



Fundamentos Técnicos para la Nutrición del Cultivo de Arroz



FEDEARROZ
FONDO NACIONAL DEL ARROZ



AMTEC
Adopción Masiva de Tecnología



FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE ARROZ

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

FEDEARROZ - Fondo Nacional del Arroz

Noviembre 2019

PRESENTACIÓN

La dinámica en el sector arrocero colombiano ha establecido nuevas interacciones en la producción, las cuales integran todos los componentes agronómicos, ambientales, económicos, sociales y administrativos, buscando la competitividad ante el reto de los tratados de libre comercio TLC's y el cambio climático. De esta manera, la nueva visión arrocera obedece a un manejo integrado del cultivo, dentro del cual la nutrición y fertilización es fundamental: En este libro se contemplan entonces aspectos que contribuyen a un soporte moderno de la agricultura y es promovido por el programa AMTEC (Adopción Masiva de Tecnología) de la Federación Nacional de Arroceros Fedearroz – Fondo Nacional del Arroz FNA.

Este libro aborda temas novedosos en la interacción de la fertilización con las condiciones climáticas, edáficas y agronómicas, las cuales son el resultado de más 50 años de permanente investigación de la Federación Nacional de Arroceros Fedearroz – Fondo Nacional del Arroz FNA y del aporte de científicos que trabajan el tema.

Lo presentamos a la comunidad arrocera, científica e interesados en el tema de la nutrición y fertilización, siendo conscientes de su importancia frente a la disminución de los costos de producción y en la maximización de los rendimientos con el fin de alcanzar la productividad y competitividad.

Cordialmente,



RAFAEL HERNÁNDEZ LOZANO

Gerente General Federación Nacional de Arroceros Fedearroz

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. EL SUELO	7
3. FERTILIDAD DEL SUELO	9
4. LOS NUTRIENTES	10
4.1 Movilidad de los nutrientes	15
4.2 Procesos de transporte de nutrientes en la zona de contacto Suelo – Raíz... 16	
5. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	17
5.1 Efecto del clima sobre la absorción y disponibilidad de los nutrientes	19
5.2 Manejo del agua para el cultivo de arroz	22
5.2.1 Requerimientos hídricos del arroz	23
5.2.2 Influencia del régimen de humedad en la dinámica de los nutrimentos (NPK) en el suelo y en la planta de arroz a través del ciclo del cultivo... 25	
5.2.3 La aireación del suelo	27
5.2.4 pH en el suelo	27
6. MATERIA ORGÁNICA	29
6.1 Dualismo bio-orgánico: materia orgánica y microorganismos	33
6.2 Materia orgánica compostada y eficiencia agronómica de la fertilización con NPK	35
7. SISTEMA PRODUCTIVO DE ROTACIÓN CON SOYA	37
8. DEMANDA NUTRICIONAL DE LA PLANTA DE ARROZ	40
9. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES Y PRODUCCIÓN	48
9.1 Absorción de nutrientes en diferentes variedades de arroz	49

10. LABRANZA PARA EL CULTIVO DEL ARROZ	53
11. NUTRICIÓN Y FITOSANIDAD	56
12. ANÁLISIS DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN BALANCEADA	59
13. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA A LA FERTILIZACIÓN Y LA DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES	60
14. COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LOS SUELOS SEMBRADOS EN ARROZ	63
15. RECOMENDACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN	67
16. USO DEL CLOROFILÓMETRO (ÍNDICE DE VERDOR) COMO ESTRATEGIA EN LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE ARROZ	70
17. APORTES DEL USO DE DRONES EN LA EVALUACIÓN DE LA NUTRICIÓN Y EL RENDIMIENTO DEL ARROZ.....	73
18. BIBLIOGRAFÍA	76

1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento genético de las plantas cultivadas reflejado en los rendimientos en campo, está alrededor del 60%, siendo la nutrición uno de los principales componentes para que las plantas puedan tener una mayor manifestación del potencial productivo. (Doberman y Fairhurst, 2000).

Para tener una mayor productividad en los cultivos se requiere una adecuada nutrición y fertilización, donde la nutrición es la absorción de los nutrientes necesarios para que la planta pueda desarrollar sus funciones vitales y se obtenga mejores rendimientos a menores costos de producción.

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 debe hacer con base al análisis de suelos, complementado con las observaciones visuales hechas en campo y análisis de tejido vegetal.

Hay que tener en cuenta que no siempre que se fertiliza se está nutriendo ya que existen diversos factores que influyen para tener una planta bien nutrida, entre esos aspectos están los requerimientos nutricionales de cada cultivar interactuando con el ambiente, entendiendo como ambiente la influencia que tiene el suelo y el clima sobre la absorción y disponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo para las plantas.

Los diferentes componentes del clima tienen una marcada influencia sobre la absorción de nutrientes y en la dinámica de disponibilidad de estos en el suelo. Por tanto es importante tener un buen conocimiento de este tema para lograr cultivos bien nutridos de acuerdo al plan de fertilización, el cual se construye con los requerimientos nutricionales del cultivar a sembrar y a la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, como resultado de la interacción suelo-clima-planta-manejo.

Entonces una adecuada nutrición de la planta de arroz depende de la interacción Genotipo – Ambiente..

6

El clima, incide directamente sobre los rendimientos, por lo tanto, el conocimiento de la interacción con las variedades sembradas permite un mejor aprovechamiento de las bondades genéticas de los materiales y así alcanzar una mayor eficiencia y optimización en el manejo de las variedades existentes.

La agricultura se desarrolla bajo diversas condiciones climáticas. Las distintas posiciones geográficas en que se cultiva hacen que su crecimiento suceda en un alto rango de temperaturas y longitudes del día. Son muchos los estudios en diversas regiones sobre la adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y sobre el efecto de cada componente del clima en el crecimiento, desarrollo y producción de la planta.

Por lo tanto, el manejo de los suelos debe ser integral, obedecer a los requerimientos de los cultivos dentro de una determinada condición climática y optimizar las relaciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

En el manejo físico del suelo, es importante la labranza apropiada, el almacenamiento del agua, el intercambio gaseoso y el desarrollo radical. En el manejo químico del suelo la utilización de las enmiendas y planes de fertilización adecuados como garantes de una buena nutrición de la planta. En el manejo biológico-orgánico, es importante la velocidad de descomposición de la materia orgánica y la necesidad de aplicación y/o incorporación de ella más la adición de la biofertilización como una alternativa viable en la nutrición vegetal.

Así, la productividad de un suelo, es también el resultado de la interacción de diversos factores químicos, físicos y biológicos. La fertilidad de un suelo, depende de una dinámica ecológicamente favorable, equilibrada en todos los elementos que forman parte. En condiciones silvestres, existe un equilibrio ecológico que se ha alcanzado a través del tiempo, pero en la agricultura este equilibrio en el suelo es modificado.

Por lo cual, evaluar de manera integral la fertilidad del suelo conduce a manejar en forma integral los nutrimentos, el cual se define como el conjunto de prácticas que se aplican al suelo o a la planta en función de la fertilidad natural del suelo, las necesidades del cultivo, el clima, la consideración de la fertilidad física, química y biológica, la oferta y tipo de fertilizantes, el nivel tecnológico del productor y la conservación del ambiente, para lograr una alta productividad agrícola.

2. EL SUELO

Como suelo se entiende la capa meteorizada que cubre la superficie del globo terrestre, donde es posible el crecimiento de las plantas. Esta capa de suelo requiere millones de años para formarse.

El suelo actúa como un sostén físico (anclaje y amarre) y medio nutritivo para las plantas (nutrientes y agua). Está constituido por material orgánico (organismos vivos, residuos vegetales y animales, raíces), material inorgánico (partículas rocosas, cenizas volcánicas, minerales primarios y secundarios y nutrientes), los cuales caracterizan la parte sólida del suelo. También el aire y el agua son constituyentes del suelo, los cuales ocupan alternadamente los poros del suelo (FAO, 1998).

La formación del suelo es compleja. En ella interactúan estrechamente procesos inorgánicos y orgánicos. La roca madre es lentamente meteorizada a través de procesos físicos, químicos y biológicos. En la medida que los nutrientes van siendo liberados y una capa meteorizada puede posibilitar cierto almacenamiento de agua y sostenimiento para las raíces, plantas superiores pueden desarrollarse y acelerar el proceso de formación del propio suelo, a través del proceso de reciclaje de material orgánico y nutrientes y consecuente aumento de la actividad biológica (FAO, 1998).

La formación de materia orgánica a través del crecimiento vegetal y su posterior reciclaje en la superficie, posibilita la formación de horizontes superficiales del suelo (O y/o A), con mayor contenido de materia orgánica y nutrientes. Los horizontes superficiales generalmente ofrecen mejores condiciones físicas para la labor agrícola y el crecimiento de los cultivos.

Cada uno de los horizontes del suelo tiene distintas propiedades físicas, biológicas y químicas, lo que se refleja en su aspecto. Al conjunto de horizontes de un suelo se le llama perfil. El perfil de un suelo se puede observar en un corte de caminos o en una barranca. Horizonte A: capa superior, más oscura y fértil, con más raíces. Es la capa arable del suelo. Horizonte B: capa más arcillosa, menos fértil y con menos raíces. Horizonte C: capa más profunda. Prácticamente sin raíces (INIA, 2015).

Es importante considerar y cuidar el suelo como un “ser vivo”, puesto que tanto su formación como sus propiedades y características a lo largo del tiempo están íntimamente ligadas al balance y comportamiento de los procesos inorgánicos y orgánicos allí presentes (FAO 1998).

