

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN DOS CULTIVARES DE
ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN LA REGIÓN PACÍFICO CENTRAL

LOURDES CHAVARRÍA PÉREZ

Tesis presentada en la Escuela de Agronomía como requisito parcial para optar por el
título de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia

2011

DEDICATORIA

*Este trabajo es dedicado a mis padres, hermanas y a Marito.
Por el cariño, comprensión, guía, apoyo, consejos, el ejemplo y la compañía
durante mis años de estudio.*

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero dar un agradecimiento especial a mi Dios tan bueno que me ha ayudado a obtener tantos logros en mi vida y permitirme llegar hasta donde hoy estoy.

A mis padres por todo el apoyo y comprensión, no solo durante la realización de este trabajo, si no a lo largo de todo mi vida. A mis hermanas por su cariño y consejos. A Mario por que más que un novio, ha sido un amigo y colega, baluarte importante. A mis amigos (as) por su amistad.

Un especial agradecimiento a mi profesor tutor Álvaro Azofeifa, por los valiosos consejos que me dio durante el desarrollo de la tesis, además de guiarme y alentarme. A los profesores miembros del comité, por su interés en que el trabajo se presentará de una manera optima, con sus recomendaciones e indicaciones acertadas. A Floria Bertsch por su disposición y ayuda valiosa, a don Luis Salazar por la formación académica y humana que me enseñó. A Julio Araya por la comprensión y los mejores deseos para mi persona.

A los diferentes funcionarios del laboratorio del CIGRAS-UCR, que cooperaron con el proyecto. Compañeros (as) del grupo de trabajo de arroz del CIGRAS-UCR: Mainor, Joseph, Miguel por diferentes momentos en que colaboraron con el proyecto; al igual que otros compañeros.

A la cooperativa COOPARROZ, por poner a disposición el terreno en el que se desarrollo el ensayo de campo.

El presente trabajo final de graduación ha sido aceptado por la Facultad de Ciencias Agroalimentarias – Escuela de Agronomía de la Universidad de Costa Rica, y aprobado por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Licenciado en Ingeniería Agronómica



Lourdes Chavarria Perez
Candidata



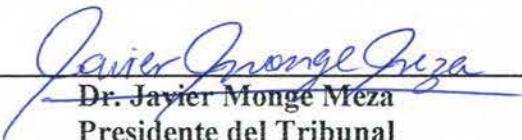
Msc. Alvaro Azofeifa
Director de Tesis



Dr. Adriana Murillo Williams
Miembro del Comité



Dr. Carlos Hernández
Miembro del Comité



Dr. Javier Monge Méza
Presidente del Tribunal

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
<i>RESUMEN</i>	1
<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	5
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	5
<i>1. REVISION BIBLIOGRÁFICA</i>	6
1.1. Descripción Botánica	6
<i>1.1.1. Variedades que se utilizaron en este trabajo</i>	7
1.2. Consumo y Producción.....	10
<i>1.2.1. Sistema de Producción</i>	11
<i>1.2.2. Métodos de siembra</i>	12
1.3. Crecimiento	13
<i>1.3.1. Etapas fenológicas</i>	13
<i>1.3.2. Análisis de Crecimiento</i>	14
<i>1.3.3. Componentes del rendimiento:</i>	15
1.4. Análisis de absorción de nutrientes	15
<i>METODOLOGÍA</i>	18
1. Localización, preparación de terreno, siembra y manejo	18
2. Manejo de la fertilización	19
3. Diseño experimental.....	20
4. Definición de descriptores	21
4.2. Descriptores o parámetros morfológicos	22

4.3.	Parámetros o descriptores en floración:	22
4.4.	Parámetros o descriptores en cosecha:	23
5.	Evaluaciones	24
6.	Abreviaturas	25
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>		26
1.	Análisis del patrón de crecimiento de las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles	26
1.1.	Parámetros fisiológicos	26
1.1.1.	<i>Índice absoluto de crecimiento (IAC)</i>	26
1.1.2.	<i>Índice de crecimiento relativo (ICR)</i>	28
1.1.3.	<i>Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF)</i>	30
1.1.4.	<i>Índice de asimilación neta (IAN)</i>	32
1.2.	Parámetros morfológicos	33
1.2.1.	<i>Altura de la planta</i>	33
1.2.2.	<i>Índice de Área Foliar (IAF)</i>	35
1.2.3.	<i>Razón de área foliar (RAF)</i>	37
1.2.4.	<i>Razón de peso comercial (RPC)</i>	38
1.2.5.	<i>Razón de peso radicular (RPR)</i>	39
1.2.6.	<i>Relación de raíces a parte aérea (RRPA)</i>	41
1.3.	Parámetros evaluados durante la floración	43
1.4.	Parámetros evaluados durante la cosecha	44
2.	Análisis del Patrón de absorción y elaboración de curvas	46
2.1.	<i>Descripción de la absorción total de los diferentes nutrimentos en ambas variedades</i>	46
2.2.	Descripción de la absorción en los diferentes órganos de las plantas para ambas variedades	62
2.2.1	<i>Absorción y distribución de nutrimentos en los diferentes órganos de la planta para la variedad Palmar 18</i>	62

2.2.2. <i>Absorción y distribución de nutrimentos en los diferentes órganos de la planta para la variedad INTA-Miravalles</i>	72
3. Comparación de las curvas de absorción de N, P y K, para ambas variedades durante su ciclo de desarrollo.	83
4. Propuesta de fertilización	87
CONCLUSIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	92
ANEXOS.....	98
Anexo 1. Resultados del análisis textural del suelo, realizado en el lote experimental en la finca “La 45” Parrita, Puntarenas.	99
Anexo 2. Resultados del análisis químico de suelo previo a la siembra, realizado al lote experimental en la finca “La 45” Parrita, Puntarenas. Cultivo de arroz de secano.	99
Anexo 3. Resultados del análisis químico de suelo después de cosecha, realizado en el lote experimental en la finca “La 45” Parrita, Puntarenas. Cultivo de arroz de secano.	99
Anexo 4. Parámetros evaluados durante la etapa de floración para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.....	100
Anexo 5. Parámetros Evaluados durante la etapa de cosecha para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.....	100
Anexo 6. Datos meteorológicos durante los meses de mayo a diciembre. Basados en datos recolectados de la Estación Palo Seco y Damas, para la zona de Parrita, 2010.	101
Anexo 7. Cantidades de Fe absorbidas en los diferentes órganos de la planta, durante las diferentes etapas de crecimiento para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.....	101
Anexo 8. Análisis de varianza para los índices de crecimiento evaluados y la diferencia entre ellos, para ambas variedades.	102
Anexo 9. Parámetros postcosecha evaluados en las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índice absoluto de crecimiento (g día^{-1}) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	27
Figura 2. Índice de Crecimiento Relativo ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita 2010.	28
Figura 3. Índice de Crecimiento Relativo Foliar ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	31
Figura 4. Índice de Asimilación Neta ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	32
Figura 5. Longitud de parte aérea, en cm, durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	34
Figura 6. Índice de Área Foliar ($\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2}$) durante el ciclo de cultivo, para dos variedades de arroz. Parrita, 2010.	36
Figura 7. Razón de Área Foliar ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	37
Figura 8. Razón de Peso Radicular (g g^{-1}) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	40
Figura. 9. Relación de raíces a parte aérea (g g^{-1}) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.	42
Figura 10. Curva de absorción para los elementos N, P y K, (kg ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	49
Figura 11. Curva de absorción de los elementos Ca, Mg y S (kg ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	50
Figura 12. Curva de absorción de los microelementos Fe y Mn (g ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	51
Figura 13. Curva de absorción de los microelementos Cu, Zn y B (g ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	52
Figura 14. Curva de absorción de los elemntos N, P y K, (kg ha^{-1}), para la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	53
Figura 15. Curva de absorción de los elementos Ca, Mg y S (kg ha^{-1}), para la variedad INTA Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	55

Figura 16. Curva de absorción de los microelementos Fe y Mn (g ha^{-1}), para la variedad INTA Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	56
Figura 17. Curva de absorción de los microelementos Cu, Zn y B (g ha^{-1}), para la variedad INTA Miravalles. Parrita, 2010.	57
Figura 18. Distribución de materia seca en kg ha^{-1} (18A) y acumulaciones parciales (18B), de materia seca en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.....	63
Figura 19. Distribución del N en kg ha^{-1} (19A) y porcentual (19B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	64
Figura 20. Absorción porcentual total y parcial del N durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	65
Figura 21. Distribución del P en kg ha^{-1} (21A) y porcentual (21B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	66
Figura 22. Absorción porcentual total y parcial del P durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	67
Figura 23. Distribución del K en kg ha^{-1} (23A) y porcentual (23B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita 2010.	68
Figura 24. Absorción porcentual total y parcial del K durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	68
Figura 25. Distribución porcentual del Ca (25A) e incrementos relativos (25B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.....	70
Figura 26. Distribución porcentual del Mg (26A) e incrementos relativos (26B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.....	71
Figura 27. Distribución porcentual del S (27A) e incrementos relativos (27B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.....	72
Figura 28. Distribución de la materia seca en kg ha^{-1} (28A) y acumulación parcial (28B), de materia seca en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	73
Figura 29. Distribución del N en kg ha^{-1} (29A) y porcentual (29B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita 2010.....	74
Figura 30. Absorción porcentual total y parcial del N durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	75

Figura 31. Distribución del P en kg ha ⁻¹ (31A) y porcentual (31B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.....	76
Figura 32. Absorción porcentual total y parcial del P durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	77
Figura 33. Distribución del K en kg ha ⁻¹ (33A) y porcentual (33B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.....	78
Figura 34. Absorción porcentual total y parcial del K durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	79
Figura 35. Distribución porcentual del Ca (35A) e incrementos relativos (35B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	80
Figura 36 Distribución porcentual del Mg (36A) e incrementos relativos (36B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.	80
Figura 37. Distribución porcentual del S (37A) e incrementos relativos (37B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita 2010.	81
Figura 38. Comparación de la absorción de N para la variedad Palmar 18 e INTA-Miravalles, durante el ciclo de crecimiento. Parrita, 2010.....	84
Figura 39. Comparación de la absorción de P para la variedad Palmar 18 e INTA- Miravalles, durante el ciclo de crecimiento. Parrita, 2010.....	85
Figura 40. Comparación de la absorción de K para la variedad Palmar 18 e INTA-Miravalles, durante el ciclo de crecimiento. Parrita, 2010.....	86

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Programa de fertilización granular, empleados para el cultivo de ambas variedades de arroz (Palmar 18 e INTA-Miravalles), bajo sistema de secano. Parrita, 2010.	20
Cuadro 2. Parámetros fisiológicos, morfológicos, de floración y cosecha, utilizados para las variables de crecimiento en el cultivo del arroz.....	21
Cuadro 3. Parámetros evaluados durante la etapa de floración para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.....	44
Cuadro 4. Parámetros evaluados durante la etapa de cosecha para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.	46
Cuadro 5. Cantidad de nutrimentos absorbidos por etapas y totales durante el ciclo en las plantas de arroz variedad Palmar 18.....	48
Cuadro 6. Cantidad de nutrimentos absorbidos durante el ciclo, en las plantas de arroz, variedad INTA-Miravalles.....	53
Cuadro 7. Plan sugerido para la fertilización de la variedad Palmar 18, en condiciones de secano. .	88
Cuadro 8. Plan sugerido para la fertilización de la variedad INTA-Miravalles, en condiciones de secano.....	88

RESUMEN

La elaboración de la curva de crecimiento y absorción de nutrimentos, en las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles se realizó en la región arrocerá Pacifico Central en, en el distrito de Parrita, la finca “La 45”. El sistema de siembra y manejo general del cultivo se realizó obedeciendo al esquema normal de producción de arroz bajo sistema de secano propio para la región. En el plan de fertilización se busco brindar condiciones nutricionales optimas para maximizar el potencial genético de las variedades, siguiendo indicaciones con experiencias anteriores y condiciones propias del suelo. Se aplicaron 171, 39, 98 y 12 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y S, respectivamente; durante las fases de siembra, plántula, IM, MM e IPF.

El diseño experimental lo conformaron bloques completos al azar con 3 repeticiones por variedad. Se realizaron muestreos en campo cada 15 días después de la germinación (ddg), a lo largo del ciclo de cultivo. Para la medición de parámetros asociados con el crecimiento se realizaron evaluaciones en campo y en laboratorio, mientras que para la determinación de concentraciones de nutrimentos, se extrajeron 10 plantas enteras. Estas plantas se lavaron y separaron por sección (parte aérea, raíz y panícula), se secaron en un horno a 70°C durante 48 horas, posteriormente se tomaron los pesos secos y fueron llevadas al Laboratorio del CIA-UCR para los respectivos análisis de concentración de nutrimentos.

La variedad Palmar 18 tuvo un ciclo de cultivo de 120 ddg, mientras que INTA-Miravalles fue más precoz con 105 ddg. Con la primera se obtuvo un rendimiento de 5,23 t ha⁻¹ y 3,29 t ha⁻¹ para INTA-Miravalles. Con respecto a parámetros de crecimiento como: ICR, ICRF, IAF; Palmar 18 presentó valores superiores en comparación con la variedad INTA-Miravalles, durante las diferentes etapas de crecimiento. En las etapas de IM y MM se obtuvieron valores de IAN altos, para ambas variedades.

En Palmar 18, el orden decreciente de absorción de elementos macros, medios y micros fue el siguiente: K>N>Mg>Ca>P>S>Fe>Mn>Zn>B>Cu. En el caso de INTA-

Miravalles el patrón fue: N>K>Mg>Ca>P>S>Fe>Mn>Zn>Cu>B, con diferencias en el orden de absorción para los elementos N, K, B y S, entre las dos variedades

Para los rendimientos indicados, la absorción total (kg ha^{-1}) para Palmar 18 fue: 168,5; 147,2; 69,7; 53,1; 22,9 y 13,1; para K, N, Mg, Ca, P y S respectivamente. Mientras que para INTA-Miravalles fue: 83,3; 76,4; 14,6; 11,9; 10,6 y 5,8, kg ha^{-1} de N, K, Mg, Ca, P y S, respectivamente.

INTRODUCCIÓN

El arroz *Oryza sativa* L., pertenece a la familia de las poaceas la cual incluye unas 24 especies de importancia. En la actualidad se habla de tres tipos o razas ecológicas de arroz, entre las que se encuentran: Indica, Japónica (o Sinica) y Javanica (tropical Japónica) (León 1987). Se han desarrollado distintas variedades las cuales, además de alta adaptación, presentan características particulares que permiten su desarrollo a nivel comercial (Cortés 1994).

Por el contrario otros cultivares son utilizados para subsistencia, denominado también de autoconsumo (requieren bajos insumos y mínima labranza). Estos cultivares presentan características particulares que les permiten adaptarse a este tipo de sistemas de producción; sin embargo, no son muy competitivas, ya que, generalmente no presentan rendimientos altos, además no son muy demandantes de nutrimentos y no requieren de preparaciones costosas del suelo. Además son susceptibles a muchas enfermedades y al volcamiento, y no son certificadas por la Oficina Nacional de Semillas (Cortés 1994).

De acuerdo con Cortés (1994), entre las variedades denominadas de subsistencia se encuentran: Picaporte, Cola de Diablo, INTA-Miravalles, Chin-Chin, Nira Blanco, entre otras; de las más antiguas en esta categoría están Rexoro y Blue bonnet. En los últimos años se han desarrollado nuevas variedades como lo son Palmar 18, Fedearroz 50, Puita, materiales CFX, entre otros.

En el país se cuenta con más de 1000 productores que incluyen las dos categorías de producción comercial y familiar de subsistencia. La actividad industrial arrocera se encuentra centralizada en 13 empresas agroindustriales, las cuales se encargan del beneficiado, empaque y distribución del grano (CONARROZ 2011).

El arroz es el producto primordial en la dieta de los costarricenses. De acuerdo con la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ 2011) para la cosecha 2009/2010 en el país se sembraron 66415 ha durante los dos períodos de siembra. El consumo per cápita para este período fue de 50,98 kg, para un consumo total de 231 256 t de arroz pilado. A su vez, se realizó una importación de 123 885 t de arroz en granza.

El aumento constante en la población, sumado a una disminución de las áreas destinadas para la siembra del cultivo, ha generado un temor hacia una crisis alimentaria a

nivel mundial. Es por esto que se busca un modelo de agricultura más eficiente, con variedades cada vez más productivas, lo que implicará mayores requerimientos nutritivos, mejor uso de tecnologías y por lo tanto contar con el que conocimiento para atender estas demandas de manera eficaz (Cordero 1993 y Arthanari *et al.* 2007).

Actualmente se cuenta con variedades con mayor resistencia a plagas y enfermedades, alto rendimiento y calidad de grano, que presentan altos requerimientos nutricionales.

Entre las prácticas comunes para el cultivo del arroz, que no consideran las exigencias y requerimientos propios de cada variedad, se puede mencionar el uso de semilla para la siembra, para esto se maneja un peso (110-115 kg ha⁻¹) indistintamente de las características de crecimiento de cada material (Cortés 1994).

Además el manejo de fertilización se realiza siguiendo patrones de absorción muy similares, sin considerar las curvas de crecimiento y la duración del ciclo de cada cultivar. Generalmente se basan en aplicaciones de N (aplicado durante el inicio del macollamiento y durante la formación de la panícula), P (aplicado en la siembra) y K (generalmente en la siembra y otra parte durante el inicio del crecimiento, macollamiento) (Cordero 1993).

Como menciona Salguera (2006), además del manejo de la fertilización, hay otros factores que se deben de considerar previo a la siembra, como requerimientos edáficos, climáticos y de manejo, que son factores que van a influir directamente en el rendimiento del material y por ende en el máximo aprovechamiento y productividad de las áreas disponibles para la siembra.

Por otro lado, autores como Xing *et al.* (2009) y Zhang y Wang (2005), mencionan la importancia de incrementar la productividad, mediante programas de fertilizaciones eficientes que consideren cantidades y épocas de aplicación, que de esta manera consiga incrementar la rentabilidad del cultivo.

Con este trabajo se buscó generar información útil para el manejo y entendimiento de variedades de importancia para el país, como lo es Palmar 18 una variedad comercial e INTA-Miravalles una variedad de autoconsumo, que al no ser de uso industrial no cuenta con información importante para su manejo. Además, generar información sobre curvas de crecimiento en variedades de arroz. Todo esto bajo un sistema de cultivo en secano, en donde la mayoría de tecnología e información desarrollada se centraliza en cultivos

anegados, siendo actualmente en Costa Rica, el primero el que abarca la mayor cantidad de área sembrada.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el patrón de crecimiento y de absorción de nutrimentos de los cultivares de arroz, Palmar 18 e INTA-Miravalles en la Región arrocerá Pacífico Central.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Analizar el patrón de crecimiento en plantas de arroz de los cultivares Palmar 18 e INTA-Miravalles, en la zona arrocerá Pacífico Central, a través del ciclo de cultivo.
- 2 Determinar la absorción de nutrimentos, en plantas de arroz de los cultivares Palmar 18 e INTA-Miravalles en la zona arrocerá Pacífico Central a través del ciclo de cultivo y proponer un programa de fertilización con base en la información generada.

1. REVISION BIBLIOGRÁFICA

1.1. Descripción Botánica

El arroz pertenece a la familia de la gramíneas (Poaceae) y al género *Oryza*. Este género comprende aproximadamente 23 especies, distribuidas en Asia, África, Australia, América Central y Sur. Las distintas variedades pertenecen a diferentes grupos y razas geográficas, entre estos se encuentra: el grupo Indica (regiones tropicales de la India, Filipinas y parte de Estados Unidos y México), grupo Japónica (regiones subtropicales de Japón, Corea y parte de Sudamérica) y grupo Javánica (Burma e Indonesia) (Parsons 2008).

El arroz es una planta de ciclo anual, que puede medir entre los 50 y los 150 cm de altura, aunque algunas especies alcanzan alturas mayores, de acuerdo con Rimache (2008), la morfología general es descrita de la siguiente manera:

- La plántula de arroz: al germinar emerge una raíz primaria, luego siguen dos raíces seminales o laterales.
- Hipocótilo: es la parte que se encuentra entre la semilla y el primer nudo.
- Nudo Basal: es aquí donde se encuentran las raíces adventicias, también es de donde se origina la macolla.
- Macollamiento: además de un tallo principal, se originan del nudo basal entre cuatro a cinco macollas.
- Tallo: es erecto y cilíndrico, puede tener hasta veinte nudos, en donde la distancia puede variar dependiendo de la distancia con el suelo.
- Hojas: son lineales pueden medir de 50 a 75 cm de longitud.
- Última hoja: es más corta y ancha que las demás, se le llama hoja bandera.
- Base de la hoja: tiene una lígula y una aurícula.
- Lígula: es una membrana de 1 a 1,5 cm de largo, con frecuencia esta membrana se parte al madurar. Puede ser incolora o coloreada de un tinte rosa pálido o púrpura.
- Aurícula: no siempre está presente, tiene una longitud de 2 a 4 cm, sus orillas son pilosas, presenta forma de hoz. Si presenta color este se asocia con coloración en el

nudo. Si la aurícula presenta color también lo presenta la vaina pero a lo recíproco no siempre ocurre.

- La inflorescencia: es una panícula, puede medir de 15 a 40 cm de largo, muy ramificada y puede contener entre 50 a 300 espiguillas. Las espiguillas pueden tener aristas largas o cortas, además la espiguilla contiene una sola flor hermafrodita, la flor tiene 6 estambres, un pistilo, dos estigmas, dos estilos plumosos y un ovario; está envuelta entre la lema y la palea, las que más tarde constituirán la cáscara. Mientras que el grano es una cariopsis cubierta por la lema y la palea.

1.1.1. Variedades que se utilizaron en este trabajo

El arroz es uno de los cultivos en el mundo con mayor adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas, de nutrición y manejo. Existen muchas variedades, cada una con diferentes características que se adaptan a una región específica. De acuerdo con Parsons (2008), existen más de 5000 variedades de arroz en todo el mundo, con diferentes características de grano como: forma (variedad de grano largo, grano medio y grano corto), características culinarias, molineras y químicas.

Además las variedades se caracterizan de acuerdo con la duración del ciclo vegetativo, la longitud del tallo, el macollamiento, la resistencia al acame, resistencia al desgrane, resistencia a las enfermedades, resistencia a la sequía, etc., (Rimache 2008). Para seleccionar una variedad de cultivo aplicable a una región específica, se consideran en general características agronómicas y características industriales.

1.1.1.1. Variedad Palmar 18

El cultivar Palmar 18 es uno de los más utilizado por la industria arrocera en el país actualmente (CONARROZ 2009). Es descrita como una variedad con una altura aproximada de 105 cm y 110 días a cosecha. Además tiene un tipo de grano largo, de buena calidad molinera. Puede ser cultivado en sistemas de secano, sin embargo, se reporta que su rendimiento es mayor bajo sistema de cultivo inundado, con un rendimiento promedio de 5-

8 t ha⁻¹. Presenta una respuesta positiva a fertilizaciones nitrogenadas (Oficina Nacional de Semillas (ONS 2008).

Es susceptible a *Rhizoctonia solani* y *Pseudomonas* sp., presenta cierta tolerancia a enfermedades como *Pyricularia grisea*, *Helminthosporium oryzae* y el virus de la hoja blanca. Presenta cierta tolerancia al complejo de manchadores del grano: *Cochiobolus* sp., *Saroclarium* sp., *Pseudomonas* sp., *Alternaria* sp. y *Cercospora* sp, dependiendo del sistema de siembra, aplicaciones eficientes de fertilizantes, y la época de siembra; además de características edafoclimáticas.

Es susceptible al ataque de *Tagosodes orizicolus*, chinches manchadores y al ácaro *Steneotarsonemus spinkii*; por lo tanto, es de suma importancia mantener programas de monitoreo eficientes y un buen manejo agronómico del cultivo, para evitar problemas de vaneo en el grano (Tinoco 2009).



1.1.1.2. Variedad INTA-Miravalles

El material INTA-Miravalles es uno de los utilizados en el país como una variedad de subsistencia, con un uso reducido de insumos y bajo un sistema de mínima labranza (INTA 2005). Es descrito como un material que cuenta con aproximadamente 125 días a cosecha por lo que es considerada una variedad de tardía (duración a cosecha), la planta es de porte alto de 100 cm de altura aproximadamente, con macollamiento intermedio, muestra tolerancia al acame, es de grano largo, buena calidad molinera, se comporta muy bien bajo ambientes de secano, ha demostrado resistencia a cosecha (lo cual implica que puede ser cosechado con maquinaria y no sufrir alto desgrane), presenta un rendimiento de molino de alrededor de 70% y tiene una producción de 4-5 t ha⁻¹ (ONS 2008).

Además, esta variedad de acuerdo ONS (2008), presenta una tolerancia a enfermedades comunes en el arroz, como la *Pyricularia grisea*, *Helminthosporium oryzae* y el virus de la hoja blanca; por otro lado presenta susceptibilidad a *Rhizoctonia solani* y *Pseudomonas* sp.



1.2. Consumo y Producción

El arroz se cultiva en al menos 95 países entre todos los continentes excepto en la Antártica (Benavides y Segura 2005). Es uno de los alimentos incluidos en la dieta de más de la mitad de la población mundial. Se desarrolla en zonas con temperaturas desde los 18°C hasta los 40°C, con precipitaciones variantes en cantidades y distribuciones (Farooq *et al.* 2009; Parsons 2008).

Datos de la FAO (2002) indican que de acuerdo al incremento de la población mundial se estima una demanda de este grano de aproximadamente 2000 millones de toneladas métricas para el año 2030. Sin embargo, las áreas de siembra han decrecido fuertemente año tras año, principalmente por problemas climáticos como la distribución de las precipitaciones y cambios de temperatura, que encarecen los costos de producción y disminuyen las áreas con potencial para la siembra del grano.

Parsons (2008) menciona que más del 80 % del consumo y la producción de este cereal se centraliza en el continente asiático. El consumo promedio per cápita en los países occidentales es inferior a 10 kg año⁻¹, mientras que en Costa Rica alcanza los 50,9 kg (CONARROZ 2011). Por otro lado, en Asia es superior a los 80 kg por habitante por año. El país con mayor consumo de arroz que no pertenece al continente asiático es Brasil que consume 52,5 kg per cápita de acuerdo con datos de Sarmiento (2005), mientras que Benavides y Segura (2005) mencionan que el consumo de este país representa un 2% del consumo mundial. Además, el mismo autor cita que la superficie sembrada a nivel mundial, para el 2008 fue de 153 000 000 de hectáreas, con un rendimiento promedio de 3 863 kg ha⁻¹, generando una producción mundial de 600 millones de toneladas.

Benavides y Segura (2005) indican diferentes rendimientos de arroz en cáscara por hectárea para Centroamérica. Desde 1996 El Salvador ha sido el mayor productor de la región, en el 2004 presentó un rendimiento de 6 t ha⁻¹. Seguidamente se encuentran Costa Rica y Honduras con 4 t ha⁻¹; Costa Rica ha presentado un estancamiento en la producción desde 1996. Honduras, por otro lado, a partir del año 2000 ha duplicado el rendimiento. Belice, Panamá, Nicaragua y Guatemala, producen entre 2 y 3 t ha⁻¹.

De acuerdo con el CONARROZ (2009) para el periodo comprendido entre 2007 y 2008 en Costa Rica, se contaba con un área para la producción del grano de

aproximadamente 60 000 ha, las cuales generaban una producción promedio de 3,9 t ha⁻¹ (arroz en cáscara). Mientras que en el 2008 se dio una disminución en el área de siembra que pasó a ser de 54 000 ha, presentando un rendimiento promedio de 3,8 t ha⁻¹ (arroz en cáscara).

En el país existen cinco regiones arroceras definidas que son: Región Chorotega, Pacífico Central, Brunca, Huetar Norte y Huetar Atlántico. La mayor cantidad de terreno dedicado a la actividad arroceras se localiza en la Región Chorotega (provincia de Guanacaste), que para el período de siembra 2007/2008, contaba con 19 000 ha sembradas representando un 37 % de la producción nacional.

Le sigue la región Brunca con 15 000 ha. Consecutivamente se encuentra la Región Pacífico Central que para el mismo período contaba con 7 000 ha sembradas; posteriormente se encuentra la región Huetar Atlántica con 5 000 ha. La zona arroceras que ocupa menor área es la Región Huetar Norte (San Carlos), que para la misma temporada contaba con tan solo 4 500 ha sembradas, representando un 8,4 % de la producción nacional (CONARROZ 2009).

El presente trabajo se realizó en la región Pacífico Central, cuya área de siembra es de 7 000 ha que se cultivaron en este período, de las cuales 190 ha fueron bajo el sistema inundado, mientras que más de 6500 ha fueron sembradas en seco. Esta región se caracterizó por sembrar diversas variedades, la más utilizada fue la CFX 18 (23 % del área), seguida por la Palmar 18 (16 % del área) y CR 5272 (15 % del área).

1.2.1. Sistema de Producción

Cada sistema de siembra busca adaptarse a las necesidades de los productores tanto a las características topográficas de los terrenos, como a las condiciones climáticas de cada región arroceras (Rimache 2008). En nuestro país se distinguen dos sistemas denominados: cultivo de seco y cultivo inundado (anegado).

