



Guía para la fertilización en el cultivo del arroz



FEDEARROZ

FONDO NACIONAL DEL ARROZ



AMTEC

Adopción Masiva de Tecnología





GUÍA PARA LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ

Luis Armando Castilla Lozano, IA, M.Sc, Ph.D
Yeimy Carolina Tirado Ospina, IA

FEDEARROZ - Fondo Nacional del Arroz

Noviembre 2018

INTRODUCCIÓN

En términos generales existen diversos factores que influyen en el crecimiento y producción de los cultivos, siendo la nutrición uno de los principales para que las plantas puedan expresar su potencial de rendimiento, la nutrición es la absorción de los nutrientes necesarios para que la planta pueda desarrollar sus funciones vitales y se puedan obtener buenos rendimientos a menores costos de producción.

El suministro de nutrientes a las plantas es función de una compleja interacción de diferentes factores y procesos, por lo cual hay que tener en cuenta que no siempre que se fertiliza se está nutriendo ya que existen diversos aspectos que influyen para tener una planta bien nutrida; entre los cuales se encuentran la interacción genotipo – ambiente, entendiendo como ambiente la influencia que tiene el suelo, la disponibilidad del agua y el clima sobre la absorción y disponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo. Así mismo, el clima incide directamente sobre los rendimientos, por lo cual es necesario identificar las épocas de siembra ideales en donde las condiciones como la radiación solar y las temperaturas máximas y mínimas, presenten sus valores óptimos para el crecimiento y desarrollo de la planta, permitiendo expresar su potencial de rendimiento. Cabe resaltar además que para alcanzar dichos potenciales de producción es necesario tener en cuenta otros factores tales como: una excelente preparación del suelo lo cual garantice no sólo un manejo adecuado del agua y por ende disponibilidad de la fertilización, sino también una población óptima de plantas por metro cuadrado que para el arroz se estima entre (200 – 450 plantas/m²).

En muchos suelos, el crecimiento de las plantas o la producción de un cultivo son limitados por la falta de algún nutrimento, lo cual ocasiona deficiencias. Para poder corregir estos problemas nutricionales es esencial primero diagnosticar correctamente cual elemento se encuentra en forma deficiente o tóxica. Este análisis se puede hacer con base en observaciones visuales, análisis de suelos o de tejido vegetal.

Es indispensable entender que la fertilidad del suelo es la capacidad que tiene este para suministrar los nutrimentos que demanda el desarrollo de los cultivos. Esta disponibilidad de nutrimentos para la planta está relacionada con múltiples factores del suelo, del medio ambiente, y de la planta misma, por lo cual su cuantificación es necesario hacerla mediante el uso de varios criterios de tipo físico, químico y biológico. En la evaluación de la fertilidad del suelo, previa a la recomendación de fertilizantes y a la formulación de enmiendas, el análisis de suelo constituye una herramienta de trabajo de indiscutible utilidad pero el éxito de su aplicación dependerá en alto grado del criterio científico y técnico del profesional que lo utilice (Guerrero, 1988).

La fertilización es una práctica insustituible en la actividad agraria, consistente en reponer al suelo aquellos nutrientes que se van agotando por la propia extracción de los cultivos, que constituye uno de los rubros que mayor valor tiene dentro de la estructura de costos de producción en el cultivo de arroz, por lo tanto se hace necesario identificar estrategias que permitan tanto el buen desarrollo del cultivo como la reducción de costos. Así, una fertilización excesiva, no ajustada a las necesidades reales del cultivo, ya sea por cantidad, tipo de abono o época de aplicación, puede provocar problemas por lixiviación de nitratos, eutrofización de aguas y emisiones de gases de efecto invernadero, además de un gasto innecesario que no repercute en un incremento equivalente de la producción. Del mismo modo, una fertilización insuficiente acarrea no sólo una reducción en el rendimiento del cultivo sino también una pérdida de la fertilidad del suelo.

En esta guía se describirán paso a paso los fundamentos que se deben tener en cuenta para la realización de un plan de fertilización en un cultivo del arroz.

¿QUÉ ES EL SUELO?

El suelo es una masa dinámica con comportamientos cambiantes en sus propiedades, debido a factores como clima, temperatura, lluvia, luminosidad y organismos, además es el sitio de anclaje y alimentación de las plantas, de allí su importancia para su conservación y buen manejo.

La formación de los suelos dio origen a capas individuales conocidas como horizontes, las cuales toman millones de años para su formación. El horizonte A es la primera capa que se encuentra en la parte superior, generalmente es de color más oscuro por la mayor concentración de materia orgánica. El horizonte B, es la segunda capa la cual es de color más claro. Por su parte, el horizonte C es la capa inferior del perfil. Por último se encuentra la roca madre o material parental sobre la cual se formó el suelo (Figura 1).

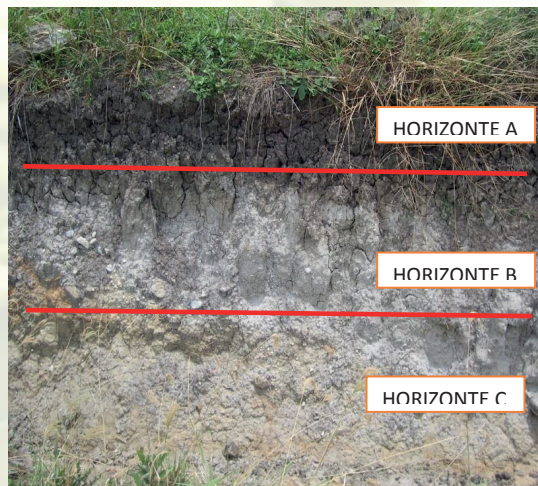


Figura 1. Perfil del suelo.

El suelo está conformado por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida, se considera como el depósito de los nutrientes para las plantas. La fase líquida es la responsable de la solubilización y transporte de los nutrientes y la fase gaseosa facilita el intercambio de oxígeno que ocurre entre los numerosos organismos vivos del suelo (Fedearroz, 2000).

Para el reconocimiento y la caracterización de los perfiles del suelo es necesario realizar una calicata, la cual es una excavación que se realiza en el suelo para fines de estudio, allí se pueden analizar los aspectos físicos del suelo como, compactación, textura, estructura, color, profundidad efectiva; lo recomendable es hacerla de un metro de ancho por un metro de largo por un metro de profundidad (Figura 2).



Figura 2. Caracterización del perfil de suelo, en una calicata.

2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

La disponibilidad de los elementos necesarios para la nutrición de las plantas, puede ser afectada por factores ligados al suelo como el pH, el tipo de arcilla, el contenido de materia orgánica, la actividad de microorganismos, el contenido de agua y la fuente de fertilizante aplicada, especialmente por su solubilidad. (Donald, 2007).

Así mismo, la asimilabilidad de los elementos nutritivos presentes en el suelo depende no sólo de la forma química en que se encuentren, sino que es también función del clima, de la genética de la planta, de su estado de

desarrollo, de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y de las prácticas culturales.

En la Tabla 1 se presentan los diferentes factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes, resaltándose que estos afectan de manera diferente a cada elemento.