El suelo tiene cuatro grupos de componentes:

- Materia mineral
- Materia orgánica
- Agua
- Aire

El material mineral es el componente más abundante del suelo. Está formado por partículas que varían de tamaño desde pequeñas piedras hasta partículas de arcilla que no se pueden ver siquiera con un microscopio común. El material mineral que forma el suelo se agrupa según su tamaño en tres fracciones:

Arena: de 2 a 0.05 mm

Limo: de 0.05 a 0.002 mm

Arcilla: menor a 0.002 mm

La materia orgánica (humus) se forma con la incorporación de restos animales y vegetales. Es muy importante para la fertilidad ya que desde ella, los microorganismos que viven en el suelo, liberan nutrientes para las plantas. La materia orgánica le da al suelo su color oscuro característico.

Entre los sólidos del suelo (minerales y materia orgánica) se ubican los poros que son ocupados por agua y aire, de manera variable.

En general los poros más grandes están llenos de aire, necesario para que respiren las raíces y los organismos que viven en el suelo. Los poros pequeños son los que almacenan agua. El agua es importante pues tiene sustancias minerales necesarias para la nutrición de las plantas (INIA,2015).

El agua en el suelo

El agua posibilita el desarrollo radical y la solubilización de los nutrientes, su transporte y absorción por las raíces. La capacidad del suelo de almacenar agua depende de sus propiedades y características, tales como: contenidos de materia orgánica, textura (contenidos de arcilla, limo y arena), tipo de estructura y porosidad, transmisión de calor en el perfil, conductividad hidráulica y profundidad del perfil, entre otras (FAO, 1998).

Aire

La presencia de oxígeno como componente del aire en la zona radicular es una condición determinante para que haya crecimiento de las raíces y absorción de nutrientes. Todas las transformaciones de naturaleza bioquímica que ocurren en el suelo (vida macro y microbiana, los procesos de transformación de la materia orgánica, entre otros) dependen de la disponibilidad y composición del aire del suelo. La disponibilidad del aire en el suelo depende del volumen y distribución de los poros, del intercambio de aire entre atmósfera y suelo y del contenido de agua del suelo.

El agua y el aire ocupan la parte porosa del suelo (vacíos), la cual es de un 40-60% de su volumen total, como un promedio general. El suelo, cuando está saturado, posee prácticamente 100% de su volumen poroso lleno de agua (solución del suelo) y, cuando está seco, 100% lleno de aire. Por sus propiedades físicas, el agua y el aire amortiguan las fluctuaciones de temperatura en el perfil del suelo (FAO, 1998).

3. FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Cuando se habla de “fertilidad” de un suelo se aborda el recurso edáfico desde la perspectiva de la producción de cultivos. Así, la fertilidad de un suelo es la capacidad que tiene el mismo de sostener el crecimiento de los cultivos.

La fertilidad de un suelo depende principalmente de su contenido en materia orgánica, de su textura y material parental. A mayor contenido de materia orgánica más fértil es el suelo, ya que es a partir de ella que los microorganismos que viven en el suelo liberan elementos nutritivos para las

plantas. Por su parte cuanto más arcilloso es un suelo mayor fertilidad tiene, ya que posee más capacidad para retener nutrientes.

La fertilidad se divide en “química”, “física” y “biológica” para su abordaje particular, pero muchas veces resulta complicado separarlas.

La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización.

La “fertilidad física” está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física de suelos.

La “fertilidad biológica” por su parte, se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos, en todas sus formas. Los organismos del suelo son imprescindibles para sostener diversos procesos del suelo. Posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollado pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos y ecología microbiana de suelos. Si bien resulta muy sencillo clasificar la fertilidad de un suelo en diferentes clases, es evidente que en el suelo los procesos ocurren en forma multivariada y compleja.

4. LOS NUTRIENTES

El suelo actúa como un reservorio de nutrientes para las plantas. Dichos nutrientes están presentes en la fracción inorgánica y orgánica del suelo, tanto en forma disponible como no disponible. Como elementos disponibles para las plantas, los nutrientes se encuentran adsorbidos (enlazados químicamente) a las arcillas y la materia orgánica, en equilibrio dinámico con la solución del suelo.

Las plantas para crecer y reproducir necesitan de ciertos elementos minerales que extraen del suelo: los nutrientes. Estos nutrientes son considerados el “alimento de las plantas”. Cada nutriente cumple papeles específicos dentro de la planta: unos son parte de la estructura de los tejidos; otros participan en las reacciones y procesos, actuando como iones activadores y transportadores en la fotosíntesis, los ciclos de producción de energía, la elaboración de la savia, la absorción de los mismos nutrientes, etc.

Según las cantidades promedio requeridas y absorbidas por las plantas, los nutrientes son divididos en macronutrientes y micronutrientes en el caso del arroz tenemos:

Macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S) y Silicio (Si).

Micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni) y Zinc (Zn).

Los elementos citados son considerados los nutrientes esenciales excepto el Si considerado como benéfico pero que está en proceso de revisión, es decir, estos elementos esenciales no pueden ser substituidos por otros y sin ellos las plantas no logran completar su ciclo de vida. Hay otros elementos que son absorbidos por las plantas, pero que no son considerados como nutrientes esenciales. Entre ellos está el Sodio (Na) y el Silicio (Si). Igualmente, toda planta presenta grandes cantidades de Oxígeno (O), Hidrógeno (H) y Carbono (C), además de agua, en su estructura, sin que estos elementos sean considerados propiamente nutrientes, aunque sí una condición primaria para la existencia de la propia planta (FAO, 1998).

NITRÓGENO Muy importante para el desarrollo de la planta, debido a que forma parte de la estructura molecular de las proteínas, de la clorofila, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) de los citocromos y de las coenzimas (Rodríguez, 1999)..

La deficiencia de nitrógeno:

1. Provoca plantas atrofiadas con un limitado macollamiento.
2. Clorosis de hojas viejas.

3. Hojas pequeñas, angostas y erectas.
4. Disminuye número de panículas, macollas y granos.

Exceso: incide directamente sobre el volcamiento y la enfermedades de la planta de arroz.

FÓSFORO: Es muy importante para el desarrollo radicular, crecimiento, floración y desarrollo del grano. Es componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, así como de las membranas celulares. Cumple una función importante en el metabolismo energético, debido a que es parte constituyente de la molécula de ATP (adenosín trifosfato). Es parte integral de las coenzimas NAD (nicotinamida adenín dinucleótido) y NADP (nicotinamida adenín dinucleótido fosfato), que cumplen una función importante en la fotosíntesis, glucolisis, respiración y síntesis de ácidos grasos (Rodríguez, 1999).

Este elemento se encuentra en altas concentraciones en los puntos de crecimiento, debido a la influencia que tiene en la división celular.

Deficiencia: La deficiencia de fosforo es más severa en suelos ácidos y terrenos de secano, ya que la inundación favorece su disponibilidad. Cuando el fosforo es deficiente, el arroz no responde a las aplicaciones de nitrógeno y potasio.

1. Color verde oscuro sucio en hojas viejas, tornándose luego de color amarillo anaranjado.
2. Plantas atrofiadas con un limitado macollamiento.
3. Reduce la longitud de las hojas y el número de panículas
4. Puede aparecer un color rojizo púrpura en las hojas de variedades que tienden a producir el pigmento antocianina.

El POTASIO en el cultivo de arroz cumple la función principal de regulación hídrica de la planta y aumento de la resistencia a plagas y enfermedades.

En forma general, el potasio está relacionado con procesos muy importantes como la fotosíntesis, respiración, formación de clorofila, metabolismo de carbohidratos y activador de enzimas necesarias en la síntesis de proteínas.

Deficiencia: En forma general suelos con deficiencia de potasio son aquellos de texturas liviana (Arenosas), en vertisoles, con alta concentración de Arcillas tipo 2:1, Suelos que presentan desbalance con respecto al Ca y al Mg, y que tienen arcillas de retículo expandible (tipo 2:1) como la montmorillonita, con una alta capacidad de fijación de potasio (Rodríguez, 1999)..

1. En general las plantas se atrofian con una baja capacidad de formación de macollas.

2. Es difícil diagnosticar en plantas jóvenes, ya que el único síntoma es un cambio de color (verde oscuro) en las hojas más bajas.

3. A medida que los días avanzan se presenta una clorosis en las internervaduras así como en las hojas inferiores de la planta, empezando en la punta y finalmente secándolas hasta adquirir un color café claro.

4. Tallos cortos y delgados, menor peso y número de granos.

AZUFRE: es importante para el aprovechamiento del Nitrógeno por la planta (efecto sinérgico). Forma parte estructural de las proteínas y constituye los aminoácidos cistina, cisteína y metionina. Además forma parte de algunas vitaminas como la tiamina y biotina, de la coenzima A y de varias enzimas.

Deficiencia: es muy similar a la deficiencia de Nitrógeno, lo cual hace difícil su identificación; un factor que la diferencia es que los síntomas se van a presentar en hojas más nuevas.

1. Al inicio se manifiesta en las vainas foliares, tomándose amarillas, avanza hacia las láminas de las hojas y provoca un amarillamiento general de la planta durante la etapa de formación de hijos.
2. Las plantas son de menor tamaño y con un menor número de hijos.
3. Las panículas son más pequeñas, en menor cantidad, y menor número de espiguillas por panícula en la etapa de madurez

HIERRO: interviene en la síntesis de proteínas del cloroplasto, y a la vez juega un papel importante en la síntesis de clorofila y de los citocromos.

Deficiencia: esta deficiencia es más común en suelos alcalinos, y suelos bajos en humedad.