En el cultivo de seco, se depende exclusivamente del régimen de precipitación. Se distinguen dos tipos principalmente: favorecido (es la condición en donde el cultivo cuenta con mayores oportunidades de suministro de agua de lluvia por la distribución de las precipitaciones) y el no favorecido en donde el cultivo se encuentra sometido a una

condición muy variable en lo referente a la cantidad y distribución de las lluvias (Cortés 1994).

En el sistema de producción inundado, la planta se desarrolla bajo una lámina de agua promedio de 50 cm durante casi todo el ciclo vegetativo del cultivo. Además de requerir de una preparación de terreno especial en donde se formen melgas o compartimientos para contener el agua y mantenerla en el nivel deseado (Parsons 2008). Bajo el sistema de siembra inundado, Parsons (2008) explica que la siembra se puede realizar mediante siembra directa en suelos inundados, siembra directa con semilla previo a la inundación de terreno y mediante trasplantes en suelos inundados.

Entre las ventajas del sistema inundado se puede mencionar que no se depende tan estrictamente de las precipitaciones de la región. En Costa Rica se pueden señalar los siguientes sistemas de riego utilizados en arroz: riego continuo con lámina estática, e inundación continua con lámina variable (MAG 1991 y Cortés 1994).

Según menciona Parsons (2008) el sistema de secano representa una porción muy pequeña de la producción arrocería mundial. Por otro lado, Farooq *et al.* (2009) menciona que un 50% del área dedicada a la siembra de arroz a nivel mundial es bajo el sistema de secano; sin embargo, con el sistema de secano solo se logra un cuarto de la producción total de arroz. Parsons (2008) menciona que por depender este sistema de diversos equipos agrícolas para realizar la mayoría de prácticas de manejo, los países altamente tecnificados alcanzan rendimientos mucho más altos que el rendimiento promedio general.

En Costa Rica, el sistema que presenta mayores rendimientos es el sistema de siembra inundada. Sin embargo, solo un 25 % de la producción total es bajo este sistema, mientras que el porcentaje restante entre el 70 % y el 75 % de la producción nacional se da bajo el sistema de secano con rendimientos por hectárea más bajos; aunque es el más utilizado principalmente por la falta de disponibilidad de maquinaria y terrenos adecuados para el cultivo anegado (CONARROZ 2009).

1.2.2. Métodos de siembra

De acuerdo con Cortés (1994) y León (1987), en Costa Rica la siembra por trasplante, se utiliza principalmente para la producción de semilla, mientras que la siembra

directa ha sido la más tradicional y extendida en su uso. Esta última puede ser mecanizada, para lo cual se utiliza una sembradora a chorrillo o un avión, por lo que se denomina al voleo. La siembra directa puede ser bajo sistema anegado o de seco, la siembra en surco puede ser mecanizada o manual, y la siembra de espeque es la más utilizada bajo sistemas de subsistencia, en donde se utiliza una macana de hierro o de madera para hacer el hoyo en donde se colocarán entre 8 a 10 semillas.

La siembra de trasplante implica un alto costo de mano de obra, sin embargo, se reduce la cantidad de semilla necesaria para la siembra, además ha mostrado ser una buena técnica para favorecer la competencia de las plántulas con las malezas, mientras que la siembra al voleo requiere de más semilla (León 1987).

1.3. Crecimiento

El crecimiento en términos fisiológicos, es definido por Barceló *et al.* (1983), como una serie de procesos que llevan a la síntesis del protoplasma, la cual en condiciones normales va acompañada por cambios en la forma, además de aumentos irreversibles en la masa del organismo vivo, órgano o célula.

Los conocimientos sobre el crecimiento vegetal de las plantas se aplican cuando se analizan los requerimientos nutricionales. Estos consideran aspectos vitales de las plantas para conocer y evaluar la respuesta de las mismas a la nutrición, que se les proporcione durante cada una de las etapas fenológicas y así poder correlacionarlas con el momento de máxima absorción de nutrimentos (Bertsch 1998).

1.3.1. Etapas fenológicas

De manera general se puede hablar de tres etapas principales que comprenden la fase vegetativa, fase reproductiva y fase de maduración (Cordero 1993).

La fase vegetativa incluye procesos que van desde la germinación hasta la iniciación de la panícula. Esta etapa incluye procesos como la germinación del grano, desarrollo de la plántula, inicio del macollamiento o ahijamiento, elongación del tallo y la etapa de máximo macollamiento (Cordero 1993).

La etapa reproductiva comprende los procesos incluidos desde la iniciación de la panícula hasta la floración. La diferenciación del meristemo es descrita como salida del primordio floral y desarrollo de la misma. Este proceso es muy crítico debido a que durante la diferenciación del primordio de la espiguilla se determina el número de estas por panícula y finalmente se da el proceso de floración (Rimache 2008).

Cordero (1993) y Rimache (2008), definen la etapa de maduración desde el momento en que se da la floración hasta que el grano se madura completamente. La panícula pasa por diferentes etapas de madurez, como lo son la etapa lechosa que es el inicio del llenado de la espiguilla con un líquido lechoso, le sigue la etapa pastosa que es cuando el grano toma apariencia pastosa para posteriormente endurecerse, finalmente se presenta la etapa de madurez total que es cuando el 90 % de los granos está maduro y muestra un color amarillo pálido.

1.3.2. Análisis de Crecimiento

Ramírez (1992) indica que los análisis de crecimiento son técnicas que permiten cuantificar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esta herramienta puede facilitar la caracterización del patrón de crecimiento de una planta o cultivo a través de su ciclo, la diferenciación entre materiales genéticos distintos, bajo una misma influencia ambiental y el efecto de los factores ambientales sobre el crecimiento y posterior rendimiento de los cultivos.

Salguera (2006) menciona que el crecimiento vegetal presenta una curva de tipo sigmoide, lo cual implica que la velocidad de crecimiento de las plantas varía a través de su ciclo de desarrollo. Según lo menciona Bertsch (1998), los índices de crecimiento permiten cuantificar el efecto de diferentes cantidades y calidades de factores externos sobre el crecimiento. Mediante fórmulas o ecuaciones matemáticas se pretende explicar, cuantificar y evaluar los efectos de la luz, agua, CO₂, O₂, temperatura y nutrimentos sobre el rendimiento de los cultivos, en términos fisiológicos y morfológicos.

El uso de descriptores vegetales permite caracterizar los cultivares, permitiendo discriminar entre fenotipos, lo más utilizados son los del Instituto Internacional de Investigación en Arroz (IRRI por sus siglas en inglés), estos, por lo general son altamente

heredables, por su expresión pueden ser fácilmente identificados de manera visual en diferentes agroecosistemas. Estos descriptores (Cuadro 2) consideran caracteres como producción, prácticas agronómicas, susceptibilidad a estrés, además de rasgos bioquímicos, citológicos, etc.

Existen diferentes parámetros que son evaluados en las distintas etapas de desarrollo de las plantas: descriptores o parámetros fisiológicos, descriptores o parámetros morfológicos, parámetros o descriptores en floración y parámetros o descriptores en cosecha; en la metodología se encuentran estos descriptores de manera más detallada.

1.3.3. Componentes del rendimiento:

Para la formación de la cosecha se requiere del cumplimiento de etapas sucesivas. La planta debe desarrollar primero sus estructuras vegetativas sobre las cuales diferenciará luego sus estructuras reproductivas. Después de esto debe darse la polinización y el cuaje de estas estructuras, finalmente debe desarrollarse el llenado de granos (Cordero 1993). Por este motivo, se puede afirmar que la formación de la cosecha es un proceso gradual cuyo resultado final depende de la optimización de los procesos fisiológicos durante todo el ciclo de vida de la planta y no solo de una etapa específica (Jiang *et al.* 2010).

Arregocés (1986) menciona que existen cuatro componentes específicos para determinar el rendimiento de arroz en grano: el número de panículas por unidad de área, número de granos por panícula, el porcentaje de granos llenos y el peso de estos granos. Para cada componente existe una etapa de desarrollo fenológico específico. Sobre estos componentes es donde se verá reflejado el manejo agronómico adecuado que se le da a la plantación.

1.4. Análisis de absorción de nutrimentos

En vista de que cada cultivar tiene una respuesta distinta, no solo por las variantes genéticas sino también por la interacción con el ambiente y el manejo agronómico del cultivo, es necesario manipular los factores que influyen en el crecimiento en especial la aplicación de las fuentes adecuadas de fertilizantes en momentos óptimos para mejorar su

aprovechamiento, esto se puede mencionar como uno de los factores que más influirán en el potencial productivo (Cordero 1993).

Las curvas de absorción son una manera gráfica de presentar los valores que permiten describir como es la distribución de los nutrimentos por etapa fenológica en las plantas. Bertsch (2005) menciona que son un instrumento clave para la elaboración de programas de fertilización, ya que, permiten establecer la cantidad de nutrimento que es requerida por cultivo por etapa, en un momento y lugar determinado.

Para lograr mantener altas producciones y un sistema agrícola eficiente, es necesario sincronizar los momentos de aplicaciones de fertilizantes, con los períodos críticos de absorción o demanda de nutrimentos por las plantas.

De acuerdo con Zhang y Wang (2005), la mayoría de los avances o conocimientos que se tienen acerca de la fertilidad del suelo y de las aplicaciones de fertilizantes en los sistemas de siembra de arroz, se basan en investigaciones que se han desarrollado a nivel mundial, como las recopiladas por Bertsch (2003) para Costa Rica y la de Xing *et al.* (2009) para la Región de Liaoning, China; sin embargo, esta información es muy general.

A pesar de que en la mayoría de países productores de arroz, se conoce el comportamiento del cultivo ante las aplicaciones de los elementos esenciales (N-P-K), no es clara la diferencia entre cultivares, zonas y manejo agronómico. Es necesario conocer como ocurre la translocación de los elementos en los diferentes órganos de la planta y durante las distintas etapas de su desarrollo, procurando que las aplicaciones de fertilizantes se realicen de manera óptima, maximizando el potencial productivo de la variedad y favoreciendo la producción (Arthanari *et al.* 2007).

Barbosa (1987) menciona que la cantidad de nutrimentos extraída por el cultivo varía según la variedad y la producción obtenida. La nutrición se maneja en muchos casos de manera tradicional, esto consiste en aplicar alrededor de 21, 4 y 25 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente. Sin embargo, como lo expresa Xing *et al.* (2009), no existe conocimiento preciso de los potenciales de producción, de las cantidades de fertilizantes requeridos con respecto al estado de crecimiento y desarrollo de las plantas. Rimache (2008), en estudios realizados en Perú bajo condiciones de anegamiento, menciona que para conseguir un rendimiento de 6 t ha⁻¹, es necesario aproximadamente 90, 48, 25, 3,6 y 18 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Arthanari *et al.* (2007) trabajaron en la identificación de las etapas de mayor absorción de nutrimentos por diferentes órganos de las plantas de arroz. Se encontró que la etapa de iniciación o diferenciación de la panícula, así como en la etapa de floración, fueron las etapas en las que se observó mayor absorción foliar. La absorción de nutrimentos aumentó en las raíces y el tallo una semana después de la floración y maduración de la panícula. La mayor acumulación de N-P-K durante la etapa de maduración fue en el tallo.

Xing *et al.* (2009), demostraron que el N, P y K son los elementos que afectan directamente el llenado del grano. Aplicaciones eficientes de estos elementos mejoraron uno de los criterios de rendimiento del cultivo, como lo es el número de granos por panícula, además se consiguió mantener una rentabilidad alta para el agricultor.

Trabajos realizados por Zhang y Wang (2005) sugieren que la absorción de determinados elementos está muy relacionada con la variación genética de los materiales. Estos autores trabajaron con dos variedades convencionales (Jia293 y Xiushui11) y dos variedades híbridas (Weiyou402 y Xieyou46). Encontraron que las variedades híbridas presentan características fisiológicas que les permiten una mayor absorción de nutrimentos, sin embargo, presentan una menor eficiencia en uso del K.

En Costa Rica son escasos los trabajos realizados en este sentido, se cuenta con estudios orientados a la fertilización del cultivo, en las zonas de Cañas y Bagaces provincia de Guanacaste, para los cultivares Llano, Anabela, Camago 8, Fedearroz 50, 4338, 4102, CR1113 (recopilados por Bertsch, 2003).

Cordero (1993) trabajó con la variedad CR 1821, en la Estación Experimental Enrique Jiménez Nuñez (EEEJN-MAG), bajo condiciones anegadas. Se determinó que para obtener $9,3 \text{ t ha}^{-1}$, la planta extrae 200, 41, 265, 69 y 36 kg ha^{-1} de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. El K, Ca y Mg permanecieron en mayores cantidades en la paja, siendo translocado hacia otros sumideros (granos) en cantidades muy bajas.

Además se cuenta con un estudio de fertilización y curvas de absorción realizado por Vargas (2002), en donde se trabajó con la variedad Fedearroz 50, en condiciones de secano favorecido en la región de Parrita (perteneciente a la región arrocerá Pacífico Central). Este autor menciona que esta variedad aumenta su rendimiento (t ha^{-1}) con dosis crecientes de fertilizaciones nitrogenadas y encontró que al aplicar 180 kg ha^{-1} , se obtuvo el rendimiento más alto ($5,8 \text{ t ha}^{-1}$).

Este autor encontró que esta variedad no responde a dosis crecientes de P, de manera significativa, mientras que se encontraron diferencias en el rendimiento con diferentes dosis de N. En cuanto a aplicaciones de K, se reportaron rendimientos inversamente proporcionales a las dosis crecientes aplicadas. Es así que a la dosis de cero obtuvo un rendimiento de 5,6 t ha⁻¹, mientras que cuando aplicó 150 kg ha⁻¹ se consiguió un rendimiento de 5 t ha⁻¹. Se obtuvieron absorciones 154, 45, 268 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente.

En la actualidad, la variedad de arroz comercial más sembrada en el país es la “Palmar 18” y para el caso de arroz con fines de subsistencia es “INTA Miravalles” (Tinoco y Campos¹). Sin embargo, no se cuenta con información de cómo se comportan con respecto a la absorción de nutrimentos.

METODOLOGÍA

1. Localización, preparación de terreno, siembra y manejo

El ensayo se realizó en la finca “La 45”, localizada en Parrita, provincia de Puntarenas (latitud N 09° 30, 884’ y longitud O 084° 23, 985’), entre los meses de Junio a Octubre del 2010.

Las labores de preparación del terreno se llevaron a cabo de la manera convencional en la que se prepara para la siembra de arroz de secano favorecido. Se realizó un pase de arado y tres pases de rastra. Previo a la semana de preparación del terreno se realizó una aplicación del herbicida de ingrediente activo (i.a.) Glifosato (dosis según indicación de la etiqueta). Una vez preparado el terreno se realizó una aplicación de un herbicida preemergente (Propanil i.a.).

Para la siembra se utilizó una densidad aproximada de 2000 plantas en 10 m², la semilla que se utilizó contó con un porcentaje de germinación de un 85% (de acuerdo a datos del Laboratorio de semillas del Centro de Investigaciones en Granos y Semillas CIGRAS-UCR).

¹ R. TINOCO; R. CAMPOS. 2009. Pruebas Regionales. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Comunicación personal.

Las prácticas de manejo agronómico se realizaron siguiendo el esquema normal de producción, con prácticas de mantenimiento con aplicaciones de herbicida en caso de aparición de malezas. Se utilizaron herbicidas selectivos al arroz, además de sistémicos no selectivos, en sitios que lo permitieran. Para el combate de plagas y enfermedades, se utilizaron productos específicos (a dosis recomendadas en la etiqueta) y selectivos registrados para el cultivo del arroz, previa aparición de las mismas. Cuando se alcanzó la madurez del grano para cosecha, se realizó la misma de manera manual, mediante el uso de una herramienta apropiada (haz) para la corta de las panículas.

Se realizaron dos análisis químicos al suelo, uno al momento de la siembra y otro durante el período de cosecha. Además un análisis físico-textural al inicio. De acuerdo con el análisis físico (Anexo 1), el suelo es de textura arcillosa con un 25 % de arena y un 35 % de limo. En el Anexo 2, se encuentra el análisis químico de suelos previo a la siembra y en el Anexo 3 se presentan niveles de los resultados de este mismo análisis, realizado posterior a la cosecha.

2. Manejo de la fertilización

El plan de fertilización, utilizado buscó garantizar una condición óptima en cuanto a disponibilidad de nutrimentos, principalmente para N, P y K, tratando de garantizar altos niveles y balance adecuado de nutrimentos disponibles al cultivo, para conseguir que la expresión genética del cultivar no estuviera limitada por la disponibilidad de nutrimentos. Se utilizó como guía para la aplicación de nutrimentos el plan de fertilización granular aplicada al suelo descrito en el Cuadro 1, el cual se elaboró con información previa existente (datos sin publicar) y considerando los datos del análisis de suelo que se realizaron y la recomendación de Henríquez (2010)². Las cantidades de nutrimentos aplicados fueron 171, 39, 98 y 12 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y S, respectivamente.

² C. HENRÍQUEZ. 2010. Cálculos de fertilización de acuerdo con requisitos y características del suelo. Comunicación personal.

Cuadro 1. Programa de fertilización granular, empleados para el cultivo de ambas variedades de arroz (Palmar 18 e INTA-Miravalles), bajo sistema de secano. Parrita, 2010.

Momento	Fórmula				Cantidad kg ha ⁻¹
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	
Siembra	18	46	0	0	75
Planta sin macollar	40	0	0	6	100
Inicio macollamiento	15	3	31	0	150
Máximo macollamiento	40	0	0	6	92
Inicio primordio floral	26	0	26	0	200

3. Diseño experimental

El material experimental consistió en dos variedades de arroz. Una comercial (Palmar 18) y otra recomendada y utilizada como cultivo de bajo insumo (subsistencia) (INTA – Miravalles).

Para ambos materiales se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental la conformaron siete surcos de 5 m de largo, espaciados 0,3 m. En cada surco se buscó colocar alrededor de 200 puntos de siembra a una distancia de 0,025 m cada uno. En cada punto de siembra se colocó una semilla. Para un total de 2 000 plantas, en un área de 10 m² por parcela. Como parcela útil se utilizaron los 5 surcos centrales. Los surcos laterales y las 5 plantas (a cada lado) finales de los surcos centrales fueron dejados como borde de parcela. Las plantas evaluadas en cada fecha de muestreo se tomaron siguiendo un patrón al azar, buscando que cada planta seleccionada contara con competencia perfecta.

Con los datos obtenidos en las diferentes etapas evaluadas se realizó un ANOVA, para identificar diferencias entre las varianzas, además de la elaboración de curvas de

absorción (con base en peso seco y análisis químicos de los tejidos durante cada evaluación), el cálculo de los índices de crecimiento (con las fórmulas respectivas mostradas en el capítulo siguiente).

4. Definición de descriptores

Se utilizaron algunos de los descriptores indicados por el IRRI (2007), específicos para el cultivo del arroz. Además de parámetros sugeridos por Bertsch (1998), para el análisis de crecimiento de los cultivos. Adicionalmente para realizar cálculos relativos a los índices de crecimiento se utilizó la herramienta sugerida por Hunt *et al.* (2002).

Cuadro 2. Parámetros fisiológicos, morfológicos, de floración y cosecha, utilizados para las variables de crecimiento en el cultivo del arroz.

Parámetro Fisiológico*	Parámetros morfológicos*	Parámetros en floración**	Parámetros en cosecha *
Índice absoluto de crecimiento	Altura de la planta	Días a antesis	Capacidad de macollamiento
Índice de crecimiento relativo	Índice de área foliar	Hábito predominante de crecimiento	Número de panículas
Índice de crecimiento relativo foliar	Razón de área foliar	Posición predominante de la hoja bandera	Longevidad foliar predominante
Índice de asimilación neta	Razón de peso comercial	Longitud de la lámina de la hoja bandera	Longitud de la panícula
	Razón de peso radicular	Ancho de la lámina de la hoja bandera	Número de granos vanos (estériles) en el ápice de la panícula
	Relación de raíces a parte aérea	Posición predominante del ápice de la primera hoja por debajo de la hoja bandera	Fertilidad predominante de la panícula

*Bertsch (1998).

**IRRI (2007).

4.1. Descriptores o parámetros fisiológicos

- 4.1.1. Índice absoluto de crecimiento (IAC): mide el incremento en peso por unidad de tiempo (peso tiempo⁻¹).
- 4.1.2. Índice de crecimiento relativo (ICR): estima el incremento de peso por unidad de peso presente por unidad de tiempo (peso peso⁻¹ tiempo⁻¹).
- 4.1.3. Índice de asimilación neta (IAN): estima el incremento de peso por unidad de área fotosintética a través del tiempo (peso área⁻² tiempo⁻¹).
- 4.1.4. Índice de Crecimiento Relativo Foliar (ICRF): Estima el incremento de área foliar por unidad de área foliar presente, a través del tiempo (área área⁻¹ tiempo⁻¹).

4.2. Descriptores o parámetros morfológicos

- 4.2.1. Altura de la planta: medido en cm en el tallo más alto de la cepa, desde el suelo a la inserción de la hoja bandera.
- 4.2.2. Índice de área foliar (IAF): estima el área foliar total entre la superficie de suelo ocupada (área área⁻¹).
- 4.2.3. Razón de área foliar (RAF): área foliar total entre el peso seco (g) total de la planta (área peso⁻¹).
- 4.2.4. Razón de peso comercial o índice de cosecha (RPC): peso seco de la parte comercial o cosechable entre el peso seco total de la planta (peso peso⁻¹).
- 4.2.5. Razón de peso radicular (RPR): peso seco de raíces entre el peso seco total de la planta (peso peso⁻¹).
- 4.2.6. Relación de raíces a parte aérea (RSR): peso seco de raíces entre el peso seco de la parte aérea que incluye tallo y hojas (peso peso⁻¹).

4.3. Parámetros o descriptores en floración:

- 4.3.1. Días a anthesis: número de días transcurridos desde el momento de la siembra hasta el momento en que aparecen las primeras anteras en el 50 % de las plantas de la parcela.

- 4.3.2. Posición predominante de la hoja bandera: se evalúa observando el ángulo formado entre la hoja bandera y la prolongación vertical del pedúnculo floral en el tallo más alto de la planta, puede ser: erecta, semirrecta, intermedia, horizontal, descendente.
- 4.3.3. Longitud de la lámina de la hoja bandera: se mide en cm, sobre la hoja bandera del tallo más alto de la planta, desde el ápice hasta el punto de unión de la lámina con la vaina.
- 4.3.4. Ancho de la lámina de la hoja bandera: se mide en cm, de borde a borde en la parte más ancha de la lámina de la hoja bandera del tallo más alto de la planta.
- 4.3.5. Posición predominante del ápice de la primera hoja por debajo de la hoja bandera: describe la posición del punto de unión entre la vaina y la lámina foliar en el tallo, en que puede hallarse el ápice de la lámina, cuando ésta se dobla o se inclina. Se observa en la hoja inmediatamente inferior a la hoja bandera del tallo más alto de la planta y puede ser: erecto, horizontal, descendente.

4.4. *Parámetros o descriptores en cosecha:*

- 4.4.1. Capacidad de macollamiento: mide el número de tallos o hijos que conforman una cepa.
- 4.4.2. Número de panículas: cantidad de panículas por cepa.
- 4.4.3. Longevidad foliar predominante: es la capacidad de la planta para retener el color verde hasta la madurez.
- 4.4.4. Longitud de la panícula: mide el largo total de la panícula.
- 4.4.5. Número de granos vanos (estériles) en el ápice de la panícula: se toman 4 granos del ápice de la panícula del tallo más alto de la planta y se determinan cuántos de ellos son fértiles o estériles.
- 4.4.6. Fertilidad predominante de la panícula: expresado en porcentaje (%), se estima comparando visualmente la relación entre los granos bien desarrollados y los granos vanos de una panícula madura, puede ser: muy fértil, fértil, parcialmente fértil, parcialmente fértil, parcialmente estéril, completamente estéril.

5. *Evaluaciones*

Para medir el crecimiento de la planta (peso seco y área foliar) y la absorción de nutrimentos, se realizaron evaluaciones cada 15 días a partir del momento en que se presentó más de un 85 % de plántulas germinadas y durante todo el ciclo de cultivo, por lo tanto cada fecha de evaluación se determinó como días después de la germinación (ddg). Se realizaron en total ocho evaluaciones para la variedad Palmar 18 y 7 para la variedad INTA-Miravalles.

Durante cada evaluación se tomaron y evaluaron 10 plantas seleccionadas al azar de acuerdo con las condiciones mencionadas anteriormente. Se tomaron plantas que contaran con competencia perfecta (es decir, no separar plantas alrededor de puntos muestreados en evaluaciones anteriores) dentro de la parcela útil para cada bloque experimental. En campo se tomaron datos de altura de planta y respuesta de las plantas al N mediante la tabla de colores elaborada por el IRRI.

Se extrajeron 10 plantas enteras por cada uno de los bloques y se llevaron al Laboratorio del CIGRAS-UCR. Estas plantas se tomaron antes de cualquier aplicación de fertilizante o plaguicidas para evitar que presentaran residuos que afectaran los análisis de concentración. Estas fueron utilizadas tanto para las estimaciones de índices de crecimiento y los análisis químicos foliares.

A las plantas que se extrajeron (debidamente identificadas por variedad y por bloque), se les lavó la raíz hasta retirar completamente el suelo, además se realizó un lavado a la planta completa con agua destilada buscando eliminar cualquier residuo que permaneciera de aplicaciones foliares anteriores.

Una vez procesadas las muestras, se realizaron las evaluaciones correspondientes para las variables morfológicas y fisiológicas (Cuadro 2). La determinación del área foliar para el cálculo del IAF, se realizó por medio de una relación de peso, entre el peso de una muestra representativa de área foliar conocida, con el peso foliar de la muestra.

Para la determinación del peso seco cada planta se separó en raíz, parte aérea y panícula. Se colocaron en bolsas de papel, por repetición y se metieron dentro de un horno en donde permanecieron 48 horas a una temperatura de 70°C hasta alcanzar peso constante. Después de medir los pesos secos por variedad, se agruparon de acuerdo a cada sección

(raíz, parte aérea y panícula) para el respectivo análisis químico, para estos análisis se llevaron en total 30 plantas por variedad.

El análisis químico de contenido de elementos (% de N, P, K, Ca, Mg, B, S, Fe, Cu, Zn y Mn) se realizó en el Laboratorio de suelos y foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA-UCR). Posteriormente los valores de concentración de nutrimentos fueron transformados en absorción mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{kg NUT por tejido ha}^{-1} = \frac{\text{PS (kg ha}^{-1}) \text{ del tejido} \times (\text{NUT \%})}{100}$$

$$\text{kg NUT por tejido ha}^{-1} = \frac{\text{PS (kg ha}^{-1}) \text{ del tejido} \times (\text{NUT mg kg}^{-1})}{1000}$$

Las variables de floración y cosecha se evaluaron al momento respectivo de la etapa fenológica. Para realizar estas evaluaciones se utilizaron los parámetros respectivos del Cuadro 2.

6. Abreviaturas

Para la descripción de las diferentes etapas fenológicas del cultivo del arroz se utilizarán en algunos casos abreviaturas como las siguientes:

- ddg: Días después de germinación
- IM: Inicio de macollamiento.
- M: Macollamiento
- MM: Máximo macollamiento.
- IPF: Inicio primordio floral.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Análisis del patrón de crecimiento de las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles

La variedad Palmar 18 presentó una duración a cosecha de 120 días, mientras que la variedad INTA-Miravalles, siendo más precoz presentó una duración a cosecha de 105 días. Lo anterior contrasta con lo indicado por la Oficina Nacional de Semilla (ONS 2008) en donde describen a la variedad Palmar 18 con una duración a cosecha de 115 días después de la germinación (ddg) y a la variedad INTA-Miravalles con una duración de 125 días a cosecha, es decir esta última ha sido clasificada como una variedad tardía (superior a 120 ddg), sin embargo en este trabajo resultó más precoz que la variedad Palmar 18.

El máximo macollamiento (MM) se presentó en Palmar 18 a los 75 ddg, mientras que para INTA-Miravalles este fue a los 60 ddg. El inicio del primordio floral (IPF) para Palmar 18 se observó a los 90 ddg y la floración a los 105 ddg. El IPF para la variedad INTA-Miravalles fue a los 75 ddg, y floración se presentó a los 90 ddg.

1.1. Parámetros fisiológicos

1.1.1. Índice absoluto de crecimiento (IAC)

Ramírez (1992), menciona que el índice absoluto de crecimiento (IAC) es un indicador del incremento en peso seco a través del tiempo. Para ambas variedades se observó la acumulación continua de materia seca. En la Figura 1, se observa que para Palmar 18, a los 60 y 90 ddg se observó una disminución en el crecimiento en comparación con fechas de evaluación anteriores, posteriormente se presentaron nuevos aumentos.

En la variedad INTA-Miravalles se aprecia un crecimiento continuo a lo largo de su ciclo de cultivo y ocurre una caída marcada a los 105 ddg lo cual corresponde al momento de cosecha. En el caso de Palmar 18, se observó de manera general un crecimiento absoluto continuo, hasta llegar a la etapa de cosecha en la que se presentó un valor negativo (-2,1 g

día⁻¹). A los 60 ddg (0,27 g día⁻¹) que coincide con momentos de macollamiento acelerado, ya que, 15 días después se presenta la etapa de MM; a los 90 ddg que coincide con la etapa de IPF, se presentaron caídas en los valores del IAC recuperándose en las evaluaciones posteriores.

