

ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DE DOS VARIEDADES DE ARROZ EN UN SUELO ENTISOL BAJO SECANO EN TONOSÍ-PANAMÁ¹

*Luis Alberto Barahona-Amores²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³;
Rubén Darío Samaniego-Sánchez⁴; Evelyn Itzel Quirós-McIntire⁵*

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la extracción de macro y micro nutrientes en dos variedades de arroz según etapa fenológica, en un suelo Entisol bajo condiciones de secano, se realizó un estudio en Tonosí, provincia de Los Santos, Panamá, localizado entre los 7° 24' 03" latitud N y 80° 24' 36" longitud O a 14 msnm, durante los meses de agosto a diciembre en los ciclos agrícolas 2015 y 2016. Se utilizaron las variedades IDIAP FL 106-11 y la IDIAP FL 137-11; las parcelas fueron de 100 m² para cada variedad; siembra al voleo con una densidad de 130 kg semilla.ha⁻¹. Se realizaron muestreos cada 15 días a partir de la germinación asegurando la coincidencia con las etapas fenológicas importantes del cultivo; para cada muestreo se realizaron cuatro réplicas utilizando un marco de 0,25 m x 0,25 m. Se determinó la extracción de nutrientes en raíz, follaje y granos. Se realizó un análisis de regresión para determinar la extracción de nutrientes en cada etapa de cultivo. Como resultado se obtuvo que no existió diferencia significativa en rendimiento entre ambas variedades, mientras que existió diferencia significativa en la extracción de nutrientes entre ellas. La variedad IDIAP FL 106-11, extrae mayor cantidad de P y Mg que la IDIAP FL 137-11, la cual presenta mayor extracción de N, K, Ca, Mn, Zn y Cu y ambas presentaron igual extracción en Fe. La variedad IDIAP FL 137-11 es más exigente en nutrientes para producir una tonelada de grano que la variedad IDIAP FL 106-11 bajo las condiciones de secano en suelo Entisol.

PALABRAS CLAVES: Fertilización, dinámica de nutrientes, extracción, fases fenológicas.

¹Recepción: 16 de mayo de 2018. Aceptación: 15 de junio de 2018. Investigación financiada con fondos del proyecto para mejorar la competitividad de los sistemas productivos de arroz en Panamá. Forma parte de la tesis de maestría en Manejos de Suelos y Agua del primer autor, en la Universidad de Panamá.

²M.Sc. Manejo de Suelos y Agua. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

e-mail: alberline@gmail.com

³PhD. Edafología. IDIAP. e-mail: jevilla38@gmail.com

⁴M.Sc. Agricultura Ecológica. IDIAP. e-mail: ruben_sama15@hotmail.com

⁵Ph.D. Ciencias Agrícolas. IDIAP. e-mail: evelynitzel26@gmail.com

ABSORPTION OF NUTRIENTS OF TWO RICE VARIETIES IN A ENTISOL SOIL UNDER RAINFED CONDITION IN TONOSÍ-PANAMÁ

ABSTRACT

With the objective of determining the extraction of macro and micro nutrients in two rice varieties according to phenological stage, in an Entisol soil under rainfed conditions, a study was conducted in Tonosí, province of Los Santos, Panama, located between 7°24'03" Latitude N and 80°24'36" longitude W at 14 masl, during the months of August to December in the agricultural cycles of 2015 and 2016. The varieties used were IDIAP FL 106-11 and the IDIAP FL 137-11; with plots of 100 m² for each variety; broadcasting with a density of 130 kg seed.ha⁻¹. Samplings were made every 15 days from the germination ensuring the coincidence with the important phenological stages of the crop; For each sampling, four replicates were made using a 0,25 m x 0,25 m frame. The extraction of nutrients was determined in the root, foliage and grains. A regression analysis was performed to determine the extraction of nutrients by crop stage. There was no significant difference in yield between the two varieties, whereas there was a significant difference in the extraction of nutrients between them. The IDIAP FL 106-11 variety extracts more P and Mg than IDIAP FL 137-11, which shows higher extraction of N, K, Ca, Mn, Zn and Cu and both had the same extraction in Fe. The variety IDIAP FL 137-11 is more demanding in nutrients to produce a ton of grain than the IDIAP FL 106-11 variety under rainfed conditions in Entisol soil.

KEY WORDS: Fertilization, nutrient dynamics, extraction, phenological phases.

INTRODUCCIÓN

La producción de arroz mecanizado en Panamá para el ciclo agrícola 2016-17 fue de 310 651 toneladas de arroz en cascara. Las hectáreas sembradas fueron 65 275 y un rendimiento promedio de 4,7 t.ha⁻¹. El 85% de la producción panameña de arroz se realiza en seco y el 15% con sistema de riego (MIDA 2017). Este bajo nivel de uso de riego dificulta la producción, porque la mayoría de los productores depende de las lluvias para obtener una

buena cosecha y debido a la variabilidad climática esto dificulta el buen manejo agronómico del cultivo (FAO 2013).

El manejo eficiente de cualquier cultivo se basa en el conocimiento adecuado de su fenología. La importancia de determinar épocas de aplicación de fertilizantes de acuerdo a etapas de máxima absorción, así como, la cantidad total de nutrientes que la planta requiere para su desarrollo, radica en que ayudan a desarrollar prácticas adecuadas para

mejorar el crecimiento integral de la planta, mediante la aplicación de los nutrientes en proporciones adecuadas, para optimizar la producción sin degradar los recursos naturales (Magnifico *et al.* 1979, Baligar y Fageira 2007, Herber y Kraemer 2010).

La fertilización constituye un factor importante en la obtención de altos rendimientos. La respuesta a la fertilización depende de la variedad, fertilidad del suelo, clima, manejo del agua y manejo de plagas (INPOFOS 2004, Molina y Rodríguez 2012). Conociendo el consumo total de nutrientes de un cultivo se puede estimar la dosis necesaria para obtener el rendimiento deseado, lo cual se logra, confrontando el consumo total con las cantidades presentes en el suelo para así determinar las cantidades necesarias para llegar a la meta establecida (Ramírez y Bertsch 2002).

Un estudio de absorción es un buen punto de partida para estimar la cantidad de nutrientes que se debe reponer al campo para mantener la fertilidad. Si se desea mantener la sostenibilidad del sistema, debe al menos reponerse al suelo las mismas cantidades de nutrientes que salen del campo en la biomasa del cultivo (Bertsch 2005,

Ramírez *et al.* 2000). Una curva de absorción de nutrientes es la representación gráfica de la extracción de un nutriente y representa las cantidades extraídas por la planta durante su ciclo de vida (Sancho 1999).