1. Se puede presentar como un amarillamiento intervenal principalmente en plantas jóvenes.

Exceso: se manifiesta como un bronceado o anaranjamiento del arroz. Se observa donde las condiciones de humedad prevalecen por mucho tiempo y los contenidos de hierro soluble se incrementan.

1. Manchas diminutas café en hojas inferiores, que aparecen primero en las puntas y se extienden hacia la base. En general las hojas permanecen de color verde.
2. En casos graves, todas las hojas se vuelven de color café púrpura.

MANGANESO: Su principal función es la de agente activador enzimático en procesos como respiración y metabolismo del Nitrógeno. Es activador de las reductasas e interviene en el ciclo de Krebs (respiración en la mitocondria) y ciclo de Calvin (fotosíntesis en el cloroplasto).

Deficiencia: En suelos alcalinos y con baja retención de humedad.

1. Franjas longitudinales de color verde claro en hojas jóvenes. Cuando la deficiencia es severa el color puede ser totalmente blanco.

ZINC: Actúa en la síntesis de proteínas. Participa en la síntesis del ácido indol acético (AIA), es activador de una serie de enzimas.

Deficiencia: especialmente en suelos calcáreos y pobres en materia orgánica.

COBRE: Forma parte de varias enzimas y es activador de otras reacciones, Es componente de la plastocianina (proteína con cobre), la cual interviene en la reducción del nitrito. Es promotor de la vitamina A y está involucrado en la biosíntesis de la lignina. Además, es un componente del sistema de transporte de electrones en la fotosíntesis.

1. Clorosis blanquecina de hojas nuevas y adultas.

- 2 Desarrollo pobre de raíces.

Igualmente existen otros nutrientes muy importantes en el cultivo del arroz como el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Silicio (Si), el Boro (B), Cloro (CL) y el Níquel (Ni), que son necesario seguir investigando e interactuando con los

requerimientos de la planta de arroz y la disponibilidad de ellos en el suelo para la generación de los planes de fertilización en el cultivo del arroz.

4.1 Movilidad de los nutrientes

Los nutrientes y sus diferentes formas iónicas presentan diferentes movilidades en el suelo y en el interior de la planta. En el suelo, la movilidad es importante para determinar la mejor ubicación de los fertilizantes. En la planta, la movilidad es importante para reconocer el comportamiento y los síntomas de deficiencias o toxicidad, para seleccionar el método de corrección, etc.

A continuación se presentan los patrones de movilidad de algunos nutrientes:

En el suelo:

Poco móviles: P, Ca^{+2}

Móviles: Mg, K, NH_4^+

Muy móviles: SO_4^{-2} , NO_3^- ; Cl^-

En la planta:

No móviles: Ca, B

Poco móviles: S, Cu, Fe, Mn, Zn

Móviles: N, P, K, Mg, Cl, Mo

En el suelo, la movilidad de los nutrientes depende mucho de la forma en que se encuentran. Los nutrientes o formas de estos que permanecen en mayores concentraciones en la solución del suelo tienden a tener más movilidad.

Es importante conocer la movilidad en un plan de fertilización integral, puesto que contribuye para la ubicación correcta de los fertilizantes y acondicionadores de suelo (FAO, 1998).

4.2 Procesos de transporte de nutrientes en la zona de contacto Suelo – Raíz.

Se entiende por absorción el proceso según el cual el nutriente pasa de la solución del suelo al interior de una célula de la raíz (o de la solución con nutrientes depositada en las hojas hacia una célula de la hoja, si es por vía foliar) (FAO, 1998).

Para que ocurra la absorción vía radical, es necesario que haya el contacto de la paredes de la raíz con el ión nutriente. En este sentido, hay tres formas básicas cómo el nutriente entra en contacto con la superficie de la raíz:

Interceptación radicular: La raíz, al crecer, entra en contacto con el nutriente en la solución del suelo.

Flujo de masa: La solución del suelo (agua + iones diversos) moviéndose de las partes más húmedas, más alejadas de las raíces, hacia partes menos húmedas cerca de la superficie de las raíces, traen consigo los nutrientes disueltos, los cuales son absorbidos por éstas, juntamente con el agua.

Difusión: En una solución del suelo más o menos estacionaria, el nutriente se mueve de los puntos de mayor concentración, más alejadas de las raíces, hacia partes de menor concentración, cerca de la superficie de las raíces, donde son absorbidos por las mismas.

En la tabla I se puede observar cual es el mayor porcentaje como se transporta algunos de los nutrientes en las plantas.

Tabla I. % Contribución procesos de contacto ión – raíz en la nutrición

Nutriente	IR	FM	DIF
N	1	99	0
P	1	5	94
K	2	20	78
Ca	29	71	0
Mg	13	87	0
S	5	95	0
Zn	16	84	0
Cu	3	97	0
B	3	97	0
Fe	13	67	20
Mn	44	22	34

Fuente: Barber y Olsen, 1968 citado por Amézquita, 1994.

5. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En muchos suelos los rendimientos se pueden limitar por la falta de algún nutrimento, lo cual ocasiona deficiencia. Para poder corregir estos problemas nutricionales es esencial primero diagnosticar correctamente cual elemento se encuentra en forma deficiente o tóxica. Este análisis se debe hacer en el análisis de suelos, complementado con observaciones visuales hechas en campo y análisis de tejido vegetal. Hay que tener en cuenta que no siempre que se fertiliza se está nutriendo, ya que existen diversos factores que afecta la nutrición de la planta, entre esos aspectos están los requerimientos nutricionales de cada cultivar interactuando con el ambiente, entendiendo como ambiente la influencia que tiene el suelo y el clima sobre la absorción y disponibilidad de los nutrientes para las plantas cultivadas en la solución del suelo (Castilla, Tirado y Rodríguez, 2018).

El clima tiene una marcada influencia sobre los rendimientos, es importante elegir la época de siembra adecuada para tener la mejor condición de radiación solar, temperatura, y precipitación para maximizar el potencial de producción e incrementar la eficiencia de la fertilización. Otro aspecto es la selección de la variedad adecuada de acuerdo a la condición de clima y sus requerimientos nutricionales y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

Como se mencionó anteriormente, el clima es importante en la producción e incide directamente sobre los rendimientos, por lo tanto, su estudio e interacción con las variedades sembradas permite un mejor aprovechamiento de las bondades genéticas de los materiales.



Figura 1. Establecimiento adecuado de plantas.

El manejo integrado de nutrientes es importante para logra una mayor disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes.. El establecimiento de una adecuada población es fundamental, donde tener una densidad de plantas entre 250 a 350 plantas por metro cuadrado es ideal, como un manejo integrado del cultivo, evitando los diferentes tipos de stress por problemas edáficos, hídricos, y fitosanitarios (figura 1).

5.1 Efecto del clima sobre la absorción y disponibilidad de los nutrientes

El arroz se desarrolla en diversas condiciones climáticas, son muchos los estudios sobre la adaptabilidad del arroz a diferentes condiciones climáticas, al igual que su efecto sobre el crecimiento y desarrollo. El conocimiento del efecto climático en el crecimiento de la planta de arroz, contribuye al desarrollo y ajuste de prácticas agronómicas que maximicen el potencial de producción de los diferentes cultivares de arroz (Salive, 2002).

Factores climáticos como la temperatura influye en la tasa de crecimiento del arroz desde la germinación hasta 3 a 5 semanas después. Si la temperatura se incrementa, la tasa de crecimiento aumenta. Cuando el arroz esta entre la 3ra y 5ta semana, la temperatura afecta poco el crecimiento, influyendo más sobre el macollamiento a partir de esta época.

Durante la fase reproductiva el rango ideal de temperatura esta entre 21 a 31°C, cuando se incrementa la temperatura se disminuye el número de espiguillas, por esta razón a una altitud moderada en el trópico se puede producir más que a nivel del mar (Yoshida, 1978). La planta de arroz es muy sensible a las bajas temperaturas cerca a la floración. Temperaturas menores de 20°C pocos días antes de la floración inducen esterilidad. Lo mismo puede suceder con temperaturas mayores de 35°C. Existen diferencias varietales con relación a los requerimientos de temperatura y a una mayor tasa fotosintética. Las variedades indicas son más afectadas que las japónicas por variaciones climáticas, siendo la temperatura del aire el parámetro más importante seguido por radiación solar (Yoshida, 1978).

Las bajas temperaturas y las intensidades de luz disminuyen la translocación de foto asimilados de la hoja bandera a la espiga. En el caso de Fosforo (P) la disminución fue del 31.6% menos que el testigo no sometido a temperaturas bajas. Cuando las temperaturas son mayores a 35°C se disminuye el ciclo del cultivo y se causa esterilidad (vaneamiento), este efecto es mayor cuando se aplican altas dosis de Nitrógeno (N).

El brillo solar determina la cantidad de radiación que llega a la tierra y que es aprovechada por la planta en su proceso de fotosíntesis, de acuerdo a la época del año, el número de horas de brillo solar varía dependiendo de la nubosidad. Comparando el efecto de la radiación solar en las diferentes épocas de crecimiento sobre el rendimiento se concluye que la fase reproductiva seguida por la maduración son las más afectadas por la radiación y poseen más influencias sobre el rendimiento. También se afirma que a una mayor radiación solar hay una mayor respuesta a Nitrógeno (N).

Por tanto las condiciones de clima determinan épocas de mejor oferta ambiental las cuales deben servir como marco de referencia para tomar decisiones que existe correlación positiva altamente significativa entre radiación solar durante el periodo de llenado de grano y rendimiento (Sierra, 2003).