Tabla 1. Factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes.

NUTRIENTE	Materia orgánica	Humedad	Temperatura	Radiación	pH	Textura	Concentración
Nitrógeno	x	x	X	x	x		X
Fósforo	x	x	X	x	X		X
Potasio			X		X		X
Calcio		x			X		x
Magnesio					X		x
Azufre	x					x	X
Silicio	X	X			X	X	
Hierro		x			X		
Manganeso		x			x		
Zinc					X		
Boro					x	x	X
Cobre					X		
Molibdeno					X		
Cloro	X	X				x	X

Fuente. Castilla, 2014.

2.1 Propiedades y manejo físico del suelo

Los suelos están constituidos por una mezcla de varios componentes: partículas minerales y materia orgánica. Los suelos no son iguales, difieren en sus capacidades para suministrar los diferentes nutrientes a las plantas, dependiendo de la textura y de su composición mineralógica. A continuación se mencionan algunas de las características físicas más importantes de un suelo, las cuales pueden ser evaluadas en campo a través del establecimiento de una calicata, o en laboratorio, y son necesarias a la hora de tomar la decisión para elaborar un plan de fertilización.

Textura: Son las cantidades relativas de arena, limo y arcilla; según sus proporciones se les puede clasificar como arenosos o livianos, francos o medianos y arcillosos o pesados.

La textura influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.) y su capacidad para descomponer la materia orgánica. Los suelos arenosos, sueltos, tienen pocos poros y de gran tamaño, están bien aireados, son permeables y pueden almacenar poca agua y nutrientes. Los suelos arcillosos, fuertes, con muchos más poros pero más pequeños, son más compactos, menos permeables y pueden retener una mayor cantidad de agua y elementos químicos, por tanto su fertilidad es más elevada.

La proporción de las partículas de arena (0,05 - 2 mm), limo (0,002 - 0,05 mm) y arcilla (menor de 0,002 mm) se determina en el laboratorio y, conocidos estos valores, se utiliza el triángulo textural (Figura 2) para conocer la clase de textura. Para el cultivo del arroz se prefieren suelos arcillosos con buena capacidad de retención de humedad.

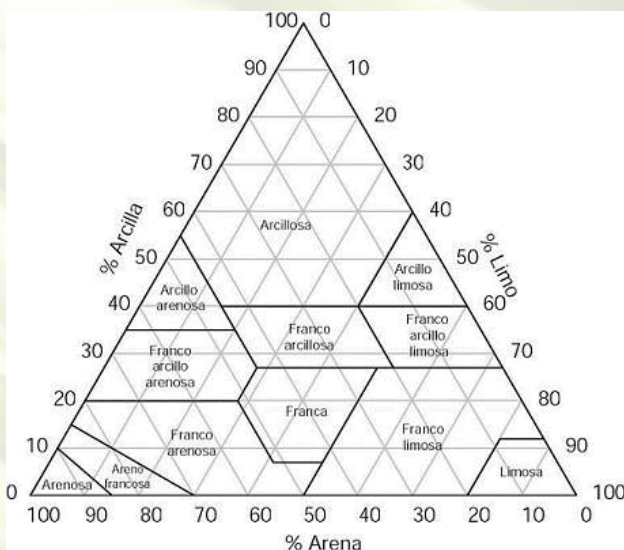


Figura 3. Triángulo textural (Blanco, 2003).

Estructura: Es la manera como se agregan las partículas tomando formas: laminar, columnar, blocosa, prismática y granular.

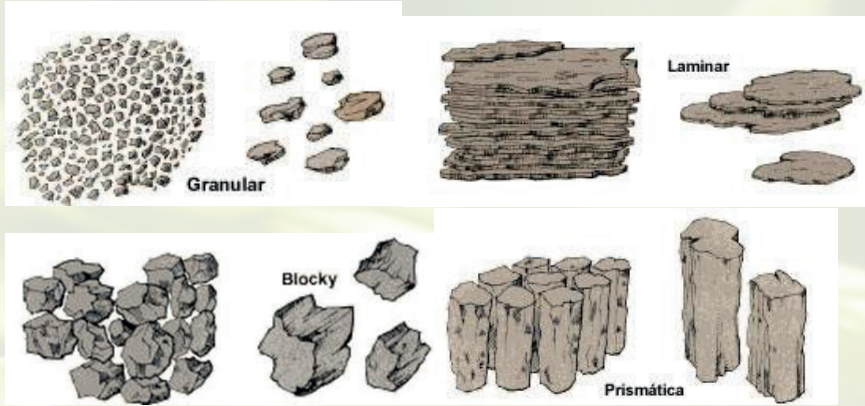


Figura 4. Estructura del suelo (Blanco, 2003).

Color: Da un índice del contenido de materia orgánica, acidez y encharcamiento. Los suelos más oscuros son ricos en materia orgánica y de mayor fertilidad, mientras que los suelos pardos, rojizos y amarillentos son ácidos y de baja fertilidad. Los colores grises azulados indican que son suelos que se encharcan.

Porosidad: En el suelo existen pequeñas cavidades llamadas poros, los cuales son ocupados por el agua y el aire. En los suelos arenosos priman los poros grandes y se les denomina macroporos. En los francos predominan los poros medianos y se les llama mesoporos. En los arcillosos por su parte, son comunes las cavidades pequeñas llamados microporos.

La porosidad total de un suelo se determina en porcentaje y se calcula con base en las densidades real y aparente del suelo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\%porosidad = 1 - \left(\frac{Da}{Dr} \right) \times 100$$

Donde,

Da: densidad aparente

Dr: densidad real

Densidad: Hace referencia a la relación que existe entre el peso de un volumen conocido y el peso del volumen de agua que desaloja. En el suelo se distinguen dos tipos de densidad: la real y la aparente. La densidad real considera el peso del volumen absoluto de las partículas del suelo excluyendo el espacio poroso, mientras que la densidad aparente considera el peso de un volumen de suelo en su condición natural a nivel de campo, incluyendo los espacios porosos. Tanto la densidad real como la aparente se expresan en gramos por centímetros cúbico (g/cc) que equivale a toneladas por metro cúbico (t/m³).

La densidad real de los minerales presentes en el suelo varía entre 2.5 y 3.0 g/cc. y depende de los minerales que lo conforman, por lo tanto, no es afectada por la estructura y la textura del suelo. Por el contrario, la densidad aparente si es influenciada por la estructura y la textura, disminuyendo su valor con el incremento de los espacios porosos del suelo. La densidad aparente normal de los suelos agrícolas oscila entre 1.2 y 1.5 g/cc. No obstante, en los Andisoles (suelos derivados de cenizas volcánicas) puede ser 0.5 a 1.0 g/cc y, en suelos compactados, su valor puede superar los 1.7 g/cc. A medida que la densidad aparente aumenta, disminuye la porosidad total que, a su vez, incide en la disponibilidad de agua y aire y en la penetración radicular (Blanco, 2003).

