

## El fósforo en la fertilización del arroz y otras consideraciones para optimizar su rendimiento

### Resumen

El arroz es el segundo grano más producido a nivel mundial después del maíz, se cultiva en alrededor de 113 países, además de ser el único grano que se produce únicamente para consumo humano, es una gramínea perteneciente al género *Oryza*, proveniente de la India, dentro de los elementos del rendimiento del cultivo destacan el número de panículas/m<sup>2</sup>, número de espiguillas/panícula, % de llenado de granos y el peso de granos, cabe resaltar que a diferencia de cultivos de frutos, el arroz trasloca menos del 12% del potasio absorbido al grano a diferencia del fósforo el cual se trasloca un 85% del fósforo absorbido y debido a la complejidad del sistema del suelo, se limita la disponibilidad del nutrimento, afectando principalmente el sistema fotosintético de las plantas mediante la reducción de la actividad del ciclo de Calvin, la actividad enzimática de la Rubisco y la protección a exceso de radiación del fotosistema II, por lo que es de suma importancia la implementación de métodos alternativos de la aplicación de fósforo para corregir deficiencias y suplementar los métodos tradicionales de aplicación.



### Importancia del cultivo de Arroz

El arroz es una gramínea anual, que pertenece al género *Oryza* proveniente de la India, donde se reúnen condiciones ambientales adecuadas para su cultivo. En esa región, se puede encontrar una gran cantidad de especies silvestres que se encuentran en las franjas ribereñas, donde anteriormente era recolectado (Luque, 2009).

Se cultiva en alrededor de 113 países, siendo alimento para más de la mitad de la población mundial, proporcionando el 27 por ciento de la energía alimentaria y el 20% de las proteínas. Es el segundo cereal más producido en el mundo, y el único el cual se utiliza solamente para consumo humano (FAO, 2004).

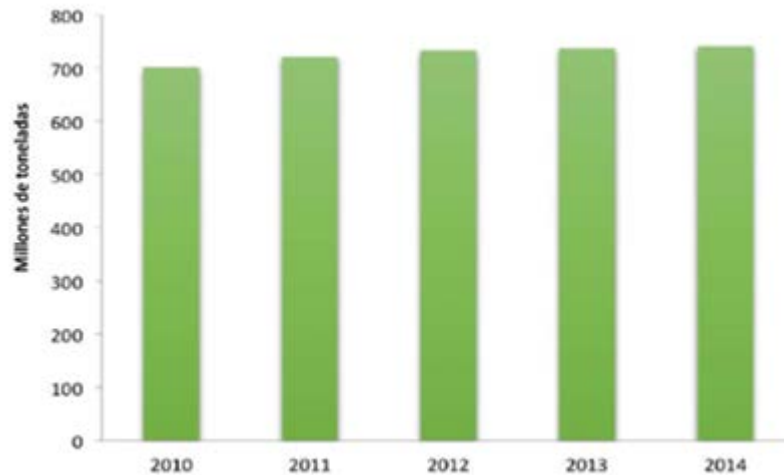


Figura 1. Volumen de producción mundial de arroz para el periodo 2011- 2014. Fuente: FOSTAT 2017

En 2014, como se muestra en la Figura 1, la producción mundial de maíz fue de 1,037 millones de toneladas, de arroz 741 millones de toneladas, y de trigo 729 millones de toneladas (FAOSTAT, 2017).

### Fisiología de la planta de Arroz

La planta de arroz comprende un proceso fisiológico completo, desde la germinación hasta la madurez del grano. Los cambios cuantitativos y cualitativos, están directamente desarrollados con la edad de la planta y en mayor o menor grado con la interacción con el medio ambiente (Zamalloa, 2008). La planta de arroz posee tres fases de crecimiento bien diferenciadas, en las cuales ocurren 10 etapas fisiológicas.

#### Fase Vegetativa

Esta fase abarca desde la germinación de la semilla hasta la diferenciación del primordio floral (Fernandez et al, 1985). Es la única etapa en la que su duración es variable, ya que esta determinada por las variedades que se cultiven. En esta etapa se determina el número total de hijos que serán producidos por la planta (Moquete, 2010).

