultado mar. 2018. Disponible en <http://www.yieldgap.org/gygamaps/pdf/gyga%20outputs%20and%20papers%20handout.pdf>
65. Wells, B. R.; Huey, B. A.; Norman, R. J.; Helms, R. A. 1993. Rice. In: Bennett, W. F. ed. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. St. Paul, Minnesota, American Phytopathological Society (APS). pp. 15-19.
66. Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute (IRRI). cap. 2, pp. 65-109.
67. Zorrilla, G.; Terra, J. 2017. Sustainable Intensification Pathways in Uruguayan Rice Systems. (en línea). In: *International Temperate Rice Conference (5<sup>th</sup>, 2017, Griffith, Australia)*. Oral Abstracts. Griffith, ITRC. s.p. Consultado 19 mar. 2018. Disponible en <http://www.itrconference.com/f.ashx/oral-abstracts/gonzalo-zorrilla-sustainable-intensification-pathways-in-uruguayan-rice-systems.pdf>