Con relación al cultivo del arroz, valores mayores de 1.6 g/cc en la densidad aparente en suelos de textura franco arcillo arenosa afecta el rendimiento de la planta de arroz y la respuesta a la fertilización nitrogenada y potásica. Siendo la densidad aparente ideal en este tipo de suelo entre 1.4 y 1.5 g/cc donde la planta de arroz logra los mayores rendimientos con menor cantidad de fertilizante.

En suelos de textura franca y franco arenosa valores mayores de 1.5 g/cc afectan el rendimiento de la planta de arroz, valores menores por su parte, crean las mejores condiciones físicas del suelo para un buen desarrollo del cultivo

Profundidad efectiva: Es la profundidad hasta donde llegan sin tropiezo o inconvenientes las raíces de las plantas en busca de agua y nutrientes. Los factores que afectan la profundidad efectiva son: compactación, piedras o rocas, agua o sales y concentraciones altas de algunos elementos químicos, para el cultivo del arroz la profundidad efectiva ideal es 20 cm, ya que es la longitud máxima que alcanzan las raíces.

2.2 Labranza

La labranza es una práctica trascendental para garantizar el mejoramiento de los suelos y la sostenibilidad de la agricultura, sin embargo ha recibido poca importancia en el manejo de los cultivos. Los sistemas de labranza intensivos han originado problemas de compactación y erosión. La labranza debe ser correctiva, ya que debe eliminar cualquier factor físico, químico y biológico que afecte el normal desarrollo de las raíces.

En un estudio realizado en un suelo de la Meseta de Ibagué, de textura FAra (Franco – Arcillo - Arenosa), que inicialmente presentaba valores altos en la densidad aparente, se determinó que al realizar labranza profunda se mejora las características físicas del suelo, disminuyendo la compactación y registrando valores bajos en la densidad aparente.

Al estudiar la interacción labranza – fertilización se determinó que cuando existen problemas de compactación la labranza convencional no soluciona este limitante del suelo y la planta de arroz requiere de dosis más altas de Nitrógeno y Potasio. Mientras que con la labranza profunda y modificada se descompacta el suelo en el primer horizonte y la planta de arroz responde a las menores dosis de Nitrógeno y Potasio.

Cuando se encuentra compactación en un suelo, la cual puede ser evaluada con el uso de un penetrómetro de cono (Figura 5) o un penetrómetro de bolsillo (Figura 6), se puede identificar estos problemas, donde valores mayores de 0.3 MPa (Mega Pascales) o 2.9 kgf/cm² (Kilogramo – fuerza por centímetro cuadrado) respectivamente, indican problemas de compactación para el cultivo de arroz, el uso de un arado de cincel vibratorio, permite

eliminar la compactación y mejorar la porosidad. Para el uso de este instrumento se debe tener en cuenta la humedad del suelo y el sentido de realizar esta labor, ya que lo aconsejable es diagonal a la pendiente del suelo y no pasar la profundidad de 20 cm, máxima profundidad que necesitan las raíces de arroz para su normal desarrollo.



Figura 5. Penetrómetro de cono.



Figura 6. Penetrómetro de bolsillo

En la Figura 7 y 8 se puede observar la compactación de un suelo antes y después de realizar un pase de arado de cincel vibratorio. Dichas evaluaciones fueron realizadas en un suelo de la meseta de Ibagué.

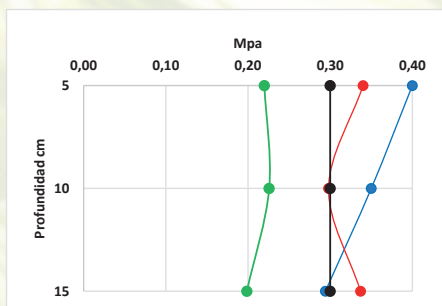


Figura 7. Análisis de la compactación de un suelo con el penetrómetro de cono antes de realizar un pase de arado de cincel vibratorio.

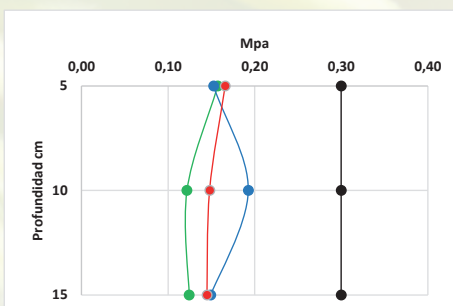


Figura 8. Análisis de la compactación de un suelo con el penetrómetro de cono después de realizar el paso de arado de cincel vibratorio.

2.3 Manejo del agua

El principal objetivo de conservar la humedad del suelo, está en propiciar el óptimo suministro de agua a la planta que conlleva a predisponer la absorción de nutrientes por ella. De manera general, las características físicas, químicas y biológicas del suelo son las que determinan que el suelo pueda retener la humedad y suministrar un adecuado balance nutricional.

Para garantizar igualmente una óptima humedad en el suelo, es necesario realizar prácticas de adecuación del suelo, las cuales involucran; la calibración de los equipos usados para la preparación del suelo, la micronivelación del terreno con equipos como Land plane, la descompactación del suelo con arado de cincel vibratorio, el caballoneo de precisión con equipos de tecnología láser o georreferenciada, y el uso de la taipa para la construcción de caballones que reduce tanto la altura de la lámina de agua como la velocidad de la misma.

El comportamiento de los nutrientes en el suelo no es el mismo cuando este permanece inundado o se alterna con el secamiento. La duración y profundidad de la lámina de agua, disminuye los niveles de oxígeno en el suelo y el potencial rédox y el pH tiende a ser neutro. Estos cambios de acuerdo al nivel de humedad, afectan la disponibilidad de los nutrimentos y la eficiencia de las diferentes fuentes de fertilizantes. Elementos como el fósforo, nitrógeno amoniacal, silicio, manganeso y hierro aumentan la disponibilidad a medida que el suelo se mantiene saturado y se reduce cuando el régimen de humedad es menor. Otros nutrimentos como el zinc y el cobre, presentan un comportamiento contrario, al ser afectados por la inundación, disminuyendo su disponibilidad por formación de sulfuros, los cuales pueden ser tóxicos para la planta de arroz de acuerdo a su concentración.

El manejo del riego y la humedad en el suelo en el cultivo del arroz se convierte en una estrategia o práctica fundamental en la nutrición de la planta de arroz. A medida que la eficiencia del sistema de riego sea baja, los costos por fertilización se incrementan, debido a la baja eficiencia de los fertilizantes y la nutrición de la planta afecta la expresión del potencial genético de producción de las variedades sembradas.

2.4 Propiedades biológicas

Materia orgánica: La materia orgánica es considerada la llave de la fertilidad del suelo, ya que ella no solo proporciona nutrientes, sino que también favorece las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. La materia orgánica es la fuente que contiene la reserva de nitrógeno, para la nutrición vegetal y proporciones considerables de fósforo, potasio y azufre; además es fuente de energía para la población microbiana del suelo.

Los residuos de cosecha se calculan entre 5 a 7 t/ha de Biomasa, son la principal fuente de materia orgánica, por lo tanto debe evitarse la quema de estos, y optar por picarlos con desbrozadora u otro implemento que cumpla esta función, con el fin de facilitar su manejo.