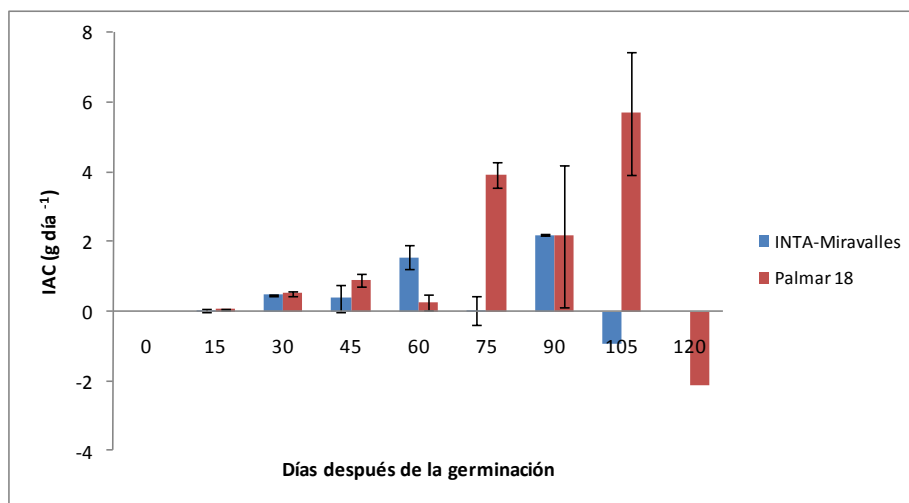


Figura 1. Índice absoluto de crecimiento (g día⁻¹) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

Este comportamiento en el IAC se puede explicar según lo indicado por Borrego *et al.* (2000), quienes mencionan que los decrecimientos pronunciados en el IAC, pueden atribuirse al efecto de la senescencia de hojas inferiores y el posterior el desarrollo de tallos y hojas nuevas ayudan a su recuperación.

A los 90 ddg también se dio una disminución en el IAC, respecto a la evaluación anterior. En este momento se presentó un complejo de enfermedades que afectó el follaje de algunas plantas. Esta situación fue corregida con aplicaciones de fungicidas y una mejoría de las condiciones climáticas lo que favoreció el control de la enfermedad y la pronta recuperación de las plantas.

En las fechas 60 y 75 ddg se observó diferencia significativa entre las variedades, sin embargo no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las diferentes evaluaciones a través del tiempo para una misma variedad, por lo que se puede inferir que el IAC entre ambas variedades es muy similar durante las diferentes etapas evaluadas.

1.1.2. Índice de crecimiento relativo (ICR)

El índice de crecimiento relativo (ICR), expresa el incremento de peso seco por unidad de peso seco presente a través del tiempo (Hunt 1981). Con respecto al análisis de este índice (Figura 2), se observa una tendencia decreciente a través del tiempo para ambos materiales. El momento en donde este índice presenta los valores más altos es a los 15 ddg, al inicio del ciclo del cultivo. Los valores observados en esta etapa son de $0,89 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y de $0,68 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, respectivamente.

Generalmente, en el análisis de estas tasas de crecimiento relativo, se reportan valores iniciales altos (Hunt *et al.* 2002). Esto se debe principalmente a que las plantas durante las primeras etapas de su ciclo experimentan una alta respuesta al crecimiento, ya que, no se encuentran expuestas al autosombreamiento, ni sufren competencia interespecífica, además no se ha iniciado el entrecruzamiento de los sistemas radiculares, por lo tanto las plantas se encuentran en una etapa de crecimiento muy activa y experimentan gran ganancia de peso seco. Esto es considerado como una estrategia de las plantas para establecerse rápidamente y evitar competencia.

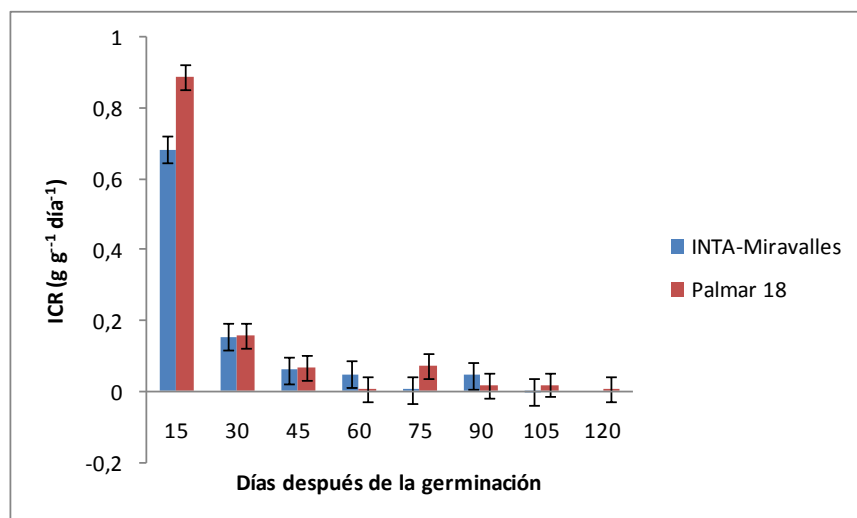


Figura 2. Índice de crecimiento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita 2010.

Al inicio del ciclo se obtuvieron valores de ICR muy altos, esto coincide con lo reportado por Kwon *et al.* (1992) y Ortiz *et al.* (1999), estos mismos autores obtuvieron ICR muy altos en etapas tempranas de desarrollo de las plantas. Estos autores mencionan que los valores altos de ICR son debido a la mayor acumulación de los productos de la fotosíntesis en la parte aérea y al mayor tamaño del aparato fotosintético durante dichas etapas.

Se observaron descensos consecutivos en el ICR, durante las diferentes evaluaciones, lo anterior no significa que las plantas dejaron de crecer, por el contrario, el crecimiento no se detiene y los cambios que se presentan entre una fecha de evaluación y la siguiente, reflejan aumentos en el crecimiento cada más pequeños. Para iniciar la etapa de floración las plantas detienen el crecimiento vegetativo, en donde las demandas de nutrimentos son altas, sin embargo, no experimentan cambios fuertes en las tasas de crecimiento relativo, etapas que se podrían considerar muy costosas energéticamente para las plantas.

Una vez que se alcanzó la etapa de floración se inició el proceso de translocación de fotoasimilados que se encontraban en las hojas y los tallos hacia nuevos sumideros (panículas y granos), para que se produzca el llenado y maduración de estos, por lo cual los valores del ICR, decaen (Figura 2) debido a que se comienza a observar senescencia de los tejidos verdes, como es el caso de las láminas foliares.

Para la variedad Palmar 18 presentó la etapa de máximo macollamiento (MM) a los 75 ddg, para INTA-Miravalles esta se dio a los 60 ddg. Durante la etapa en la que las plantas alcanzaron la mayor producción de hijos. Se observaron tasas de crecimiento relativo altas para cada fecha y variedad respectiva, durante evaluaciones que siguieron los momentos antes mencionados los valores decayeron, es necesario considerar que de acuerdo al traslape de las barras de error no se presentó diferencia estadística significativa. Esto podría relacionarse con lo mencionado por Taiz y Zeiger (1991), quienes señalan que el mayor porcentaje del crecimiento vegetativo permite fotosintetizar y producir fotoasimilados que se vuelven a invertir en un nuevo crecimiento vegetativo, que en el caso del arroz sería la formación de macollas, para posteriormente invertir en la producción de flores.

En ambas variedades el ICR presenta una fuerte disminución durante la etapa de cosecha, en la etapa de floración y fructificación de acuerdo con Azofeifa (2000), se incrementa progresivamente la biomasa del tejido estructural de la planta y demás tejidos no fotosintéticos (en este caso espigas y granos). Por otro lado, la tasa de respiración de estos órganos aumenta como proceso de maduración, lo anterior provoca la reducción del ICR, ya que, la relación entre tejido fotosintético y estructural no activo en el crecimiento es mayor.

Se observaron diferencias estadísticas significativas entre el estado de plántula y demás fases fisiológicas. En esta misma fecha se presentaron diferencias entre las variedades, Palmar 18 presenta un ICR superior en comparación con INTA-Miravalles, por lo cual se podría considerar la primera con ventajas competitivas durante el período de establecimiento, por mostrar un crecimiento relativo en etapas tempranas superior en comparación con la segunda variedad en estudio. No se observan diferencias estadísticas significativas entre los dos materiales durante las posteriores evaluaciones.

1.1.3. Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF)

En lo referente al crecimiento relativo foliar (Figura 3), se dio un incremento a partir de los 30 ddg (IM). Los valores máximos de ICRF se presentaron a los 75 ddg (MM) para ambas, con valores de 5,36 y 6,24 g cm⁻² día⁻¹ para INTA-Miravalles y Palmar 18, respectivamente. Después de los 75 ddg se dio un decrecimiento en el índice hasta llegar a la etapa de cosecha para la variedad INTA-Miravalles con valores de 4,06 cm⁻² día⁻¹, mientras que Palmar 18 (120 ddg) no presentó decrecimiento en los valores.

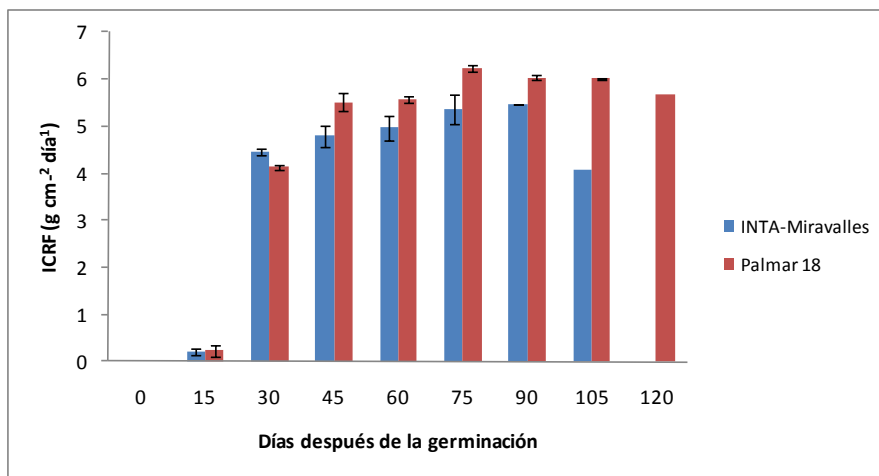


Figura 3. Índice de crecimiento relativo foliar ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

Palmar 18 e INTA-Miravalles presentaron un crecimiento constante hasta MM, que posteriormente se redujo debido a que no se invierten asimilados en producción de material vegetativo, sino en la formación de órganos reproductivos.

Se dio una diferencia significativa en el ICRF entre las variedades, a partir de los 75 ddg, donde los valores obtenidos para la variedad Palmar 18 son significativamente superiores a los obtenidos para la variedad INTA Miravalles. Palmar 18 experimenta mayor crecimiento foliar que INTA-Miravalles, lo que podría estar relacionado con una mayor capacidad de producción de fotoasimilados en Palmar 18 que posteriormente serán invertidos en los sumideros.

Borrego *et al.* (2000) señala que en las primeras etapas fisiológicas de los cultivos se presentan ICRF crecientes, comparables con el comportamiento del ICR, lo anterior debido a una mayor succulencia y extensión del follaje en etapas de crecimiento vegetativo acelerado, la cual disminuye una vez que se inicia la salida de la espiga y el llenado del grano por efectos de senescencia.

1.1.4. Índice de asimilación neta (IAN)

Con respecto al índice de asimilación neta (IAN), INTA-Miravalles experimentó la ganancia neta de peso más importante en la etapa de MM (60 ddg) con un valor de $0,019 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. El mayor decrecimiento lo experimentó en el momento de cosecha (105 ddg) con un valor negativo de $-0,015 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. El comportamiento del IAN para la variedad Palmar 18, presentó diferencias en los momentos de mayor asimilación neta con respecto a INTA-Miravalles, obtuvo sus valores máximos ($0,019 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) a los 105 ddg con la floración, y de manera similar al finalizar su ciclo (en cosecha a los 120 ddg), se presentó el valor más bajo $-0,0087 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

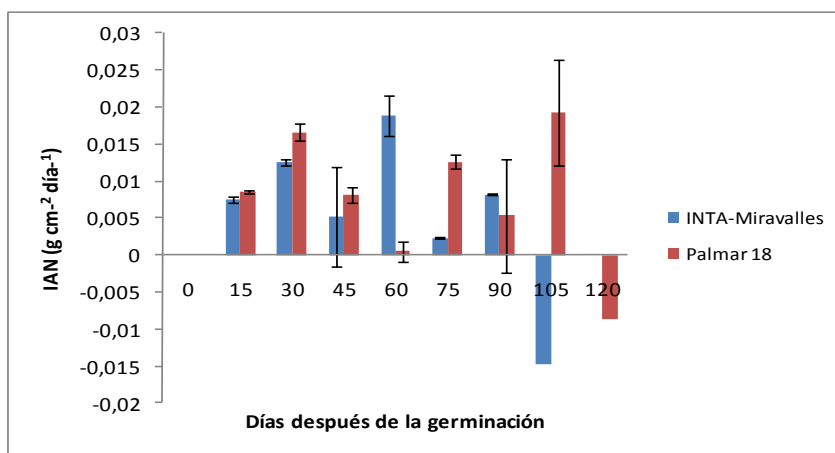


Figura 4. Índice de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

Hunt (1981) describe el IAN, como el incremento de peso seco, por unidad de área fotosintética por unidad de tiempo. Este índice es de gran importancia, ya que, permite determinar la eficiencia fotosintética de las plantas en un momento específico. Utilizando estos valores, según Bertsch (1998), se pueden identificar las etapas de mayor eficiencia para realizar las aplicaciones de fertilizantes.

Para la variedad Palmar 18 la etapa de macollamiento (30-75 ddg) y maduración del grano (105 ddg) son momentos importantes a considerar en un programa de fertilización, ya

que, las plantas podrían estar respondiendo de manera positiva a fertilizaciones. En el caso de la variedad INTA-Miravalles, el momento de máxima absorción corresponde a la etapa de macollamiento (30-60 ddg), por lo que debe considerarse como clave para un posible programa de fertilización. En capítulos posteriores se profundizará más con lo respectivo a momentos ideales para fertilizaciones.

Los descensos en los valores de IAN para Palmar 18 durante los 45, 60, 90 ddg y para INTA-Miravalles en las fechas 45 y 75 ddg, pueden deberse de alguna manera a factores como el autosombreo y la declinación de la capacidad fotosintética de las hojas más viejas, lo que concuerda con lo explicado por Arregocés y León (1982). Además Shibles (1987) señala que la intensidad lumínica influye directamente en la producción de material vegetativo.

Es importante señalar que ambas variedades obtuvieron valores altos de IAN (0,019 y 0,008 g cm⁻² día⁻¹, para Palmar 18 e INTA-Miravalles respectivamente) antes de la cosecha. Este evento puede relacionarse con lo indicado por Shibles (1987), quien menciona que las plantas responden ante la mayor demanda por parte de sumideros importantes (granos).

En el IAN, se observaron diferencias estadísticas significativas entre las variedades a los 60 y 75 ddg. No se observaron diferencias estadísticas significativas entre fechas evaluadas para una misma variedad.

1.2. Parámetros morfológicos

1.2.1. Altura de la planta

En la Figura 5 se observa que durante las etapas tempranas de crecimiento, ambas variedades presentaron incrementos en la longitud de la parte aérea muy similares, sin embargo en etapas posteriores, a partir aproximadamente de los 90 ddg, la variedad Palmar 18 presentó valores de longitud superiores, a cosecha contó con un tamaño de planta de 87

cm de altura. Por su parte la variedad INTA-Miravalles llegó a cosecha con un promedio de 66 cm de altura.

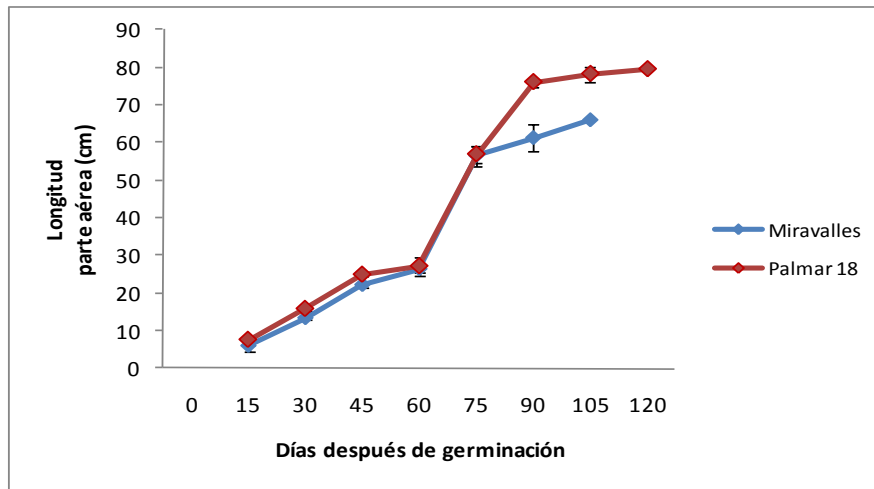


Figura 5. Longitud de parte aérea, en cm, durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

Ortiz *et al.* (1999) mencionan que plantas de mayor altura pueden ser más competitivas por la mayor facilidad para la intercepción de luz. Sin embargo, esta competitividad por recursos como la luminosidad, se hace crítica principalmente en etapas de crecimiento temprano, en donde ambas variedades se comportan de manera similar, por lo que no se le podría atribuir ventajas competitivas a un material sobre el otro, en este caso. Es posible que Palmar 18 que presentó mayor longitud en etapas reproductivas, pudiera evitar que las panículas puedan entrar en contacto con la humedad o microorganismos patogénicos o parásitos presentes en el suelo, en comparación con variedades de porte más bajo que podrían presentar mayor riesgo. Es necesario considerar el tamaño de las plantas en etapas reproductivas ya que portes o alturas superiores podrían resultar susceptibles al acame, como es el caso de la variedad Blue bonnete

Con respecto a las diferencias significativas, en la mayoría de los casos los errores estándar son pequeños, por lo que es difícil percibir el traslape. De los 15 a los 75 ddg los valores son muy similares, a partir de esta fecha se observaron diferencias estadísticas significativas entre Palmar 18 e INTA-Miravalles.

1.2.2. Índice de Área Foliar (IAF)

Sone *et al.* (2009) define lo define como el área foliar total de la planta entre la superficie de suelo que está siendo ocupada. Además, Yin *et al.* (2000) menciona que este índice indica la capacidad de intercepción de la luz por parte de la planta (el área foliar que está siendo capaz de fotosintetizar), que es fundamental para el crecimiento.

La variedad Palmar 18 presentó mayor área foliar durante todas las etapas evaluadas, debido principalmente a que las plantas de esta variedad presentaron una formación de macolla mayor en comparación con INTA-Miravalles, además de esto es importante señalar que para ambas variedades se utilizó una densidad de siembra similar a pesar de las diferencias posteriormente encontradas durante el análisis de crecimiento. Lo anterior influyó de manera directa en los resultados obtenidos en el IAF.

La tendencia del IAF (Figura 6) para Palmar 18 mostró un crecimiento continuo hasta llegar a un punto máximo en macollamiento (75 ddg), no así para INTA-Miravalles que aún se encuentra entre los procesos finales de la etapa vegetativa (IPF), presentando valores de $15,3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para Palmar 18 y $7,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para la variedad INTA-Miravalles. Posterior a este máximo, ambas variedades decrecen en su IAF, presentando valores de $9,06 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para Palmar 18 y $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para INTA-Miravalles. Estos valores se presentaron justo en el momento de la cosecha de los materiales.

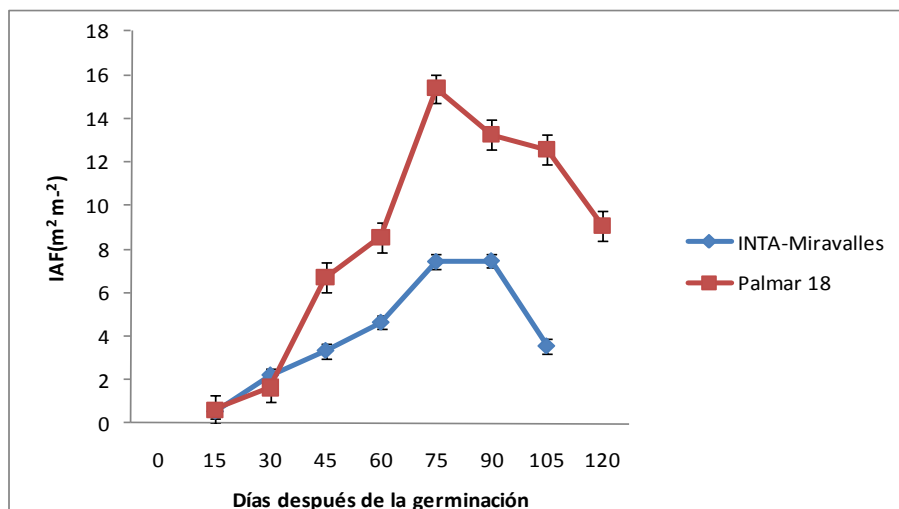


Figura 6. Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) durante el ciclo de cultivo, para dos variedades de arroz. Parrita, 2010.

En la Figura 6, se observa un aumento en el IAF hasta los 75 ddg, esto es un comportamiento que se considera normal, ya que, las plantas se encuentran en un proceso de producción de biomasa, hasta llegar a la etapa denominada MM. Posterior a este momento y para ambas variedades se observa un descenso en el IAF, lo cual se podría atribuir a la presencia de enfermedades foliares, lo que provocaron pérdidas y daños en el tejido foliar. Además, esta pérdida en el IAF se puede deber también a la migración de fotoasimilados, proteínas y algunos nutrimentos, desde las hojas hacia los órganos reproductivos, coincidiendo con lo citado por Azofeifa (2000).

Con respecto a lo anterior, también Ramírez (1992) y Salguera (2006), mencionan que generalmente en cualquier cultivo después de que se presentan los máximos valores del IAF por el acelerado desarrollo vegetativo en las etapas iniciales de crecimiento, se genera una disminución debido a que las hojas del dosel más alto provocan autosombreo sobre las hojas bajas. Debido a que la densidad de siembra se mantiene mientras que el área de captación de luz aumenta, se presenta un aumento en el IAF, pero disminuye la eficiencia fotosintética de una parte de las hojas y por ende el IAN.

Se observan diferencias estadísticas significativas entre ambas variedades, durante todas las fechas evaluadas, a excepción de las fechas 15 y 30 ddg en donde se observa

traslape entre los valores. El IAF obtenido en las posteriores evaluaciones para Palmar 18 son significativamente superiores a los obtenidos para la variedad INTA Miravalles.

1.2.3. Razón de área foliar (RAF)

La razón de área foliar (RAF) es la relación entre el área foliar fotosintética y los gramos de materia seca producidos por la planta a través del tiempo (Hunt 1981). Es un parámetro morfológico muy utilizado para evaluar la cantidad de biomasa (gramos de peso seco) que es fotosintéticamente activa. En este trabajo se delimitó como área foliar fotosintéticamente activa solo las hojas.

La RAF, presenta sus valores más altos en las primeras etapas de evaluación y crecimiento de las plantas, de los 15 a los 30 ddg. Para ambas variedades presentan valores de $35 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Posteriormente los valores de RAF decrecen de manera continua conforme avanza el ciclo de desarrollo de las plantas, presentándose los valores más bajos justo en el momento de la cosecha (Palmar 18 de $2,91 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, INTA-Miravalles $2,68 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$).

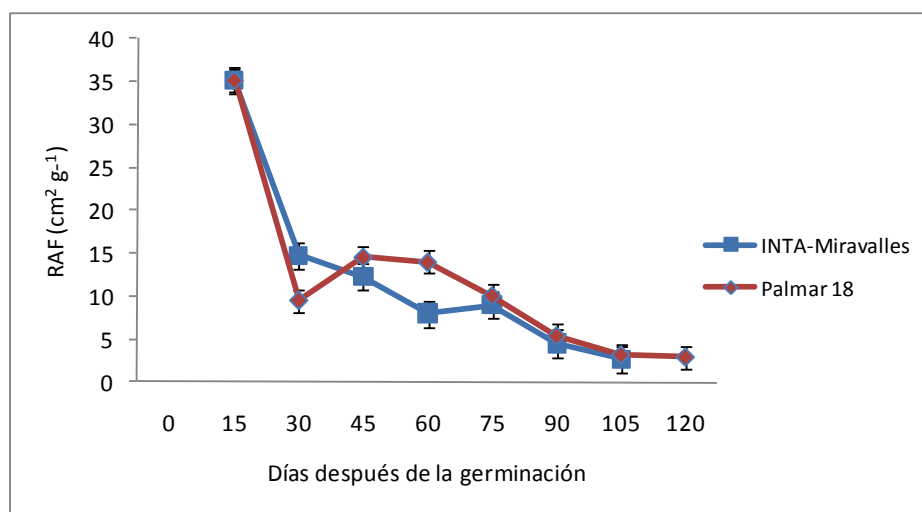


Figura 7. Razón de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

En la Figura 7, se observa valores altos en las primeras fechas de evaluación para ambas variedades, esto concuerda con lo reportado para otros cultivos por Azofeifa (2000)

y Salguera (2006), quienes encontraron que durante las primeras etapas de desarrollo, las plantas captan mayor cantidad de luz solar, con lo cual se genera una importante cantidad de fotoasimilados necesarios para establecerse rápidamente marcando de esta manera su éxito para su posterior desarrollo en campo.

El descenso en los valores del RAF podría deberse a que en etapas avanzadas de crecimiento, la planta se encuentra produciendo gran cantidad de biomasa, lo que contribuye al aumento en el crecimiento total de la planta. Sin embargo, algunas de estas estructuras no tienen capacidad de fotosintetizar, como es el caso de las espigas y granos, lo que concuerda con lo expuesto en los trabajos realizados por Borrego *et al.* (2000); Salguera (2006).

Se observan diferencias estadísticas significativas durante las primeras etapas de crecimiento evaluadas (30, 45 y 60 ddg), y entre materiales, siendo el valor obtenido para INTA Miravalles mayor a los 30 ddg, para posteriormente ser superada en las siguientes fechas por Palmar 18 a los 45 y 60 ddg. Se pudo observar que durante las principales etapas de desarrollo vegetativo es donde se presentan diferencias entre ambos materiales. Luego de que se superan estas etapas, los datos observados para ambas variedades son muy similares. Lo anterior posiblemente es debido a patrones de crecimiento específicos de cada variedad que les proporciona ventajas competitivas con respecto a organismos como malezas.

1.2.4. Razón de peso comercial (RPC)

La relación de peso comercial (RPC) relaciona el peso de la cosecha (granos) entre la biomasa total producida (Karnatana 2007). Esto permite conocer la proporción de biomasa que la planta invierte en la cosecha (granos).

De acuerdo a los datos obtenidos, la partición de fotoasimilados hacia sumideros (granos) fue mayor en la variedad INTA-Miravalles con valores de $0,43 \text{ g g}^{-1}$, lo que representa un 43 % del total del peso seco o biomasa adquirida invertida en la formación y maduración del grano. Para Palmar 18 esta partición fue menor, ya que, se obtuvieron valores de $0,29 \text{ g g}^{-1}$, lo que equivalente a un 29 % del peso seco invertido hacia los

sumideros. Esto implica que la variedad INTA-Miravalles invierte más cantidad de la biomasa total acumulada para la producción de la cosecha en comparación con la variedad Palmar 18.

Los datos anteriores concuerdan con observaciones realizadas en campo. La variedad Palmar 18, presentó una longevidad foliar más larga en comparación con la variedad INTA-Miravalles. Esto debido a que el primer material presentó mayor cantidad de hojas verdes al momento de cosecha, mientras que INTA-Miravalles presentó una pérdida de tejido foliar verde visualmente más alta mientras se acercaba la etapa de cosecha, invirtiendo los asimilados de las hojas en la producción y maduración de la cosecha, mientras que la primera conservó gran parte de estos asimilados en las hojas (órganos de poca importancia comercial).

1.2.5. Razón de peso radicular (RPR)

La razón de peso radicular (RPR) indica que proporción de la biomasa se está invirtiendo en el mantenimiento del sistema radicular (Bertsch 1998). Esta razón, en conjunto con la relación de raíces parte aérea, facilita observar los momentos en los que se presenta mayor inversión de energía y reservas en la formación de raíces durante las etapas de crecimiento de las plantas.

En la Figura 8 se presenta la RPR, para las dos variedades en estudio. Tanto para Palmar 18 como para INTA-Miravalles, los mayores crecimientos radiculares en comparación con el crecimiento de la parte aérea se presentaron en las etapas iniciales de crecimiento vegetativo, con valores de $0,37 \text{ g g}^{-1}$ y $0,34 \text{ g g}^{-1}$, para cada variedad respectivamente.