Se han realizado varios trabajos sobre curvas de absorción de nutrientes en diversas variedades de arroz en Panamá (Name y Villarreal 2004, Villarreal-Barrera 2018), Argentina (Herber y Kraemer 2010), Costa Rica (Bertsch 2005, Molina y Rodríguez 2012) y Nicaragua (Amador y Bernal 2012), encontrando extracción de nutrientes distintas dependiendo de la variedad, manejo y tipo de suelo. El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar la extracción de macro y micro nutrientes en dos variedades de arroz según etapa fenológica, en un suelo Entisol bajo condiciones de secano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El estudio se realizó en el Instituto Profesional Técnico Agropecuario de Tonosí (IPTAT), ubicado en el corregimiento de El Cacao, distrito de Tonosí, provincia de Los Santos, entre los 7°26'03" de latitud Norte y los 80°24'37" longitud Oeste (Figura 1). Los suelos fueron clasificados como Typic

Udifluents, textura franca con régimen de humedad y temperatura Údico, e Isohipertérmico (MIDA 2015), y dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Tropical según Holdridge (1967).

Material genético

El material genético utilizado en el experimento fueron las variedades del IDIAP denominadas IDIAP FL 106-11 y la IDIAP FL 137-11 (Cuadro 1).

Características edafoclimáticas

El contenido de nutrientes según los niveles críticos establecidos por Name y Cordero (1987), presenta niveles altos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y de hierro (Fe); niveles medios de fósforo (P), manganeso (Mn) y de cobre (Cu); además unos niveles bajos de

aluminio (Al) y zinc (Zn). En cuanto a sus características físico-químicas, presenta una textura franca, con una coloración en seco pardo amarillo claro, pH poco ácido, una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) media, con una baja saturación de aluminio y una elevada saturación de bases, la cual está dominada por la saturación de calcio (70,8%) y un nivel medio de materia orgánica (Cuadro 2).

Durante los años 2015 y 2016 la precipitación media anual fue de 1400 mm, temperatura media de 27,9° C, humedad relativa de 78,4% y evapotranspiración media anual de 115,8 mm (Batista *et al.* 2018).

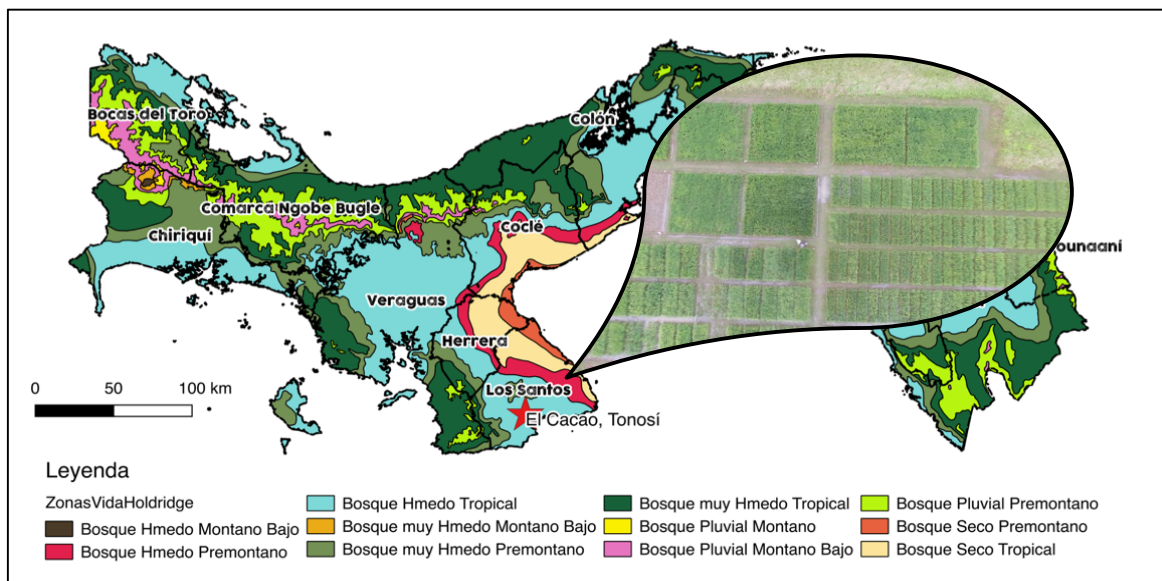


Figura 1. Localización geográfica del estudio de absorción de nutrientes de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES DE ARROZ UTILIZADAS EN EL ESTUDIO DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES.

Variedad	MM	IP	Flor	Mad	Rend
	Días después de siembra				kg.ha ⁻¹
IDIAP FL 106-11	45	53	84	115	5083
IDIAP FL 137-11	47	57	87	118	5122

MM= máximo macollamiento, IP= inicio de primordio, Flor= floración, Mat= maduración, Rend= rendimiento.
Fuente: Adaptado de Quirós-McIntire *et al.* 2011.

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO UTILIZADO EN EL ESTUDIO DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES.

P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
Mg.l ⁻¹		cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹					Mg.l ⁻¹	
37	215	25	9,7	0,2	36	82	2,9	5,5
Textura	color	CICE	pH	Al	bases	M.O.		
		cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹		% saturación		%		
FRA	Pardo A C	35,8	6,3	0,56	99,44	4,26		

Fuente: Laboratorio de Suelos, IDIAP 2015.

Arreglo en campo y manejo

El ensayo se realizó durante los ciclos agrícolas 2015 y 2016 de agosto a diciembre en el sistema de secano. Se utilizaron parcelas de 100 m² para cada variedad (10 m x 10 m); la siembra se realizó al voleo con una densidad de 130 kg semilla.ha⁻¹. Se utilizó una fertilización básica de 120 kg N.ha⁻¹, 80 kg P₂O₅.ha⁻¹ y 80 kg K₂O.ha⁻¹, en donde el total del P y K fue aplicado al momento de la siembra y el N se fraccionó a los 30, 45 y 55 días después de la siembra (Urea 46%).

El manejo agronómico se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP (Camargo *et al.*

2014). La cosecha se realizó cuando ambas variedades alcanzaron la madurez fisiológica con una humedad de grano de 25%, se limpió y secó para luego determinar el rendimiento de grano al 14% humedad.

Muestreo en campo

Los muestreos de campo para la elaboración de las curvas de absorción se realizaron siguiendo la metodología descrita por Ramírez y Bertsch (1998), Sancho (1999) y Bertsch (2009). Se muestreó cada 15 días, asegurando que coincidieran con las etapas fenológicas más importantes del cultivo de arroz. En cada etapa de muestreo se hicieron

cuatro réplicas, en cada replica se utilizó un marco de 0,25 m x 0,25 m. Las muestras se dividieron en raíz, follaje y granos para determinar la extracción de nutrientes en cada una de ellas.

Se pesaron las muestras húmedas, luego se llevaron al horno a 70° C por 48 horas y se tomó el peso seco para calcular la producción de biomasa seca total por hectárea. Para el rendimiento de grano se utilizó un marco de 1 x 1 m y se calculó el rendimiento de grano al 14% de humedad.