Los factores que influyen sobre un vegetal son muchos y además están siempre interactuando, así, la aprovechabilidad, el movimiento y la absorción de nutrimentos son afectados por factores como las condiciones de precipitación y temperatura.

El nivel de humedad y la temperatura estimulan la meteorización de minerales y la descomposición de la materia orgánica, así como la actividad microbiana, la cual tiene una influencia enorme sobre la mineralización, solubilización, inmovilización y nitrificación de nitrógeno y de otros elementos. El exceso de precipitación, muy común en el trópico, genera lixiviación de Nitrógeno (N), Potasio (K), Azufre (S) y otros nutrientes. La temperatura influye sobre el desarrollo radical y su capacidad de absorción de nutrientes (Castilla, 2005).

Los cambios de humedad y temperatura afectan la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo y por tanto su concentración en los tejidos; así, el Nitrógeno (N), Fosforo (P), Azufre (S), Boro (B), Cobre (Cu), se incrementa bajo condicione de humedad adecuada y el Fosforo (P), Zinc (Zn) y Potasio (K) al aumentar la temperatura.

Al analizar el efecto del clima sobre los rendimientos del arroz en la meseta de Ibagué (Colombia) se encontró que el rendimiento es afectado directamente por la temperatura mínima a nivel altamente significativo ($p < 0.05$), donde a medida que bajan las temperaturas meninas los rendimientos disminuyen

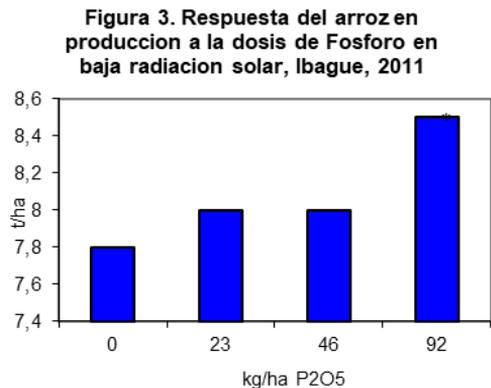
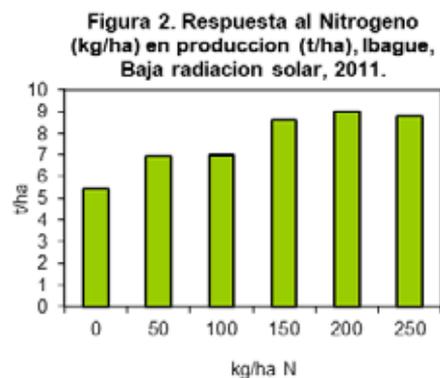
y cuando estas se incrementan los rendimientos tienden a subir. La temperatura mínima presenta una correlación directa, con la temperatura máxima, humedad relativa, precipitación y evaporación, a escala significativa. Esto que bajo las condiciones de la meseta de Ibagué a medida que aumenta la temperatura mínima se incrementa la temperatura máxima, humedad relativa, precipitación y evaporación. Cuando la temperatura mínima baja estas condiciones climáticas también disminuyen (Castilla, 2005).

RELACIÓN AMBIENTE – NUTRICIÓN

Investigaciones realizadas permitieron comparar la demanda de nutrientes en las épocas de mayor y menor oferta ambiental. En términos generales se estableció que la demanda es más alta a mejor oferta ambiental, presentándose diferencias en todos los nutrientes.

Comparando con la época de alta oferta ambiental, todos los nutrientes disminuyeron su absorción en épocas de baja oferta ambiental. Para el caso del nitrógeno la reducción fue de 41%, Fósforo 37%, Potasio 50%, en los nutrientes secundarios el magnesio presentó una disminución del 80%, Azufre 78%, con relación al Silicio esta fue de 52%, en los elementos menores la reducción fue drástica en Hierro (Fe) la cual fue del 78%, Manganeseo (Mn) 75%, Zinc (Zn) 75%, Cobre (Cu) 80% y Boro (B) 48% (Arévalo y Castilla, 2008).

Efecto de la dosis de Nitrógeno y Fósforo en los rendimientos del arroz en alta y baja oferta ambiental



En la figura 2 se observa que para el caso del nitrógeno, las aplicaciones de cantidades mayores en baja oferta ambiental específicamente baja radiación solar, no tienen influencia en el aumento de los rendimientos. Por su parte, en la figura 3 se observa que la mayor aplicación de cantidades de fósforo si genera un aumento en los rendimientos en condiciones de baja oferta ambiental (Castilla, 2011).

5.2 Manejo del agua para el cultivo de arroz

La humedad del suelo es fundamental para definir la disponibilidad de los nutrientes. Primero, porque las raíces absorben los nutrientes que están presentes en formas iónicas en la solución del suelo. Si no hay solución, no hay posibilidad de que haya nutrientes disponibles. Sin que haya humedad, los nutrientes no se solubilizan (fertilizantes minerales), deja de existir la reacción de equilibrio entre la fase sólida (nutriente intercambiable) y la solución, y tampoco ocurre la mineralización de la materia orgánica (FAO, 1998).

Además, los procesos de absorción de nutrientes por las plantas son dependientes 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, si el suelo los tiene disponibles. 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.

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 NH_4^+ en el suelo y el potencial redox y el pH tiende a ser neutro.

Estos cambios de acuerdo al nivel de humedad, afectan la disponibilidad de los nutrientes y la eficiencia de las diferentes fuentes de fertilizantes. Elementos como el Fósforo (P), Nitrógeno amoniacal (NH_4), Silicio (Si), Manganeso (Mn) y Hierro (Fe) aumentan la disponibilidad a medida que el suelo se mantiene saturado y se reduce cuando el régimen de humedad es menor. Otros nutrientes como el Zinc (Zn) y el Cobre (Cu), 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.

En suelos ácidos cultivados bajo condiciones de secano, el crecimiento de plantas es limitado debido a los bajos valores de pH, presencia de Aluminio, Hierro y Manganeseo en niveles tóxicos

Adicionalmente, el riego de acuerdo a su efecto en el contenido de humedad afecta la cantidad y tipo de microorganismos presentes, los cuales son de vital importancia en los procesos de solubilización y mineralización de los nutrimentos para dejarlos disponibles para la nutrición de las plantas.

De acuerdo a lo anterior, el manejo del riego en el cultivo del arroz se convierte en una estrategia o practica fundamental en la nutrición de la planta de arroz. Por otro lado, 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 las variedades sembradas.

Es necesario adecuar los suelos dedicados al cultivo para tener: suelo con buena retención de humedad, infraestructura para minimizar el excesivo consumo de agua y el proceso erosivo. Estas acciones racionalizan los costos de producción especialmente en la disminución en la aplicación de herbicidas y fertilizantes; causantes de altos costos de producción.

5.2.1 Requerimientos hídricos

Según Yoshida (1975) y confirmado por Goor (1978), generalmente se obtienen mayores producciones durante la estación seca, si está disponible suficiente agua para irrigación, debido a que en la estación húmeda se presenta un suministro relativamente bajo de energía radiante; no obstante, León y Arregocés (1985) afirman que en el Valle del Cauca, donde la radiación solar es relativamente uniforme durante todo el año, se han logrado mayores rendimientos durante la época húmeda, debido posiblemente al efecto de otros factores climáticos favorables, como las temperaturas durante la noche.

Durante el crecimiento y desarrollo de la planta de arroz, sus necesidades

hídricas pueden cambiar, ya que depende de la demanda de la planta, la cual está gobernada por el potencial hídrico de esta. El potencial hídrico define en gran parte la capacidad de la planta para cumplir sus procesos Fisiológicos. Tsutsui (1972) apud Stone et al, (2006) mencionan que las necesidades de las plantas pueden ser diferentes de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo (Pineda et al., 2016).

Tabla 2. Necesidad de agua de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo del arroz.

Etapas de desarrollo	Necesidad de agua
Plántula	Mínima
Pleno macollamiento	Necesaria
Máximo macollamiento	Mínima
Inicio de primordio floral	Máxima
Crecimiento de panícula (embuchamiento)	Máxima
Floración	Máxima
Llenado de grano (Lechosa y pastosa)	Necesaria
Maduración	Mínima

Fuente: Tsutsui (1972) apud Stone et al, (2006)

5.2.2 Influencia del régimen de humedad en la dinámica de los nutrientes (NPK) en el suelo y en la planta de arroz a través del ciclo del cultivo.

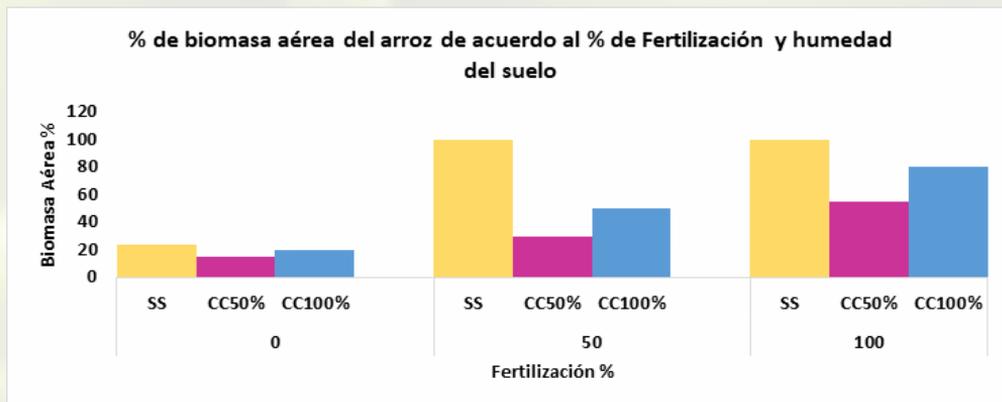
Investigaciones desarrolladas, demostraron que en suelo saturado no se presentan diferencias en la biomasa aérea bajo fertilizaciones del 100 y 50%. Con el 50% de la fertilización, se encontró una mayor biomasa radical, indicando que es posible reducir la fertilización hasta en un 50% siempre que se mantenga el suelo saturado a través del ciclo del cultivo.