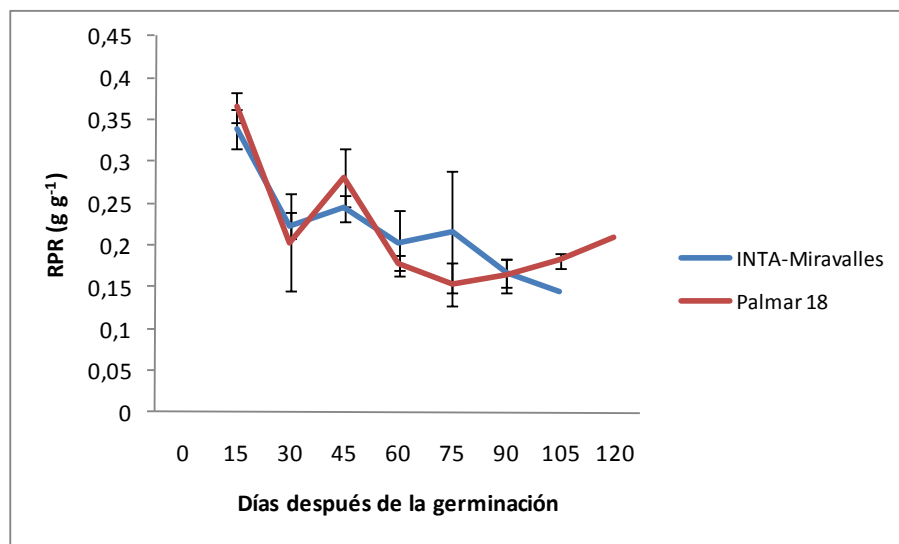


Figura 8. Razón de peso radicular (g g^{-1}) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

Conforme el crecimiento vegetativo fue avanzando hasta llegar a la madurez, los valores de RPR, fueron decreciendo. Para INTA-Miravalles los valores más bajos se presentan a la cosecha con una RPR de $0,14 \text{ g g}^{-1}$. En esta variedad se observó un decrecimiento muy marcado a partir de la floración. Esto coincide con lo reportado por Ortíz *et al.* (1999), quienes mencionan que las mayores razones de peso radicular son alcanzadas durante las fases vegetativas. Es considerado una ventaja competitiva de las plantas para poder explorar en estas etapas una mayor superficie de suelo, que les permitirá adquirir mayor cantidad de agua y nutrimentos durante las etapas más demandantes de las plantas. Asimismo, estos autores afirman que plantas que presentan altos valores de RPR cuentan con característica que las hace agresivas y competitivas.

Ramírez (1992) menciona que después de la fase de mayor crecimiento, desarrollo e inversión de biomasa en la formación del sistema radicular, se presenta en algunas ocasiones una caída de los valores debido a que las plantas se encuentran invirtiendo energía y fotoasimilados en la formación de órganos reproductivos como lo son los frutos y semillas y el sistema radicular se encuentra establecido.

Respecto a la variedad Palmar 18, presenta una tendencia similar, decreciendo hasta el máximo macollamiento (75 ddg), mostrando un valor de $0,15 \text{ g g}^{-1}$, conforme avanzaba

el desarrollo vegetativo y se acercaba a la madurez. Sin embargo después de esta fecha se inicia un incremento hasta la etapa de cosecha en donde se presentaron valores de $0,21 \text{ g g}^{-1}$.

Este incremento podría deberse a que el arroz en general, se comporta como una planta semi-perenne, que por motivos comerciales se produce bajo un sistema anual. Sin embargo fue posible observar que para las últimas fechas de muestreo se estaba iniciando un nuevo ciclo de crecimiento con nuevos brotes y, por lo tanto, con la regeneración de un nuevo sistema radicular.

No se observaron diferencias estadísticas significativas entre variedades, por lo que RPR en ambas variedades se comportaron de manera muy similar a lo largo de los respectivos ciclos de crecimiento.

1.2.6. Relación de raíces a parte aérea (RRPA)

En la Figura 9, se observa la relación de raíces con respecto a la parte aérea (RRPA), la cual estima la relación de biomasa entre la parte aérea a la raíz (Hunt 1981).

Con respecto a la relación raíz parte aérea (RRPA), se observaron los valores más altos en la evaluación inicial de plántula ($0,52 \text{ g g}^{-1}$ para la variedad INTA-Miravalles y $0,58 \text{ g g}^{-1}$ para la variedad Palmar 18). Los valores más bajos para INTA-Miravalles se observaron los 60 ddg etapa de MM ($0,26 \text{ g g}^{-1}$). Para Palmar 18 el valor de RRPA más bajo se presentó de igual manera durante la etapa de MM a los 75 ddg ($0,18 \text{ g g}^{-1}$).

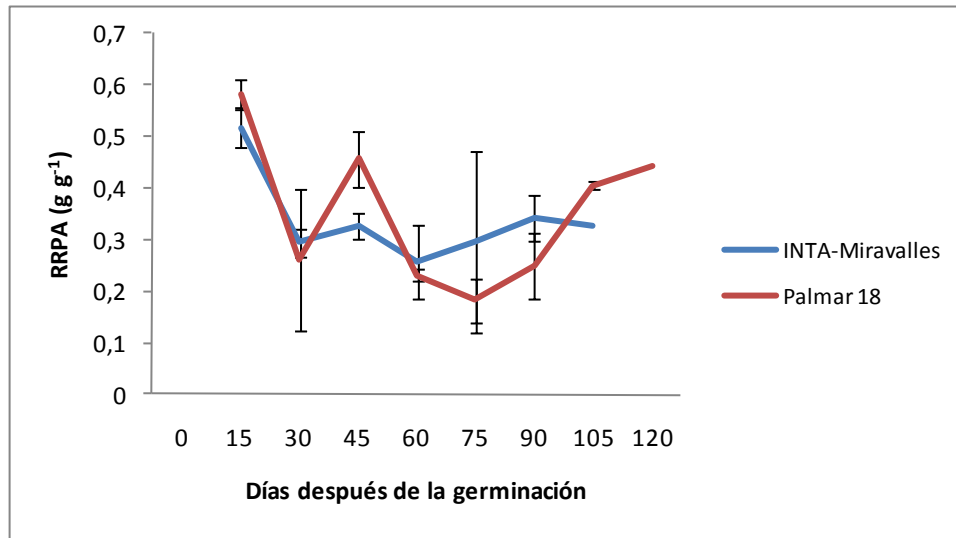


Figura. 9. Relación de raíces a parte aérea (g g^{-1}) durante el ciclo de cultivo, para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles, en cultivo de secano favorecido. Parrita, 2010.

A través del ciclo se observó un descenso en los valores debido a que al tratarse de una razón en donde se toma en cuenta el peso seco de tallos y hojas con respecto al peso seco de las raíces. Como se observó en la RPR, durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas invierten gran cantidad de la biomasa en el desarrollo del sistema radicular para su establecimiento. Posteriormente, esta inversión es desviada para la formación de follaje y de las estructuras reproductivas, debido a que la planta requiere crecer rápidamente para garantizar su progenie.

En etapas más avanzadas del ciclo de crecimiento, se observó que a partir de los 75 ddg (aproximadamente), se dio un nuevo aumento en la RRPA (Figura 9), para ambas variedades, lo cual es similar a lo encontrado por Ortíz *et al.* (1999). Estos autores explican que este nuevo incremento se puede atribuir a la senescencia de la parte aérea en las etapas de maduración del grano, lo que no se ve reflejado en el sistema radicular al menos en etapas iniciales de senescencia foliar, por lo que al desarrollar la fórmula para calcular dicha relación, los valores del numerador (peso seco raíz), son mayores a los valores del denominador (peso seco parte aérea), ya que como se comentó, este último valor es menor en comparación con evaluaciones anteriores.

1.3. Parámetros evaluados durante la floración

Al momento de la floración se evaluaron los parámetros variables (Cuadro 3), para profundizar en su caracterización. Las variables del Cuadro 3 son principalmente útiles para la caracterización varietal.

Como se observa en el Cuadro 3, se observó que ambas variedades presentaron ciertas características morfológicas en las que resultaron muy similares como lo son: la vellosoidad en la lámina de la hoja, el color predominante de la lámina foliar, corrugación de la lámina de la hoja, color de la vaina de la hoja y color predominante de la base del tallo.

Las características relacionadas con el color de la planta tanto láminas como vainas, se consideran de importancia para medir la respuesta de estas variedades ante las aplicaciones de fertilizantes, como mencionan Dobermann y Fairhurst (2000), principalmente la respuesta de las plantas a fertilizaciones nitrogenadas, relacionadas con coloraciones verdes en las plantas, sin embargo es necesario garantizar que las plantas no se encuentren deficientes de otros nutrimentos que podrían cambiar las coloraciones de las plantas, tal es el caso de las deficiencias de P y K que pueden causar colores verdes muy oscuros en las hojas.

También se observaron diferencias respecto de la morfología del follaje entre ambas variedades. Se observó que la variedad INTA-Miravalles presenta una hoja bandera y lámina foliar más anchas en comparación con la variedad Palmar 18, que a su vez presenta hojas de mayor longitud en comparación con la primera.

Lo anterior es importante considerarlo cuando se va a planificar la densidad de siembra, ya que como se menciona en IRRI (2007) la arquitectura de la planta, posición y el tamaño de las hojas son de importancia para medir la eficiencia del cultivar para la interceptación de la luz, factor que repercute de manera positiva a la eficiencia fotosintética de las hojas y por ende al rendimiento total de las variedades.

Cuadro 3. Parámetros evaluados durante la etapa de floración para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.

Variables Evaluadas	Materiales Evaluados	
	INTA-Miravalles	Palmar 18
Habito de Crecimiento	Erecto; ángulo de 10°	Semirrecto; ángulo entre 11° y 30°
Posición predominante de hoja bandera	Semirrecta; ángulo entre 11° y 40°	Erecta; ángulo entre 0° y 10°
Longitud de la hoja bandera (cm)	24,5 ±0,5 cm	27,8 ±0,5 cm
Ancho de la hoja bandera (cm)	1,9 ±0,5 cm	1,4 ±0,5 cm
Vellosidad predominante de lámina de la hoja	Ligeramente pubescente	Ligeramente pubescente
Longitud de la lamina foliar (cm)	31,8 ±0,5 cm	35,6 ±0,5 cm
Anchura de la lamina foliar (cm)	1,6±0,5 cm	1,4 +0,5 cm
Color predominante de la lámina foliar	Verde oscuro	Verde oscuro
Corrugación de la lámina de la hoja	Presente	Presente
Color predominante de la vaina de la hoja	Verde	Verde
Color predominante de la base del tallo	Verde claro	Verde claro

Así mismo las variables que podrían influir sobre la densidad de siembra de manera directa, podrían ser el hábito de crecimiento de las plantas o ángulo de crecimiento. Palmar 18 podría manejarse a una densidad de siembra más baja con respecto INTA-Miravalles. Como menciona Ortiz *et al.* (1999), las plantas con un ángulo más abierto, ocupan mayor espacio que las variedades más erectas; por lo tanto, la densidad a la que se siembren debe de adaptarse a la capacidad para cubrir el área de suelo que ocupa y que no se cause disminución en el macollamiento por causa de alta densidad y auto sombreado excesivo.

1.4. Parámetros evaluados durante la cosecha

Las variables de cosecha se evaluaron inmediatamente previo a ésta. Como la variedad INTA-Miravalles presentó mayor precocidad en la floración, la cosecha se realizó

con 15 días de anticipación en comparación con la variedad Palmar 18. La duración del ciclo fue de 105 días a cosecha para INTA-Miravalles y 120 días para Palmar 18. En el Anexo 5, se anotan otros parámetros que no se adicionaron en el Cuadro 4, debido a que no se consideraron de trascendencia importante para los objetivos de este trabajo.

En el Cuadro 4, se observa que la variedad Palmar 18 presentó una altura de planta respecto a variedad INTA-Miravalles. También se observó que ambas variedades son resistentes al volcamiento similar. En algunos casos esta característica puede ser afectada negativamente, debido a condiciones morfológicas intrínsecas del cultivar, o condiciones de manejo como es el caso de las fertilizaciones excesivas o las altas densidades de siembra utilizadas. Pese a que la variedad Palmar 18, presentó un porte más alto en comparación con la variedad INTA-Miravalles, esta característica no se relacionó con mayor susceptibilidad al acame.

Entre las características propias que pudieron afectar el rendimiento (se discutirá en el sección 2), se pueden mencionar: la capacidad de macollamiento, el número de panículas por planta, la densidad predominante de la panícula (ramificaciones de la panícula y aglutinamiento de los granos) que influye sobre la cantidad de granos por panícula y la longitud de la misma; parámetros en donde se observa que Palmar 18, fue superior a INTA-Miravalles.

Anteriormente se comentó que la cantidad de hojas verdes a cosecha para Palmar 18 e INTA-Miravalles fue diferente, sin embargo, de acuerdo con los datos observados en el Cuadro 4, esta característica es similar debido a que el ámbito que se utilizó para el criterio de evaluación (IRRI 2007) consideraba un ámbito muy abierto, con más de dos hojas verdes por macolla. Es necesario mencionar que pese a la forma de presentarlo, en las observaciones en campo esta diferencia fue observada. La variedad Palmar 18 presentó en campo una cantidad de hojas verdes al momento de cosecha (Palmar 18 presentó un promedio de 10 hojas verdes, mientras que INTA-Miravalles 3 hojas verdes), significativamente mayor a la variedad INTA-Miravalles, por lo que se puede cuestionar la capacidad de translocación de nutrimentos desde las hojas hasta la panícula, para el desarrollo y maduración de la misma.

Cuadro 4. Parámetros evaluados durante la etapa de cosecha para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.

Variables evaluadas	Materiales evaluados	
	INTA-Miravalles	Palmar 18
Cosecha	105 días	120 días
Resistencia predominante al acame	Fuerte: todas las plantas conservan su posición original	Fuerte: todas las plantas conservan su posición original
Altura de la planta	66±0,5 cm	87±0,5 cm
Capacidad de macollamiento	Muy pobre (menos de 7 hijos)	Mediana (de 11 a 14 hijos)
Número de panículas	2	3
Longevidad foliar predominante	Tardía o lenta (más de 2 hojas verdes)	Tardía o lenta (más de 2 hojas verdes)
Densidad predominante de la panícula	Semicompacta	Compacta
Longitud de la panícula	22 ±0,5 cm	24 ±0,5 cm
Número de granos vanos en el ápice de la panícula	Todos los granos son fértiles	Todos los granos son fértiles
Fertilidad predominante de la panícula	Muy fértil (90 a 100 % de granos fértiles)	Muy fértil (90 a 100 % de granos fértiles)
Desgranado predominante de la panícula	Moderadamente difícil (cuando se desprenden entre el 16 y el 30 % de los granos)	Moderadamente difícil (cuando se desprenden entre el 16 y el 30 % de los granos)

2. *Análisis del Patrón de absorción y elaboración de curvas*

2.1. *Descripción de la absorción total de los diferentes nutrientes en ambas variedades*

Se obtuvo un rendimiento (arroz seco y limpio), de 5 t ha⁻¹ para Palmar 18 y 3 t ha⁻¹ para INTA-Miravalles. El rendimiento obtenido por INTA-Miravalles difiere del reportado por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA 2005) que indican para INTA-Miravalles un rendimiento de 4 t ha⁻¹ en promedio entre los sistemas inundado y seco. Así mismo la Oficina Nacional de Semillas (ONS 2008) indica que la variedad Palmar 18 presenta un rendimiento potencial de 5 t ha⁻¹ en sistema de seco y condición lluviosa.

Datos más recientes comunicados por Barboza (2011)³, reportan un rendimiento promedio nacional bajo condiciones de secano de 3,29 t ha⁻¹, mientras que para el sistema de cultivo anegado, se reportan 5,23 t ha⁻¹. Estos rendimientos son estimados que promedian no solo las diferentes zonas productoras de arroz del país, sino que también consideran un promedio general de rendimiento entre las diferentes variedades cultivadas en el país.

En ambas variedades el patrón de absorción se comportó de manera muy similar durante el ciclo. En Palmar 18, el orden decreciente de absorción de elementos macros y medios fue el siguiente: K>N>Mg>Ca>P>S. Para los elementos menores fue: Fe>Mn>Zn>B>Cu. En el caso de INTA-Miravalles el patrón fue el siguiente: N>K>Mg>Ca>P>S. Para los micronutrientes: Fe>Mn>Zn>Cu>B, con diferencias en el orden de absorción para los elementos N, K, B y S, entre las dos variedades.

Para los rendimientos indicados, la absorción total (kg ha⁻¹) para Palmar 18 fue: 168,5; 147,2; 69,7; 53,1; 22,9 y 13,1; para K, N, Mg, Ca, P y S respectivamente. Mientras que para INTA-Miravalles fue: 83,3; 76,4; 14,6; 11,9; 10,6 y 5,8, kg ha⁻¹ de N, K, Mg, Ca, P y S, respectivamente.

Cordero (1993) reportó para la variedad CR1821, cultivada bajo el sistema anegado, un rendimiento de 8 t ha⁻¹ con extracciones de N, P, K, Ca y Mg (kg ha⁻¹), respectivamente: 200, 41, 265, 69 y 36. Este autor afirma que además del rendimiento, la extracción de nutrientes se correlaciona con: producción de biomasa, suelo, manejo, variedades y clima, por lo que los programas de fertilización deben de considerar todas estas variantes, ya que el patrón de extracción varietal puede verse modificado si se modifican las otras variables.

Así mismo, Bertsch (2003) y Fallas *et al.* (2010) mencionan que las curvas de absorción de nutrientes son una manera de reportar la forma en la que un cultivo precisa de aportes nutricionales, sobre los momentos de máxima absorción y de esta manera, facilitar el ajuste de los diferentes programas de fertilización.

³ BARBOZA, M. Director de CONARROZ. Primer foro Arrocero. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, UCR. San José, Costa Rica. 29/4/11.

2.1.1. Absorción total y parcial de nutrimentos para la variedad Palmar 18

En el Cuadro 5, se presenta la absorción total de los nutrimentos y su distribución a través del ciclo del cultivo. Se aprecia que la etapa en donde ocurrió la mayor absorción de nutrimentos fue al momento de máxima floración, inicio de maduración del grano (105 ddg). La excepción a lo anterior fue con el S en el cual el momento de máxima absorción se presentó justo al momento de la cosecha.

Cuadro 5. Cantidad de nutrimentos absorbidos por etapas y totales durante el ciclo de cultivo en plantas de arroz, variedad Palmar 18.

Etapa fenológica	DDG	Cantidad absorbida										
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Plántula	15	1,9	0,2	1,7	0,2	0,3	0,2	548,7	24,7	1,9	5,8	1,6
I.M.	30	19,0	1,6	21,4	1,5	1,6	1,5	1348,3	195,6	10,6	29,7	5,5
M	45	40,6	3,8	49,7	5,0	5,2	3,4	7052,8	886,4	31,8	90,7	20,7
M	60	29,7	4,2	46,6	5,5	5,6	2,8	12328,1	1428,0	33,5	96,1	32,6
M.M	75	115,2	11,0	126,4	16,9	17,6	8,8	35386,7	4053,2	108,6	288,4	101,4
I.P.F	90	125,5	13,8	145,5	22,3	23,9	9,8	52117,4	4371,8	150,6	322,0	139,2
Floración	105	147,2	22,9	168,5	53,1	69,7	12,4	63780,5	12230,6	385,1	809,6	586,5
Cosecha	120	143,6	20,8	158,1	26,0	31,6	13,1	75443,7	6493,2	225,4	523,8	217,1
Total		147,2	22,9	168,5	53,1	69,7	13,1	75443,7	12230,6	385,1	809,6	586,5

IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral.

A los 105 ddg las plantas, en plena floración, incrementaron la tasa de translocación de asimilados de reserva, que se encontraban en las hojas y los tallos hacia las panículas (granos). Este momento de máxima absorción coincidió con la máxima tasa de asimilación neta. Con esta información es posible correlacionar los momentos en los que las plantas requieren mayor cantidad de nutrimento, ya que como lo menciona Bertsch (1998), cuando se presentan las mayores tasas de asimilación neta, son momentos oportunos para aplicar los fertilizantes. Además, conforme avanza el crecimiento de las plantas y la acumulación de materia seca, va aumentando la demanda de nutrimentos estructurales como Ca, N, K, entre otros. A partir del MM (75 ddg), se observó un incremento importante en las absorciones de los diferentes elementos.

En la Figura 10, se muestra la curva de absorción total de N, P y K a través del ciclo. Durante el macollamiento (especialmente a los 60 ddg) y hasta la floración (105 ddg) se presentaron épocas de gran absorción. Aquí las plantas estaban en transición de la etapa vegetativa a la reproductiva. Estas fechas se podrían considerar claves para posibles fertilizaciones. Conociendo los períodos de mayor demanda se puede suplir el fertilizante antes de que ocurran deficiencias y de esta manera favorecer el desarrollo de los diferentes procesos fisiológicos (sin sufrir estrés nutricional). Estas fechas podrían ser a los 30, 60 y 90 ddg. Además en estas etapas se presentaron las mayores tasas de crecimiento absoluto (Figura 1), por lo que la planta se muestra más demandante de nutrientes.

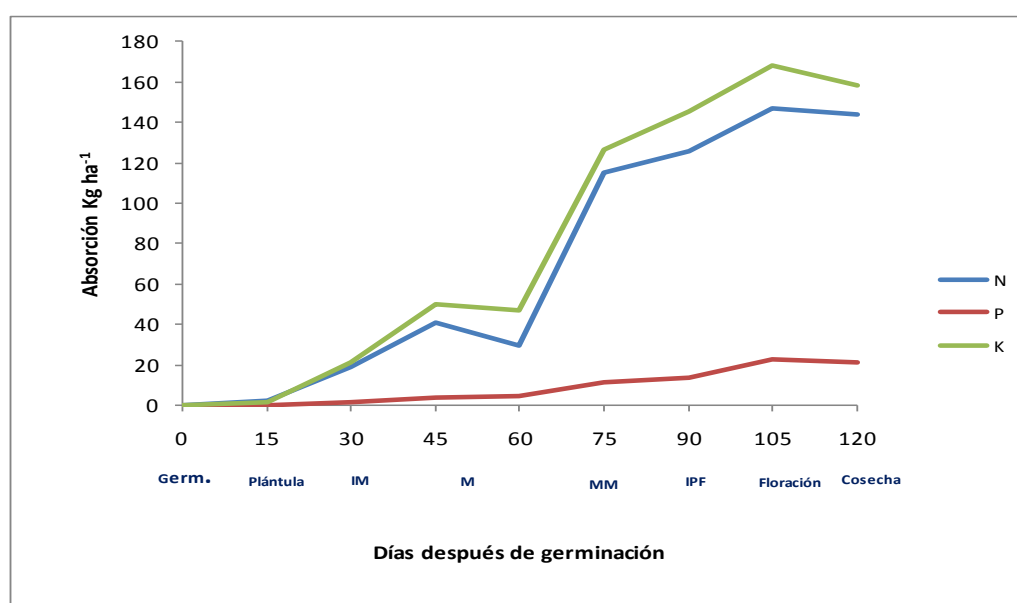


Figura 10. Curva de absorción para los elementos N, P y K, (kg ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En relación al P, este se absorbió en cantidades más bajas en comparación con el N y el K. Al igual que el N y el K, los momentos de mayor absorción para el P fueron a los 75, 90 y 105 ddg, decreciendo levemente al momento de la cosecha. La dinámica de absorción del P observada, coincidió con lo mencionado por León (1981), quien afirma que este elemento es rápidamente absorbido por la planta de arroz durante su crecimiento, como motor inicial para los procesos de desarrollo, por formar parte de la molécula de ATP y alcanza una

acumulación máxima durante la época de floración, pero durante el período de maduración el índice de absorción disminuye.

En la Figura 11, se presenta la absorción total y parcial de Ca, Mg y S a través del ciclo de cultivo. La absorción de estos nutrientes se incrementó durante el macollamiento y floración (60 ddg y los 105 ddg). A los 105 ddg se observó la mayor absorción para el Ca y Mg (53 y 69,3 kg ha⁻¹ respectivamente), la cual posteriormente disminuyó durante la época de cosecha. El S por su parte presentó incrementos progresivos de absorción desde los 60 ddg hasta la cosecha (13 kg ha⁻¹).

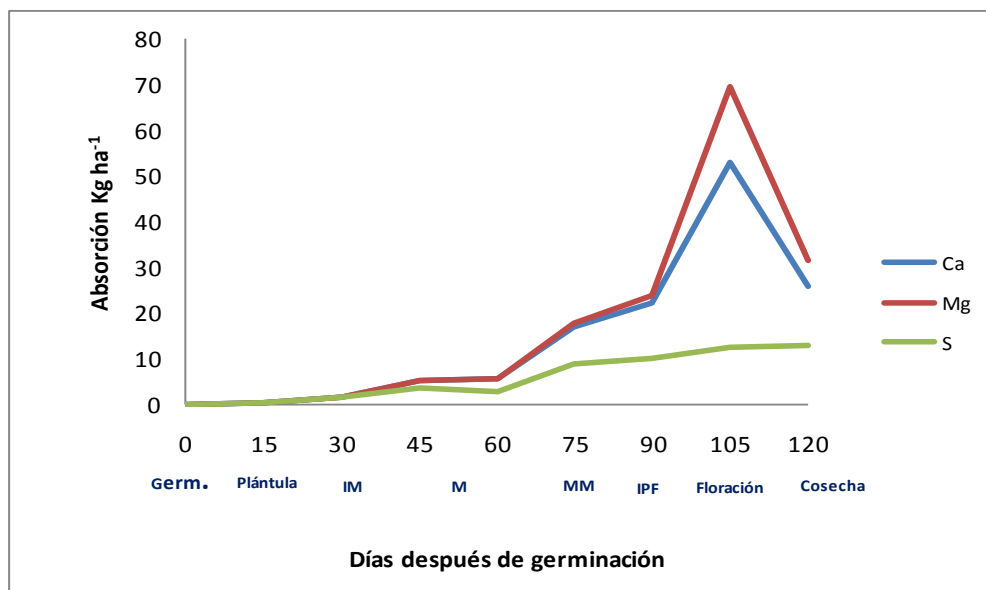


Figura 11. Curva de absorción de los elementos Ca, Mg y S (kg ha⁻¹), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

Según los resultados, el Mg y el Ca, fueron absorbidos en mayor cantidad que el S. Lo que resulta de importancia debido a la relación de estos elementos en los tejidos estructurales de las plantas.

En la Figura 12 se presenta la curva de absorción de los microelementos Fe y Mn, estos mostraron niveles de absorción total muy altos, 75443,7 y de 12230 g ha⁻¹, respectivamente a los 105 ddg. Las cantidades de estos elementos absorbidos aumentaron conforme avanzaban las etapas del ciclo del cultivo hasta la cosecha.

La dinámica de absorción del Fe fue similar a la observada con los momentos de MM, IPF, floración y cosecha, en donde los mayores incrementos de absorción. En los datos de absorción obtenidos para el Fe, las cantidades más altas fueron encontradas en las raíces, la distribución de este elemento en los diferentes órganos durante las diferentes etapas de evaluación se presentan en el Anexo 7. En el caso del Mn se presentó un comportamiento similar al que se ha presentado para otros nutrimentos en esta variedad, en donde los períodos de mayor absorción se dieron durante las etapas de MM, floración y cosecha, con valores muchos más bajos en comparación con los obtenidos para el Fe.

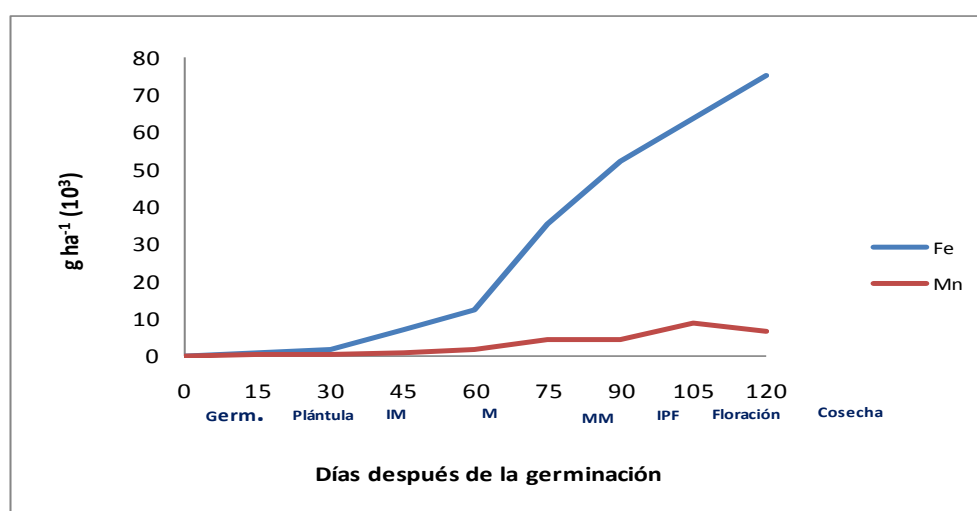


Figura 12. Curva de absorción de los microelementos Fe y Mn (g ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

Con respecto a la absorción total de Cu, Zn y B (Figura 13), de manera similar a los nutrimentos recién descritos, se presentaron aumentos pronunciados de absorción a partir de los 60 ddg y hasta los 105 ddg. En esta última fecha se presentaron las mayores absorciones, con valores de 809, 586 y 385 g ha^{-1} , para Zn, B y Cu respectivamente.

Al igual que los macroelementos, estos microelementos fueron altamente absorbidos durante las fases de iniciación del primordio floral hasta la maduración, para decrecer previo a la etapa de cosecha.