Análisis de laboratorio

El contenido de nutrientes se determinó según la metodología descrita por Villarreal y Name (1996) y Wilcox y Rivera (2010). Las muestras secas fueron molidas y pasadas por un tamiz N° 20 (1 mm de abertura en la malla), luego fueron guardadas en sobres de papel a temperatura ambiente. El N se determinó mediante el método Kjeldahl, se utilizó el proceso de mineralización vía húmeda y se determinó el P por Mehlich 1 y formación del complejo fosfomolibdico utilizando un espectrofotómetro de luz visible y el K, Ca, Mg Mn, Fe, Cu y Zn se leyeron en absorción atómica de fuente continua.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de t-Student (alfa: 0,05), para determinar si hay diferencia entre las variedades en cuanto a los rendimientos y absorción de nutrientes. Se realizó un análisis de regresión cuadrática para determinar el modelo que explica la extracción de cada elemento por etapa fenológica.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

Donde:

Y= absorción de nutriente (kg.ha⁻¹)

β_0 = intercepto de la curva

β_1 = coeficiente lineal

β_2 = coeficiente cuadrático

X= variable independiente (etapa de muestreo)

Variables de estudio

- Contenido de macro y micronutrientes en el suelo.
- Extracción de nutrientes por etapa fenológica por ha (raíz, follaje y panícula).
- Extracción de nutrientes total por ha (raíz, follaje y panícula).
- Extracción total de nutrientes por ha (raíz + follaje + panícula)
- Rendimiento de grano al 14% humedad

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de t-Student para muestras independientes mostró que no existe diferencia en rendimiento de grano, extracción de P y Fe entre ambas variedades, mientras que para los demás

nutrientes existe diferencia significativa en la extracción por las dos variedades (Cuadro 3).

La curva de crecimiento en base a la producción de biomasa seca para ambas variedades tiene un

comportamiento similar. Esta presenta un aumento lineal hasta la etapa de floración a los 90 días después de germinado (ddg). La variedad IDIAP FL 137-11 sigue incrementando la producción de biomasa mientras que IDIAP 106-11 tiene un decrecimiento (Figura 2).

CUADRO 3. PRUEBA DE T-STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

Variable	gl	Valor de t	Sig. (bilateral)
Rendimiento de grano	6	-0,30	0,78 ^{ns}
N	6	-2,86	0,03*
P	6	2,16	0,07 ^{ns}
K	6	-3,02	0,02*
Ca	6	-13,72	<0,00**
Mg	6	3,62	0,01**
Mn	6	-15,87	<0,00**
Fe	6	0.195	0.852 ^{ns}
Cu	6	-34.287	<0,000**
Zn	6	-9.089	<0,000**

gl= grados de libertad; ns= no existe diferencia estadística; *= diferencia estadística significativa; **= diferencia estadística altamente significativa.

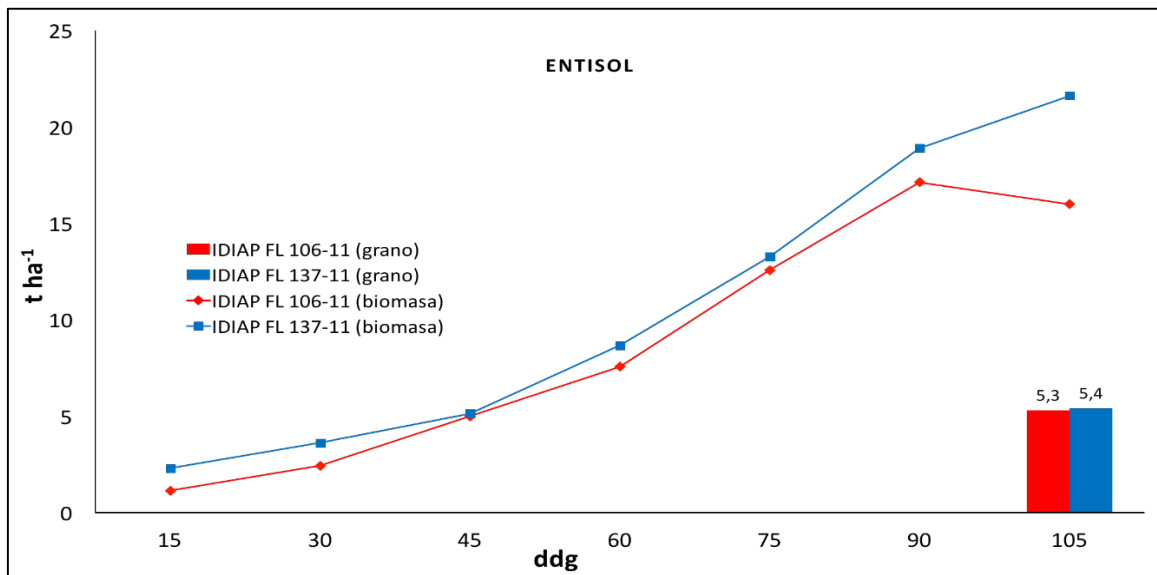


Figura 2. Producción de biomasa y rendimiento de grano para las variedades IDIAP FL 106-11 y la IDIAP FL 137-11.

La variedad IDIAP FL 137-11 extrae mayor cantidad de N, K, Ca, Mn, Zn y Fe que la variedad IDIAP FL 106-11, con un rendimiento estadísticamente similar, lo que se traduce en menor eficiencia en la partición de fotosintatos, ya que IDIAP FL 106-11 necesita menor cantidad de nutrientes para producir una tonelada de arroz (Cuadro 4). La eficiencia también se puede determinar con el Índice de cosecha (IC), el cual es la relación entre la biomasa seca producida y el rendimiento de grano seco (0% humedad), donde IDIAP FL 106-11 presenta un IC de 0,45 y IDIAP FL 137-11 obtuvo un IC de 0,33. Las variedades modernas tropicales de corta duración presentan un IC que va de 0,3 a 0,5 en la estación lluviosa con alta nubosidad (Bouman *et al.* 2014).

Curva de absorción de nitrógeno

La absorción de N tiene un comportamiento distinto en ambas variedades, IDIAP FL 137-11 presenta su máxima extracción de 75 a 90 ddg, coincidiendo con las fases de embuchamiento y floración. IDIAP FL 106-11 presenta dos picos de absorción que coinciden con el máximo macollamiento (45 ddg) y el embuchamiento (Figura 3).

El N es un regulador del crecimiento ya que promueve la reproducción celular y, por ende, el macollamiento de la planta (Mejía y Menjívar 2010), igualmente existe una correlación positiva entre el número de granos por unidad de área y el porcentaje de N absorbido por la planta momentos antes de la floración (Yoshida 1978), mientras que la máxima extracción de N en la etapa de máximo macollamiento la encontraron Molina y Rodríguez (2012), Amador y Bernal (2012). El máximo macollamiento y el inicio de floración como las etapas de mayor extracción de N lo reportan Molina y Rodríguez (2012) y Amador y Bernal (2012). La etapa de llenado de grano como la de mayor extracción de N en el cultivo de arroz es reportada por Name y Villarreal (2004).