Igualmente se tienen también los cultivos denominados abonos verdes, coberturas, estiércol, residuos industriales y urbanos, los cuales juegan un papel muy importante en el mantenimiento de la fertilidad y en la recuperación de suelos degradados aumentando la actividad biológica, lo que ha constituido en una alternativa cada vez más usada.

Para mejorar la actividad biológica y la fertilidad, los abonos verdes se deben incorporar en la etapa media de su madurez, o sea, antes de la floración o poco después de esta. Los efectos son el incremento de la materia orgánica, mayor cantidad de nitrógeno asimilable, aumento en la actividad microbiana y solubilización de los nutrientes minerales del suelo. Además mejoran las condiciones físicas del suelo, favoreciendo entre otras la mayor capacidad de retención de agua cuando son incorporados secos.

Estudios realizados en el cultivo de arroz en el Tolima (Colombia), determinaron que a mayor concentración de materia orgánica en el suelo la población de microorganismo aumentaba. Cuando los suelos presentaban un contenido de materia orgánica bajo, menor 1.5%, la población estaba entre 50.000 y 250.000 unidades formadoras de colonia por miligramo de suelo (UFC/mg). Cuando era medio de 1.5% - 3.0% la población estaba entre 150.000 y 975.000 UFC/mg de suelo, pero cuando el contenido de materia

orgánica era mayor de 3% la población estaba entre 1.5 y 9.0 millones de UFC/mg de suelo bajo las condiciones agroecológicas de la zona cálida del Tolima.

2.4.1 Manejo de residuos de cosecha

Los altos costos en el rubro de la fertilización del cultivo de arroz se deben a un mayor precio de los fertilizantes, baja eficiencia de la fertilización, degradación de los suelos y un manejo tradicional de las recomendaciones de la fertilización; además del desaprovechamiento de los residuos de cosecha, los cuales tienen nutrientes que pueden ser aprovechados en la fertilización y nutrición en el cultivo de arroz. Por lo tanto, se hace necesario generar recomendaciones en el manejo de los residuos de cosecha que permitan aprovechar los nutrientes que estos tienen mediante un reciclaje de ellos para contrarrestar el alto costo de los fertilizantes, a través de un incremento en la eficiencia de la fertilización y mejoramiento de la fertilidad de los suelos (Figura 9).



Figura 9. Manejo de residuos de cosecha del arroz

También hay que valorar la importancia del manejo del tamo para reciclar y aportar los nutrientes, e incrementar la materia orgánica del suelo, mejorar la condición física y producir una mayor retención de humedad. El manejo del tamo, trozándolo en residuos de menor tamaño y la aplicación de *Trichoderma viride* o actividad biológica para acelerar la descomposición del tamo,

incrementa la fertilidad del suelo especialmente por la ganancia de Carbono y de nutrientes. Realizando la práctica de manejo de residuos de cosecha y reciclaje de nutrientes se logra incrementar el rendimiento del arroz entre 1.0 a 1.4 t/ha, indicando que se puede mejorar la rentabilidad conservando los recursos naturales y sin contaminar el medio ambiente y hacer del cultivo de arroz sostenible amigable con el ambiente y económicamente importante (Castilla, 2012).

2.5 Propiedades químicas

pH: Mide la actividad de los iones de hidrógeno (H^+) libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H^+ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total del suelo es la suma de las dos.

El pH puede variar desde 0 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican en: Suelos ácidos con pH inferior a 6,5, suelos neutros con pH entre 6,6 y 7,5 y suelos básicos con pH superior a 7,5

Tabla 2. Disponibilidad de los elementos de acuerdo al pH.

ELEMENTO	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
NITRÓGENO													
FÓSFORO													
POTASIO													
AZUFRE													
CALCIO													
MAGNESIO													
HIERRO													
MANGANESO													
BORO													
COBRE Y ZINC													
MOLIBDENO													

Fuente: modificado de Blanco, 2003.

2.5.1 Solución del suelo

La solución contiene sales que se hallan disociadas en aniones: nitratos, fosfatos, carbonatos, etc. y cationes: calcio, potasio, zinc, etc. Los fertilizantes son sales que cuando se incorporan al suelo, en contacto con el agua, se disocian en aniones y cationes pasando a la solución del suelo, la cual se encuentra en equilibrio donde la sumatoria de cationes y aniones es igual. Por ejemplo, el cloruro potásico, KCl , se disocia en dos iones K^+ y Cl^- y el nitrato magnésico, $Mg(NO_3)_2$, se disocia en un catión Mg^{2+} y dos aniones NO_3^- .

El complejo arcillo-húmico presenta cargas eléctricas negativas en su superficie, por lo que es capaz de atraer y retener iones con carga positiva (cationes), fenómeno que es conocido como adsorción. Los aniones no quedan retenidos por lo que pueden ser arrastrados disueltos en el agua, hasta capas profundas.

3. ANÁLISIS DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN BALANCEADA

El análisis químico del suelo es una herramienta valiosa que indica la cantidad total de elementos, los factores que afectan su disponibilidad y sirve para formular un plan de fertilización.

El balance de nutrientes en la fertilización incrementa los rendimientos de una a dos toneladas por hectárea, el balanceo no se limita al N, P o K, sino que es necesario otros nutrimentos como el Magnesio (Mg), constituyente de la clorofila de las plantas, Azufre (S), esencial en la formación de proteínas ya que hace parte de algunos aminoácidos y micro nutrimentos como el zinc (Zn), esencial para promover ciertas reacciones metabólicas, producir clorofila y formar hidratos de carbono; y sus relaciones catiónicas (Frye et al., 1991).

3.1 Toma de muestras

Como el análisis de suelos se realiza sobre una pequeña muestra y las determinaciones para cada elemento se hacen sobre submuestras aún más pequeñas (2 o 3 gramos son suficientes para la mayoría de las determinaciones), la toma de la muestra adquiere una importancia primordial.

La muestra debe ser representativa de las condiciones que se quieren analizar. Una muestra es una pequeña cantidad de suelo que representa el volumen que éste ocupa en el campo, considerando tanto el área como la profundidad. El terreno representado por la muestra debe ser uniforme en pendiente, vegetación, material parental, clima, grado de erosión, manejo y características del suelo.

Antes de iniciar la operación de muestreo debe dividirse el área de estudio en unidades que representen uniformidad. Para esta separación se tiene en cuenta relieve, vegetación, clima, características físicas, erosión y manejo.

Es importante tener en cuenta que cuando saquemos una muestra de suelo de un lote no debemos incluir zonas muy diferentes entre sí para lo cual es necesario identificar sectores o zonas dentro del mismo lote, ya sea por medio de una caracterización visual de la persona conocedora del lote, o por medio de la identificación de ambientes ya sea a través de imágenes satelitales o por sensores de rendimiento. Los cuales permitan caracterizar el lote y así sacar muestras de suelos en partes que sean más homogéneas entre sí.