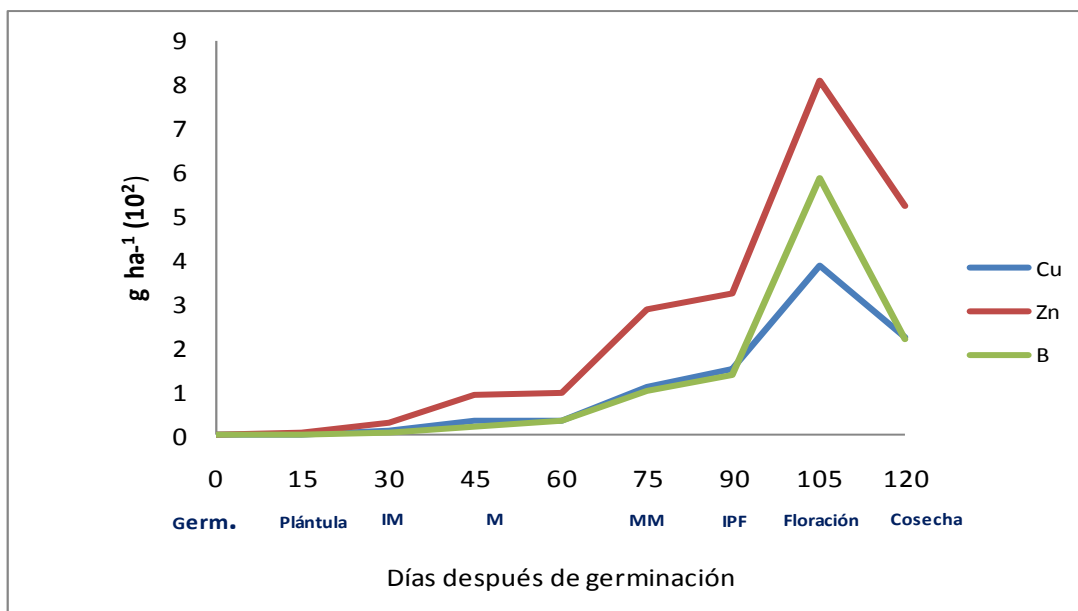


Figura 13. Curva de absorción de los microelementos Cu, Zn y B (g ha^{-1}), para la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

2.1.2. Absorción total de nutrimentos para la variedad INTA-Miravalles.

En el Cuadro 6, se presenta la absorción total de los nutrimentos y su distribución a través del ciclo del cultivo. Los períodos de máxima absorción se presentaron de floración a cosecha (90-105 ddg), con excepción del K que ocurrió durante la etapa de MM (60 ddg).

Durante la floración (90 ddg), las plantas se encontraban en el proceso de translocar los asimilados de reserva, contenidos en hojas y tallos hacia los granos. Al igual que lo observado en Palmar 18, para INTA-Miravalles, la máxima absorción concordó con la máxima tasa de asimilación neta. Así mismo en INTA-Miravalles conforme la planta creció se observó un aumento en la absorción de Ca, N y K. A partir del MM (60 ddg), se dio un incremento marcado en la absorción de todos los nutrimentos.

Cuadro 6. Cantidad de nutrimentos absorbidos por etapas durante el ciclo de cultivo y totales en plantas de arroz, variedad INTA-Miravalles.

Etapa fenológica	DDG	Cantidad absorbida										
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Plántula	15	1,8	0,2	1,4	0,2	0,2	0,1	333,9	17,2	1,4	6,8	1,1
I.M.	30	17,7	1,6	20,0	1,7	1,7	1,6	2499,9	221,1	13,0	29,5	8,0
M	45	28,3	2,9	35,1	3,3	3,0	2,4	3929,6	741,5	21,6	62,9	14,1
M.M.	60	48,4	6,6	76,4	8,2	8,1	4,6	15156,7	1963,4	54,5	143,7	49,4
I.P.F.	75	75,4	8,4	56,9	9,0	11,2	5,3	26884,6	2375,2	73,0	209,8	72,1
Floración	90	67,9	8,4	62,8	11,9	14,6	5,1	28457,4	3018,3	86,3	220,9	101,8
Cosecha	105	83,3	10,6	73,1	11,3	14,1	5,8	30030,3	4391,5	92,6	314,0	86,5
Total		83,3	10,6	76,4	11,9	14,6	5,8	30030,3	4391,5	92,6	314,0	101,8

IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral.

En la Figura 14, se observa la curva de absorción de N, P y K. Semejante a la variedad Palmar 18, en INTA-Miravalles, el N y el K fueron los elementos que más se absorbieron. Además, los momentos de máxima absorción de estos elementos coincidieron con las mayores tasas de crecimiento absoluto (Figura 1).

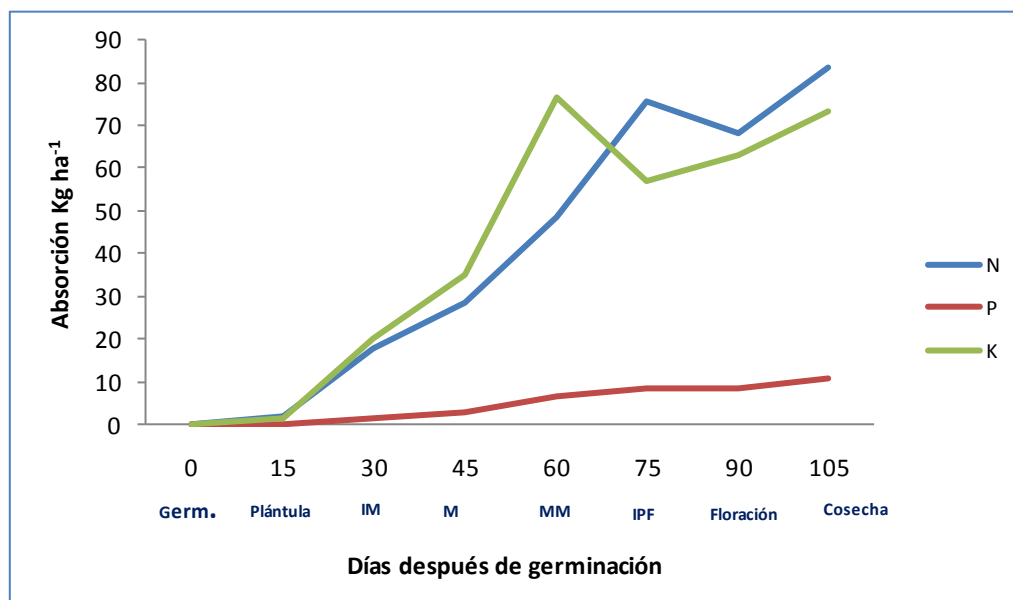


Figura 14. Curva de absorción de los elementos N, P y K, (kg ha⁻¹), para la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En general, desde el MM hasta momentos de cosecha (60-105 ddg) se presentaron las mayores absorciones. Por lo anterior y pensando en un programa de fertilización, sería importante realizar las aplicaciones de fertilizantes previos a estas fechas. Se podría considerar aplicaciones a los 45, 60 y 75 ddg, previo a que se den los periodos de mayor demanda para evitar que la planta sufra algún tipo de estrés nutricional.

En la curva de absorción de K se observó una disminución a los 75 ddg, que posteriormente se recuperó en evaluaciones similares, lo mismo ocurre con la absorción de N a los 90 ddg. Este comportamiento pudo deberse a la influencia del peso seco de las plantas evaluadas durante cada muestreo, ya que, son plantas tomadas al azar para realizar un muestreo destructivo, es posible que se considerara una planta de menor biomasa en comparación con el muestreo anterior y posterior, esto debido a que las planta no continua absorbiendo nutrimentos durante el ciclo, sin embargo,- el crecimiento si se puede ver afectado por diversas situaciones.

El P al igual de como sucedió para la variedad Palmar 18, fue absorbido en cantidades más bajas que el N y K. Además, siguió la misma tendencia creciente de absorción desde 60 a los 105 ddg.

Con respecto a los elementos Ca, Mg y S (Figura 15), la mayor absorción de estos nutrimentos se presentó durante las fases de formación de macolla y floración (45 y 90 ddg). Al igual que sucedió con la variedad Palmar 18, la mayor absorción, 11,9 y 14,6 kg ha⁻¹, para el Ca y Mg respectivamente, ocurrió durante la floración (90 ddg) y disminuyó durante la época de cosecha. Por su parte, el S presentó la máxima absorción 5,8 kg ha⁻¹ al momento de cosecha, por lo que la absorción de este elemento se mantuvo hasta el final del ciclo del cultivar.

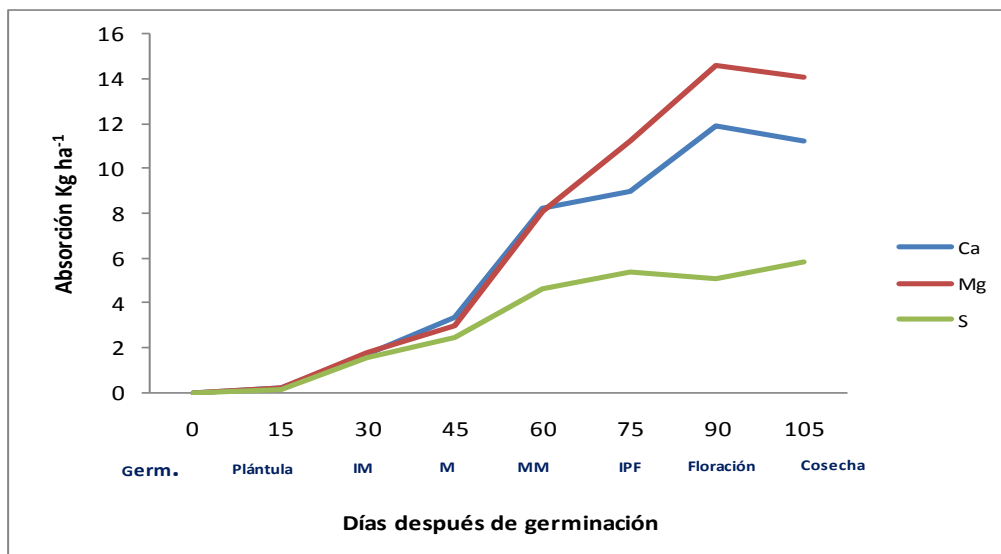


Figura 15. Curva de absorción de los elementos Ca, Mg y S (kg ha^{-1}), para la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En la Figura 16 se presenta la absorción de los microelementos Fe y Mn, al igual que lo sucedido en Palmar 18, para INTA-Miravalles, estos elementos fueron absorbidos en gran cantidad por las plantas con valores de 30030 y 4 392 g ha^{-1} respectivamente.

El patrón de absorción del Fe al igual que en la variedad Palmar 18 fue similar a la observada para los otros nutrientes, en donde las etapas de mayor absorción se dieron cuando las plantas se encontraron en pleno macollamiento hasta llegar a la etapa de cosecha y de manera similar el órgano que presentó los mayores absorciones de Fe fue la raíz (Anexo 7). Con respecto al Mn (Figura 16) se presentó una absorción creciente durante las fechas de evaluación hasta llegar a la cosecha sin presentar una disminución.

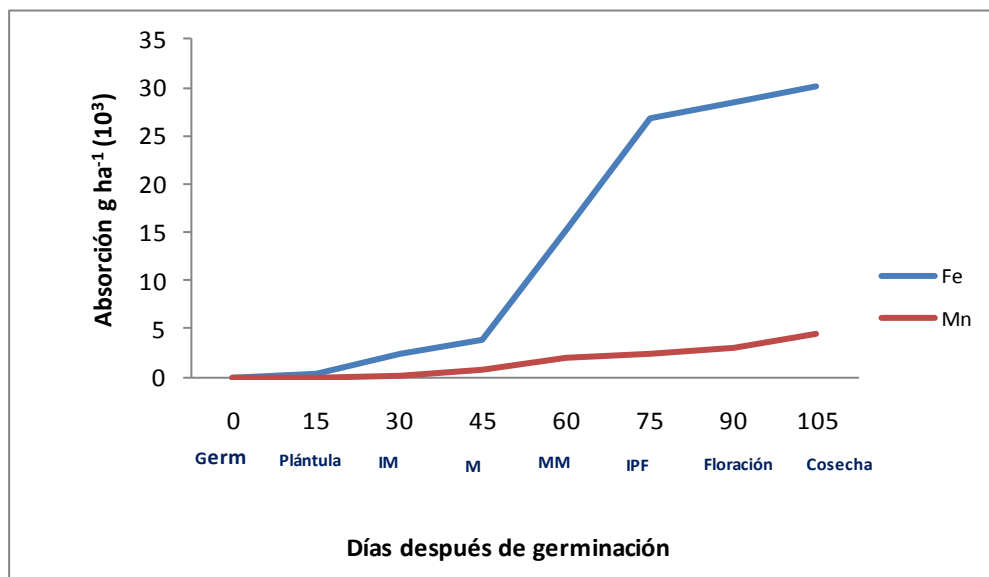


Figura 16. Curva de absorción de los microelementos Fe y Mn (g ha^{-1}), para la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En relación con los elementos Cu, Zn y B durante el ciclo del cultivo (Figura 17), estos presentaron los mayores incrementos de absorción durante las fases de macolla hasta cosecha (45 a 105 ddg). El B a los 105 ddg disminuyó levemente los valores. La absorción de estos elementos fue de 314; 101,8 y 92,6 g ha^{-1} de Zn, B y Cu, respectivamente. Además, es muy importante resaltar que los datos de absorción obtenidos para estos microelementos fueron marcadamente menores que los conseguidos en Palmar 18.

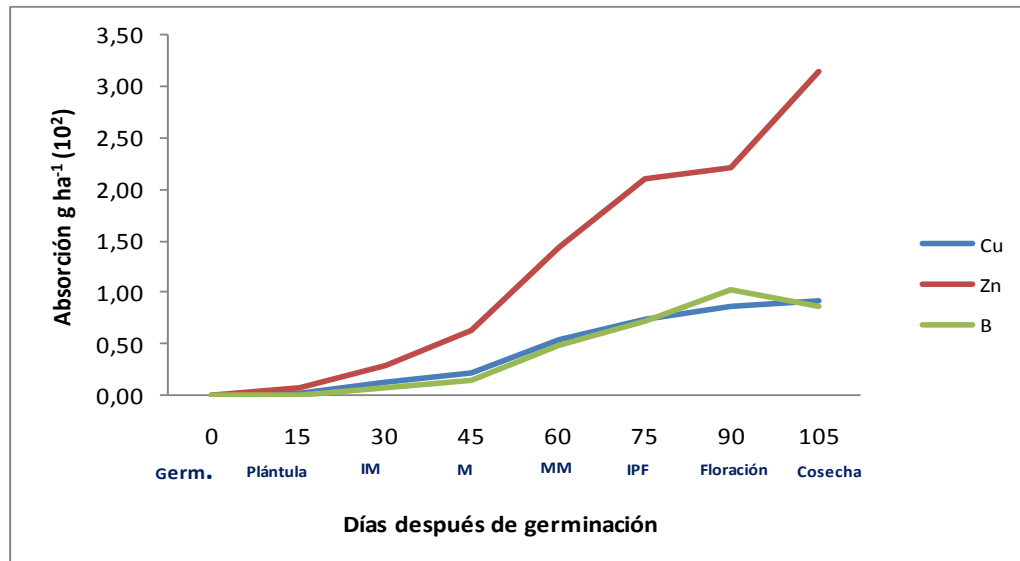


Figura 17. Curva de absorción de los microelementos Cu, Zn y B (g ha^{-1}), para la variedad INTA Miravalles. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

2.1.3. Discusión de curvas de absorción de nutrimentos para ambos materiales

Pese a que el ciclo de cultivo de cada variedad fue diferente en duración, los patrones de absorción siguieron un comportamiento similar entre etapas fenológicas, por lo que en esta sección se realizará la discusión en forma conjunta. Es importante mencionar que la dinámica de absorción se dio de manera similar durante los momentos de mayor absorción entre las variedades. Sin embargo, en lo relativo a cantidades de nutrimentos, la variedad Palmar 18 fue más demandante de estos en comparación con la variedad INTA-Miravalles, que además presentó un rendimiento más bajo.

El patrón de absorción de nutrimentos coincidió con lo indicado por Solórzano (2003), quien menciona que generalmente las plantas alcanzan los mayores niveles de absorción durante las etapas de MM, diferenciación floral, la emergencia y maduración de la panícula. Para las variedades y condiciones en estudio, estas etapas ocurrieron entre los 60 y los 75 ddg. Perdomo *et al.* (1983) mencionan que este comportamiento responde a un proceso

natural del cultivo, en donde las etapas vegetativas son altamente demandantes de nutrimentos, pero la mayoría de estos son almacenados en vainas y hojas para ser utilizados posteriormente en eventos reproductivos, en donde las plantas incrementan sus demandas.

Para ambos materiales, los nutrimentos más absorbidos fueron el N y el K. En el caso de la variedad Palmar 18, el K fue el principal, mientras que para la variedad INTA-Miravalles, fue el N el de mayor absorción. Este comportamiento se debió a un factor varietal, ya que, ambos materiales recibieron cantidades similares de nutrimentos, en las mismas fechas, clima y condiciones de suelo. Según Cortés (1994), estas diferencias se atribuyen a comportamientos intrínsecos de la variedad, ya que, la repuesta de los genotipos y fenología altera el patrón de absorción. Este autor también menciona que las variedades de mayor rendimiento, como el caso de Palmar 18 en este estudio, en comparación con materiales de menor rendimiento, son más demandantes de K, por lo que las recomendaciones de fertilización no se deben generalizar.

Perdomo *et al.* (1983), mencionan que el K es absorbido desde el inicio del crecimiento de la planta hasta el final de la etapa lechosa del grano y luego decae. Este comportamiento se observó en la variedad Palmar 18, en donde se presentó una leve caída en las concentraciones de los nutrimentos en la etapa de maduración del grano, comportamiento que no se observó en la variedad INTA-Miravalles.

Por otro lado, Arregocés y León (1982) mencionan que la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados se ve afectada por la variedad de arroz. También afirman que las variedades modernas no dependen enteramente de los fertilizantes nitrogenados para alcanzar producciones altas como se ha creído popularmente. Estos autores mencionan que es necesario mantener un equilibrio de los nutrimentos en la planta y en el suelo, principalmente es necesario velar por la relación N, P y K y la corrección de deficiencias para alcanzar la máxima eficiencia del N.

Posteriormente, los elementos que se absorbieron en cantidades altas fueron el Mg, Ca y P. Generalmente se habla de un orden decreciente de absorción en el cultivo de arroz de $K > N > P$ (Bertsch 2003 y Solórzano 2003); sin embargo, en los trabajos presentados por estos autores no se estudió el comportamiento del Ca y del Mg. Por su parte, Cordero

(1993) en trabajos de nutrición realizados en arroz, reportaron absorciones de Ca, superiores a las de P y muy similares a los niveles encontrados para Mg.

Perdomo *et al.* (1983) mencionan que la absorción del P durante la fase vegetativa es lenta. Esto es similar a lo que se observó en ambas variedades en este estudio. Los valores de absorción de P fueron bajos y estables hasta el momento en el que se inicio la diferenciación del primordio floral (60-75 ddg), desde el inicio del primordio floral hasta la floración hubo un incremento significativo en la absorción de P. Esta dinámica de absorción es similar a la de otras variedades de arroz reportadas (Bertsch 1998).

En las Figuras 11 y 15, se observa el comportamiento de la absorción del Ca, Mg y S, para Palmar 18 e INTA-Miravalles, respectivamente. Se presentó un fuerte incremento en los valores después de los 60 ddg para ambas variedades. En INTA-Miravalles la mayoría del Ca se absorbió entre MM y floración, mientras que en Palmar 18 la mayor parte de la absorción ocurrió entre el IPF y la floración. Las concentraciones de Ca y Mg disminuyeron levemente al llegar a la etapa de cosecha. Con respecto al S no se observó el mismo comportamiento, al contrario, se mostró un incremento continuo hasta el final del ciclo.

Estos elementos se absorbieron de acuerdo al estado de crecimiento de las plantas, lo que coincide con lo expuesto por Perdomo *et al.* (1983), quienes concluyeron que estos elementos se comportan de manera similar al patrón de absorción de los elementos mayores, en donde, los valores incrementan conforme va aumentando la acumulación de materia seca.

De acuerdo con Bertsch (1998), el Mg tiene participación en múltiples procesos enzimáticos en la planta, así como en el proceso de fotosíntesis. El Ca por su parte es necesario, ya que, forma los pectatos de Ca que integran parte de la pared celular, lo que ayuda a la estructura de los tejidos, al igual que participa en la formación de las paredes de los tejidos constitutivos de los órganos reproductivos (Villalobos y Killorn 2001).

Perdomo *et al.* (1983) citan al respecto que el Ca es absorbido con el crecimiento de la planta y de manera continua hasta la etapa de maduración. Además, estos autores

encontraron que hasta la etapa de floración la acumulación de este elemento es baja, pero después de la floración y hasta la maduración la planta puede absorber hasta un 85% del total del Ca. Lo anterior concuerda con los picos de absorción observados en este trabajo después de la floración y su posterior disminución.

Un comportamiento similar al anterior se observó con el Mg. Perdomo *et al.* (1983), mencionan que después de la floración y hasta la cosecha, se puede presentar una absorción hasta de un 87 % del total de Mg, un comportamiento similar al Ca, pero con una absorción levemente más alta. Por otro lado, estos autores señalan que el S se absorbe hasta en un 25 % antes de la iniciación del primordio floral y el resto es absorbido hasta la maduración. El patrón de incremento en la absorción del S hasta la madurez, se puede deber como mencionan Barbosa (1987) y Parsons (2008), a que este elemento interviene en los procesos de crecimiento y maduración, por lo que la planta lo puede estar demandando durante todo el ciclo.

Por otro lado, en las Figuras 12 y 16 (Palmar 18 e INTA-Miravalles) se observa la absorción de los microelementos Fe y Mn. Al igual que lo observado en los macronutrientes, el patrón de absorción fue similar, cerca de la etapa de MM (después de los 60 ddg) los incrementos fueron más pronunciados. En ambas variedades, el Fe alcanzó un pico máximo de absorción al momento de la cosecha. Mientras que el Mn en la variedad Palmar 18 descendió al momento de cosecha y en la variedad INTA-Miravalles no presentó este comportamiento.

Cabe destacar que estos elementos no fueron aplicados de manera directa a las plantas, ni calculados en el plan de fertilización granular, ya que además de consumirse en niveles muy bajos en las plantas, el Fe y Mn son de los pocos nutrientes en los cuales los suelos de Costa Rica no son deficientes (Bertsch 1998). Además, es importante destacar que a pesar de estas cantidades absorbidas, las plantas de arroz no presentaron síntomas de fitotoxicidad evidentes. Villalobos y Killorn (2001) y Muñiz (2008), mencionan que en condiciones reductoras, como lo son suelos anegados o que sufren períodos de anegamiento importantes, se da un desplazamiento del equilibrio entre el Fe⁺² y el Fe⁺³, lo cual hace que el Fe sea muy absorbido por las plantas provocando toxicidad en algunos casos.

Muñiz (2008) menciona que este efecto reductivo también se puede ver favorecido por la alta presencia de Mn que puede aumentar el Fe^{+3} , el cual podría ser absorbido por las plantas en niveles muy altos. Además, en los cuadros de análisis de suelos (Anexo 2 y 3), se observa una pérdida o remoción de estos dos elementos por las plantas, por lo cual se puede especular que las plantas removieron parte de estos elementos de la solución del suelo.

Los otros microelementos como el B, Zn y Cu (Figura 13 y 17), presentaron un patrón de absorción similar a los macroelementos en el caso de la variedad Palmar 18, en donde se dio un pico máximo de consumo (en floración) que decreció durante la maduración del grano. Mientras que en la variedad INTA-Miravalles la absorción de B, Zn y Cu se empezó a incrementar a partir de macollamiento y alcanzó el pico máximo en la cosecha, sin embargo, el B descendió levemente.

Palmar 18 absorbió en mayor cantidad Zn, seguido por B. Mientras que INTA-Miravalles, presentó altos valores de absorción de Zn y valores muy similares para el B y el Cu. Parsons (2008) menciona que en general los microelementos son necesarios en el cultivo del arroz en pequeñas cantidades, pero estos rara vez se encuentran limitados en los suelos, con excepción del Zn que es el microelemento más limitante en suelos arroceros de Costa Rica (Cordero 1993).

Estos elementos, especialmente el Zn y el B, deben de considerarse para aplicaciones de fertilizantes (pueden ser vía foliar), ya que es posible que provoquen deficiencias. Rimache (2008) menciona que trazas de Cu, mejoran las cantidades de N contenidas en los tallos y raíces de las plantas de arroz. Además, que trazas pequeñas de Zn tienen un efecto favorable sobre el crecimiento, maduración y rendimiento del arroz. Villalobos y Killorn (2001) mencionan que el B, juega un papel importante en el funcionamiento de las membranas, los requerimientos de B son muy conocidos en las etapas reproductivas pues juega un papel importante en el desarrollo del tubo polínico.

2.2. Descripción de la absorción en los diferentes órganos de las plantas para ambas variedades.

2.2.1 Absorción y distribución de nutrimentos en los diferentes órganos de la planta para la variedad Palmar 18

En la Figura 18, se observa la distribución de la materia seca (kg ha^{-1}), en los diferentes órganos de las plantas de arroz. De acuerdo con la Figura 18A, se observó que los mayores incrementos en materia seca se produjeron a partir del MM (75 ddg). La parte aérea fue la que acumuló la mayor cantidad, llegó a incrementos máximos a los 75 ddg, después de esta etapa se mantuvo muy constante. Seguido se encuentra la raíz y después la panícula (granos) que presentaron valores similares durante las últimas fechas.

En la Figura 18B, se observa que durante el macollamiento (75 ddg) se presentó una acumulación de materia seca muy fuerte (29 % del total). En esta fecha se había acumulado un total del 42 % de la biomasa total. Luego de la floración se presentó otra etapa importante de acumulación de materia seca (con un 44 %) y previo a alcanzar la madurez total.

A los 75 ddg se presentó la etapa de MM para esta variedad, que implica la generación de un importante número de brotes y el consecuente follaje y tallo, por lo que este evento pudo provocar la fuerte acumulación de biomasa que se observó. Posteriormente a los 90 ddg disminuyó la acumulación, posiblemente debido a que se presentó la emergencia del primordio floral, que implica un desgaste energético fuerte en las plantas, con el consecuente descenso en la acumulación de materia seca. A los 105 ddg se dio un proceso de acumulación fuerte, debido a que la etapa de floración concluyó y se inició la etapa de translocación hacia la panícula para el llenado de los granos.

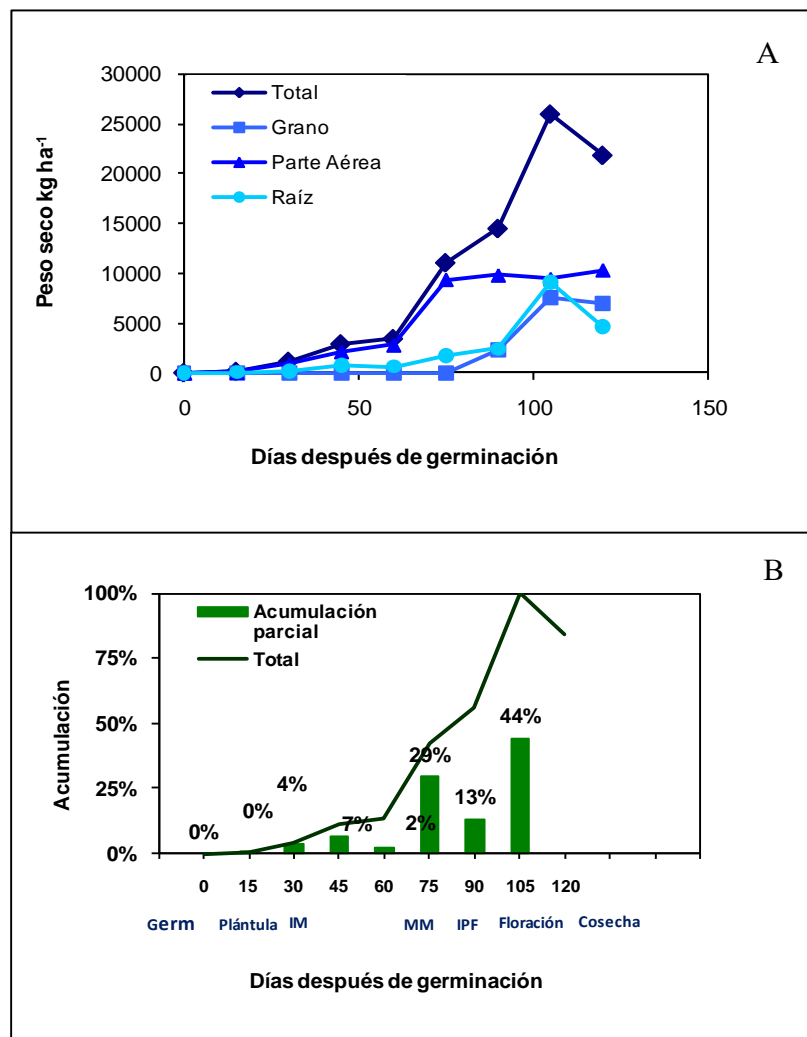


Figura 18. Distribución de materia seca en kg ha⁻¹ (18A) y acumulación parcial (18B), de materia seca en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

Las Figuras 19A y 19B, corresponden a la distribución del N en los diferentes órganos de la planta. Se observó que hasta la etapa de MM (75 ddg), el N en la raíz representó entre un 20 % y un 10 % del total, mientras que el de la parte aérea un 80 y 90%. A los 75 ddg, la concentración de N en la raíz disminuyó a menos del 10%, mientras que la parte aérea presentó un leve incremento. En esta fecha se presentó la etapa de MM, la cual es una etapa muy demandante de N. A los 90 ddg, se comenzó a dar el transloque de N,

hacia la panícula para el llenado y maduración de los granos, lo que correspondió de un 20 hasta 30 % de N total en este órgano.