Figura 4. Suelo con alta retención de humedad, caballoneo con láser y taipa a curva de nivel.

Teniendo en cuenta el aporte del fertilizante con relación al testigo absoluto, se constató que con el 50% de la fertilización se logra un 75% más de biomasa aérea. Con relación a la biomasa del sistema radical, el suelo aportó 45% y el fertilizante el 55%.

En suelo a capacidad de campo la mejor respuesta de la planta en biomasa total, se logró con el 100% de la fertilización. Alcanzando un incremento en la biomasa aérea del 80% y en la radical del 50%. Por lo tanto en suelo a capacidad de campo a través del ciclo del cultivo no se puede pensar en disminuir la fertilización por que la eficiencia es baja. En suelos con mejor humedad a capacidad de campo la disminución de biomasa tanto aérea como radical es muy alta inclusive con el 100% de la fertilización (figura 5).



Fuente: Castilla, 2011

Figura 5. Influencia de la humedad del suelo y la fertilización sobre la biomasa aérea del arroz.

Al analizar el efecto de la humedad del suelo sobre la absorción de nutrientes (NPK) se encontró que en los primeros 30 dde (días después de emergencia) la fertilización nitrogenada es fundamental para la planta de arroz, donde en suelo saturado se estimula a la planta para que absorba más nitrógeno.

A los 60 dde el mayor efecto sobre la absorción de nitrógeno se vio cuando se fertilizó sobre suelo saturado, esto es posible en razón a que esta edad el cultivo de arroz presenta una mayor cobertura evitando altas pérdidas de este nutriente.

Hacia los 90 dde no se presentaron diferencias entre suelos a capacidad de campo o saturado con baja materia orgánica, en general se puso determinar que el aporte de nitrógeno por el suelo es deficiente, afectando la absorción.

En la absorción de fósforo (P), la mayor concentración en tejido se encontró en suelos saturados, lo cual es positivo en que la planta de arroz tome más este nutriente en comparación con el suelo a capacidad de campo.

Con relación a potasio (K), a los 30 dde el suelo saturado sin fertilización y el tratamiento a capacidad de campo fertilizado tuvieron igual comportamiento lo que indica la importancia de la humedad del suelo para la disponibilidad de este nutriente. A los 60 dde no se presentaron diferencias siendo importante el efecto de la humedad más no el de la fertilización potásica. A los 90 dde no hubo diferencias en la absorción por parte del arroz lo cual confirma la importancia de la nutrición del potasio en los primeros 60 dde el arroz.

5.2.3. La aireación del suelo

La aireación del suelo a nivel de la superficie radical es otro factor importante para definir la disponibilidad de los nutrientes. La falta de aireación en el suelo ocurre generalmente por exceso de agua (anegamiento). Esto es importante en los primeros 30 días del cultivo con las nuevas variedades.

El balance entre las condiciones de falta o exceso de agua (condiciones aeróbicas o anaeróbicas) es definitorio en la disponibilidad de algunos cationes que sufren procesos de oxidación-reducción. En condiciones anaeróbicas (deficiencia de oxígeno), el hierro está en la forma Fe^{+2} , disponible para las plantas. En condiciones secas, el hierro es oxidado a la forma Fe^{+3} , menos disponible. Cabe señalar que la concentración excesiva de un determinado nutriente en la forma disponible puede ser tóxico para las plantas, transformándose en un perjuicio, en vez de un beneficio. Ello es más común entre los micronutrientes, los cuales poseen fajas de concentraciones óptimas muy estrechas, con límites de deficiencia y de toxicidad en valores relativamente cercanos.

5.2.4. pH en el suelo

El nivel de pH (acidez o alcalinidad del suelo) es un factor que afecta la disponibilidad de prácticamente todos los nutrientes. En la Tabla 3, se muestra el comportamiento promedio de la disponibilidad de los nutrientes en función del pH.

Tabla 3. 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.

Se podría decir que el nivel en el que se da una disponibilidad promedio elevada para todos los nutrientes, está entre 6,0 y 6,5. El pH influye principalmente sobre la forma (iónica, precipitada, soluble, etc.) en que se encuentra el nutriente en el suelo.

En la Tabla 4 se presentan los diferentes factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes, resaltándose que estos afectan de manera diferente a cada elemento.

Tabla 4. 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.

6. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La fertilización en el cultivo del arroz es uno de los rubros más altos en los costos de producción, debido al aumento en los precios de los fertilizantes, la baja eficiencia y el desgaste de los suelos. Es menester conllevar e idear procesos de manejo y aprovechamiento de los residuos de cosecha como base nutricional en el cultivo, contrarrestando la degradación de los suelos, haciendo aportes en su física, incorporando materia orgánica y aumentando su retención de humedad. La incorporación del tamo recicla nutrientes lo cual mejora la fertilidad de los suelos, dándole una mayor capacidad de aprovechamiento y disminuyendo las necesidades de fertilización inorgánica, lo que conlleva a disminución en costos de dicho manejo nutricional, el cual representa mayor competitividad en el sector arrocero (Guzmán y Castilla, 2018).

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 del cultivo del arroz 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.

La materia orgánica del suelo se encuentra estrechamente relacionada con la productividad agrícola. Las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo para los cultivos se encuentran preferentemente en suelos con alto contenido de materia orgánica.

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 microorganismos era más alta. Cuando los suelos presentaban un contenido de materia orgánica bajo, menor de 1.5%, la población estaba entre 50.000 y 250.000 UFC/mg de suelo. Cuando era medio entre 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 UFC/mg de suelo bajo las condiciones agroecológicas de la zona cálida del Tolima.

Entre los géneros analizados se encontraron *Bacillus brevis* y *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas sp*, *Azobacter sp*, *Aspergillus oryzae*, *Penicillium sp*, *Sacharomyces sp* y *Streptomyces sp* (Tabla 5)

Tabla 5. Concentración de Materia Orgánica y población de microorganismos.

MICROORGANISMOS	MATERIA ORGANICA %		
	< 1.5	1.5 – 3.0	> 3.0
	UFC/mg suelo		
<i>Bacillus brevis</i>	-	-975 mil	9.0 mill
<i>Pseudomonas sp</i>	150 mil	-	-
<i>Azobacter sp</i>	-	300 mil	1.5 mill
<i>Aspergillus oryzae</i>	50 mil	300 mil	1.8 mill
<i>Bacillus metagerium</i>	100 mil	-	-
<i>Penicillium sp.</i>	250 mil	-	4.5 mill
<i>Sacharomyces sp.</i>	-	150 mil	2.0 mill
<i>Streptomyces sp.</i>	-	-	2.3 mill

Manejando como fuente de materia orgánica los residuos de cosecha, se ha encontrado que al comparar el efecto de la incorporación del tamo y la soca del arroz sobre la nueva cosecha se produce incrementos en los rendimientos del arroz entre 1 a 2 toneladas por ha.

Al evaluar el contenido nutricional de estos residuos de cosecha se estableció que esta contenía 3,7% de óxido de silicio en el tamo y 2,3% en la soca para un promedio del 3.0%; con relación al Nitrógeno se encontró que este tenía 2,1% en el tamo y 1,9% en la soca para un promedio de 2.0%. En cuanto al Potasio presentaba un contenido de 1.8% en el tamo y 2.2% en la soca para un promedio 2.0%, siendo estos tres elementos los de mayor concentración en esta fuente de materia orgánica. Al analizar el Fosforo se encontró 0.18% en el tamo y 0.12% en la soca para un promedio de 0.15%, en Calcio 0.6% en el tamo y 0.2% en la soca para un promedio 0.4%, en Magnesio la concentración era igual en el tamo y la soca para un promedio 0.6%.

En los micronutrientes se pudo determinar que el Hierro es el que se presenta en mayor concentración (983 ppm en el tamo y 890 ppm en la soca) seguido por Manganeso en una concentración de 620 ppm en el tamo y 322 ppm en la soca. El Boro 23 ppm en el tamo y 16 ppm en la soca, el Cobre 73 ppm en el tamo y 26 ppm en la soca y el Zinc presentaba trazas en el tamo y 5 ppm en la soca.

El deterioro del suelo por la pérdida de materia orgánica (MOS) indica que es necesaria la búsqueda de estrategias que incrementen la MOS, una de ellas es el manejo de los residuos de cosecha

Un manejo ideal del tamo (Figura 6), requiere un menor tamaño de los residuos, aplicación de descomponedores e incorporaciones al suelo con implementos como rolo faca y rastra, los cuales en términos prácticos de manejo reduce en tiempo la descomposición (26 a 33 días después de la aplicación e incorporación) y aumenta la ganancia de nutrientes que servirán para una agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente (Guzmán y Castilla, 2018).



Figura 6. Manejo de residuos de cosecha del arroz

Los residuos de cosecha deben obtener una condición especial para manejarlos y con mayor razón si se quieren degradar con descomponedores, la aplicación de hongos como *Pleurotus ostreatus*, *Penicillium pinophilum* o *Trichoderma viride* hacen que la descomposición de dicho residuo se haga más rápida siempre y

cuando se tengan buenas condiciones de humedad y tamaño del mismo, y se haga una incorporación mínima al suelo. La incorporación acelera la descomposición entregando al suelo material vegetal que formará una reserva nutricional que aportará materia orgánica; como también disminuirá la degradación de los suelos reduciendo el impacto ambiental negativo (Castilla, 2012, Guzmán y Castilla 2018).