#### Fase Reproductiva

Esta fase comienza inmediatamente luego de concluir la fase vegetativa. Se determina por la aparición de los órganos reproductivos en la planta, con una duración promedio de 35 días, siendo de suma importancia completar el suministro total del nitrógeno demandado por la planta en el inicio de esta fase (Moquete, 2010).

#### Fase de Maduración

Como menciona Zamalloa (2008), esta fase inicia con la apertura de flores y concluye con la madurez del cultivo. La principal etapa de desarrollo que se identifica en esta fase es el desarrollo y llenado de granos, fase la cual dura alrededor de 30 días en la mayoría de cultivares.

## Componentes de Rendimiento del Arroz

Dentro de los componentes de rendimiento que se toman en cuenta para estimar y alcanzar una buena producción se encuentra el número de panículas/m<sup>2</sup>, número de espiguillas/panícula, % de granos llenos y el peso del grano, los cuales dependen de la época de siembra, variedad, manejo del cultivo y de la fertilización, nitrogenada principalmente, aunque no es la única determinante (Moquete, 2010). Algunos de los parámetros, para alcanzar una alta producción, de los componentes de rendimiento que se utilizan son:

- 250 a 300 panículas/m<sup>2</sup>
- 100 a 120 espiguillas/panícula
- % de granos vanos no mayor a 20
- Peso de grano de 25 a 30 g/1,000 granos

## Fertilización en el cultivo de arroz

La fertilización es uno de los factores determinantes para un buen desarrollo de cultivo y alcanzar rendimientos aceptables. Al igual que en los demás cultivos, es indispensable realizar análisis previos de fertilidad de los suelos a cultivar para dosificar las cantidades de fertilizante adecuadas en los momentos de mayor demanda de las etapas fisiológicas de la planta.

### Nutrientes de mayor importancia para obtener un alto rendimiento

Dentro de los más importantes se mencionan el Nitrógeno, Fósforo y Potasio como macro nutrientes, y como fertilizaciones rutinarias el Zinc y Azufre como micro nutrientes (Moquete, 2010).

## Importancia del fósforo en los cultivos

La respuesta de los cultivos a aplicaciones de fósforo está afectada por la interacción de una gran cantidad de factores, tanto de manejo de cultivo como de la interacción con otros nutrientes, características del suelo, fase de desarrollo del cultivo, clima, variedad y el método de aplicación seleccionado. En general, las respuestas son consistentes, y aun mayores cuando se cuenta con una baja disponibilidad en el suelo de este nutriente (Dibb, Fixen & Murphy, 1990).

## Fisiología del fósforo en el cultivo de arroz

El fósforo es uno de los elementos más importantes en el desarrollo y el metabolismo de las plantas. Las formas inorgánicas regulan una gran cantidad de actividad enzimática y rutas metabólicas relacionadas al proceso de transporte. Además, su deficiencia afecta varios aspectos de la fotosíntesis, ya que se ha demostrado mediante varios estudios que reduce de manera significativa la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> de las plantas (Xu, Weng & Yang, 2007).

El fósforo es uno de los reguladores de la fotosíntesis, principalmente de la actividad del ciclo de Calvin, en particular, es responsable de la cantidad y la actividad de la Rubisco y la regeneración de la Ribulosa 1-5 bifosfato (Rao & Terry, 1989).

En efecto, la fotosíntesis es el sumidero mas importante para la absorción de energía en las hojas, por lo que este sistema se puede ver expuesto a una exceso de energía lumínica, como consecuencia a una baja fijación de CO<sub>2</sub> inducida por la deficiencia de fósforo (Jacob & Lawlor, 1991).

Li, et al. (2004), ha demostrado bajo diversas investigaciones, que un insuficiente aporte de fósforo a las plantas, induce fotoinhibición, además de daños en el fotosistema II.