La absorción de N a nivel de raíz fue permanente durante la mayor parte del ciclo con valores de 0,5 kg ha⁻¹ (15 ddg), 12 kg ha⁻¹ (90 ddg) y los más altos de 24 y 18 kg ha⁻¹ a los 105 y 120 ddg, respectivamente.

De lo anterior se puede decir, que en Palmar 18 el mayor porcentaje del N absorbido por la planta se quedó en la paja y alrededor del 40 % fue translocado hacia los granos. Por lo tanto, si la paja fuera incorporada al suelo se realizaría un reciclaje muy fuerte de este elemento integrándolo al suelo, mientras que si se retira para el ensilaje o se da de alimentos para los animales, se estaría removiendo del sistema productivo cerca de un 40 % del N total absorbido por las plantas.

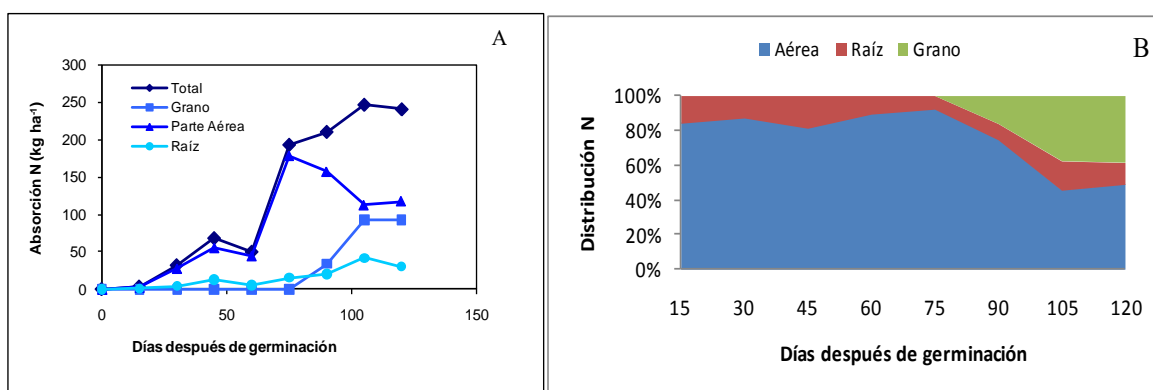


Figura 19. Distribución del N en kg ha⁻¹ (19A) y porcentual (19B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

En la Figura 20, se observa el incremento relativo del N a través del ciclo de cultivo. Se observó que hasta el MM (75 ddg), se había absorbido un 86 % del N total. Durante el MM ocurrió el mayor incremento relativo, pues se absorbe un 58% del total. Otras fechas que presentaron incrementos importantes fueron a los 30, 45, 75 y 105 ddg; estos periodos deberían ser considerados como claves para posibles fertilizaciones con este nutrimento.

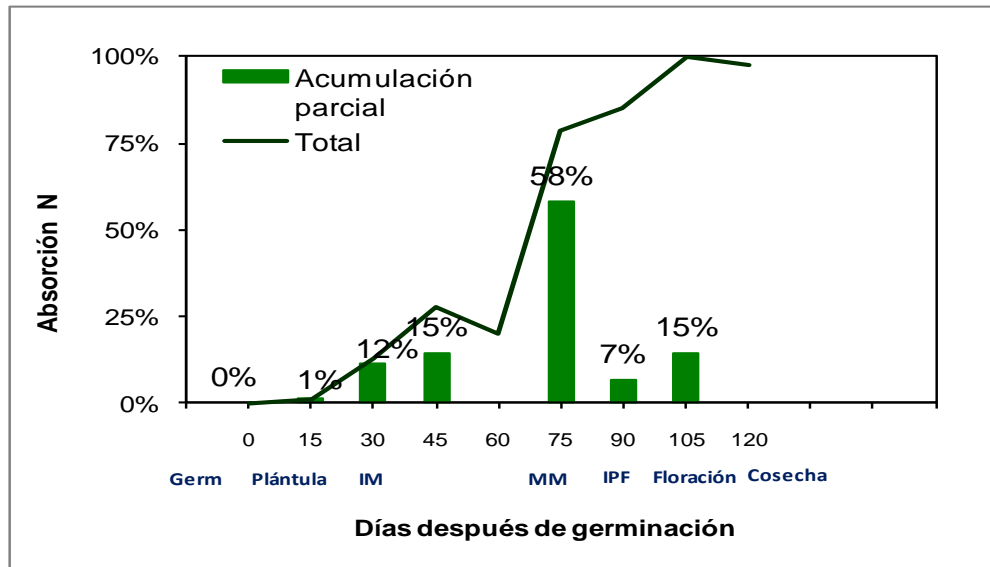


Figura 20. Absorción porcentual parcial y total del N durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

La absorción de P (Figura 21A y 21B), expuso un patrón de absorción dinámico a través del ciclo de cultivo. En la parte aérea se evidencian 3 etapas. La primera, desde la germinación hasta previo el MM (0 a 60 ddd), se caracterizó por una lenta y creciente absorción. En este momento, el 80 % del total de P se encontraba en esta sección. Posteriormente de MM a IPF (60 a 90 ddd) se presentó la absorción más importante de todo el ciclo de cultivo, en donde entre el 90-95% del P total se encontraba en la parte aérea. Se observó que entre el IPF y la etapa de floración se absorbió el 40% de P total requerido. Con el inicio de la madurez del grano (100 a 120 ddd) se observó una disminución de la cantidad absorbida de este elemento en la parte aérea, con una concentración de 20 a 30 % del total.

Por otro lado, la raíz inició con porcentajes aproximados al 20 % del P total (Figura 21B), después de la etapa de MM (75 ddd), se comenzó a observar una disminución en los porcentajes correspondientes a este órgano, además, en este momento ya se comenzaba a observar la emergencia de estructuras reproductivas, por lo que se podría sugerir que el P que se encontraba en este órgano también podría ser translocado hacia otros órganos

demandantes presentes en este momento como es el caso de la panícula. Con respecto a la concentración de este elemento en la panícula, se observó una fuerte translocación hacia este órgano al final del ciclo, al momento de la cosecha aproximadamente un 60 % del P total se encontraba contenido en los granos.

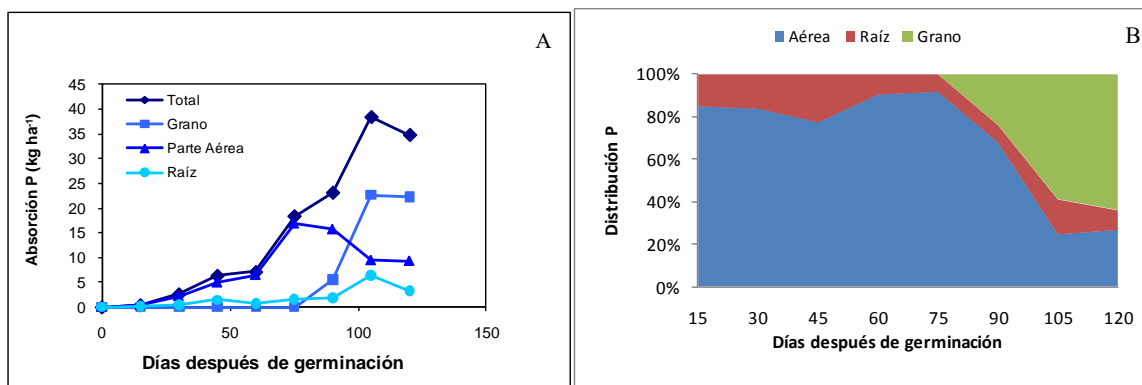


Figura 21. Distribución del P en kg ha⁻¹ (21A) y porcentual (21B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

Se observó (Figura 22), que las etapas de mayor absorción de P para la variedad Palmar 18, fueron durante el macollamiento (30 a 75 ddg) y floración (105 ddg). En esta última ocurrió el mayor incremento aproximadamente un 40 %. Hasta los 60 ddg, aproximadamente a la mitad del ciclo, se había absorbido tan solo un 19 %. De lo anterior se podría decir que este elemento fue mayormente demandado por la planta durante las etapas reproductivas: iniciación y emergencia del primordio floral y maduración de la panícula. Por lo que se debería considerar aplicaciones tardías de este elemento en posibles planes de fertilizaciones, a diferencia de cómo se maneja este comúnmente, que es aplicado casi en su totalidad durante los primeros estados de desarrollo.

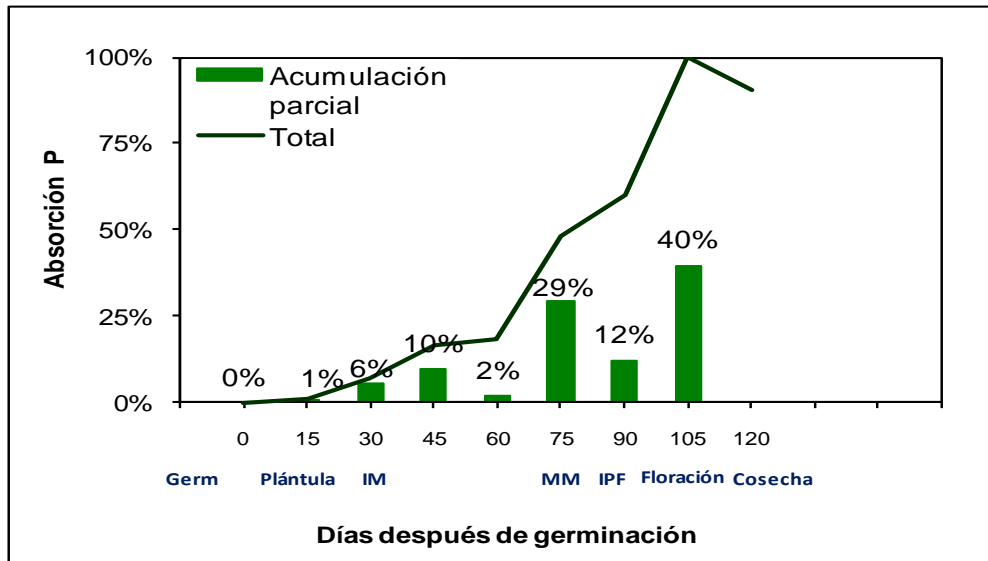


Figura 22. Absorción porcentual parcial y total del P durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En la Figura 23A y 23B, se presenta la distribución del K en los diferentes órganos de las plantas. De igual forma que los elementos anteriores, la parte aérea es la que acumuló mayor cantidad de este elemento, más del 80 % del total. En esta sección se presentó un incremento entre las etapas de macollamiento y floración (60 a los 105 ddd) (Figuras 23A y 23B), posteriormente el valor decayó levemente hasta alcanzar la fecha de cosecha. Un comportamiento similar se dio en el K absorbido en la raíz. Se inició con un valor aproximado de 20 %, posteriormente (75 y 90 ddd) se presentó una acumulación en este órgano inferior al 10 %.

En cuanto al contenido de K en el grano, se observaron valores muy bajos y una tendencia de absorción similar a la observada en la raíz. Este órgano es un sumidero menor de K, ya que, representó aproximadamente un 10 % del total absorbido por la planta. De manera similar a lo que observado en N, la mayoría del K absorbido permaneció en la paja, por lo cual, si estos órganos aéreos (tallos y hojas) no son reincorporados al sistema se podría ocasionar una pérdida importante de este elemento.

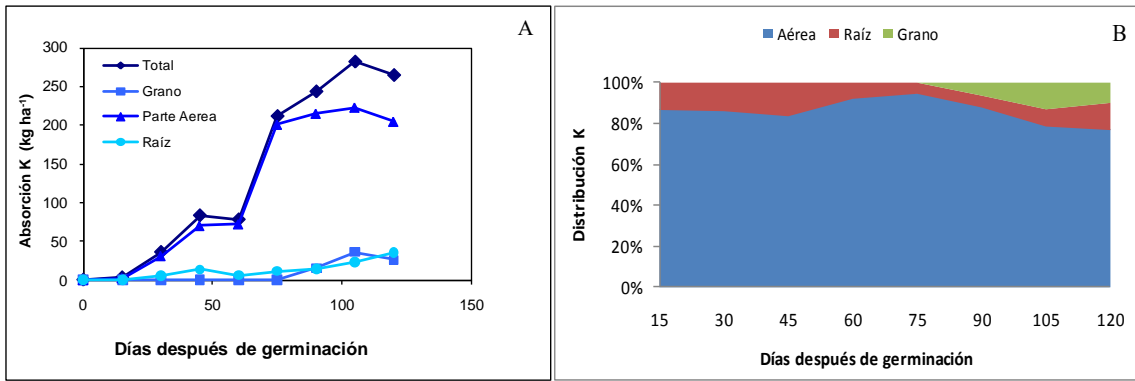


Figura 23. Distribución del K en kg ha⁻¹ (23A) y porcentual (23B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

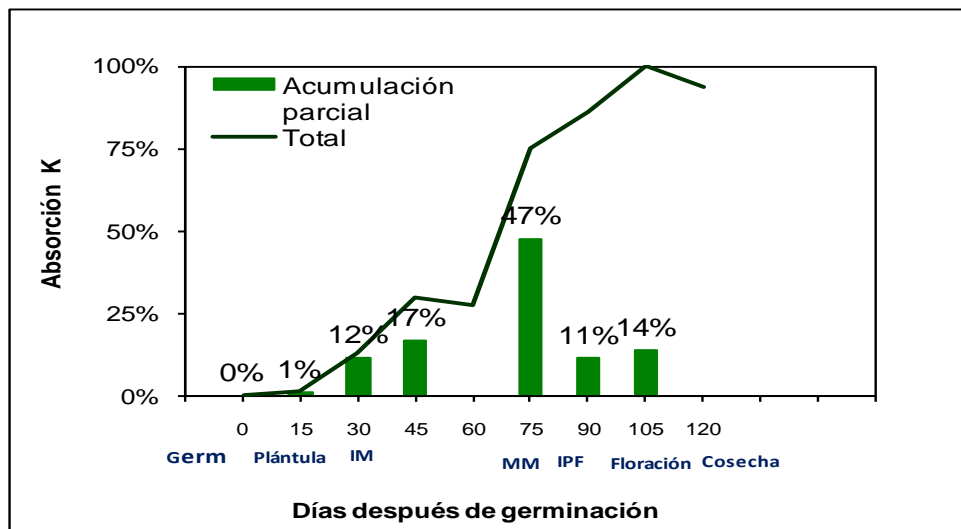


Figura 24. Absorción porcentual parcial y total del K durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

Con respecto a la Figura 24, en donde se presenta los incrementos parciales de absorción de K, se evidencia que las fases de macollamiento (30, 45, 75 ddg) y floración (105 ddg) son claves para la aplicación de este elemento, ya que presentaron las mayores tasas de incremento. A partir del MM (75 ddg), se presentó un 72 % de la absorción total de K por parte de las plantas, por lo cual también se le puede considerar como un nutrimento adecuado para ser aplicado en etapas avanzadas de crecimiento. Sin embargo, no debe

descuidarse en etapas iniciales, ya que, como se observa, entre los 30 y los 45 ddg (I.M) se dio una acumulación del 29 % del total de K. De igual manera a los 75 ddg, en donde la planta finalizó su máxima producción de macollas y se encontraba en el proceso de diferenciación floral fue el momento de mayor absorción.

En las Figuras 25A y 25B, se muestra los incrementos parciales y total del Ca en cada etapa y la distribución porcentual en los diferentes órganos de la planta, a través del ciclo de cultivo. Respecto a su distribución en cada uno de los órganos de la planta (Figura 25B), ocurrió algo que no se había observado en los elementos descritos anteriormente. En este caso, la raíz fue un sumidero importante de este elemento, mientras que lo translocado y acumulado en la panícula durante el llenado y maduración de los granos fue muy bajo (entre 10 y 5%). Perdomo *et al* (1983) afirman que la translocación de este elemento hacia la panícula es en la mayoría de los casos muy bajo.

Del inicio de macolla a floración (30 a 90 ddg) (Figura 25B), se acumuló en la parte aérea entre un 60 y un 70 % del total de Ca. A los 105 ddg (llenado y cuaje de granos) se observó un descenso de aproximadamente 30 %. Al momento de cosecha incrementó para alcanzar un valor aproximado al 40 %. Respecto al comportamiento de este elemento en la raíz en estado de plántula, este órgano contenía un 40 % del total de Ca, posteriormente se presentaron ciertas fluctuaciones, pero se mantuvieron relativamente constantes. A los 105 ddg (etapas de madurez del grano) se dio un incremento hasta un 60 %, y en la cosecha se redujo aproximadamente a un 30 %.

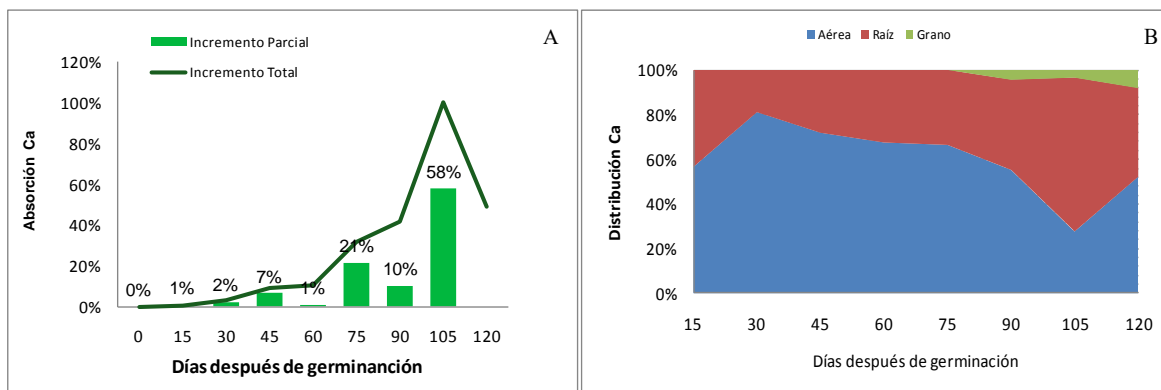


Figura 25. Incrementos relativos (25A) y distribución porcentual del Ca (25B) e en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

Las etapas que presentaron mayor demanda fueron a los 45, 75 y 105 ddg (Figura 25A). Se observó a los 105 ddg una extracción de un 58 % de este elemento, mientras hasta los 60 ddg (a la mitad del ciclo) solo se había consumido un 11 % del Ca total. Lo anterior coincide con lo mencionado por Perdomo *et al* (1983), quien indica que los contenidos de Ca en las hojas y tallos se incrementan después de la floración, debido a la leve translocación que se da hacia la panícula.

En las Figuras 26A y 26B, se observa los incrementos relativos en la absorción (Figura 26A) además de la distribución porcentual del Mg (Figura 26B), en los diferentes órganos de la planta a través del ciclo del cultivo. Este elemento se distribuyó en cantidades similares tanto entre la parte aérea y la raíz de la planta. Hasta el máximo macollamiento (75 ddg) se observó en la parte aérea entre un 40 y un 60 % del total de Mg. Al momento del llenado del grano (105 ddg) se dio un descenso de este elemento en la parte aérea, para llegar a cosecha con valores entre el 20 y el 30 % del total de Mg. Para la raíz al inicio del ciclo de cultivo y hasta máximo macollamiento aproximadamente en un 50 % del total del Mg, posteriormente, se redujo a un 40% al momento de cosecha.

Las cantidades translocadas de este elemento hacia la panícula fue aproximadamente un 20% del total, fueron muy bajas, no obstante, fueron superiores a las observadas para el Ca en el mismo órgano.

Con respecto a las absorciones relativas (Figura 26A), se observó que a los 45 ddg (etapas de pleno macollamiento) había una absorción cercana al 5 %, posteriormente a los 60 ddg descendió y se volvió a observar un incremento a los 75 ddg (etapa de MM), el pico de absorción más alto para este elemento fue a los 105 ddg, donde se absorbió un 66 % del total. Al respecto Perdomo *et al* (1983) afirman que el Mg se comienza a absorber en la etapa de plántula, a una baja tasa hasta la formación del primordio floral, y aumenta rápidamente desde esta etapa hasta la emergencia de la panícula.

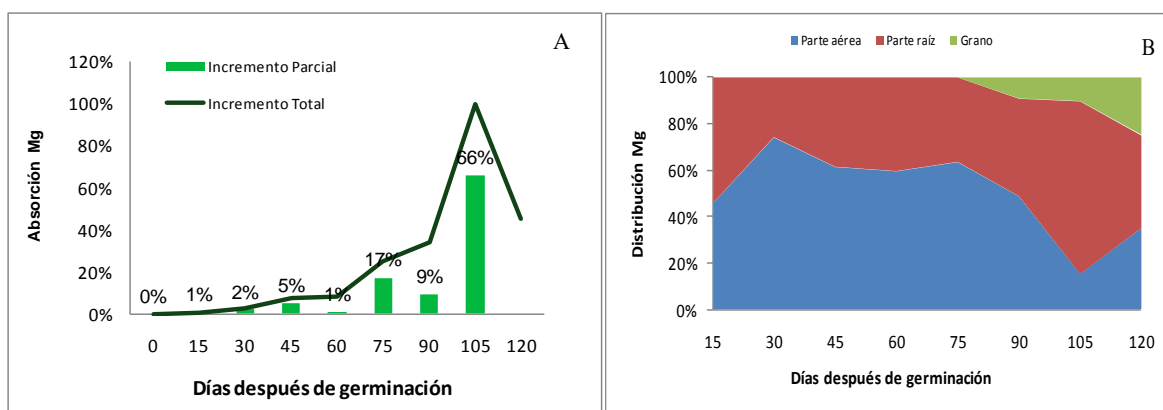


Figura 26. Incrementos relativos (26A) y distribución porcentual del Mg (26B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

Con respecto a la distribución del S (Figura 27A y 27B), en los diferentes órganos de la planta, la parte aérea fue la que presentó los mayores porcentajes de acumulación de este elemento, con valores superiores al 80 % durante etapas iniciales y un leve incremento durante el de MM (75 ddg). Posteriormente en las etapas de madurez (90 y 120 ddg) los valores en la parte aérea disminuyeron en un 40% debido a que hubo translocación de este elemento hacia la panícula y la raíz. El porcentaje de este elemento en la panícula madura fue un poco superior al 20 %. En la raíz este elemento se comportó de manera muy estable, con valores cercanos al 20 % durante las diferentes etapas de desarrollo de las plantas.

Como momentos claves para realizar aplicaciones de S se destacan los 30, 45 y 75. A los 75 ddg (MM) se dio el incremento más alto de este elemento con un 46 %. Este nutrimento cerca de la mitad del ciclo de cultivo presentó valores de absorción bajos,

mientras que a partir de MM se iniciaron procesos reproductivos, por lo que las absorciones fueron más pronunciadas. Perdomo *et al.* (1983) citan al respecto que después de la etapa de iniciación del primordio floral y hasta la madurez se puede absorber más del 75 % del total de S.

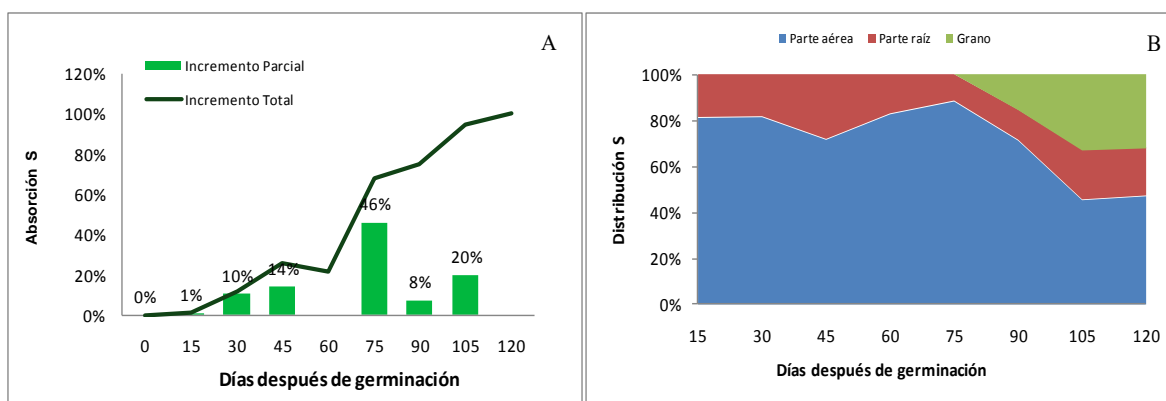


Figura 27. Incrementos relativos (27A) y distribución porcentual del S (27B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad Palmar 18, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

2.2.2. Absorción y distribución de nutrimentos en los diferentes órganos de la planta para la variedad INTA-Miravalles

En la Figura 28A, se presenta la distribución de materia seca a través del ciclo de cultivo en los diferentes órganos de la planta de cv. INTA-Miravalles. El mayor incremento de materia seca inició en la fase de macollamiento (50 ddg), se observó la mayor tasa durante el máximo macollamiento (60 ddg). En la misma figura, se observa una leve disminución de la biomasa acumulada, en este periodo ocurrió la emergencia del primordio floral, con alta demanda energética para los cambios requeridos para la translocación de la etapa vegetal a la reproductiva. En la etapa de madurez (90-105 ddg) se reactivó el crecimiento de la planta, lo que aumentó la materia seca en las diferentes partes de la planta.

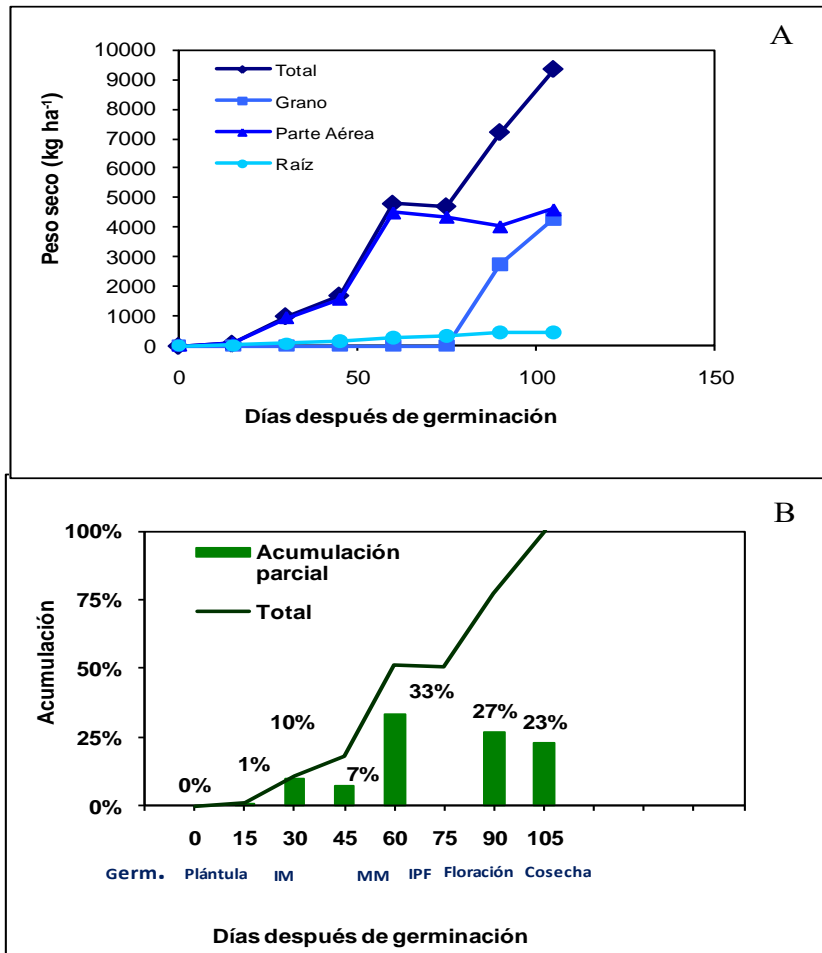


Figura 28. Distribución de la materia seca en kg ha⁻¹ (28A) y acumulación parcial (28B), de materia seca en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

A partir de los 75 ddg en la sección aérea se presentó una tendencia general a perder peso, mientras que, en la panícula se dio una ganancia, esperable por iniciar el proceso reproductivo de maduración del grano. Además la biomasa de la raíz marcó un incremento leve durante las últimas etapas del ciclo, lo cual podría deberse a una reactivación del crecimiento como posible preparación para un nuevo ciclo.

A los 30, 60, 90 y 105 ddg, se presentaron períodos importantes de acumulación de materia seca en las plantas, con valores correspondientes al 10, 33, 27 y 23 %, respectivamente.

respectivamente (Figura 28B). En la etapa de MM (60 ddg) se describía una acumulación del 51 % del total del peso seco. El 49% restante se acumuló en la etapa reproductiva a partir de los 90 ddg (floración, llenado y maduración del grano), así como de un leve incremento en la biomasa de la raíz. Esto último pudo deberse a una reactivación del crecimiento como posible preparación para un nuevo ciclo.