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).

6.1 Dualismo bio-orgánico: materia orgánica y microorganismos

Diferentes estudios han demostrado la importancia del dualismo biológico-orgánico en el cultivo de arroz, dentro de los principales resultados se tiene incrementos del rendimiento de la planta de arroz, encontrándose diferencias entre fuentes de materia orgánica, proporción de la fertilización, y la aplicación de biofertilizantes.

La biofertilización consiste en el uso de microorganismos para mejorar la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas en la solución del suelo, como las bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico (*Rhizobium*, *Azobacter*, *Azospirillum*), algas (*Azolla*) y hongos que viven en las raíces de las plantas (micorrizas) solubilizadores de fósforo, permitiéndoles a las plantas absorber mejor los nutrimentos y dándoles protección contra enfermedades (RAAA, 2005).

La biofertilización (aplicación de microorganismos que aportan o solubilizan nutrientes) se convierte en una alternativa viable desde el punto de vista económico y ambiental en el cultivo del arroz, lo cual redundará en un mayor aprovechamiento de la fertilización y en reducir costos en un rubro que tiene la tendencia a subir.

Uno de los grandes problemas en el cultivo es la baja eficiencia de la fertilización, lo cual hace que sea necesaria la implementación de estrategias que conduzcan a mejorar y complementar el efecto de los fertilizantes químicos con otras alternativas como fuentes orgánicas y los biofertilizantes. La biofertilización es una alternativa muy viable que permite suplir a las plantas de los nutrimentos necesarios, reducir costos de producción y disminuir el efecto contaminante ambiental.

Estos microorganismos se pueden inocular o aplicar al suelo para facilitar su multiplicación. Por ejemplo actualmente se viene produciendo a nivel comercial inóculos a base de *Rhizobium* y *Azotobacter*.

Las bacterias de vida libre como el *Azotobacter*, tienen la capacidad de utilizar el nitrógeno atmosférico para formar su propia célula; se multiplican rápidamente y proporcionan muchas ventajas, como regular el crecimiento de las plantas, producir hormonas y favorecer la solubilidad y mineralización de la materia orgánica agregada al suelo como abono.

Estudios adelantados en el cultivo del arroz sobre inoculación con las bacterias fijadoras de nitrógeno (FBN) *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense* produjeron plantas de arroz más vigorosas, con mayor biomasa aérea y radical.

El uso de nitrógeno del arroz presentó mayor eficiencia agronómica, cuando las plantas recibieron dosis medias de fertilizante nitrogenado más la inoculación con las FBN *Azotobacter Chroococcum* y *Azospirillum amazonense*.

Igualmente la calidad de molinería se vio favorecida con la inoculación de las FNB, donde el índice de pilada se incrementó cuando se realizó la fertilización nitrogenada con el 50% de N.

Por otro lado, la disponibilidad de nutrimentos se ve muy influenciada por la actividad biológica y por la concentración de carbono en el suelo. Así, el dualismo biológico, microorganismos y carbono humificado, juega un papel importante en la Solubilización y la mineralización y por consiguiente en la adecuada disponibilidad de nutrientes para la planta.

Al analizar las fuentes de MO compostada se encuentran diferencias entre ellas, siendo las mejores aquellas que han tenido un proceso de compostaje de alta calidad, y que tengan las siguientes características:

1. Sumatoria de NPK mayor al 4%, siendo ideal alrededor del 6%.
2. Contenido de humedad entre el 25 y 35%.
3. Producto estabilizado sin olores amoniacales o de basura en descomposición.
4. Materia primas utilizadas libre de metales pesados.
5. Materia orgánica mínimo del 20%.

En la aplicación de biofertilizantes, la interacción con la fuente de materia orgánica (compost), y la dosis de fertilización son fundamentales para encontrar una respuesta positiva a su aplicación, por lo que su recomendación debe partir de un buen juicio técnico para que esta sea eficiente y no se convierta en un gasto adicional sino en una alternativa viable económicamente (Tabla 6).

Tabla 6. Rendimiento del arroz (Kg/ha) con diferentes aplicaciones de biofertilizantes más compost en diferentes proporciones de la fertilización, Ibagué, 2005.

%FERTILIZACION	BIOF 1*	BIOF 2*	BIOF 4*	TESTIGO	MEDIA
0	4250	4750	3500	2625	3650
50	6500	6375	5375	4137	5827
75	8375	8375	9750	8137	8877
100	9625	10125	9375	9125	9624
MEDIA	7187	7406	7000	6006	-

* número de aplicaciones.

6.2. Materia orgánica compostada y eficiencia agronómica de la fertilización con NPK

La mayor eficiencia agronómica de la fertilización se obtuvo con las menores dosis de fertilizantes, lo que indica que el uso alto de fertilizantes no es razonable, económico y ecológico. Con relación a la eficiencia agronómica del Nitrógeno (N), cuando se aplicó entre 125 y 187,5 Kg/ha osciló entre 26,9 y 30,5 Kg. de incremento del rendimiento por Kg. de N aplicado; con dosis altas (250 Kg de N/ha) la eficiencia agronómica fue de 17,3 Kg. de incremento de rendimiento por Kg. de N aplicado.

Estos valores corresponden a N aplicado, en interacción con la adición de MO, ya que cuando no se aplicó MO, la eficiencia agronómica disminuyó drásticamente a valores que están entre 6,7 y 8,8 Kg. de incremento de rendimiento por Kg. de N aplicado (Tabla 7).

Con relación a la fertilización fosfórica, la mayor eficiencia agronómica estuvo con la aplicación de MO y la dosis bajas de fósforo (30 a 45 kg/ ha de) y la eficiencia agronómica de la fertilización potásica mostró igual tendencia, con dosis entre 30 y 60 kg/ha de o.

Tabla 7. Eficiencia agronómica de la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica en el cultivo del arroz, Ibagué 2004.

FERTILIZACION	M.O.	EFICIENCIA SEGÚN % DE FERTILIZACION APLICADA		
		100%	75%	50%
NITROGENADA (N)	CON	17.3	26.9	30.5
	SIN	7.0	6.7	8.8
FOSFORICA (P2O5)	CON	71.9	112.1	127.1
	SIN	29.2	27.8	36.8
POTASICA (K2O)	CON	17.3	26.9	30.5
	SIN	7	6.7	8.8

La aplicación de una buena fuente de materia orgánica compostada en mezcla con fertilizantes inorgánicos origina una sinergia importante que favorece el rendimiento del arroz en diferentes tipos de suelos (Tabla 8). Igual efecto se vio en la calidad de molinería (Tabla 9).

Tabla 8. Efecto de la aplicación de compost en mezcla con fertilizantes inorgánicos sobre el rendimiento y sus componentes, Ibagué 2010.

COMPOST	Rendimiento Kg/ha	Espiguillas Llenas/panículas	Espiguillas Vanas/Panícula	% Vaneamiento	Panículas/m ²
CON	9.345	105	17	13.9	557
SIN	7563	74	32	30.1	378

Fuente: Castilla, 2016

Tabla 9. Efecto de la aplicación de compost en mezcla con fertilizantes inorgánicos sobre la calidad de molinería del arroz, Ibagué 2010.

COMPOST	% ÍNDICE DE PILADA	% GRANO PARTIDO
CON	67	8
SIN	56	17

Fuente: Castilla, 2016

7. SISTEMA PRODUCTIVO DE ROTACIÓN ARROZ CON SOYA

En la actualidad, el uso de cultivos de manera intensiva ha generado un sin número de efectos en los sistemas productivos afectando factores de índole agronómico, económico y ambiental. Una de las alternativas para reducir el impacto de los cultivos intensivos es la rotación de cultivos, con la cual se logra algunas ventajas, entre estas romper el ciclo de plagas y enfermedades, mejorar el control de malezas y las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Adicionalmente, la rotación es una alternativa económica diferente que permite en épocas de alta oferta y baja demanda, maximizar la rentabilidad del sistema productivo (Castilla y Ortiz, 2019).

Dentro de los resultados más relevantes que se han obtenido con el ensayo de investigación del sistema de rotación arroz - soya, están el aumento de la materia orgánica en el suelo (figura 7) y el contenido de clorofila en la planta de arroz en los sistemas de rotación con soya lo cual ha permitido la reducción de aplicación de unidades de nitrógeno en la fertilización, igualmente se redujo la aplicación de herbicidas conforme la población de malezas disminuyó en donde hubo rotación (Castilla y Ortiz, 2019).

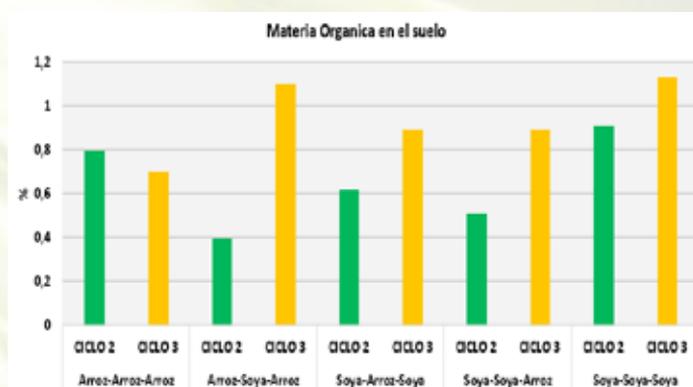


Figura 7. Contenido de materia orgánica en los diferentes sistemas de rotación.

Fuente: Castilla y Ortiz, 2019.