3.2 Métodos de muestreo

Las imágenes satelitales son una herramienta con la cual se cuenta para lograr realizar mapas por ambientes en un lote, por medio del análisis de información de imágenes satelitales históricas de cada lote, se analiza en un periodo mínimo de 10 años la variabilidad temporal utilizando el índice de verdor (NDVI), el cuál es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, con base en la medición por medio de sensores

satelitales, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas espectrales, roja e infrarroja que la vegetación emite o refleja, y con base en esta información se hacen mapas de ambiente a una resolución de 30m x 30m cada pixel (Figura 10). Según Chávez y Kwarteng (1989) en Cartaya et al., (2015) el NDVI varía entre -1,0 y +1,0. De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos, pertenecen a nubes, agua, zonas de suelo desnudo y rocas; ya que sus patrones espectrales son generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo. El NDVI está directamente relacionado con la capacidad fotosintética y por tanto, con la absorción de energía por la cobertura vegetal. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona.

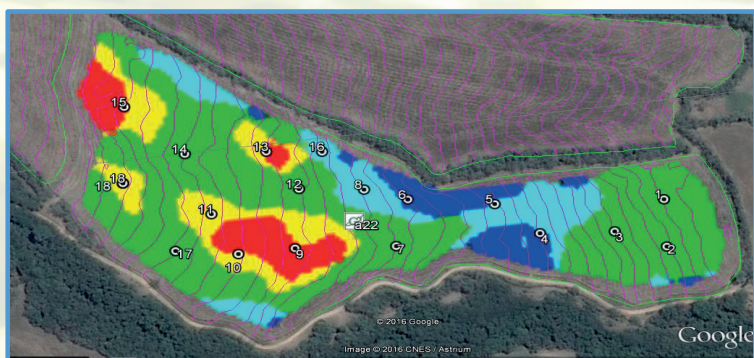


Figura 10. Mapa de ambientes obtenido a través de imágenes satelitales.

Los sensores de rendimiento permiten hacer una representación espacial de datos de rendimiento registrados durante la cosecha de un cultivo (Figura 11). Los mapas de rendimiento se obtienen a partir de los datos recolectados por una cosechadora que incluye un sistema de posicionamiento global, junto con un sistema de sensores que permiten calcular la cantidad de grano cosechado por unidad de superficie. La información obtenida por los sensores y el GPS, es centralizada y almacenada en una consola que sirve de interfaz con el usuario (Bragachini et al., 2006).

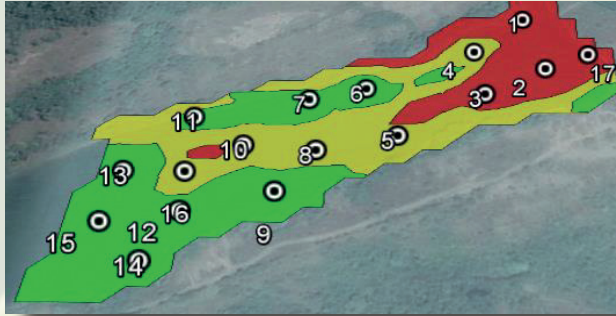


Figura 11. Mapa de ambientes obtenido a través de sensores de rendimiento.

No deben tomarse muestras a la orilla de cercas, caminos, sitios donde acostumbra descansar el ganado o se arrojan desperdicios, donde se han amontonado fertilizantes, cales o concentrados para el ganado, en áreas donde el suelo está protegido por la sombra de los árboles, y en la proximidad de canales y construcciones, las plantas tienen su mayor densidad radicular a la profundidad de arado (0-20 cm), por tanto, para la mayoría de los cultivos, ésta será la profundidad de muestreo.

3.3 Pasos para tomar la muestra de suelo

Una vez dividido el lote teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente, se procede a:

1. Raspe ligeramente la superficie del terreno donde va a tomar la muestra, sin remover demasiado el suelo.
2. Cave un hueco en forma de V cuyo tamaño debe ser igual al ancho de la pala y a una profundidad aproximada de 0 a 20 cm, dependiendo de la profundidad radicular del cultivo que se va a sembrar.
3. Utilizando la pala, corte una tajada de suelo de 2 a 3 cm. de ancho en una de las paredes del hueco.
4. Corte con el cuchillo o navaja los extremos de la muestra, tome la porción central de aproximadamente 10 cm. de ancho y colóquela en el balde plástico.
5. Mezcle bien el suelo depositado en el balde, quebrando los terrones. Si el suelo está muy húmedo, déjelo secar al aire sobre un papel limpio.

6. Finalmente deposite el suelo en una bolsa, debidamente rotulada para la identificación de la muestra.

3.4 Interpretación del análisis de suelo

La concentración de los nutrimentos y algunos componentes del suelo se expresan en unidades de medida reconocidas internacionalmente, estas son:

- Porcentaje (%): Se utiliza para expresar la materia orgánica y el nitrógeno.
- Partes por millón (ppm): Con esta unidad se miden el fósforo y los elementos menores.
- Miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100g de suelo) o centímol por kg de suelo (cmol/kg): Se usa para expresar los contenidos de todos los cationes intercambiables.

Para la interpretación de los análisis de suelo es necesario tener unos valores de referencia que a continuación se describen por cada uno de los elementos, los cuales nos permiten saber si la concentración de los mismos se encuentra alta, media o baja en el suelo, sin embargo es necesario tener en cuenta que los elementos están sujetos a una serie de factores que determinan su disponibilidad para la planta, factores que tiene en cuenta el SIFA “Sistema De Fertilización Arrocera” diseñado por Fedearroz (Tabla 3).

Tabla 3. Niveles de referencia en la concentración de nutrientes en el suelo.

NIVELES DE INTERPRETACION DE NUTRIENTES EN EL SUELO			
	BAJO	MEDIO-IDEA	ALTO
M.O %	< 1,49	1,5 - 3	>3,01
N	0,09	0,1-0,199	>0,2
P ppm	<9,99	10 - 20	>20,01
K meq/100g	<0,15	0,15 - 0,3	>0,301
Ca meq/100g	<2,99	3-6	>6
Mg meq/100g	<1,5	1,5-3	>3
S ppm	<10	10-20	>20
Fe ppm	<20	20-50	>50
Mn ppm	<10	10-30	>30
Zn ppm	<1	1-2	>2
Cu ppm	<1	1-2	>2
B ppm	<0,25	0,25-0,5	>0,5
Si ppm	<1	>1 <=5	>5
Al meq/100g	<=1 normal	>3 problema	-
Na meq/100g	<1	>1	-
	NORMAL	PROBLEMA	
pH	<5,5 ACIDO	>=5,5 - <=6, NEUTRO	>6,5 ALCALINO
CIC	<10	10 ---20	>20

Acidez intercambiable

La acidez intercambiable está relacionada con la presencia de Aluminio (Al^{+3}) e Hidrógeno (H^{+}) retenidos en el suelo. Generalmente en suelos minerales con valores de pH inferiores a 5.5 y en suelos orgánicos con valores de pH menores a 5.0 se pueden presentar problemas causados por altas concentraciones de aluminio en la solución del suelo. Esta condición es común en suelos de la zona de los Llanos Orientales, los cuales se caracterizan además por tener concentraciones de nutrientes bajas (nitrógeno, fósforo y potasio), así como presencia de acidez, condición que intensifica la dificultad para absorber por las plantas los nutrientes; por esta razón es importante realizar aplicaciones de enmiendas o correctivos basados en un previo análisis de suelo y en un plan de fertilización acorde con las problemáticas a solucionar (Fedearroz, 2011).