En las Figuras 29A y 29B se observa la distribución en kg ha^{-1} y en porcentaje del N, en los diferentes órganos de la planta. Las concentraciones de este elemento dentro de los tejidos de las plantas fueron crecientes. La parte aérea presentó la mayor cantidad de este elemento, debido a que este es altamente requerido en el desarrollo vegetativo y macollamiento de las plantas. Luego del MM (60 ddg), se presentó una disminución porcentual del N en esta sección y se incrementó en la panícula.

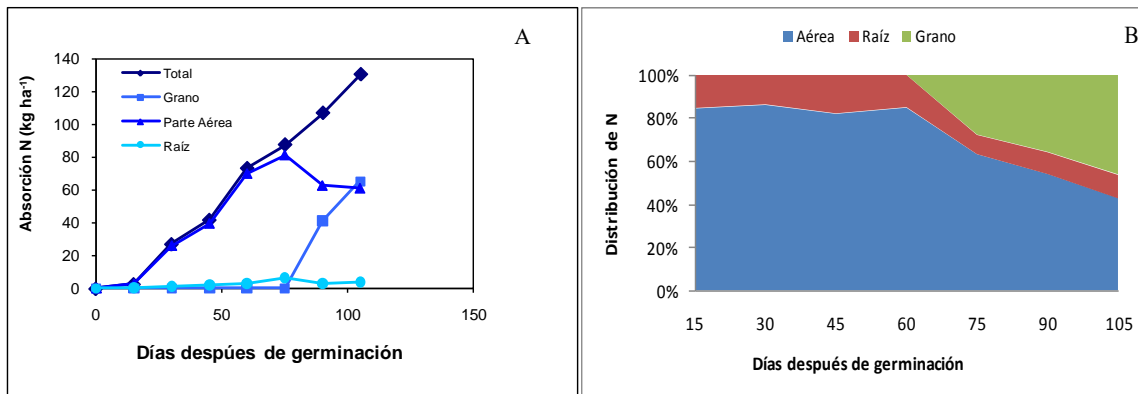


Figura 29. Distribución del N en kg ha^{-1} (29A) y porcentual (29B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

De manera similar, el N en la raíz se acumuló desde el inicio y hasta los 60 ddg (MM) un 20 % del total. Luego de este período disminuyó hasta la cosecha con valores inferiores al 10 %. La panícula, para el momento de cosecha, contenía cerca del 30 % del N total absorbido por la planta.

Con respecto a los incrementos relativos de la absorción de N a través del ciclo del cultivo (Figura 29A), los períodos en donde se experimentaron las mayores demandas fueron a los 30, 60, 90 y 105 ddg, etapas que se podrían considerar claves para las

fertilizaciones nitrogenadas. El periodo que más demandó N fue durante el MM, traslapando con la diferenciación floral (75 ddg).

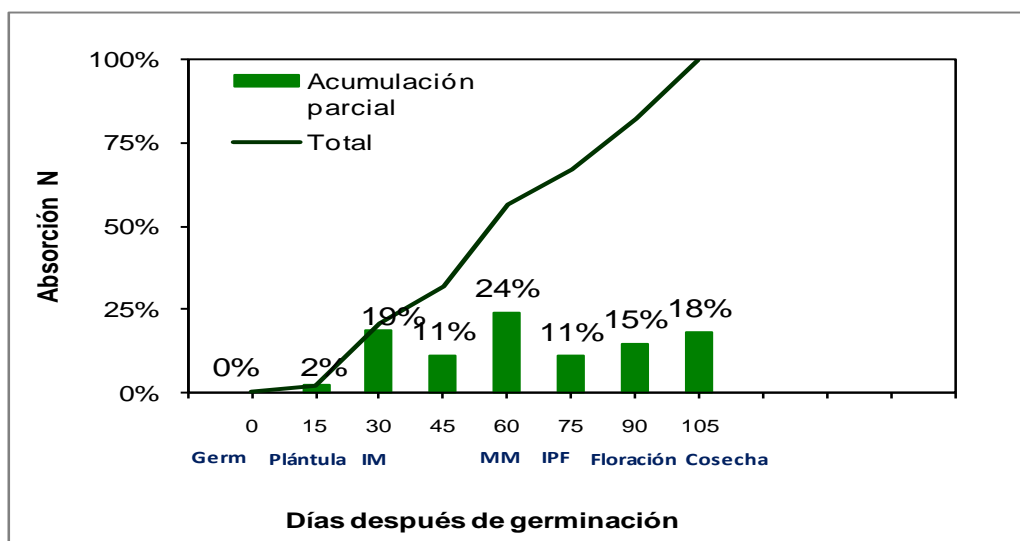


Figura 30. Absorción porcentual parcial y total del N durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

La absorción de P por parte de los diferentes órganos de la planta y su distribución porcentual a través del ciclo, se presentan en las Figuras 31A y 31B. De los macro elementos, este elemento es el que presentó la mayor translocación hacia los granos. La cantidad que permaneció en la paja fue muy baja, debido a que la mayoría fue translocado y aprovechado por la panícula (granos), esto implica una salida del elemento a través de la cosecha. Por lo tanto, en las aplicaciones de fertilizante se debe considerarse el consumo de P por parte de la cosecha y su posible remoción del suelo. En los Anexos 3 y 4, se observa que la concentración de este elemento en el suelo disminuyó una vez finalizado el ciclo del cultivo, con respecto a la concentración inicial.

Durante el macollamiento (15 a 60 ddg), el P se encontraba repartido entre la raíz y la parte aérea (Figuras 31A y 31B), esta última presentó las mayores cantidades, con valores superiores al 80 %. La raíz hasta los 60 ddg (MM) absorbió un 20 % del total de P. Después

de esta etapa los niveles de P, tanto en la raíz como en la parte aérea disminuyeron, ya que como se comentó anteriormente se inicia la translocación hacia las partes reproductivas.

Al momento de la cosecha la parte aérea obtuvo niveles alrededor del 25% del P total absorbido, los granos un 70% y la raíz un 5%. León (1981) explica que el P se acumuló en tallos y raíces antes de que se presentara la iniciación de la panícula, posteriormente se transloca hasta las flores (granos). Indica además, que este órgano puede acumular alrededor de un 75%, y en la paja contenidos de tan solo 15% o menores. Asimismo, Cordero (1993) menciona que la mayor parte del P y del N absorbido por la planta son translocados hacia los granos. Resalta además que esta es una característica relacionada directamente con el comportamiento de la variedad.

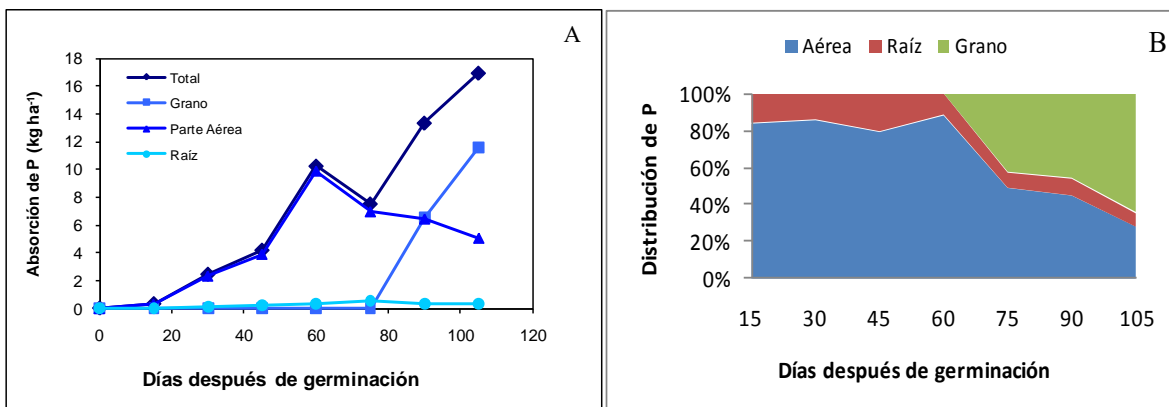


Figura 31. Distribución del P en kg ha⁻¹ (31A) y porcentual (31B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

Con respecto a los incrementos parciales de la absorción del P (Figura 32), se observa que este nutriente fue demandado por la planta desde las etapas vegetativas hasta la maduración de la panícula. Durante la primera etapa del ciclo hasta MM se absorbió casi un 50 % del total, el resto se absorbió desde floración hasta maduración de la panícula. Como momentos claves de absorción fueron a los 30, 60, 90 y 105 ddg.

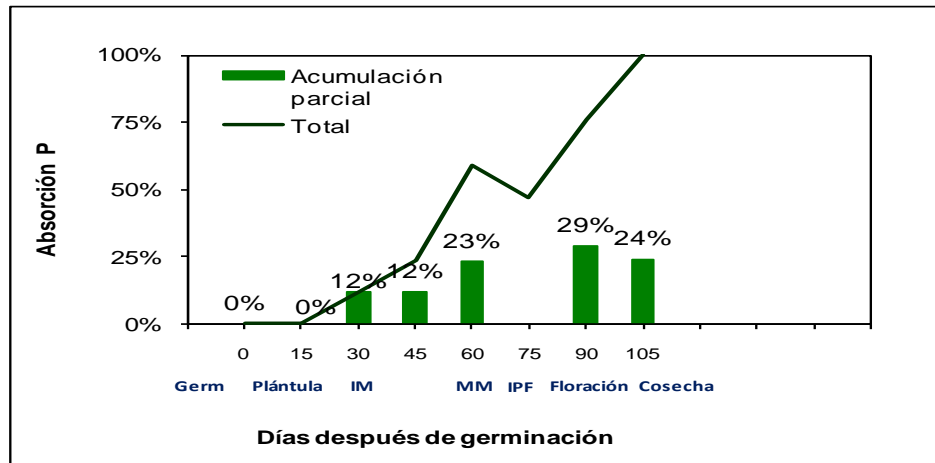


Figura 32. Absorción porcentual parcial y total del P durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En las Figuras 33A y 33B se observa la distribución del K en los diferentes órganos de la planta a lo largo del ciclo de crecimiento. Nuevamente la parte aérea acumuló la mayor cantidad. Se observa que durante el inicio del primordio floral (75 ddg) ocurre una disminución en esta sección.

Entre los 15 y los 60 ddg la parte aérea presentó una concentración aproximada al 80 %, mientras que en la raíz los niveles estaban por debajo del 20 %. Desde la fase de IPF en adelante (después de los 75 ddg), inició la translocación hacia la panícula, por lo que las concentraciones en hojas y raíz disminuyeron levemente. En los granos para la etapa de cosecha (105 ddg) hubo una absorción aproximada al 15 %, mientras que en la paja se conservó entre el 70 y el 80 % del total de K absorbido por las plantas. Lo anterior concuerda con lo reportado por Perdomo *et al.* (1983), quienes indican que menos del 12 % del total del K es acumulado por el grano, quedando alrededor del 90 % en la paja. Adicionalmente, Cordero (1993) menciona que el K, además de otros nutrimentos como el Ca y el Mg, se encuentran en niveles bajos en los granos, mientras que las mayores concentraciones se dan en la paja.

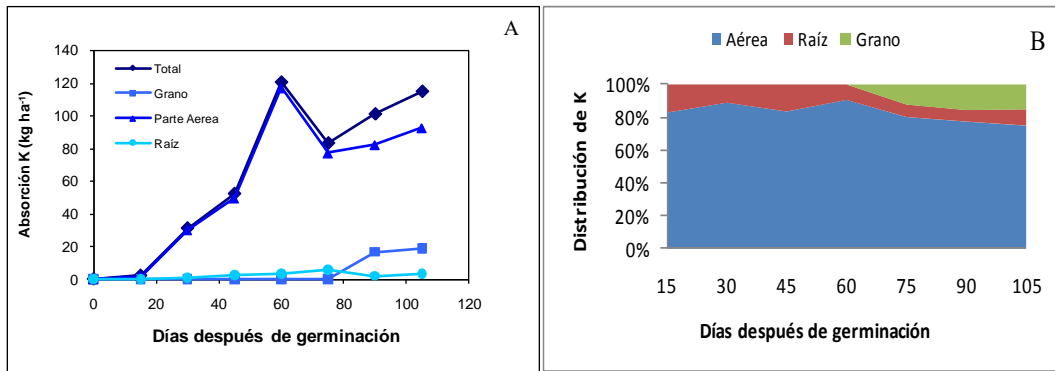


Figura 33. Distribución del K en kg ha⁻¹ (33A) y porcentual (33B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

La mayor acumulación de K (Figura 34) se presentó durante las primeras etapas de crecimiento. Durante el máximo macollamiento (60 ddg) se dio el incremento más alto con un 30 % del total absorbido. Posteriormente, las tasas de incremento disminuyen, presentándose de floración a cosecha una acumulación de tan solo un 26 % del total. Por lo tanto, se podría deducir que esta variedad responde mejor a las aplicaciones tempranas de este nutriente. En relación, Cordero (1993) y Saldías (2004) mencionan que el K generalmente se acumula en las partes vegetativas, en donde es utilizado para la formación de diferentes órganos.

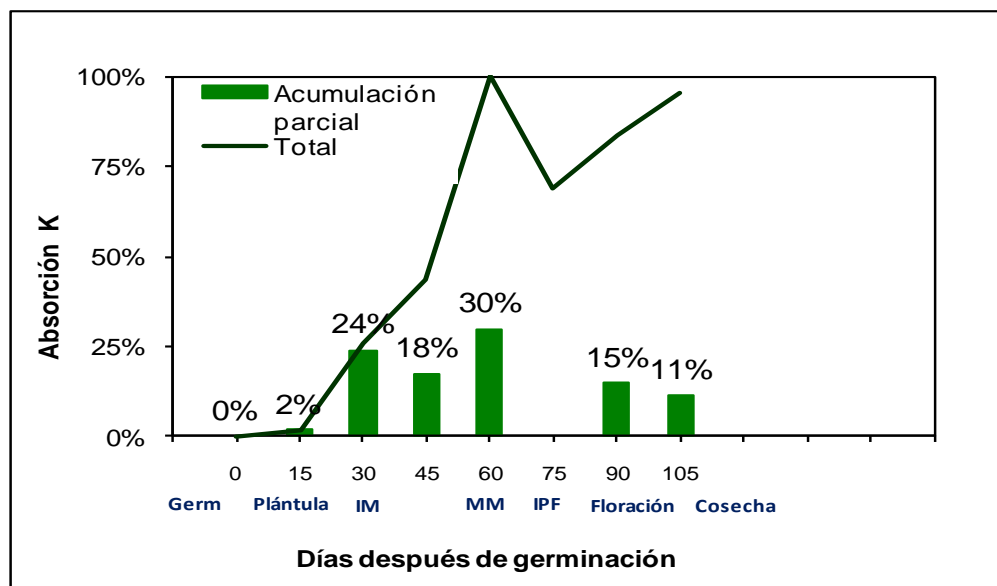


Figura 34. Absorción porcentual parcial y total del K durante el ciclo del cultivo, en plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010. Germ: germinación; IM: Inicio de macollamiento; M: macollamiento; MM: Máximo macollamiento; IPF: Inicio del primordio floral; Floración, Cosecha.

En las Figuras 35A y 35B, se presenta la absorción relativa de Ca y la distribución de este elemento en los diferentes órganos de las plantas a través del ciclo del cultivo. La sección de la planta que absorbió la mayor cantidad de este elemento fue la parte aérea (tallos y hojas). Esta sección, al inicio del ciclo de cultivo, contiene aproximadamente el 70% del Ca total. A partir de la floración y hasta cosecha presentó valores entre el 40 y el 50 %. Saldías (2004) menciona que el Ca generalmente se ubica en mayores concentraciones en los órganos vegetativos, debido a su papel estructural, ya que, constituye los pectatos de Ca, por lo tanto es de gran importancia en toda la estructura de la parte aérea.

La raíz es un órgano que también mantiene concentraciones altas de este nutrimento, oscilando entre los 30 y 40% durante el ciclo del cultivo. La panícula absorbió alrededor del 15 % del Ca total. De acuerdo a lo mencionado por Saldías (2004), el Ca se transloca en cantidades muy bajas hacia otros órganos debido a que es un elemento poco móvil y difícil de translocar.

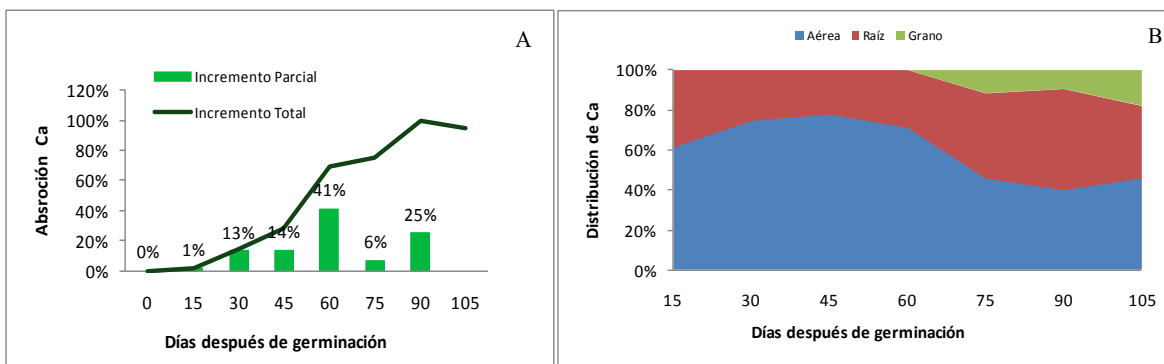


Figura 35. Incrementos relativos (35A) y distribución porcentual del Ca (35B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

El Ca fue absorbido en su mayoría durante las primeras etapas del cultivo. Hasta la etapa de MM (60 ddg) se dio una acumulación del 69 %. Posteriormente a este momento (durante la etapa reproductiva) se absorbió el resto. El momento más demandante de Ca se observó a los 60 ddg, cuando este material alcanzó su máximo macollamiento, así como durante el cuaje y llenado de los granos (90 ddg).

El contenido porcentual del Mg se presenta en la Figura 36A, en ella se observa que hasta el MM (60 ddg) la parte aérea obtuvo valores porcentuales que oscilan entre los 55 y 65 % del total de Mg contenido en la planta, siendo el principal sumidero. Con el inicio de la etapa reproductivo disminuyó y para el momento de cosecha presenta un 35 %.

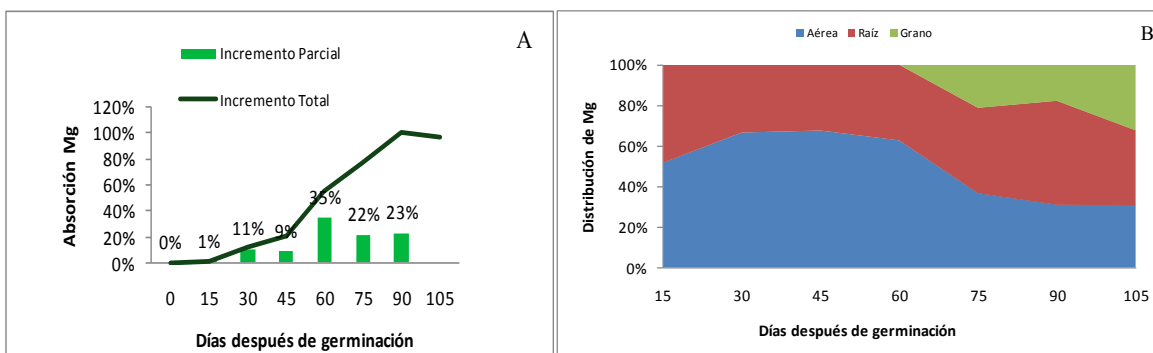


Figura 36 Incrementos relativos (36A) y distribución porcentual del Mg (36B) en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita, 2010.

La raíz por su parte mostró concentraciones altas de Mg. Al inicio del ciclo presentó con un 40 %, posteriormente estas concentraciones se redujeron levemente y llegó a la cosecha con concentraciones cercanas al 20 % del total de Mg absorbido. A diferencia del Ca, el Mg fue mayormente translocado hacia los granos presentándose para la fecha de cosecha una concentración en el grano superior al 20 % del total utilizado por la planta.

Se observó que los momentos de mayor absorción de este elemento fueron a los 30, 60, 75 y 90 ddg. A diferencia de elementos descritos anteriormente, en donde a los 75 ddg (floración) no se presentaron absorciones importantes, en este caso si ocurrió. Esta absorción se relaciona con la translocación de este elemento hacia las estructuras florales ya que es muy móvil dentro de la planta. Así, Parsons (2008) menciona que el Mg interviene en la asimilación de otros nutrimentos en los diferentes tejidos de las plantas, además como en procesos relacionados con la fotosíntesis ya que forma parte de la molécula de clorofila (Saldías 2004).

Respecto a los incrementos en la absorción de S y el contenido en los diferentes órganos (Figuras 37A y 37B), se observó que nuevamente las hojas y tallos fueron los órganos que almacenan mayor porcentaje del elemento. Así, al inicio del ciclo presenta valores cercanos al 80%, los que se mantienen hasta el máximo macollamiento. A partir de este momento se presentó un decaimiento debido a la translocación hacia los sumideros alcanzando valores aproximados al 40 % en la etapa de cosecha.

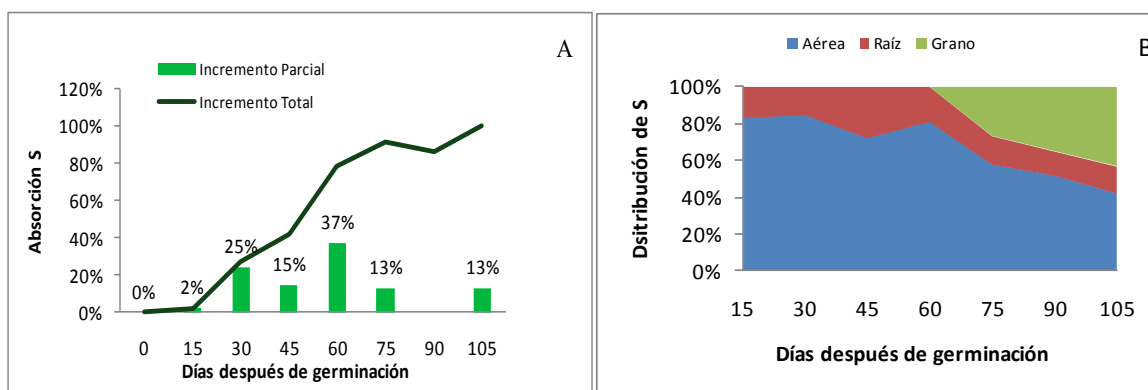


Figura 37. Incrementos relativos (37A) y distribución porcentual del S (37B) e en los diferentes órganos de las plantas de arroz de la variedad INTA-Miravalles, en cultivo de secano. Parrita 2010.

Un efecto similar al descrito se observó con los contenidos porcentuales en la raíz. Del inicio hasta los 60 ddg (MM) se presentaron valores fluctuaron en un 20 %, posteriormente las concentraciones decayeron debido a la aparición de los órganos reproductivos, en los que se presentaron valores cercanos al 10 % del total de S absorbido al momento de cosecha.

Por su lado, la panícula absorbió aproximadamente un 30 % del total de S contenido en la planta. Respecto al comportamiento observado de este nutrimento, Saldías (2004) indica en que este elemento al igual que el Mg, es muy importante al principio del ciclo para la formación de órganos aéreos y posteriormente necesarios durante la etapa reproductiva para procesos de translocaciones parciales. Así mismo indica que el S participa junto al N, en procesos vegetativos y posteriormente en el llenado y engrosamiento de órganos reproductivos.

La mayor absorción de este elemento ocurre durante el macollamiento (30, 60, 75 ddg), la floración y el llenado del grano (75 y 105 ddg respectivamente), con lo que indica su importancia durante todo el ciclo del cultivo.

3. Comparación de las curvas de absorción de N, P y K, para ambas variedades durante su ciclo de desarrollo.

Costa Rica cuenta con más de 15 variedades de arroz utilizadas por los productores en las diferentes zonas arroceras del país (CONARROZ 2011). Estas variedades se pueden describir por sus variables morfológicas, agronómicas y fenológicas, entre otras (IRRI 2007). Esta última variable es importante para la programación de las fertilizaciones, ya que además de ayudar a definir la duración a cosecha de una variedad determinada, la descripción de la fenología facilita observar los periodos de crecimiento y cambios en las plantas que las hacen más demandantes de fertilizantes (Salguera 2006).

Cuando se conoce la fenología de un cultivar y el patrón de absorción de nutrimentos, es más sencillo programar las fertilizaciones de manera que sean más eficientes para el cultivo. Sin embargo, cuando se siembra una variedad bajo condiciones ambientales que modifican la duración a cosecha es más difícil coincidir con los momentos ideales para la aplicación de un determinado elemento (Bertsch 2011⁴).

De acuerdo con Bertsch (2011), una manera de observar la tendencia o patrón de absorción (curva gráfica) de un elemento determinado y poder hacer una comparación de este comportamiento entre dos variedades con una duración a cosecha distinta, es pasar la duración (ddg) a un porcentaje total de crecimiento. El 100 % del crecimiento fue cuando la planta finalizó el ciclo de cultivo (hasta el período de cosecha). De esta manera se podría determinar si cada elemento se requiere desde el inicio hasta el final del ciclo, o sufre aumentos fuertes en la absorción durante ciertas etapas de cultivo (la curva de absorción es más larga o es más corta y pronunciada).

En la Figura 38 se compara la curva de absorción de N, tanto para la variedad Palmar 18 como para la INTA-Miravalles. Ambas variedades independientemente de los días a cosecha, requieren del N durante todo el ciclo (desde el inicio hasta el final), es decir que al 100% del crecimiento se completa el 100 % de la absorción. Al 50 % del desarrollo de la

⁴ BERTSCH, F. 2011. Coordinadora, Laboratorio Suelos y Foliare. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA-UCR). Comunicación Personal.

variedad Palmar 18 presentó una caída en la absorción posiblemente por enfermedades y pérdida del follaje, ya que esta absorción debería ser creciente. Se observa que entre el 50 y el 75 % de desarrollo de esta variedad, la planta pasa de absorber un 20 % de este elemento a absorber el 80 % del total.

En cuanto a la absorción de INTA-Miravalles (Figura 38) se dieron incrementos más continuos en la absorción. Al 50 % del crecimiento se absorbió aproximadamente un 40 % del N total, y al 75 % del crecimiento de las plantas absorbió aproximadamente un 80 % del N total. Completando el 100 % de la absorción al final del ciclo.

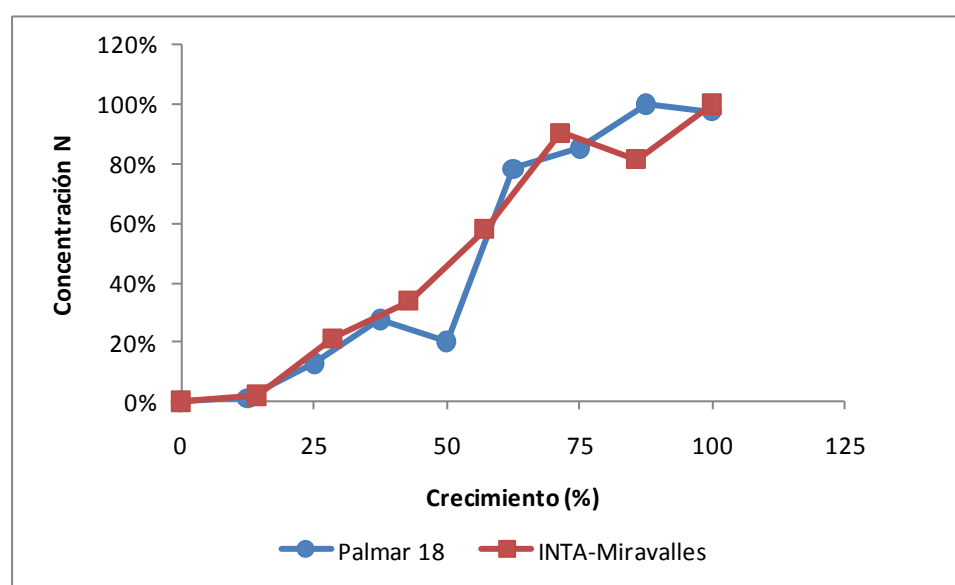


Figura 38. Comparación de la absorción de N para la variedad Palmar 18 e INTA-Miravalles, durante el ciclo de crecimiento. Parrita, 2010.

En la Figura 39 se presenta la comparación entre el patrón de las curvas de absorción de P para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles durante su desarrollo. Para Palmar 18 el 100 % del P se absorbió aproximadamente cuando la planta alcanzó el 80 % de su desarrollo, dejó de absorber este nutriente previo a la culminación de su ciclo; mientras que INTA-Miravalles absorbió el 100 % del P hasta el final del ciclo.