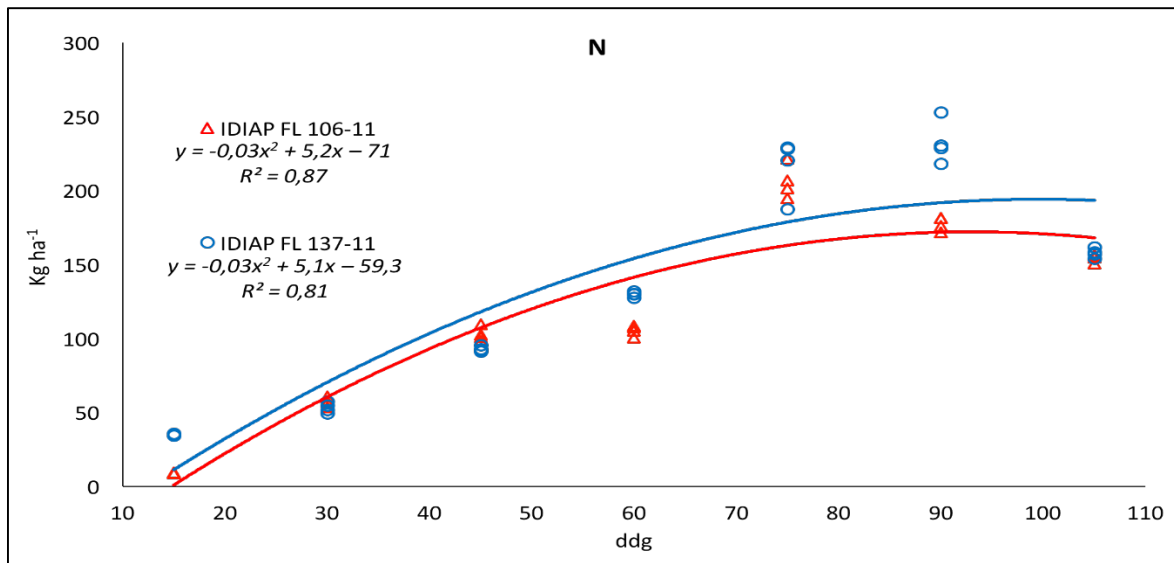
Curva de absorción de fósforo

Ambas variedades presentan una dinámica de absorción de P distinta entre ellas, donde IDIAP FL 106-11 presenta un pico máximo de absorción durante la fase de embuchamiento del cultivo. IDIAP FL 137-11 presenta su máxima extracción entre las etapas de embuchamiento y floración (Figura 4).

CUADRO 4. EXTRACCIÓN TOTAL POR HECTÁREA Y EXTRACCIÓN POR TONELADA DE GRANO PRODUCIDO SEGÚN VARIEDAD.

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	
										kg.ha ⁻¹
IDIAP FL 106-11	206b	48a	248b	98b	21a	0,7b	2,7a	0,8b	0,2b	
IDIAP FL 137-11	233a	44a	286a	129a	19b	1,6a	2,7a	1,2a	0,4a	
	kg nutriente.ha ⁻¹ por t de grano									
IDIAP FL 106-11	34b	8a	41b	16b	3,4a	0,1b	0,4a	0,1b	0,1a	
IDIAP FL 137-11	38a	7a	47a	21a	3,2b	0,3b	0,4a	0,2a	0,1a	

N=nitrógeno, P=fósforo, K=potasio, Ca=calcio, Mg=magnesio, Mn=manganeso, Fe=hierro, Zn=zinc, Cu=cobre.

**Figura 3. Extracción de nitrógeno según la variedad y etapa fenológica.**

A diferencia de lo que ocurre con el N, los iones fosfato no se reducen químicamente dentro de la planta, donde la mayor parte del fosfato absorbido se incorpora a moléculas orgánicas (del tipo de los ésteres), y estos compuestos se acumulan en las raíces y en las hojas hasta la iniciación de la panícula (Perdomo *et al.* 1985).

Resultados similares han sido reportados por Molina y Rodríguez

(2012), encontrando que partir del inicio de la formación del primordio y hasta la floración, la planta absorbió el 58% del P total requerido. Amador y Bernal (2012) encontraron que las etapas de mayor demanda de fósforo fueron macollamiento y grano maduro. Por otro lado, la etapa de llenado de grano es reportada como la de mayor extracción de fósforo en el cultivo de arroz por Name y Villarreal (2004).

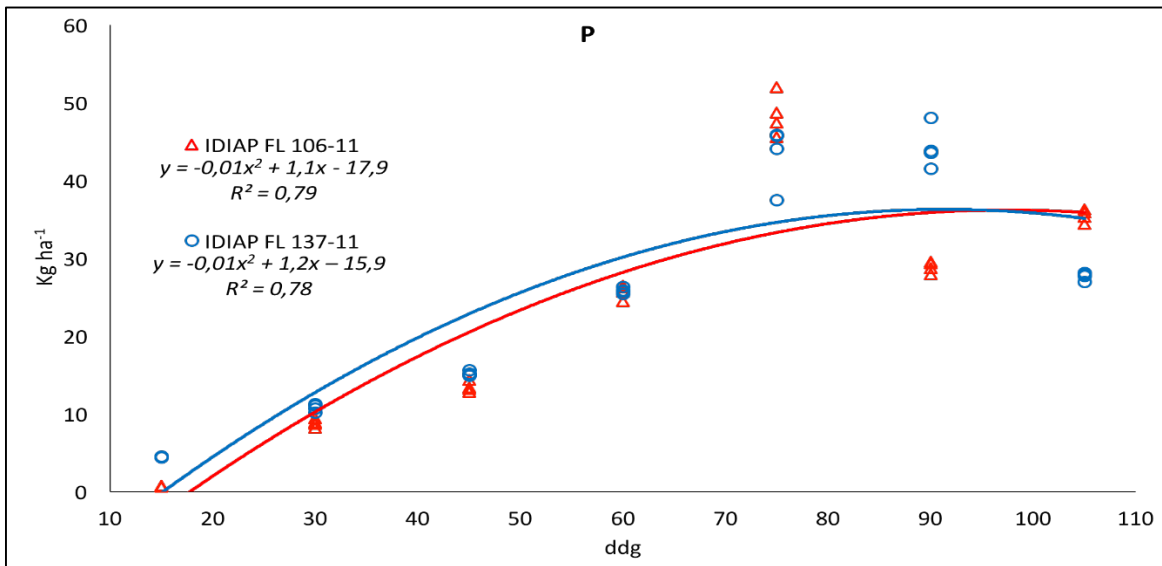


Figura 4. Extracción de fósforo según la variedad y etapa fenológica.

Curva de absorción de potasio

La absorción de K por ambas variedades presenta una dinámica similar en las etapas tempranas de su fenología, presentando ambas un incremento en la absorción durante etapa de máximo macollamiento. IDIAP FL 106-11 presenta su mayor pico de absorción durante el embuchamiento mientras que IDIAP FL 137-11 presenta su máxima extracción entre las etapas de embuchamiento y floración (Figura 5).

El K es de importancia en el desarrollo de las macollas de la planta, en la formación de la panícula, en la resistencia al acame (Mejía y Menjívar 2010). Una absorción tardía muy alta durante la fase de maduración y que correspondió al 45% del K total absorbido fue reportado por Molina y Rodríguez

(2012) reportaron y resultado similar en la que más del 80% del K fue absorbido en la fase reproductiva y de maduración por Vargas (2002); Name y Villarreal (2004) reportan la etapa de llenado de grano como la de mayor extracción de potasio; Amador y Bernal (2012) reportan la mayor absorción de K en la etapa de macollamiento.