Se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios para verificar la concentración del Al^{+3} , cuando se sospeche que puede llegar a ser tóxico para los cultivos. a) Cuando el contenido de Al intercambiable en el suelo sea superior a 2 meq/100 gramos de suelo. b) Cuando la relación $(Ca + Mg + K) / Al$ sea menor o igual a 1. c) Cuando el porcentaje de saturación de Al en el suelo, con relación a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E) sea mayor del 25 %.

Este porcentaje se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ saturacion Al} = Al \frac{\left(\frac{meq}{100 g}\right)}{C.I.C.E} \times 100$$

Donde, Al = contenido de Al en el suelo (meq/100 g). C.I.C.E = capacidad de intercambio catiónico efectiva (meq/100 g). Cuando cualquiera de los 3 criterios mencionados se cumple es necesario la aplicación de una enmienda (cal) para neutralizar el efecto tóxico del Aluminio (Blanco, 2003).

El exceso de aluminio (Al) interfiere la división celular en las raíces de la planta y esta es la razón por la cual el sistema radicular de plantas creciendo

en suelos ácidos es atrofiado y pobremente desarrollado. La presencia de altas concentraciones de aluminio en la solución del suelo inhibe también la absorción de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) por las plantas. Por su parte, la disponibilidad de Fósforo se ve igualmente afectada ya que la reducción del pH permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia libera Al y Hierro (Fe), los cuales reaccionan con el fósforo aplicado y lo precipita como fosfatos insolubles de Al y Fe (Espinosa, 2000).

Enmiendas en suelos ácidos

Las enmiendas son productos naturales a base de Calcio y Magnesio que se utilizan para corregir la acidez del suelo y neutralizar los efectos tóxicos causados por altas concentraciones de Aluminio, Hierro y Manganeseo en los suelos ácidos. Así mismo se usan para suministrar Calcio y Magnesio cuyas deficiencias son muy comunes en dichos suelos. Por sus altos contenidos de Calcio también se les denomina cales. Las enmiendas también pueden ser utilizadas para corregir los suelos alcalinos, o sea aquellos que tienen pH muy altos (generalmente pH mayor de 8), caracterizados por sus altas concentraciones de sales. En estos casos se usa el sulfato de calcio (CaSO_4) que por su reacción ácida en el suelo actúa como corrector de la alcalinidad (Blanco, 2003).

Los principales tipos de enmiendas o cales que se encuentran en el mercado son los siguientes:

1. Cal Viva: Es la misma piedra caliza calcinada o quemada en hornos. Es un óxido de calcio (CaO) que contiene alrededor del 70% de calcio
2. Cal Apagada: Conocida también como cal hidratada Ca(OH)_2
3. Cal Agrícola: En su forma natural se encuentra como Carbonato de Calcio (CaCO_3) y tiene una concentración aproximada del 40% de Calcio.
4. Cal Dolomítica: Es una mezcla de carbonatos de Calcio y de Magnesio. ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en diferentes proporciones. Esta cal es la más recomendada para corregir suelos ácidos deficientes en Calcio y Magnesio porque, además de neutralizar la acidez del suelo, permite mantener la relación entre estos dos elementos alrededor de tres, que es la más indicada para la mayoría de los cultivos, es decir tres partes de Calcio por una de Magnesio.

Las aplicaciones de enmiendas se recomiendan ser incorporadas al suelo, 20 a 30 días antes de sembrar el arroz, garantizando en este tiempo un buen contenido de humedad del suelo.

La dosis adecuada depende de la magnitud de la acidez y en el programa SIFA se puede determinar.

Enmiendas suelos alcalinos

Suelos con pH superiores a 6.5 pueden presentar problemas de alcalinidad, donde los carbonatos de Calcio y Magnesio se encuentran en concentraciones altas produciendo muerte de plantas estos suelos son los denominados calcáreos, o la salinidad se encuentra en valores altos por la presencia de bicarbonatos, cloruros o sulfatos indicando valores en la conductiva eléctrica mayor 2 deciSiemen por metro dS/m, o se pueden presentar suelos sódicos donde la concentración de sodio intercambiable supera el 15%, igualmente en suelos con altos contenidos de Arcilla tipo 2:1 a partir del 7% de PSI (porcentaje de sodio intercambiable) se presentan problemas en el cultivo del arroz por altas concentraciones de Sodio (Na).

En este caso las enmiendas más indicadas son el Azufre, el yeso (Sulfato de Calcio) y los silicatos, aplicadas en presiembra 30 días antes de la siembra y luego instalar el lote para regar haciendo dos riegos de lavado antes de sembrar. En el programa SIFA se puede determinar la dosis de la enmienda de acuerdo a la magnitud del problema.

4. DEMANDA NUTRICIONAL DE LA PLANTA DE ARROZ Y MOMENTO DE APLICACIÓN DE CADA ELEMENTO

La planta de arroz requiere de una cantidad de nutrientes esenciales para completar su ciclo de vida como el Carbono C, Hidrógeno H y Oxígeno O, los cuales son tomados del aire; el nitrógeno, fósforo, potasio son considerados como elementos mayores absorbidos del suelo, sin embargo la mayoría de los suelos son deficientes de ellos y por consiguiente hay necesidad de aplicarlos como fertilizantes. También se requieren los elementos secundarios

como el calcio, magnesio y azufre, además de los elementos menores o micronutrientes como el hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, cloro y níquel. Igualmente existen otros elementos importantes para el cultivo de arroz como el silicio y el molibdeno. Estos elementos son demandados por la planta de arroz durante sus fases de crecimiento: vegetativa, reproductiva y maduración. Los días de cada una de las fases varían de acuerdo a la fenología de la variedad y la condición ambiental (Figura 12).



Figura 12: Fenología de acuerdo al ciclo de cada variedad y clima

NITRÓGENO (N)

El nitrógeno es el nutrimento deficiente, con mayor frecuencia, en los cultivos. Las plantas normalmente contienen 1 a 5% de nitrógeno en peso. El nitrógeno es absorbido por las raíces, en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+).

Los requerimientos nutricionales por tonelada de arroz producida presentan variabilidad dependiendo del ambiente, siendo indispensable para el agricultor poseer un adecuado plan de fertilización para el cultivo dependiendo del ambiente donde se cultive. Para el caso de Nitrógeno, el rango va de 17 a 25 kg por tonelada de arroz paddy. De acuerdo a la energía solar son las dosis de nitrógeno donde a mayor valor más respuesta al nitrógeno, contrario a la temperatura donde temperaturas mayores a 35 grados Celsius disminuyen la respuesta del arroz al nitrógeno.

El nitrógeno es el componente esencial de la clorofila, unidad básica en la absorción de energía lumínica para el proceso de la fotosíntesis, el cual es

un proceso muy importante para la formación de hidratos de carbono que, sujetos a condiciones favorables del ambiente para el crecimiento de las plantas, conduce a la formación de proteínas, así como a cambios fenológicos por translocación de los mismos.