Xu, Weng & Yang (2007), demostraron que plantas de arroz sometidas a deficiencia de fósforo, en el día 32 la tasa de producción de O<sub>2</sub><sup>-</sup> y la actividad de la superóxido dismutasa, se incrementó en 74.4 y 63.7%, en comparación a las plantas con el suministro adecuado del nutrimento. La baja cantidad de pigmentos fotosintéticos, y la débil capacidad de fotosíntesis inducida por la deficiencia de fósforo en las plantas de arroz, resulta en la acumulación de un exceso de fotones de energía por debajo de alta irradiación, lo cual a su vez incrementa la concentración de especies reactivas de oxígeno (ROS) como subproductos de la fotosíntesis, incluyendo peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, radicales hidroxilo OH, superóxido O<sub>2</sub><sup>-</sup> y oxígeno singlete <sup>1</sup>O<sub>2</sub>.

### Factores que Influyen en la disponibilidad y absorción del fósforo

Además del complejo sistema del suelo, la reducción de los sistemas de labranza de cultivo para la reducción de la erosión, provee retos para la agricultura debido a la compactación de los mismos y otras características a las cuales está modificada de manera directa. La disponibilidad y la absorción del fósforo es una de las más afectadas por esta tendencia de labranza, lo que nos lleva a hacer énfasis en los métodos de aplicación y la importancia de ofrecerle al cultivo las cantidades adecuadas de fósforo.

### Baja temperatura del suelo

Un gran número de investigaciones indica que uno de los factores que se ve afectado de manera directa es la temperatura del suelo, ya que esta se reduce hasta en 5 °C con el uso de labranza mínima o labranza cero (Dibb, Fixen & Murphy, 1990).

Bajas temperaturas afectan de manera directa la mineralización de fósforo orgánico, debido a la baja actividad microbiana, además de reducir la solubilidad molar de compuestos de fósforo inorgánico (Dibb, Fixen & Murphy, 1990).

Nielsen et al (1961), demostró que al elevar la temperatura de 5 grados centígrados a 27, incrementó 400% el desarrollo de plantas de maíz y en 275% la absorción de fósforo, adicionalmente el crecimiento de las raíces de vio beneficiado en un 7,600% al alcanzar el máximo de desarrollo del cultivo.

Una de las principales causas determinadas de estos efectos de la temperatura en la absorción del fósforo, es que las bajas temperaturas aumenta la viscosidad de la solución del suelo reduciendo la tasa de difusión, disminuyendo la cantidad de fósforo presente en la superficie de las raíces para su absorción (Barber, 1980).

Barber (1980), también notó en sus investigaciones, que por cada grado centígrado que se aumente en la temperatura, se incrementa de 1 a 2% la cantidad de fósforo disponible en la solución del suelo.

## Compactación del suelo

Esta muy bien reconocido que la alta densidad aparente y la compactación del suelo, reduce la tasa de difusión de fósforo, además de reducir la cantidad de oxígeno presente en el suelo la cual afecta la respiración de las raíces y la absorción de fósforo (Dibb, Fixen & Murphy, 1990). Por esta razón, es sumamente importante prestar atención a la reincorporación de los residuos de cultivos al suelo para favorecer a reducir la compactación.

## Factores químicos del suelo

Las características químicas del suelo, forman las bases para la relación de la fertilización fosforada y la disponibilidad del nutrimento en los suelos. La disponibilidad de fósforo se ve afectada por la composición mineral, contenido de materia orgánica, pH del suelo, la capacidad de fijación de los suelos del nutrimento y la interacción con otros nutrientes (Dibb, Fixen & Murphy, 1990).

El pH del suelo posee un rol determinante en la disponibilidad del fósforo, ya que afecta la cantidad y la manera en que es fijado al suelo. El rango óptimo para su disponibilidad se encuentra entre 6 y 7, y se ve reducida al alejarse de cualquiera de los dos valores.

La disponibilidad del nutrimento varía de acuerdo a la capacidad buffer del suelo; algunos suelos ácidos, absorben una gran cantidad de fósforo, con un pequeño incremento en su disponibilidad. Por otro lado, pH's alcalinos contienen una gran cantidad de calcio libre (carbonatos), volviendo indisponible el fósforo para el uso de las plantas (Dibb, Fixen & Murphy, 1990).