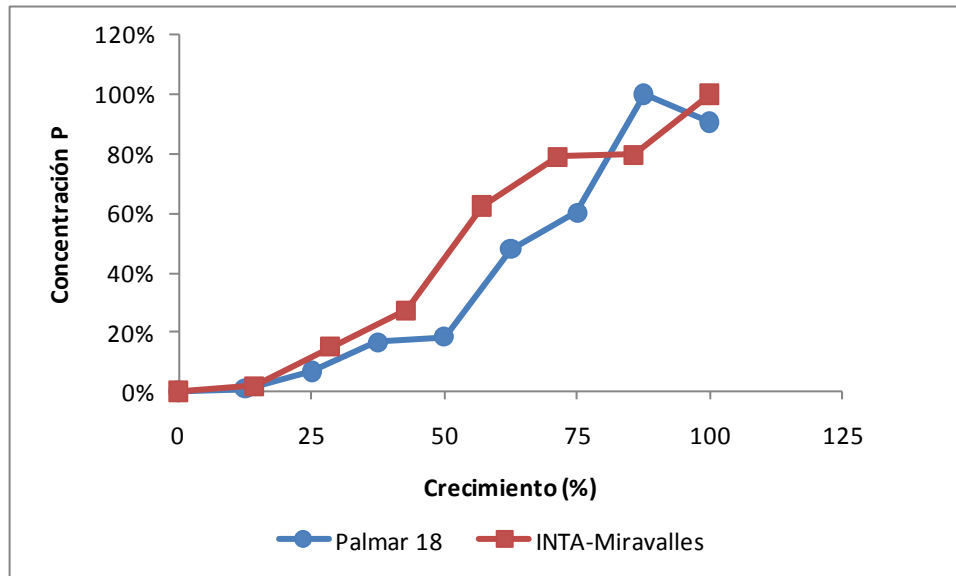


Figura 39. Comparación de la absorción de P para la variedad Palmar 18 e INTA-Miravalles, durante el ciclo de crecimiento. Parrita, 2010.

Para la variedad Palmar 18, cuando la planta alcanzó el 75 % de su desarrollo acumuló aproximadamente un 60 % del total de P, mientras que cuando INTA-Miravalles llegó al 75 % de su ciclo de desarrollo había absorbido un 80 % del total de P. De lo anterior se puede decir que la primera presentó un ritmo de absorción de P más lento (durante su desarrollo) en comparación con INTA-Miravalles. Sin embargo, este comportamiento se presentó durante las etapas tempranas de crecimiento, ya que, se observó que la variedad Palmar 18 entre el 75 y el 80 % de crecimiento, absorbió cerca de un 40 % del total de P. Por otro lado, la variedad INTA-Miravalles entre el 75 y el 80 % de desarrollo no presentó incrementos en la absorción, y entre el 80 y el 100 % del ciclo absorbió tan solo 20 % del total del P.

Con las diferencias que se encontraron anteriormente se podría decir que la variedad INTA-Miravalles, puede responder de mejor manera a aplicaciones tempranas de P, ya que de manera tardía la absorción es muy baja. Mientras que la variedad Palmar 18, respondió más lentamente a la absorción de P en etapas tempranas mientras que después que ha completado más de la mitad de su ciclo de crecimiento respondió mejor a la absorción de este elemento.

En cuanto a la comparación del patrón de absorción de K entre Palmar 18 e INTA-Miravalles (Figura 40), se observó que la variedad INTA-Miravalles absorbió mayor cantidad de este elemento desde etapas tempranas hasta aproximadamente al 60 % del desarrollo etapas en las que se absorbió el 100 % del K total. Por su parte Palmar 18 presentó mejor respuesta durante ciclos más avanzados de crecimiento, alcanzando el 100 % de absorción de este elemento entre el 80 y el 90 % del desarrollo.

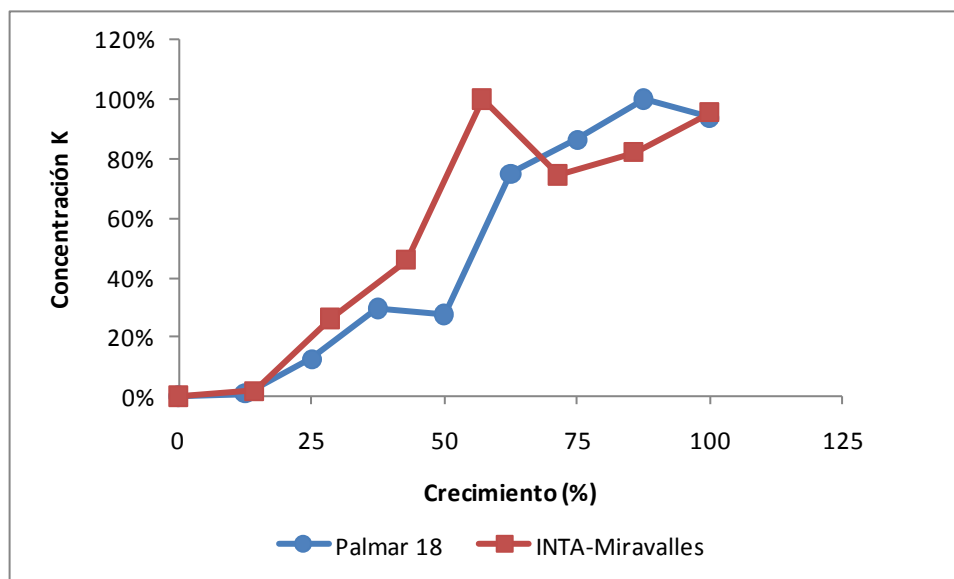


Figura 40. Comparación de la absorción de K para la variedad Palmar 18 e INTA-Miravalles, durante el ciclo de crecimiento. Parrita, 2010.

INTA-Miravalles a la mitad del desarrollo de las plantas absorbió un 80% del K total. Por otro lado Palmar 18, cuando alcanzó el 50 % del desarrollo había absorbido tan solo cerca de un 30 % del total de K y entre el 50 y el 75% de desarrollo absorbió el 50% del total de este elemento.

Es importante considerar lo anterior al momento de la planificación de la fertilización, debido a que para materiales que presenten un comportamiento similar al de INTA-Miravalles, las aplicaciones de K deberían realizarse casi en su totalidad durante la fase vegetativa (primeras fases), ya que si estas se realizan después es posible que no se satisfagan a tiempo las necesidades del cultivo y se presenten síntomas de deficiencia y hasta disminuciones en el rendimiento, o simplemente resultar inútiles para el crecimiento

de las plantas. A se vez, si se trabaja con materiales que presentan curvas de absorción similares a las de Palmar 18, permiten realizar las aplicaciones de este elemento de manera más tardía disminuyendo la posibilidad de pérdidas por fijación o lixiviación en momentos en donde las plantas no lo requieren, si se aplican las mayores cantidades de este elemento después de que la planta a completado el 50% de su desarrollo podría ser aprovechado de mejor manera.

4. Propuesta de fertilización

A continuación se presenta una propuesta de fertilización para cada una de las variedades de arroz estudiadas. Este plan está diseñado para maximizar el potencial genético de cada variedad en estudio. Se consideraron los resultados de crecimiento para observar los momentos de mayor efectividad para las fertilizaciones, además de las etapas de mayor absorción, para cada una de las variedades. Las aplicaciones se programaron para ser realizadas previo a estos acontecimientos para garantizar que el fertilizante se encuentre disponible durante las etapas de mayor consumo.

Este programa está diseñado en porcentaje de nutrimento a aplicar en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, no se sugieren fuentes de fertilizantes específicas y aporte del suelo para adaptado a cada una de las necesidades específicas.

En el Cuadro 7, se presenta la recomendación para la variedad Palmar 18, se recomienda fraccionar en 6 fechas de aplicación a los 0, 15, 30, 45, 60 y 75 ddg. Sin embargo no todos los elementos se aplican durante todas las fechas. Se realizó una estimación con respecto a las curvas, de las necesidades de Ca y Mg, sin embargo estos dos nutrimentos solo deben ser aplicados o considerados en el plan de fertilización en caso de que se cuente con un suelo de baja fertilidad o con problemas importantes de acidez, que no es el caso en el que se desarrollo esta investigación.

Cuadro 7. Esquema sugerido para la fertilización de la variedad Palmar 18, en condiciones de secano.

Nutriente		Siembra	Plántula	IM	M (intermedio)	M (avanzado)	MM	Total (%)
		0 ddg	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	
K ₂ O	%	13	-----	-----	27	35	25	100
N	%	10	17	-----	25	30	18	100
MgO	%	-----	-----	26	-----	45	29	100
CaO	%	-----	-----	32	-----	53	15	100
P ₂ O ₅	%	25	-----	-----	35	-----	40	100
SO ₄	%	-----	30	-----	41	-----	29	100

Para la variedad INTA-Miravalles, se fraccionaron las aplicaciones igualmente en 6 momentos, además igual a como se hizo para Palmar 18 se expresan en porcentaje de nutrimento por etapa fenológica del cultivo (Cuadro 8). Nuevamente se calcularon aplicaciones de Ca y Mg pero como se mencionó anteriormente estos nutrimentos solo deberán ser consideradas en caso de que se cuente con un suelo arrocero de baja fertilidad y concentraciones de estos nutrimentos.

Cuadro 8. Esquema sugerido para la fertilización de la variedad INTA-Miravalles, en condiciones de secano.

Nutriente		Siembra	Plántula	IM	M	MM	IPF	Total (%)
		0 ddg	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	
N	%	21	-----	35	-----	26	18	100
K ₂ O	%	26	-----	18	30	-----	26	100
MgO	%	-----	25	-----	52	-----	23	100
CaO	%	-----	32	-----	48	-----	20	100
P ₂ O ₅	%	12	-----	35	-----	29	24	100
SO ₄	%	42	-----	13	-----	-----	45	100

CONCLUSIONES

- Con respecto a la duración del ciclo de cultivo de cada uno de los materiales, INTA-Miravalles mostró ser precoz, llegó a cosecha con 105 ddg mientras que Palmar 18, llegó a cosecha a los 120 ddg.
- Para el cv. Palmar la etapa de MM se presentó a los 75 ddg fecha en la que se dio la etapa de MM, posteriormente se inició la etapa de producción y madurez. Aproximadamente a los 90 ddg, se presentó la etapa de IPF, la floración se observó a los 105 ddg.
- Para INTA-Miravalles la etapa de MM se presentó a los 60 ddg, posteriormente se alcanzó la etapa reproductiva y de madurez. El IPF se da aproximadamente a los 75 ddg, la floración se presentó a los 90 ddg.
- Palmar 18, presentó un ICR más alto en comparación con la variedad INTA-Miravalles, durante las primeras etapas vegetativas de crecimiento, se encontraron diferencias significativas entre ambas variedades, por lo cual la variedad Palmar 18, presenta mejores oportunidades de competencia durante las etapas críticas de establecimiento.
- El ICRF, presentó valores máximos durante las etapas cercanas al MM. Para ambas variedades los valores de ICRF disminuyeron cerca de la etapa de cosecha, de manera más marcada en la variedad Palmar 18.
- Para la variedad Palmar 18 los momentos de IM (30 ddg) y MM (75 ddg) son importantes a considerar, debido a que son momentos en los que se presentaron altos valores de IAN; las plantas podrían responder de manera positiva a fertilizaciones. De manera similar con la variedad INTA Miravalles coincidiendo con estas mismas etapas de crecimiento.

- La variedad Palmar 18 presentó valores más altos de IAF respecto a la INTA-Miravalles. Durante las etapas reproductivas para ambas variedades (60 ddg en adelante), se presentaron los valores más altos de este índice.
- Con respecto a los índices RPR y RRPA, se observó que al inicio de la etapa vegetativa (0-30 ddg), la planta, en ambas variedades, invierte en la producción y establecimiento del sistema radicular, posteriormente el sumidero principal pasa a ser la parte aérea. Al final del ciclo se notó un incremento en los valores de estos índices, principalmente por la renovación del sistema radicular, previo al inicio de un nuevo ciclo de crecimiento.
- La variedad Palmar 18 presentó un rendimiento de 5 t ha⁻¹, mientras que INTA-Miravalles obtuvo un rendimiento de 3 t ha⁻¹, de arroz en granza seco y limpio.
- La extracción de nutrimentos, en orden decreciente, para la variedad Palmar 18 fue: K>N>Mg>Ca>P>S>Fe>Mn>Zn>B>Cu. Mientras que, para INTA-Miravalles de: N>K>Mg>Ca>P>S>Fe>Mn>Zn>Cu>B.
- Los momentos de mayor absorción de nutrimentos, para la variedad Palmar 18, ocurrieron entre las etapas de MM y reproductiva (75 a 105 ddg), siendo esta última la principal. Para INTA-Miravalles, las mayores tasas de absorción se presentaron a partir de los 60 ddg y hasta los 105 ddg (etapas de MM, floración y madurez del grano).
- En ambas variedades, la sección de planta que acumuló la mayor cantidad de biomasa fue la parte aérea (incluye tallos y hojas). Legó a incrementos máximos una vez que alcanzó la etapa de MM.
- Entre los elementos que son translocados en mayor medida hacia los granos fueron: P, N, S y Mg.

- Para ambas variedades, la mayor cantidad de N se absorbió después de alcanzado el 50 % de crecimiento, con una dinámica de absorción muy similar.
- Con respecto al P, la variedad Palmar 18, absorbió durante la primera mitad del ciclo de cultivo menos de un 20%, mientras que en las etapas reproductivas se absorbe el 80 % del P restante. INTA-Miravalles presentó una absorción más constante y cuando la planta alcanzó el 50 % de crecimiento había absorbido cerca de un 60 % del P total.
- La dinámica de absorción del K presentó diferencias entre ambas variedades. La variedad Palmar 18, cuando completó la mitad del ciclo del cultivo, apenas había absorbido cerca de un 30 % del K total. Mientras que la variedad INTA-Miravalles cuando completó la mitad del ciclo de cultivo había absorbido cerca del 80 % del K total.

}

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARREGOCÉS, O. 1986. Componentes del rendimiento en arroz. Guía de estudio. Contenido Científico: International Rice Research Institute. CIAT, Cali, Colombia. 19 p.
- ARREGOCÉS, O. LEÓN, L.A. 1982. Fertilización nitrogenada del arroz; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. CIAT, Cali, Colombia. 40 p.
- ARTHANARI, M. RAMASAMY, S. AMANULLAH, M. 2007. Nutrient uptake as influenced by post panicle initiation nutrient management in rice plant organs. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 3: 621-624.
- AZOFEIFA, A. 2000. Análisis de crecimiento y de la absorción de nutrimentos en dos tipos de chile (*Capsicum annum* L.) en Alajuela. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. U.C.R. San José, Costa Rica 123 p.
- BARBOSA, M.P. 1987. Nutrição e adubação do arroz (Sequiere e Irrigado). Boletín Técnico 9. Associação Brasileira para Pesquisa da Pottasa e do Fosfato. Piracicaba-S.P, Brasil. 120 p.
- BARCELO, J; NICOLAS, G; SABATER, B; SÁNCHEZ, R. 1983. Fisiología Vegetal. 2ed. Editorial Pirámide, Madrid, España. 813 p.
- BENAVIDES, H; SEGURA, O. 2005. El entorno internacional del sector arrocero Centroamericano. IICA. Unidad de Políticas y Negociaciones Comerciales: Federación Centroamericana del Arroz. San José, Costa Rica. 90 p.
- BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.

- BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 307 p.
- BERTSCH, F. 2005. Estudios de absorción de nutrimentos como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas. N° 57. San José, Costa Rica. 10 p.
- BORREGO, F.; FERNÁNDEZ, J.M.; LÓPEZ, A.; PARGA, V.M.; MURILLO, M.; CARVAJAL, A. 2000. Análisis de crecimiento de siete variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.). Agronomía Mesoamericana 11: 145-149.
- CORDERO, A. 1993. Fertilización y nutrición mineral del arroz. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 100 p.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2009. Pizarra Arroceras. Revista Actualidad Arroceras N° 01. San José, Costa Rica. 20 p.
- CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL (CONARROZ). 2011. Estadísticas período 2009/2010. Consultado el 12 de Febrero 2011 (online) disponible en: http://www.conarroz.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78:estadisticas-ano-arrocero&catid=53:informacion-y-estadisticas-columna-derecha.
- CORTÉS, G. ed. 1994. Atlas agropecuario de Costa Rica. EUNED, San José, Costa Rica. p 87-108.
- DOBERMANN, A. FAIRHURST, T. 2000. Arroz: Desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes. Colección de manuales de campo. Potash and Phosphate Institute (PPI), International Rice Research Institute (IRRI). 132 p.

- FALLAS, R.; BERTSH, F.; MIRANDA, E.; HENRIQUEZ, C. 2010. Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos de frutos de mango, cultivares Tommy Atkins y Keith. *Agronomía Costarricense* 34: 1-15.
- FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2002. World Agriculture: Towards 2015/2030 Summary Report.
- FAROOQ, M. ABDUL,W. DONG-JIN, L. OSAMU, I. KADAMBOT, H.M. 2009. Advances in drought resistance of rice. *Critical Reviews in Plant Science* 28:199–217.
- HUNT, R. 1981. Plant growth analysis. By Edward Arnold (Publishers) ltd. The institute of biology's. *Studies in biology* N° 96. London, England. 67 p.
- HUNT, R. CAUSTON, D.R. SHIPLEY, B. ASKEW, A.P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90:485-488.
- INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 2005. Producción de arroz para autoconsumo con bajos insumos y mínima labranza. *Boletín informativo*. San José, Costa Rica. 2 p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). 2007. Descriptors for wild and cultivated Rice (*Oryza sativa*). *Biodiversity International*. 72 p.
- JIANG, N. DI Yu, T. ZHAO, G. XUKe, Z. WUZHI, H. ZHANG, Z. LING, F. 2010. Biomasses in different organs of rice cultivars developed during recent forty-seven years in Jilin province, China. *China National Rice Research Institute. Science Direct* 17: 206-212.
- KWON, S. SMITH. R. TALBERT. R. 1992. Comparative growth and development of red rice (*Oryza sativa*) in rice. *Weed Science* 40:57-62.

- LEÓN, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. IICA, San José, Costa Rica. 432 p.
- LEÓN, L.A. 1981. Fertilización fosfórica del arroz; guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. CIAT, Cali, Colombia. 40 p.
- MELÉNDEZ, G; MOLINA, E. eds. 2003. Fertilizantes: Características y manejo. CIA/UCR (Centro de Investigación Agronómica/ Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 132 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Boletín Técnico número 74. pp 231-259.
- MUÑIZ, O. 2008. Los microelementos en la agricultura. Editora Agrinfor, La Habana, Cuba. 132 p.
- OFICINA NACIONAL DE SEMILLA (INTA/ONS). 2008. Características de las variedades de arroz más utilizadas en Costa Rica. Registro de Variedades Comerciales (R.V.C). Material Mimeografiado. 1 p.
- ORTIZ, D. LÓPEZ, L. LIZASO, J. 1999. Desarrollo y caracterización morfológica de ecotipos de arroz rojo y variedades de arroz en Venezuela. Agronomía Tropical 49:51-67.
- PARSONS, D.B. 2008. Manuales para educación agropecuaria arroz: Producción Vegetal; 11. 2ª ed. SEP Trillas, México, D.F. 71 p.
- PERDOMO, M.A. GONZALEZ, J. CADAVID, D.G. GARCIA, E. 1983. Los macronutrientes en la nutrición de la planta de arroz; guía de estudio. Editora, Arregocés, CIAT, Cali, Colombia. 36 p.

- RAMÍREZ, R. 1992. Curvas de absorción y de crecimiento en dos aráceas comestibles (*Xanthosoma sagittifolium* y *X. violaceum*). Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. U.C.R. San José, Costa Rica. 88 p.
- RIMACHE, M. 2008. Colección de cereales: cultivo del arroz. Editora Macro E.I.R.L. Lima, Perú. 112 p.
- SALDÍAS, M. 2004. Curva de absorción de nutrimentos en papa, *Solanum tuberosum* cv. MNF80. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. U.C.R. San José, Costa Rica. 67 p.
- SALGUERA, M. 2006. Efecto del nitrógeno sobre las curvas de absorción y crecimiento de tres cultivares de berenjena (*Solanum melongena* L), en un Entisol de Liberia. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. U.C.R. San José, Costa Rica. 162 p.
- SARMENTO, T. 2005. Caracterização do consumo de arroz no Brasil. Tesis presentada para optar por el grado de Maestría en Agronegocios con énfasis en Comercialización, Mercados y Productos Agrícolas. Rio Grande Do Sul, Brasil. 20 p.
- SHIBLES, R. 1987. Crop Physiology. Iowa State University, Iowa, USA. 214 p.
- SOLÓRZANO, P. 2003. Crecimiento y nutrición del arroz (*Oryza sativa* L.) en Venezuela. Instituto de la Potasa y el Fosforo, INPOFOS A.S. Caracas, Venezuela. Informaciones Agronómicas N° 51: 1-5.
- SONE, C. SAITO, K. FUTAKUSHI, K. 2009. Comparison of three methods for estimating leaf area index of upland rice cultivars. Crop Science. 49:1438–1443
- TAIZ, L. ZEIGER, E. 1991. Plant Physiology. Benjamin Cummings Publishing. California, USA. 585 p.

- TINOCO, R. 2009. Aspectos generales para el manejo de la variedad Palmar 18. San José, Costa Rica. Material mimeografiado.
- VARGAS, M. 2002. Fertilización con cuatro niveles de nitrógeno, fósforo , potasio y curvas de absorción de la variedad Fedearroz 50, en condiciones de secano favorecido. Departamento Técnico y de Control. Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ). San José, Costa Rica. 36 p.
- VILLALOBOS, E. KILLORN, R. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales: procesos fisiológicos básicos. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 228 p.
- XING, Y. H. WANG, R. SUNWAN, J. WANG, C. XBAO, H. J. GONG, L.; WANG, X. Z. 2009. Effect of balanced fertilization on rice nutrient uptake, yield, and profit. *Better Crops* 93:4-5.
- YIN, X. SCHAPENDONK, A. KROPFF, M. VAN OIJEN, M. BINDRABAN, P. 2000. A generic equation for Nitrogen-limited leaf area index and its application in crop growth models for predicting leaf senescence. *Annals of Botany* 85: 579-585.
- ZHANG, Q.C; WANG, G.H. 2005. Studies on nutrient uptake of rice and characteristics of soil microorganisms in a long-term fertilization experiments for irrigated rice. *Journal of Zhejiang University. SCIENCE* 6B:147-154

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis textural del suelo, realizado en el lote experimental en la finca “La 45” Parrita, Puntarenas.

ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELOS				
ID USUARIO	(%)			Clase
	ARENA	LIMO	ARCILLA	Textural
FINCA LA 45	25	35	40	ARCILLOSO

Anexo 2. Resultados del análisis químico de suelo previo a la siembra, realizado al lote experimental en la finca “La 45” Parrita, Puntarenas. Cultivo de arroz de secano.

	pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
	H₂O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
NC	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
Suelo arrocero	5,8	0,24	11,65	6,65	0,33	18,87	1	8	2,5	6	148	30

Anexo 3. Resultados del análisis químico de suelo después de cosecha, realizado en el lote experimental en la finca “La 45” Parrita, Puntarenas. Cultivo de arroz de secano.

	pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
	H₂O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
NC	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
Suelo arrocero	6,2	0,33	17,61	8,37	0,15	26,46	1	1	1,0	5	46	25

Anexo 4. Parámetros evaluados durante la etapa de floración para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.

Variedad/variable	INTA-Miravalles	Palmar 18
Angulo del ápice de la espiguilla	11-40°	11-40°
Color predominante del ápice	Pajizo	Verde pálido
Color del Estigma	Crema	Crema
Posición predominante del apice de la primera hoja por debajo de la hoja bandera	Horizontal; si el ápice está paralelo al punto de unión	Erecto; si su ápice se halla muy por encima del punto de unión
Vellosidad predominante de lámina de la hoja	Ligeramente pubescente	Ligeramente pubescente
Color predominante de la lígula	Crema	Crema
Forma predominante de la Lígula	Hendida	Hendida

*IRRI 2007

Anexo 5. Parámetros Evaluados durante la etapa de cosecha para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.

Variedades	INTA-Miravalles	Palmar 18
Tamaño de la arista	Corta	Corta (entre 1 y 5 mm).
Tipo de aristado predominante de las semillas	Arista corta	Arista corta y presente en menos del 50 % de los granos
Color predominante del ápice del grano apical de la panícula	Pajizo	Pajizo
Densidad predominante de la panícula	Semicompacta	Compacta
Exerción predominante de la panícula	Bien emergida	Moderadamente emergida

*IRRI 2007

Anexo 6. Datos meteorológicos durante los meses de mayo a diciembre. Basados en datos recolectados de la Estación Palo Seco y Damas, para la zona de Parrita, 2010.

Mes	Temperatura °C			Precipitación mm
	Máxima	Mínima	Promedio	
Mayo	31,3	24,3	27,8	452,7
Junio	30,7	23,1	26,9	320
Julio	30	22,9	26,4	702,4
Agosto	29,8	22,9	26,4	553,1
Setiembre	29,7	22,8	26,2	928,4
Octubre	29,5	23	26,2	808,9
Noviembre	28,5	22,7	25,6	1403
Diciembre	29,3	22,3	25,8	76,4

Anexo 7. Cantidades de Fe absorbidas en los diferentes órganos de la planta, durante las diferentes etapas de crecimiento para las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.

Variedad	Etapa Fenológica	DDS	Parte aérea	Parte raíz	Grano
			g ha ⁻¹		
Palmar 18	Plántula	15	18,7	530,0	
	I.M.	30	304,6	1043,7	
	M	45	737,7	6315,1	
	M	60	1475,2	10852,9	
	M.M	75	3498,7	31887,9	0,0
	I.P.F	90	2900,4	48629,8	587,2
	Floración	105	3084,0	56991,0	1437,4
	Cosecha	120	7375,1	65352,2	2716,4
	Total		7375,1	65352,2	2716,4
INTA-Miravalles	Plántula	15	21,3	312,6	
	I.M.	30	280,4	2219,5	
	M	45	970,0	2959,6	
	M.M.	60	2280,7	12876,0	0,0
	I.P.F.	75	1497,5	24954,5	432,6
	Floración	90	1739,6	25332,2	943,3
	Cosecha	105	1923,1	25710,0	2397,2
	Total				

Anexo 8. Análisis de varianza para los índices de crecimiento evaluados y la diferencia entre ellos, para ambas variedades.

DDS	INTA-MIRAVALLS									Palmar 18								
	IAF	RAF	IAC	ICR	ICRF	IAN	RPC	RPR	RRPA	IAF	RAF	IAC	ICR	ICRF	IAN	RPC	RPR	RRPA
15	22,96a	35,12e	0,05ab	-0,02a	0,22a	0,01ab	---	0,34b	0,52a	24,26a	35,21d	0,33a	-0,01a	0,23a	0,01bcd	---	0,37b	0,58b
30	97,46ab	14,76d	3,09ab	2,07b	4,47a	0,01b	---	0,22ab	0,29a	62,97a	9,54bc	2,45a	2,16b	4,13b	0,02d	---	0,2a	0,26ab
45	147,43ab	12,24cd	2,17ab	2,48b	4,79a	0,01ab	---	0,24ab	0,33a	258,04b	14,56c	5,99ab	2,95c	5,51c	0,01bcd	---	0,28ab	0,46ab
60	205,01ab	7,99abc	2,71ab	3,36c	4,96a	0,02b	---	0,2ab	0,26a	329,06bc	13,98c	2,07a	3,05c	5,56cd	0,00054ab	---	0,18a	0,23a
75	329,05b	8,96bc	5,03ab	3,39c	5,36a	0,002ab	2,8 E-17a	0,22ab	0,3a	591,8e	10,07bc	21,36ab	4,23d	6,24e	0,01cd	---	0,15a	0,18a
90	330,69b	4,49ab	13,63b	4,02d	5,46a	0,01ab	0,26b	0,17a	0,34a	510,33de	5,4ab	13,54ab	4,45de	6,04de	0,01bc	0,16b	0,16a	0,25a
105	156,7ab	2,69a	-7,58a	3,74cd	135,16b	-0,01a	0,41c	0,14a	0,33a	483,81cde	3,18a	65,65b	4,97f	6,02cde	0,02d	0,29c	0,18a	0,41ab
120	---	---	---	---	---	---	---	---	---	348,54bcd	2,92a	-34,39a	4,77ef	5,69cde	-0,01a	0,32c	0,21ab	0,44ab

Letras diferentes significan varianzas diferentes.

Anexo 9.Parámetros postcosecha evaluados en las variedades Palmar 18 e INTA-Miravalles.

Variable	Material	
	Palmar 18	INTA-Miravalles
Humedad Relativa%	12	13
Rendimiento Arroz Integral (%)	74	74
Rendimiento de Puntilla (%)	0,1	0,1
Rendimiento de arroz comercial (%)	64	64,3
Porcentaje de grano dañado	4	6
Porcentaje de grano contrastante	0	0
Porcentaje de grano manchado	0	0
Porcentaje de grano rojo	0	0
Porcentaje de grano yesoso	0	0
Percentage grano dañado por Calor	0	0
Porcentaje de grano quebrado grueso	21	36
Porcentaje de arroz entero	30	29
Clasif. Longitud de grano pilado	Grano de arroz tipo largo	Grano de arroz tipo largo
Peso de 1000 granos en granza (g)	31	26
Volumen de 1000 granos en granza (ml)	59	52
Peso de 1000 granos integral (g)	23	23
Volumen de 1000 granos integral (ml)	28	28