La mayor concentración de Nitrógeno en el tejido del arroz se encuentra en la fase reproductiva desde el inicio del primordio floral hasta el embuchamiento. Luego la concentración de nitrógeno disminuye en el tejido floral desde floración hasta maduración. Para una fertilización balanceada es necesario tener en cuenta que el 75% del nitrógeno debe ser aplicado antes de inicio de primordio floral, y el 25% durante el desarrollo de primordio floral y embuchamiento.

Para poder determinar el momento adecuado de la aplicación además de la fenología de la variedad, se debe tener en cuenta las evaluaciones realizadas con el SPAD o clorofilómetro (Figura 13), el cual permite estimar de manera indirecta, rápida y sin destrucción de tejidos, el contenido de clorofila y nitrógeno en las hojas de diferentes cultivos. Según investigaciones realizadas por Fedearroz - FNA, los niveles óptimos de unidades SPAD son mayores a 35.

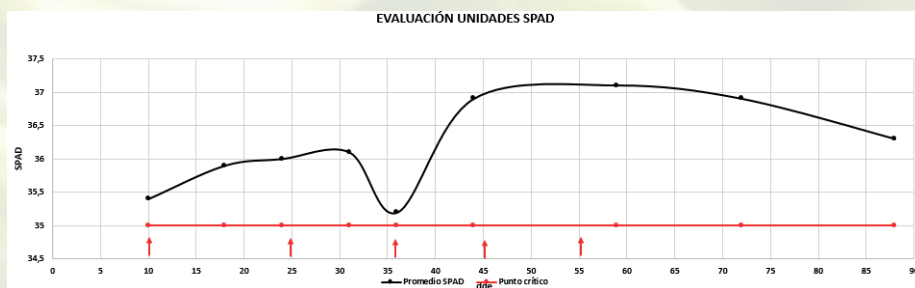


Figura 13. Evaluaciones con el SPAD a través de todo el ciclo de la variedad Fedearroz 67.

La figura anterior representa las evaluaciones realizadas en arroz con el SPAD en diferentes días después de emergencia, cada una de las flechas que se observan en la figura corresponden a los momentos de fertilización (10-25-35-45 y 55 dde), lo cual permite determinar que cuando las unidades SPAD estaban disminuyendo se programó la fertilización.

FÓSFORO (P)

Hacia el inicio de primordio floral se ha absorbido el 50% del fósforo, y el restante 50% en la fase reproductiva (embuchamiento). Por tanto de acuerdo a la dinámica del nutrimento en el suelo las aplicaciones tempranas en preabono se deben realizar en un 100% cuando se tiene buena disponibilidad de agua (suelos inundados), y si se tiene baja disponibilidad de agua (riego corrido) sería necesario evaluar un fraccionamiento del fósforo entre la siembra e inicio de macollamiento o inicio de primordio floral con fuentes de alta solubilidad (Castilla, 2011).

Las plantas absorben rápidamente como fosfato monovalente H_3PO_4^- . Si el fosfato está en forma divalente HPO_4^{2-} o como trifosfato PO_4^{3-} , es absorbido con mayor lentitud. Por lo tanto la forma como la planta de arroz absorbe el fósforo depende del valor del pH donde a mayor valor va perdiendo H^+ y van predominando las formas de PO_4^{3-} . El fósforo después de ser absorbido por las plantas, se encuentra dentro de ellas en formas inorgánicas y orgánicas. Los requerimientos de fósforo varían entre 1.5 y 8.5 kg / tonelada de arroz paddy. La absorción de fósforo se ve afectado por la energía solar siendo necesario en valores bajos menores a 300 calorías/cm²/día incrementar la dosis a aplicar.

POTASIO (K)

Las raíces de las plantas absorben el potasio de la solución del suelo en forma iónica K^+ , mediante dos mecanismos: flujo masal y difusión. La absorción se reduce si su contenido, en la solución del suelo, es muy baja con respecto al calcio y al magnesio.

El potasio es un elemento móvil dentro de la planta y se acumula en sus tejidos meristemáticos, estimula la turgencia celular y actúa en gran parte como activador enzimático, sus funciones básicas incluyen las siguientes:

- Activador enzimático
- Regulador osmótico

- Translocación de azúcares
- Síntesis de proteínas y absorción de nitrógeno
- Síntesis de almidón
- Incrementa la actividad de nódulos fijadores de nitrógeno.

En la absorción acumulada la mayor demanda se tiene entre el inicio de primordio floral y el inicio de floración como épocas claves en la nutrición con este nutrimento. El 36% se absorbe durante la fase vegetativa y el restante 64% durante la fase reproductiva, para este elemento se debe hacer un fraccionamiento durante todas las fertilizaciones (Castilla, 2011). Para producir una tonelada de arroz paddy se requiere entre 15 – 30 kg de potasio. A altas temperaturas mayores a 35 grados Celsius la respuesta a potasio es mayor.

Finalmente es necesario resaltar que “los requerimientos de potasio son muy similares a los de N, por lo que es necesario revisar de acuerdo al análisis químico del suelo la respectiva recomendación. En cuanto al fósforo los requerimientos son 0.1 de las necesidades de N:K”.

ELEMENTOS SECUNDARIOS CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE (Ca, Mg, S)

En la nutrición de elementos secundarios como el calcio, magnesio y azufre, se destaca, que la mayor concentración de Azufre (S) se da en la fase vegetativa, para Calcio (Ca) al inicio de primordio floral y al inicio de floración y el Magnesio (Mg) la mayor concentración se da durante la fase vegetativa y al inicio de floración.

En la absorción acumulada, el azufre es absorbido durante la fase vegetativa en un 43%, el restante 57% se absorbe durante la fase reproductiva. El calcio presenta la mayor demanda durante la fase reproductiva y maduración con el 84% de sus requerimientos. En cuanto al magnesio la mayor absorción se registra desde el inicio de floración a maduración con el 82% de sus necesidades.

Dentro de las funciones del Calcio están: forma parte del péctato de Calcio que confiere rigidez y resistencia a las paredes celulares, promueve la turgencia

del plasma coloidal, en forma similar al potasio, activa los meristemos de la raíz para su crecimiento radicular, contribuye a la formación de nódulos de leguminosas, contribuye a la germinación de los granos de polen y para que se desarrolle el tubo polínico, es importante para la división y elongación celular, contrario a otros elementos, como el potasio, tiene poca importancia en la activación de enzimas.

Para el caso del magnesio, es necesario resaltar que es un elemento sumamente móvil dentro de la planta. Es constituyente básico de la clorofila, molécula básica en el proceso fotosintético.

MICRONUTRIMENTOS HIERRO, MANGANESO, ZINC, COBRE Y BORO

Los micronutrientes son esenciales para que las plantas realicen sus funciones fisiológicas y metabólicas. Todos son mejor absorbidos por las raíces de las plantas en condiciones de pH ácido, excepto el molibdeno, que con ese valor de pH, es fuertemente fijado por óxidos hidratados de hierro y aluminio.