Curva de absorción de calcio

La dinámica en la absorción de Ca por ambas variedades es similar, con un incremento continuo en la absorción a medida que se desarrolla la planta, con una diferencia al llegar a la fase de floración donde IDIAP FL 106-11 detiene su extracción e IDIAP 137-11 continúa absorbiendo Ca hasta el final de su ciclo fenológico (Figura 6).

El Ca funciona como segundo mensajero en la conducción de señales entre los factores ambientales y los mecanismos de respuesta de las plantas, en términos de crecimiento y desarrollo. Esta función está relacionada con la división celular, por tanto, el arroz toma el Ca de manera continua hasta la etapa de llenado de grano (Mejía y Menjívar 2010).

Trabajos realizados por Amador y Bernal (2012) reportan que las etapas de mayor demanda de calcio fueron macollamiento y floración; por otra parte, los estados de macollamiento y llenado de grano son identificados como los de mayor demanda de Ca según Molina y Rodríguez (2012).

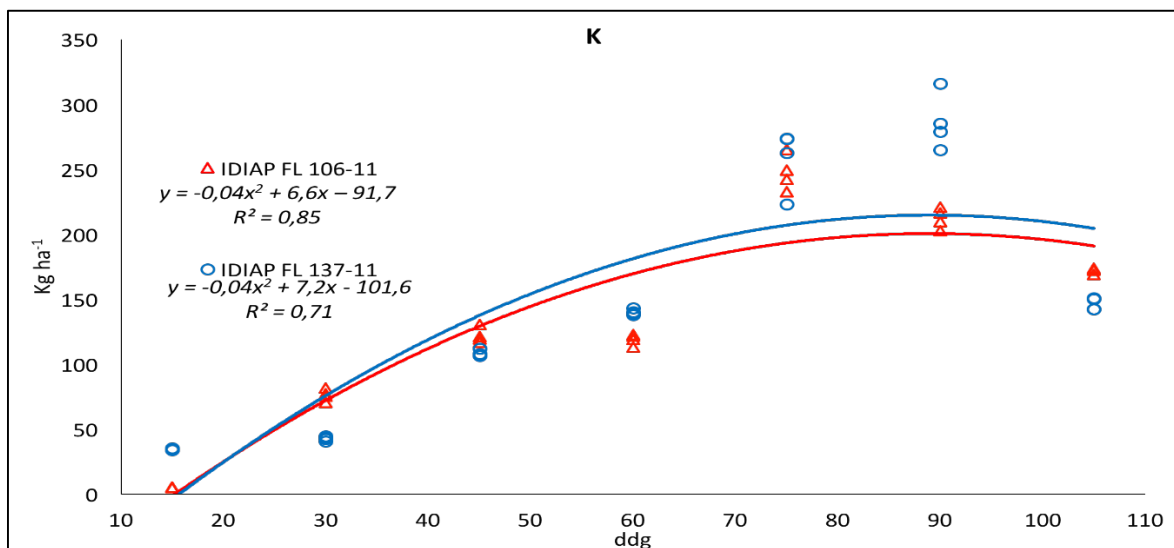


Figura 5. Extracción de potasio según la variedad y etapa fenológica.

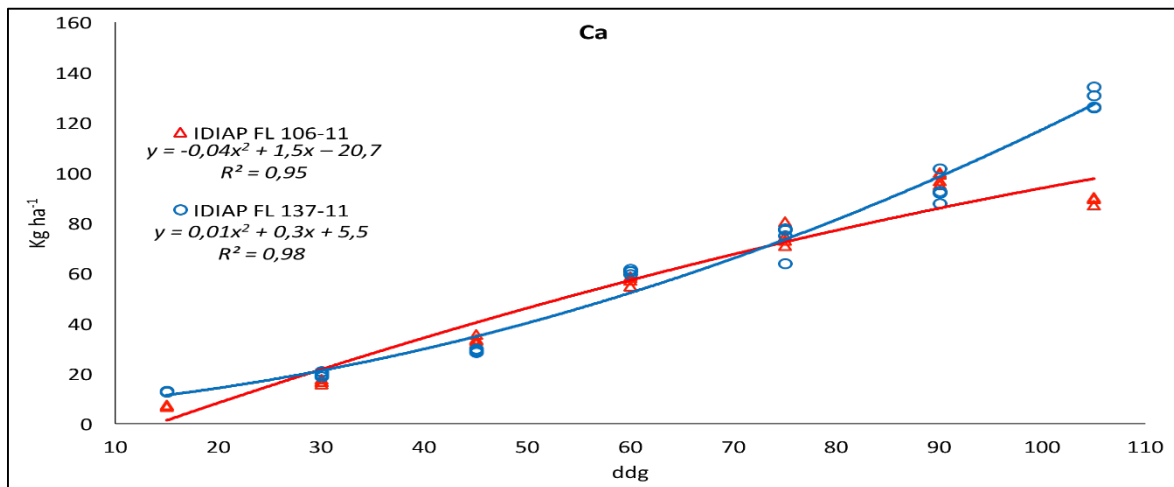


Figura 6. Extracción de calcio según la variedad y etapa fenológica.

Curva de absorción de magnesio

El Mg es absorbido por ambas variedades de manera distinta, IDIAP FL 137-11 muestra una dinámica de absorción lineal durante todo su ciclo fenológico e IDIAP FL 106-11 muestra un pico de absorción en la etapa de floración y luego decrece al llegar al fin de su ciclo (Figura 7).

La principal función del Mg está en la fotosíntesis, ya que es el átomo central de la molécula de clorofila (Mejía y Menjívar 2010), requiriendo mayor cantidad en las etapas donde hay mayor producción de biomasa. Las etapas de mayor demanda de magnesio son la floración y maduración (Amador y Bernal 2012).

Curva de absorción de manganeso

La dinámica en absorción de Mn por las variedades presenta un

comportamiento similar, pero en proporciones distintas, ya que ambas variedades presentan su máxima extracción durante el periodo de floración. La absorción de Mn por IDIAP FL 137-11 es superior durante todo el ciclo, principalmente en el pico de máxima absorción que ocurre a los 90 días de germinado (Figura 8).

Este nutriente está presente en el complejo Mn-proteína que transporta electrones del agua al fotosistema II (Mejía y Menjívar 2010), requiriendo en mayor cantidad en las etapas donde hay mayor producción de biomasa. Trabajos realizados por Amador y Bernal (2012) reportan su mayor absorción en la etapa de macollamiento, mientras que Molina y Rodríguez (2012) ubican la etapa de maduración como la de mayor extracción de Mn en el cultivo de arroz.