En el sistema productivo en donde se estableció soya en alguno de los ciclos, el contenido de materia orgánica aumento, siendo el más alto en ambos ciclos el sistema Soya-Soya-Soya. Por otra parte, en el sistema productivo Arroz-Arroz-Arroz se presentó una disminución del contenido de materia orgánica en el suelo.



Figura 8. Contenido de clorofila de acuerdo a los sistemas productivos de rotación.

Fuente: Castilla y Ortiz, 2019.

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de clorofila nos indica que el sistema productivo Soya-Soya-Arroz que en sus ciclos anteriores fueron sembrados en soya, presentó un comportamiento más uniforme y con valores por encima de las 35 unidades SPAD durante todo ciclo.

Es evidente que en los sistemas en donde estuvo la leguminosa, los contenidos de nitrógeno disponible en el suelo son altos y constantes durante el ciclo del cultivo. Razón por la cual las plantas de arroz de los sistemas Soya-Soya-Arroz y Arroz-Soya-Arroz presentan dicho comportamiento en el contenido de clorofila (Figura 8).

En cuanto a la población de micro organismos (figura 9) que hay en suelo, específicamente los fijadores de nitrógeno, existe una mayor población en el sistema productivo donde se sembró la soya. Este resultado tiene correlación directa con la simbiosis entre plantas leguminosas y rizobios que tiene un mayor impacto en el ciclo del nitrógeno. Estas poblaciones de bacterias persisten en el suelo después de que la leguminosa termina su ciclo, cumpliendo su función de fijar el nitrógeno atmosférico.

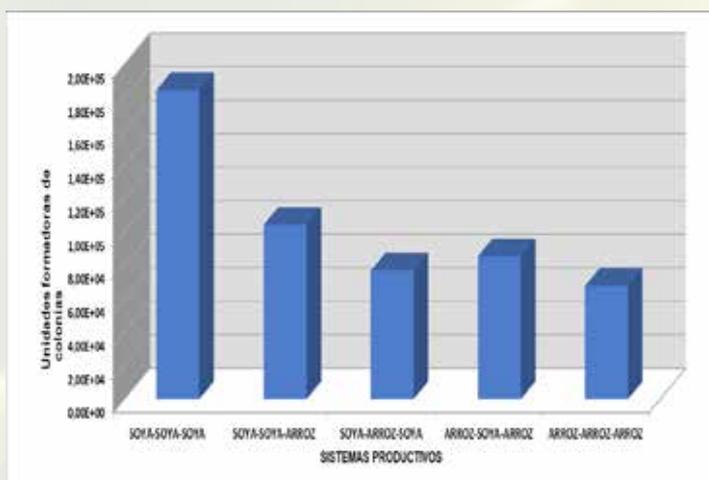


Figura 9. Unidades formadoras de colonias de acuerdo al sistema productivo de rotación.

Fuente: Castilla y Ortiz, 2019.

Para el sistema Arroz-Soya-Arroz, el rendimiento aumentó significativamente con respecto al primer ciclo, pues en el primer ciclo la producción fue de 5390 Kg/ha y en el tercer ciclo fue de 7000 Kg/ha, un aumento de 1610 Kg/ha. El sistema de Soya-Arroz-Soya, tuvo un rendimiento mínimamente mayor frente al sistema Arroz-Soya-Arroz. Sin embargo, Soya-Soya-Arroz fue la de mayor rendimiento de las parcelas evaluadas, alcanzado un rendimiento mayor a los 7500 Kg/ha. Un aspecto importante para resaltar, es que los sistemas que vienen de soya, sus rendimientos aumentan o están iguales a los sistemas que no han tenido la rotación (Castilla y Ortiz, 2019).

8. DEMANDA NUTRICIONAL DE LA PLANTA DE ARROZ

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) que son tomados del aire, el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), 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 tiene los elementos secundarios como el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S), además de los elementos menores o micronutrientes como el Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeso (Mn) y Boro (B). Igualmente existen otros elementos importantes para el cultivo de arroz como el Silicio (Si) y el Molibdeno (Mo).

Estos elementos son demandados por la planta de arroz durante sus fases de crecimiento como son la vegetativa que inicia con la emergencia hasta inicio de primordio floral (IPF), la reproductiva desde IPF hasta inicio de floración (IF), y maduración que va de IF a cosecha; estas épocas varían en días después de emergencia (dde) de acuerdo al ambiente, por lo tanto se debe conocer la fenología de la planta de arroz de acuerdo a su condición ambiental para decidir sobre las épocas de aplicación de los diferentes nutrientes.

Las plantas fabrican su propio alimento por tal razón no dependen de otros seres para poder subsistir, la alimentación de las plantas se realiza en varias etapas como lo son: la absorción de sustancias del suelo, transformación de sustancias en alimento y distribución del alimento por toda la planta.

Para lograr mayor productividad en los cultivos se requiere una adecuada nutrición y fertilización, donde se tiene un mejor aprovechamiento de las bondades genéticas de los materiales y alcanzar mayor eficiencia y optimización en los planes de manejo de las variedades existentes. La agricultura se desarrolla en diversas condiciones climáticas; las distintas posiciones geográficas en que se cultiva hacen que su crecimiento suceda en un alto rango de temperaturas y longitudes del día.

Son muchos los estudios en diversas regiones sobre la adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y sobre el efecto de cada componente del clima en el crecimiento, desarrollo y producción de la planta, lo cual hace que cada vez se dificulte más resumir los efectos del clima.

La concentración de los elementos en las hojas guarda correlación con la capacidad de producción del cultivo y sirve para identificar lo que por diferentes causas pueden estar afectando el rendimiento del cultivo; así, da bases contables para hacer tratamientos con fertilizantes que corrijan el estado nutricional del cultivo, e incrementen la producción (Castilla y Tirado, 2016).

Las curvas de absorción de nutrientes contribuyen en forma cuantitativa a dar solidez a la recomendación de los programas de fertilización ya que permiten conocer concretamente la cantidad de nutrimento en kg/ha, que es absorbida por un cultivo para producir cierto nivel de rendimiento en un tiempo definido (Bertsch, 2003).

NITRÓGENO (N)

La mayor concentración de N en el tejido del arroz está en la fase reproductiva, desde el inicio de primordio floral (IPF) hasta el embuchamiento (E). Luego la concentración de N disminuye en el tejido foliar desde Floración (F) hasta maduración (M).

Con relación a la curva de absorción de N acumulada el periodo que presenta una mayor demanda de N se ubica entre Macollamiento (M) y el inicio del primordio floral (IPF), llegando a esta época con el 75% del N total absorbido. El 25% restante es tomado, entre primordio floral hasta floración, durante la fase de embuchamiento del arroz.

De acuerdo a estos resultados el 75% del N debe estar aplicado antes del IPF, y el 25% durante el desarrollo de primordio floral y embuchamiento.

POTASIO (K)

Con relación a la absorción de potasio (K) la fase reproductiva y maduración son las de mayor acumulación en tejido, destacándose la etapa de inicio de floración (IF) con el mayor valor.

En la absorción acumulada la mayor demanda se tiene entre el inicio de primordio floral (IPF) y el inicio de floración (IF) 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.

FOSFORO (P)

La absorción de Fósforo muestra dos picos importantes en la concentración de este nutriente en el tejido del arroz que son durante el Macollamiento (M) y el Embuchamiento (E) del arroz.

En la acumulación de Fósforo absorbido se determinó que a más biomasa mayor absorción de P por unidad de área, destacándose la fase reproductiva como la de mayor demanda. Hacia el inicio del primordio floral (IPF) se ha adsorbido el 50% de este nutrimento y el restante 50% en la fase reproductiva (Embuchamiento). Por tanto de acuerdo a la dinámica del nutrimento en el suelo las aplicaciones tempranas 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 presembrado e inicio de macollamiento con fuentes de alta solubilidad.

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

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

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.

MICRONUTRIENTES HIERRO, MANGANESO, ZINC, COBRE Y BORO (Fe, Mn, Zn, Cu y B)

Los micronutrientes de mayor absorción por parte de la variedad de arroz FEDEARROZ 50 son el hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) y luego siguen el Cobre (Cu) y Boro (B). con relación a la concentración de estos elementos en tejido, la mayor concentración de Fe, Zn, Cu y Mn es al IPF, el B al IF.

El la absorcion del Fe, Cu y Zn se presentan dos picos importantes al IPF y al IF, el Mn durante la fase reproductiva estre IPF y el IF, y el B tiene su mayor demanda durante el macollamiento y el inicio de Floracion (IF).

SILICIO (Si)

Es el nutrimento que presenta una mayor demanda por la variedad de arroz FEDEARROZ 50. Las mayores concentraciones del nutrimento se presentan 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%.

Concentración de nutrientes en las variedades Fedearroz 67 y FL Fedearroz 68

En las figuras 10 y 11 se muestra concentración de nutrientes, en donde la mayor concentración de N en el tejido del arroz para ambas variedades, se encuentra entre máximo macollamiento e inicio de primordio floral, luego la concentración de N disminuye en el tejido foliar. En el caso de potasio la mayor acumulación en tejido, para Fedearroz 67, se da entre inicio de macollamiento e inicio de primordio floral, para FL Fedearroz 68 se encuentra entre máximo macollamiento e inicio de primordio floral.