Las funciones de los micronutrientes en las plantas son muy variadas, y se pueden catalogar, en forma general, con los siguientes descriptores; enzimáticas, en reacciones de reducción – oxidación, en síntesis de clorofila, por su participación en fotosíntesis, en la influencia que tiene para el crecimiento de brotes nuevos y en la fijación de nitrógeno atmosférico.

SILICIO (Si)

Es uno de los nutrientes que presenta mayor demanda por las variedades. La mayor concentración del elemento se presenta en la fase reproductiva con valores entre 8.9 y 9.6%. Con relación a la absorción, la mayor demanda está en la fase reproductiva con el 58%, seguido por la fase vegetativa con el 28% y maduración con el 14%. Con relación al óxido de Silicio: Nitrógeno (SiO_2 : N) la demanda de silicio es 6 veces más que la de nitrógeno, siendo esto importante en suelos pobres de materia orgánica y donde se quema el tamo, igualmente donde el riego es corrido, es decir, cuando se cuenta con una baja disponibilidad de agua para riego y baja retención de humedad.

5. RECOMENDACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN USO DE LA PLATAFORMA “SIFA” SISTEMA DE FERTILIZACIÓN ARROCERA

Uno de los problemas del cultivo del arroz en las diferentes zonas arroceras es la baja eficiencia de la fertilización especialmente nitrogenada y fosfórica, donde la aplicación de N oscila su eficiencia entre el 50 y el 70% y la P entre 10 y 30%. De acuerdo a la anterior se han establecido una serie de prácticas que aumentan la eficiencia de la fertilización de estos nutrimentos como: manejo del agua de riego, retención de humedad, fraccionamiento, épocas de aplicación y selección de las fuentes más eficientes. Para recomendar la cantidad de nutriente que se debe aplicar en un plan de fertilización se debe hacer de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Kg nutriente/ha} = \text{requerimiento planta (kg/ha)} - \text{nutrientes disponibles en el suelo (kg/ha)}$$

La cantidad de nutriente a aplicar depende del requerimiento de la planta la cual está condicionada por el potencial de producción. Este potencial está sujeto a las condiciones ambientales y a la variedad seleccionada. La recomendación debe tener en cuenta el material genético sembrado, el potencial de producción, la demanda de cada nutriente, la dinámica de los nutrimentos en el suelo (cantidad vs. disponibilidad), características físicas, químicas y biológicas mencionadas anteriormente, ambiente y tecnología de aplicación.

Para facilitar este trabajo de calcular la cantidad de nutrientes teniendo en cuenta cada una de las variables que se mencionaron, FEDEARROZ FNA ha diseñado una herramienta que permite a través de la interpretación de los análisis de suelos, calcular el requerimiento de nutrientes para el cultivo del arroz, teniendo en cuenta todos los factores descritos anteriormente.

Este programa llamado SIFA (Sistema Inteligente de Fertilización Arroceras), se encuentra disponible en la página web de FEDEARROZ (www.fedearroz.com.co).

Una vez obtenida la recomendación de fertilización, es necesario definir los momentos oportunos de la fertilización para lo cual se debe tener en cuenta: la disponibilidad de agua, la fenología de la variedad para la cual se está diseñando el plan de fertilización y el uso del clorofilómetro, el cuál es un instrumento que cuantifica la clorofila en las hojas, y permite estimar de manera indirecta, rápida y sin destrucción de tejidos el contenido de nitrógeno en las hojas.

Para mayor información acerca de la plataforma SIFA, consulte la cartilla SifaWeb.

BIBLIOGRAFÍA

BLANCO S., JOSÉ ORLANDO. 2003. Manejo integral de suelos con énfasis en el cultivo del arroz. Cúcuta, Colombia.

BRAGACHINI M., MÉNDEZ A., SCARAMUZZA F., PROIETTI F. 2006. Historia y Desarrollo de la Agricultura de Precisión en Argentina. 6to Curso Internacional de Agricultura de Precisión. Estación Experimental Agropecuaria INTA.

CARTAYA R. SCARLET, ZURITA A. SHIRLEY, RODRÍGUEZ R. ELVIRA Y MONTALVO P., VÍCTOR. 2015. Comprobación NDVI, para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en la provincia de Manabí, Ecuador.

DONALD C. L. KASS. 2007. Fertilidad de suelos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.

ESPINOSA, JOSÉ. 2000. Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute, San José, Costa Rica.

FEDEARROZ. 2000. manejo y conservación de suelos para la producción de arroz en Colombia.

FEDEARROZ. 2011. Dinámica del sector arrocero de los Llanos Orientales de Colombia 199-2011. Fondo Nacional del Arroz, Bogotá, D.C.

FRYE, ALBERTO; BAQUERO E., J. CARVAJA E., J. VILOTA J., M. 1991. Suelos y fertilización en el cultivo del arroz en Colombia. CIAT, ICA, FEDEARROZ Y UNIVERSIDAD DEL TOLIMA.

GUERRERO, RICARDO. 1988. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. Universidad Nacional De Colombia, Facultad de agronomía. Bogotá, D.C. EN: Fertilidad de suelos: diagnóstico y control. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo.

CASTILLA L., LUIS ARMANDO. 2012. Manejo productivo de residuos de la cosecha de arroz. En: Revista arroz vol. 60 n° 500. Bogotá, D.C.

CASTILLA L., LUIS ARMANDO. 2011. Nutrición y fertilización en el cultivo del arroz. Fedearroz – FNA. ISBN. 978-958-99277-3-3.

CASTILLA L., L. A. 2005. Influencia del clima y de la fertilidad química del suelo en la producción de arroz en la meseta de Ibagué. Compendio resultados de investigación 2003-2005. Fedearroz-Fondo nacional del arroz. pp 117-121.

_____. 2005. Curvas de absorción de nutrimentos en la variedad de arroz Fedearroz 50. Compendio resultados de investigación 2003-2005. Fedearroz-Fondo nacional del arroz. pp 52-57.

_____. 2007. Demanda nutricional de variedades de arroz en la zona arrocera del Tolima. Compendio resultados de investigación 2006-2007. Fedearroz-Fondo nacional del arroz. pp 93-98.

DOBERMANN, A. Y FAIRHURST, T. 2000. Arroz. Desordenes Nutricionales y Manejo de nutrientes. PPI. IRRI. PPIC. Filipinas.

YOSHIDA, S. 1978. Tropical climate and its influence on rice. IRRI. Filipinas

SALIVE, A. 2002. Recopilación bibliográfica sobre efectos de algunos factores, climáticos en el arroz. Manejo integrado del cultivo del arroz en Colombia. Fedearroz – Fondo Nacional del arroz. Ibagué.

SIERRA, J. 2003. Incidencia de la radiación solar y la temperatura en 4 variedades de arroz. Compendio resultados de investigación 2001- 2002. Fedearroz – Fondo Nacional del Arroz. pp.157 – 161.

Terminó de imprimirse
en noviembre de 2018 en



Bogotá, DC, Colombia
editorialmvp@gmail.com



FEDEARROZ
FONDO NACIONAL DEL ARROZ

ISBN: 978-958-56286-6-3



9 789585 628663