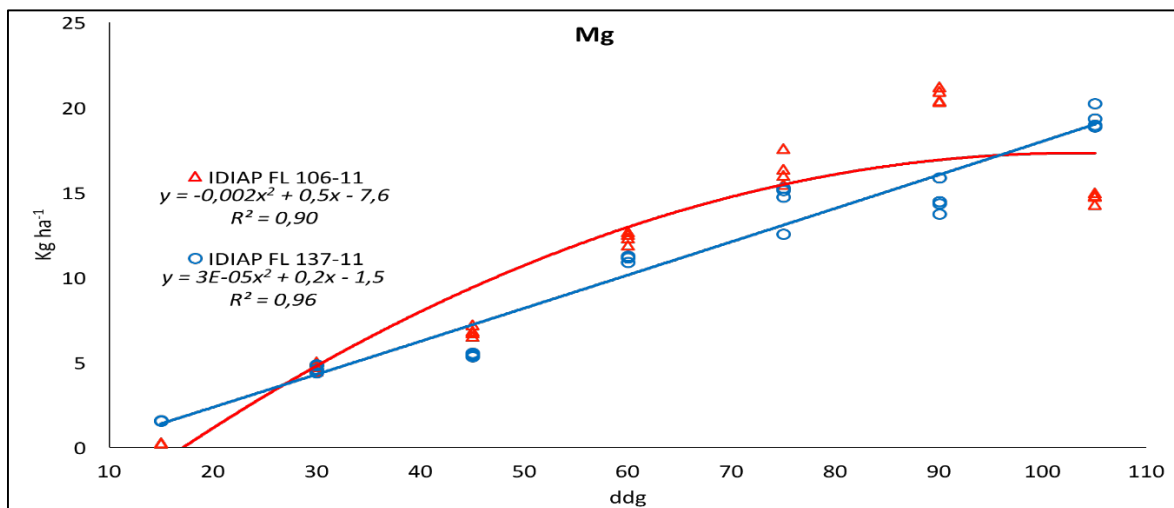


Figura 7. Extracción de magnesio según la variedad y etapa fenológica.

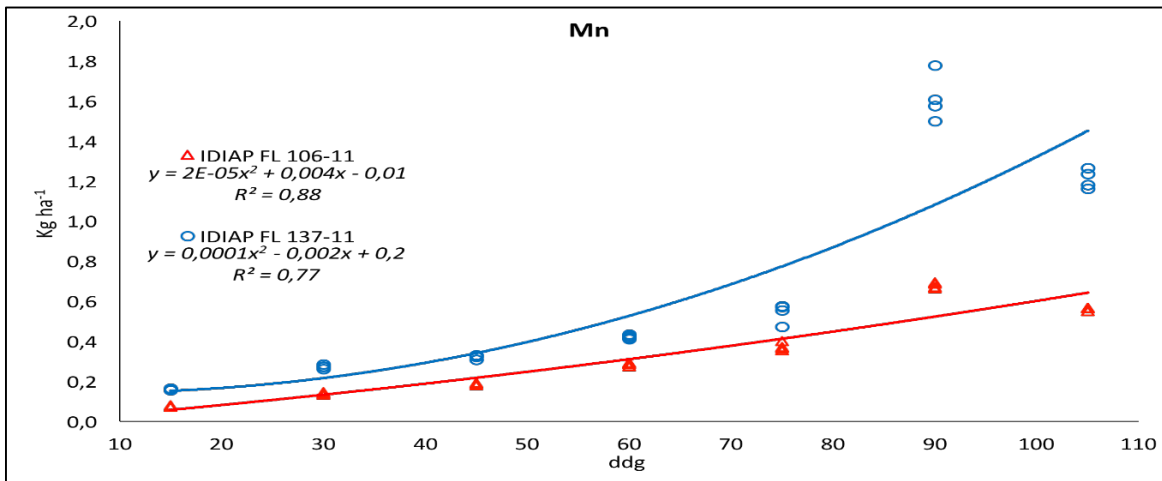


Figura 8. Extracción de manganeso según la variedad y etapa fenológica.

Curva de absorción de hierro

Para la absorción de Fe, la dinámica de absorción por ambas variedades es completamente distinta, donde IDIAP FL 106-11 muestra un incremento al inicio del macollamiento (30 ddg) y luego una extracción máxima durante la floración. IDIAP FL 137-11 incrementa la absorción de Fe durante el primordio floral y luego tiene la máxima extracción durante la floración (Figura 9).

La función principal del Fe es la activación de enzimas, donde actúa como grupo prostético, interviene por tanto en las reacciones fundamentales de la diferenciación floral (Mejía y Menjívar 2010). Molina y Rodríguez (2012) ubican la etapa de maduración como la de mayor extracción de Fe, coincidiendo con Amador y Bernal (2012) quienes reportan la etapa de maduración como la de mayor extracción de hierro en el cultivo de arroz.

Curva de absorción de zinc

La dinámica de absorción de Zn difiere con la variedad, IDIAP 137-11 presenta su máxima extracción durante la etapa fenológica de floración, mientras que IDIAP FL 106-11 requiere menor cantidad de este elemento y su mayor absorción se encuentra entre las fases de embuchamiento y floración (Figura 10).

Se ha demostrado que, en sitios específicos de síntesis proteica de los órganos reproductivos, hay una necesidad de Zn (Marschner 1995) y que la mayor parte se absorbió durante la fase reproductiva, según Molina y Rodríguez (2012), mientras que Amador y Bernal (2012) identifican la etapa de maduración como la de mayor extracción de este elemento.

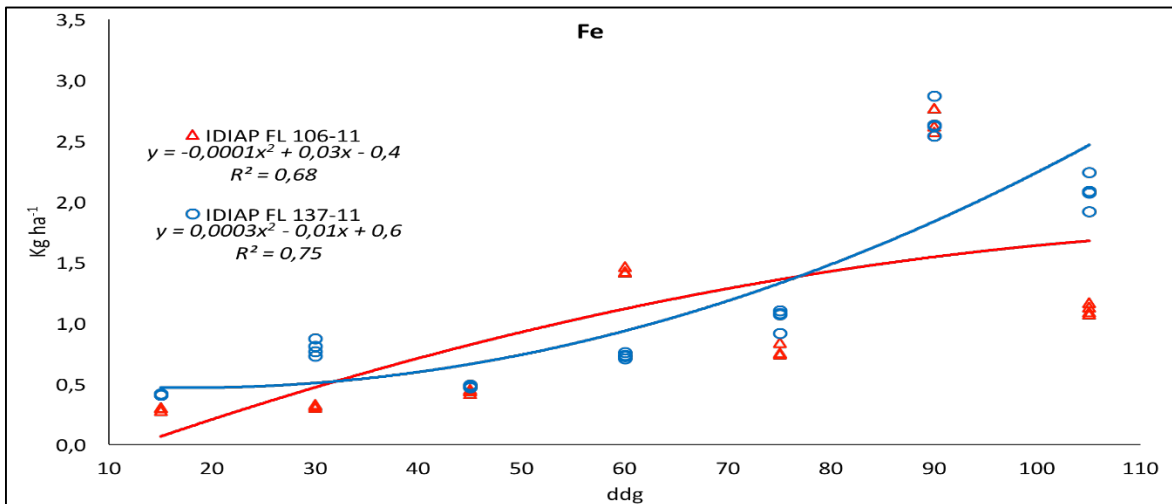


Figura 9. Extracción de hierro según la variedad y etapa fenológica.