A diferencia de suelos de tierras altas con un bajo porcentaje de humedad, suelos con pH ligeramente ácidos e inundados, el fósforo se vuelve disponible debido a la relación con el hierro, las especies de hidróxido y la capacidad de óxido-reducción que se potencializa en estos complejos del suelo (Friesen & Blair, 1982).

La reducción de la disponibilidad del nutrimento, debido a las formas de fijación, son la razón por la cuál se realiza un énfasis en la búsqueda de métodos de aplicación adecuados, los cuales mejoren la disponibilidad y la respuesta de los cultivos.

## Alternativas de aplicación del fósforo

El fósforo es el factor principal del medioambiente que controla el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, ya que generalmente se encuentra en sus formas no disponibles en muchas regiones alrededor del mundo. Los complejos sistemas que existen en el suelo, implican un reto para la agricultura en la implementación de métodos de aplicación del fósforo más eficientes.

Dibb, Fixen & Murphy (1990), mencionan que la aplicación de fertilizantes fosfóricos al suelo como fertilizaciones base y/o rutinarias, son más eficientes en elevar los niveles de fósforo disponible en suelos los cuales poseen una disponibilidad media-alta del nutrimento, no así en los suelos con deficiencias de fósforo.

## Aplicaciones foliares de fósforo

Las aplicaciones foliares surgen como una alternativa eficiente y de bajo costo ante la complejidad del sistema de los suelos, para la corrección de deficiencias así como suplementar las fertilizaciones de rutina en el cultivo.

El fósforo por ser un elemento móvil dentro de la planta, facilita su aplicación via foliar siempre y cuando se utilice un pH adecuado de la solución a utilizar, surfactantes y penetrantes recomendados por proveedores de productos de uso agrícola.

### Otras consideraciones

El fósforo estimula el crecimiento radical, lo que favorece la absorción de agua y nutrimentos y aumenta la resistencia al acame, promueve una floración y cosecha temprana, beneficia el macollamiento, incrementando la resistencia de la planta a condiciones adversas y favorece el llenado de grano. A diferencia de otros cultivos de frutos, los granos de arroz solamente traslocan menos del 12% del potasio absorbido por la planta hacia los granos, mientras que el 85% del fosforo absorbido es traslocado hacia los granos, siendo un factor determinante para el rendimiento del cultivo.

Las aplicaciones de fósforo via foliar, se deben de realizar entre los 60 y 80 días después de germinado, ya que es el período de mayor demanda del cultivo. Durante la fase de desarrollo reproductivo (aparición de órganos reproductivos), se demanda una gran cantidad de energía química la cual es transformada por los pigmentos fotosintéticos a ATP por medio del transporte de electrones, proceso en el cual el fósforo es el sustrato prioritario para su síntesis. Por esta razón las aplicaciones foliares como complemento a las aplicaciones de rutina, se concentran en esta fase del desarrollo para suministrar al cultivo el fósforo que esta demanda en la dosis, tiempo y forma necesaria.

Además, con estas aplicaciones, se reducirán daños irreversibles en el sistema fotosintético de las plantas de arroz, reduciendo la concentración de radicales libres como subproducto de la fotosíntesis y un correcto funcionamiento del metabolismo de la planta y la actividad enzimática regulada por el fósforo.

### Recomendaciones Stoller

Dentro de la paleta de productos Stoller recomendados para este segmento de cultivos en las etapas anteriormente señaladas, contamos con los productos:

**Fosmoly:** por su alto contenido de Fosforo ( $P_2O_5$  40%), aporta grandes cantidades de este elemento, complementando los requerimientos en la etapa de llenado de granos, reduciendo el porcentaje de granos vanos y mejorando la calidad de la cosecha. Además, contiene Molibdeno al 1%, lo que incrementa la eficiencia del uso del Nitrogeno dentro de la planta y la absorción del mismo, estimulando la enzima nitrógeno reductasa. Su aplicación se recomienda a razón de 1 L/Ha, a partir de los 60 días después de la germinación.