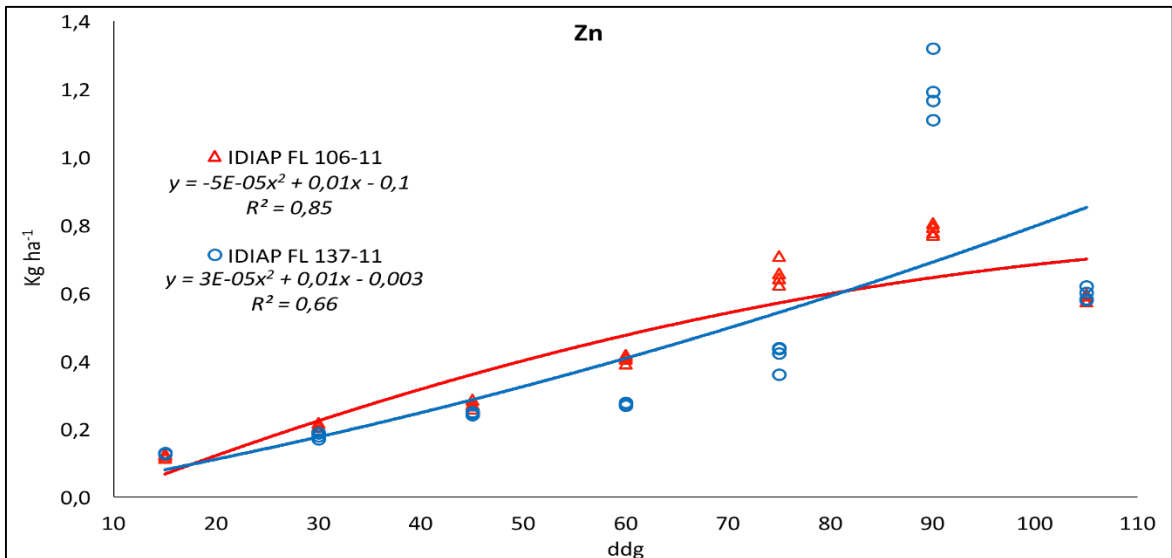


Figura 10. Extracción de zinc según la variedad y etapa fenológica.

Curva de absorción de cobre

Ambas variedades muestran un comportamiento diferente en la extracción de Cu durante su fenología, donde IDIAP FL 106-11 tiene una absorción lineal hasta la etapa de floración. IDIAP FL 137-11 tiene una máxima extracción desde el primordio floral hasta la floración, duplicando la absorción de Cu con respecto a la otra variedad (Figura 11).

Se ha demostrado que la falta de Cu disminuye la formación de espigas o panículas en algunos cereales (Mejía y Menjívar 2010), lo que indica su importancia en el inicio de la etapa reproductiva. Molina y Rodríguez (2012) reportan que la mayor parte del cobre se absorbió durante la fase reproductiva, mientras que Amador y Bernal (2012)

identifican la etapa de maduración como la de mayor extracción de cobre.

Orden de importancia de nutrientes según cantidades extraídas

El orden de importancia de los nutrientes, basados en la cantidad total extraída durante todo el ciclo fenológico, para ambas variedades fue $K > N > Ca > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu$ (Figura

12). Se muestra al K como el elemento extraído en mayor cantidad, seguido del N y el Ca, P y Mg. Estos resultados coinciden con los reportados por Molina y Rodríguez (2012), quienes encontraron el mismo orden de absorción por el cultivo de arroz. Herber y Kraemer (2010) encontraron resultados similares, solo difieren al reportar que el Mg se extrajo en mayor cantidad que el P.

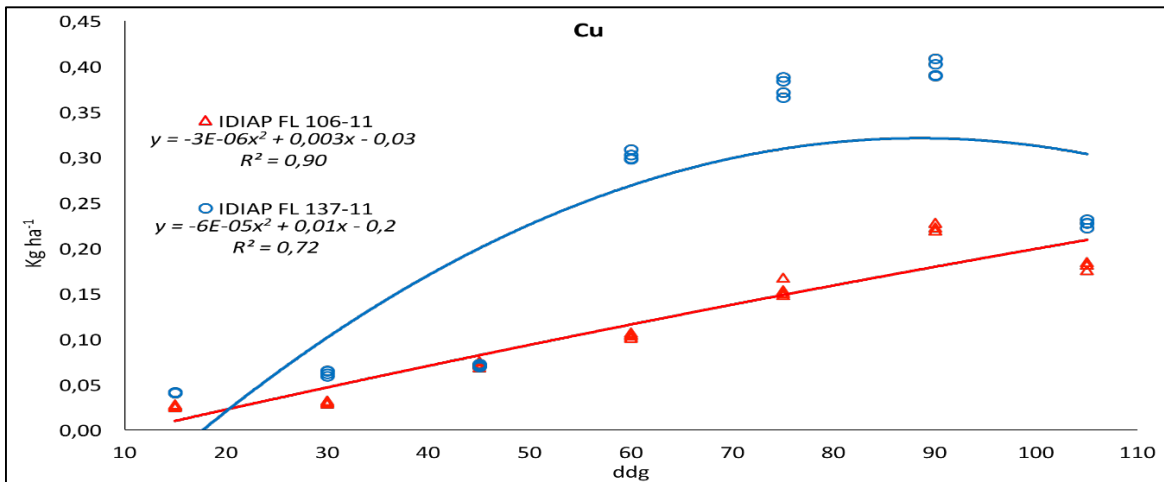


Figura 11. Extracción de cobre según la variedad y etapa fenológica.

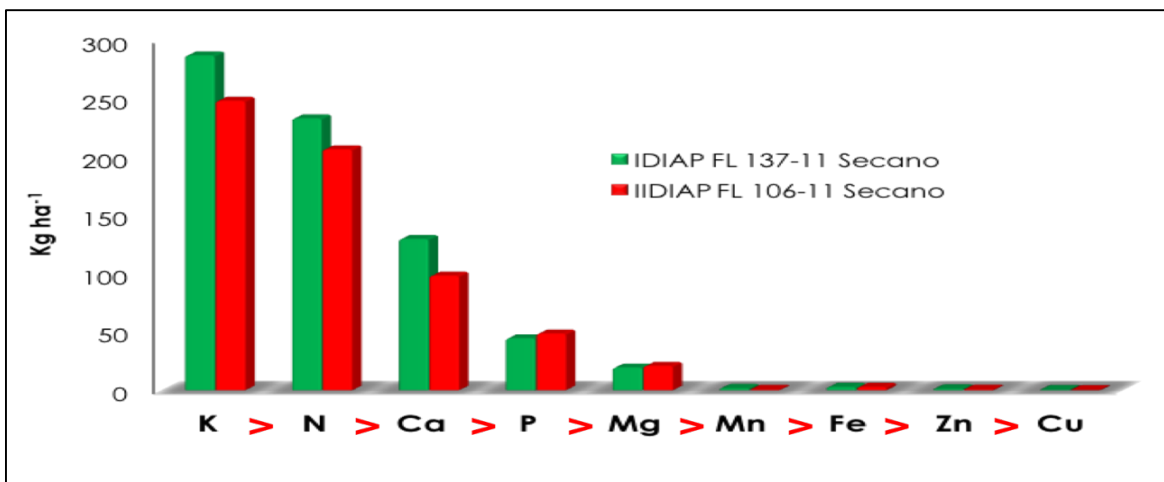


Figura 12. Orden de importancia de nutrientes según cantidades extraídas.