**Xylex 6-18-6:** fuente de Fósforo ( $P_2O_5$  18%), complementa las necesidades de este elemento en las etapas de floración y llenado de grano, otorgándole a la planta la energía necesaria para obtener un mayor porcentaje de llenado de granos y la corrección de deficiencias. Aporta un 6% de Nitrógeno y Potasio, además de micronutrimentos esenciales para el correcto funcionamiento del metabolismo del cultivo: Boro 0.0091%, Cobre 0.0065%, Hierro 0.0150%, Manganeso 0.0130%, Zinc 0.0048%, Cobalto 0.0003% y Molibdeno 0.0008%. Se recomienda realizar al menos una aplicación a los 60 días después de la germinación a razón de 2 L/Ha.

Stoller – ¡Liberando el poder de las plantas!

## Literatura Citada

Barber SA (1980) Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: Khasawneh FE, Sample EC and Kamprath EJ (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, pp. 591-616. Madison, WI: American Society of Agronomy

D.W. Dibb, P.E. Fixen & L.S. Murphy, 1990. Balanced fertilization with particular reference to phosphates: interaction of phosphorus with other inputs and management practices. *Fertilizer Research* 26: 29-52

FAO, 2004. *El Arroz y la Nutrición Humana (El Arroz es Vida)*. Disponible en: <http://www.fao.org/ri ce2004/es/f-sheet/ho ja3.pdf>

FAOSTAT, 2017. Volúmen de la producción mundial de arroz para el periodo 2010-2014.

Fernández, et al 1985. Crecimiento y Etapas de Desarrollo de la Planta de Arroz. En: *Arroz: Investigación y Producción*. Editado por Eugenio Tascón y Elías García. CIAT, Cali, Colombia.

Friesen DK & Blair GJ (1982) Phosphorus in tropical agriculture with special reference to South-East Asia. In: Puspharajah E. and Hamid SHA (ed.) *Phosphorus and Potassium in the Tropics*, pp. 147-174. Kuala Lumpur, Malaysia: Malaysian Society of Soil Science

X. Xu, X. Y. Weng, and Y. Yang, 2007. Effect of Phosphorus Deficiency on the Photosynthetic Characteristics of Rice Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2007, Vol. 54, No. 6, pp. 741–748.

Jacob, J. and Lawlor, D.W., 1991. Stomatal and Mesophyll Limitations of Photosynthesis in Phosphate Deficient Sunflower, Maize and Wheat Plants, *J. Exp. Bot.*, 1991, vol. 42, pp. 1003–1011.

Li, S.C., Hu, C.H., Gong, J., Dong, S.T., and Dong, Z.X., 2004. Effects of Low Phosphorus Stress on the Chlorophyll

Fluorescence of Different Phosphorus Use Efficient Maize (*Zea mays* L.), *Acta Agro. Sinica*, vol. 30, pp. 365–370.

Luque, 2009. *La Producción de Arroz*. En: Portal besana Agrícola. ([Portal.besana.es/información](http://Portal.besana.es/información))

Moquete; 2010. *Guía Técnica El Cultivo de Arroz*. Serie Cultivos No.37. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 2010. 166 p.

Nielsen KF, Halstead RL, MacLean AJ, Bourget SJ & Holmes RM (1961) The influence of soil temperature on the growth and mineral composition of corn, bromegrass and potatoes. *Soil Sci Soc Am Proc* 25: 369-372

Rao, I.M. and Terry, N., 1989. Leaf Phosphate Status, Photosynthesis and Carbon Partitioning in Sugar Beet: I. Changes in Growth, Gas Exchange, and Calvin Cycle Enzymes, *Plant Physiol.*, vol. 90, pp. 814–819.

Zamalloa, 2008. *Comparativo de Rendimiento de Cuatro Variedades de Arroz en Pozas con Enmiendas en Dos Localidades de la Selva del Manú en Perú*. Disponible en: <http://www.edym.com/pm/pro manu/web01/literat.htm>

Por Juárez-Herrera, G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Horticultura, Departamento de Investigación y desarrollo,

**Stoller de Centroamérica S.A.**