Extracción de nutrientes por distintas secciones de la planta de arroz

La mayor proporción de los nutrientes se concentra en el follaje y pueden ser reciclados a través de la reincorporación de los residuos vegetales al suelo una vez que estos se descompongan. De los macronutrientes, el K es el que destina menor proporción a la espiga a pesar de ser el elemento de mayor extracción, contrario a lo que ocurre con el P, siendo el segundo macronutriente menos extraído y el que en mayor concentración se encuentra en la espiga; esta información es de gran relevancia principalmente en aquellas zonas donde se cultiva de manera continua a través de los años, determinando así la cantidad de nutrientes que salen del sistema a través de la cosecha y que deben ser repuestos en los planes de fertilización (Cuadro 5).

En términos relativos, casi todo el Fe se acumuló en las raíces y muy poco en la espiga. Un aspecto importante a

considerar en los programas de mejoramiento genético para arroces biofortificados, ya que agrónomicamente no se pueden elevar los contenidos de Fe en el grano. Debido a la inmovilidad de este elemento dentro de la planta, el Fe absorbido se queda concentrado en el sistema radicular con muy poca traslocación hacia los demás órganos.

CONCLUSIONES

- Las variedades presentan diferente extracción de nutrientes entre ellas bajo las mismas condiciones.
- La variedad IDIAP FL 137-11 es más exigente en nutrientes que la IDIAP FL 106-11 bajo secano en un suelo Entisol.
- La variedad IDIAP FL 106-11 presentó mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes absorbidos con respecto al rendimiento de grano y al Índice de cosecha.

CUADRO 5. EXTRACCIÓN RELATIVA DE NUTRIENTES POR DISTINTAS SECCIONES DEL CULTIVO DE ARROZ.

Sección de la planta	Extracción relativa (%)								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
Raíz	7	3	2	12	14	10	78	21	16
Espiga	27	36	17	25	24	8	4	24	23
Tallo y hoja	66	61	82	64	62	82	18	55	61
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

BIBLIOGRAFÍA

- Amador Mc, JC; Bernal CH, IE. 2012. Curva de absorción de nutrientes del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) variedad Venezuela 21, en un suelo vertisol bajo condiciones del valle de Sébaco, Nicaragua. Tesis de grado. Escuela agrícola Panamericana, El Zamorano, HO. 29 p.
- Baligar, V; Fageria, N. 2007. Nutrient use efficiency in acid soil: Nutrient management and plant use efficiency. In A.C. Moniz *et al.* (ed). Plant-Soil interactions at low pH. Brazilian Soil science Society. Campinas, Viçosa, Brasil. p. 75-95.
- Batista, A; Urriola, D; Bustamante, S; Batista, E; Díaz, L. 2018. Boletín del clima en la región de Azuero. Red Agroclimática y calidad de agua en dos sub-cuencas de Los Santos. Instituto De Investigación Agropecuaria de Panamá. 7 p.
- Bertsch. F. 2005. Estudios de Absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Inpofos; Rev. Informaciones Agronómicas no.57:1-10.
- Bertsch. F. 2009. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, CR. 307 p.
- Bouman, B; Haefele, S; Izzi, G; Peng, S; Hsiao, T. 2014. Arroz: Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, IT. p.109-118.
- Camargo, I; Quirós Mc, E; Zachrisson, B. 2014. Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. PA. 141 p.
- Herber, L; Kraemer, A. 2010. Curvas de absorción de nutrientes para cinco variedades de arroz de uso actual en Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Corrientes, Argentina. 4 p.
- Holdridge, Lr. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, CR. 206 p.
- INPOFOS (Instituto de Potasa y el Fósforo, EC). 2004. Absorción de los nutrientes por los cultivos. Quito, EC. no.52:12.

- Magnifico, V; Vicenso, L; Guilio, S. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 104(2):201-203.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants (2nd Ed)*, Academic Press, London, England. 889 p.
- Mejía, S; Menjivar, J. 2010. Nutrición mineral del arroz. En: *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*. Tomo I. Capítulos 1-24. CIAT-FLAR-UNICORDOBA. Colombia. p. 306-335.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2015. Estudio, diseño y construcción del proyecto integral y multipropósito para el desarrollo agropecuario del valle de Tonosí, provincia de Los Santos. Hidalgo e Hidalgo constructores. 193 p.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2017. Superficie, producción, rendimiento y número de productores de arroz mecanizado por región en la república (en línea). Dirección Nacional De Agricultura. Panamá. Consultado 20 jul. 2017. Disponible en <http://www.mida.gob.pa/upload/documentos/2017arrozmecanizado.pdf>
- Molina, E; Rodríguez, JH. 2012. Fertilización con N, P, K Y S, y curvas de absorción de nutrientes en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. *Agronomía Costarricense* 36(1):39-51.
- Name, B; Cordero, A. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. Compendio de los resultados de investigación presentados en la Jornada Científica, agosto de 1987. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Región Central. 23 p.
- Name, B; Villarreal, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 207 p.
- FAO (Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura, IT). 2013. *Agro Noticias América Latina y el Caribe*. Déficit de producción de arroz en Panamá (en línea). Consultado 3 marzo 2016. Disponible en <http://www.fao.org/agronoticias/agr>

- onoticias/detalle/en/?dyna_fef%5Buid%5D=163385.
- Perdomo, MA; González, J; Galvis, YC De; García, E; Arregocés, O. 1985. Los macronutrientes en la nutrición de la planta de arroz. *In* Tascón, E; García, E (eds.). Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, CO. p.103-132.
- Quirós-McIntire, E; Camargo-Buitrago, I; Mejía, José; Moreno, C. 2011. Descripción varietal de las líneas avanzadas en mejoramiento genético de arroz, IDIAP FL106-11 e IDIAP FL137-11. IDIAP, PA. 9 p.
- Ramírez, F; Bertsch, F. 2002. Absorción de nutrientes por los frutos y bandolas de café caturra durante un ciclo de desarrollo y Maduración de Frutos en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(1):33-42.
- Sancho, H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. INPOFOS. *Rev. Informaciones agronómicas* no.36:11-13.
- Vargas, M. 2002. Fertilización con cuatro niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y curvas de absorción de la variedad Fedearroz 50 en condiciones de secano favorecido. CONARROZ. San José, CR. 24 p.
- Villarreal-Barrera, AM. 2018. Respuesta a cuatro niveles de nitrógeno y curvas de absorción de nutrientes para la variedad de arroz UP80FL, bajo condiciones de secano en dos localidades. Tesis de maestría. Universidad de Panamá. PA. 94 p.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. IDIAP, PA. 110 p.
- Wilcox, F; Rivera, J. 2010. Manual De Análisis Del Laboratorio Especializado De Suelos Y Tejido Foliar Del Centro Regional Universitario De Los Santos. Universidad de Panamá. Los Santos, Panamá. 67 p.
- Yoshida, S. 1978. Tropical climate and its influence on rice. IRRI Research Paper Series 20. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. 25 p.