Por su parte, la concentración de fósforo para ambas variedades no presenta una variación en ninguna de las fases fenológicas. La mayor concentración de los elementos secundarios, como el azufre, para FL Fedearroz 68 se encuentra entre inicio de macollamiento y máximo macollamiento, para Fedearroz 67 la concentración más alta de este elemento se encuentra entre máximo macollamiento e inicio de primordio floral. Por su parte la concentración de silicio más alta se da para FL Fedearroz 68 y Fedearroz 67 en la fase de maduración. Con relación al hierro la mayor concentración para ambas variedades está en inicio de macollamiento, el manganeso en la fase de maduración, el zinc entre inicio de macollamiento y máximo macollamiento, el sodio en FL Fedearroz 68 tiene mayor concentración en el tejido de arroz en máximo macollamiento, y Fedearroz 67 en inicio de floración. Para el cobre la mayor concentración se encuentra en la fase de maduración (Castilla y Tirado, 2016).

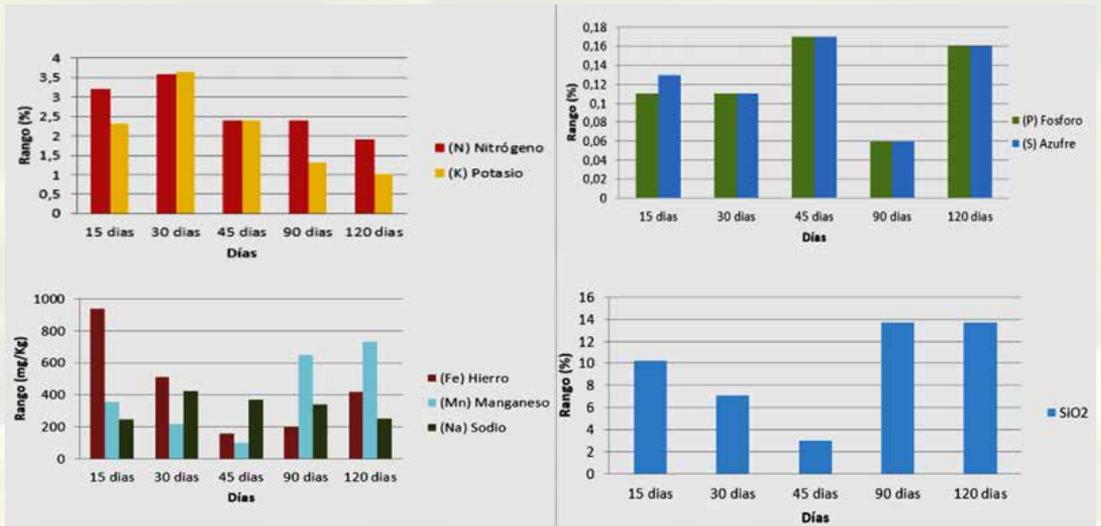


Figura 10. Concentración de elementos en FI Fedearroz 68

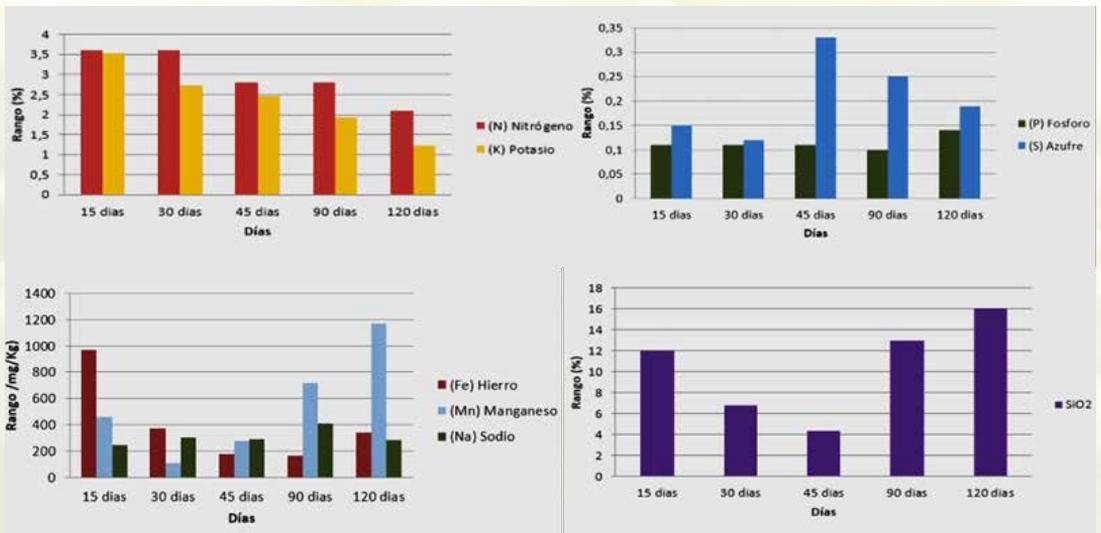


Figura 11. Concentración de elementos en Fedearroz 67

Absorción acumulada de nutrientes en las variedades Fedearroz 67 y FL Fedearroz 68

En las figuras 12 y 13 se presenta las curvas de absorción acumulada de nutrientes, donde el N presenta en la variedad Fedearroz 67 presenta una mayor demanda en máximo macollamiento e inicio de floración.

Para FL Fedearroz 68 la mayor absorción se da en inicio de floración. En la absorción acumulada de potasio la mayor demanda por parte de Fedearroz 67 se tiene en inicio de floración, y para FL Fedearroz 68 es en máximo macollamiento e inicio de primordio floral. La mayor absorción de fósforo para ambas variedades se ubica entre inicio de floración y maduración.

Entre los elementos secundarios, para FL Fedearroz 68 la mayor absorción acumulada de azufre se da en la etapa de inicio de primordio floral, por su parte para el silicio la mayor acumulación se da entre inicio de primordio floral y maduración. La absorción de los micronutrientes Mn y Zn de esta variedad se da entre inicio de primordio floral y maduración, por su parte para hierro y cobre esta acumulación es mayor desde inicio de floración.

Para Fedearroz 67 la mayor absorción de los elementos secundarios como el azufre, se da en máximo macollamiento. Para el caso del silicio la absorción se da en inicio de primordio floral. Por su parte entre los micronutrientes la curva de absorción del manganeso y el cobre es mayor en la etapa de inicio de primordio floral. El Zn presenta dos picos de absorción uno en máximo macollamiento y otro en inicio de floración y el hierro presenta una mayor acumulación en la etapa de inicio de floración (Castilla y Tirado, 2016).

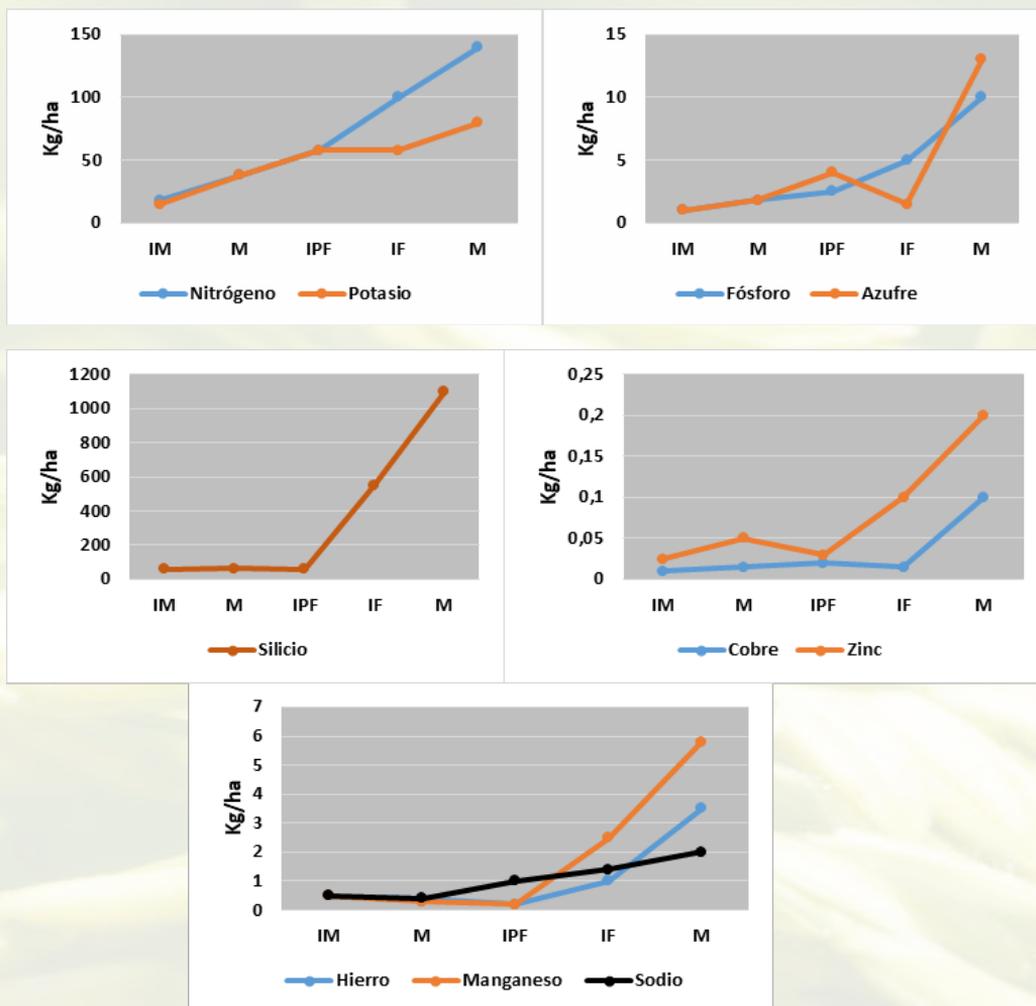


Figura 12. Curvas de absorción acumulada (kg elemento/ha) de fl fedearroz 68.

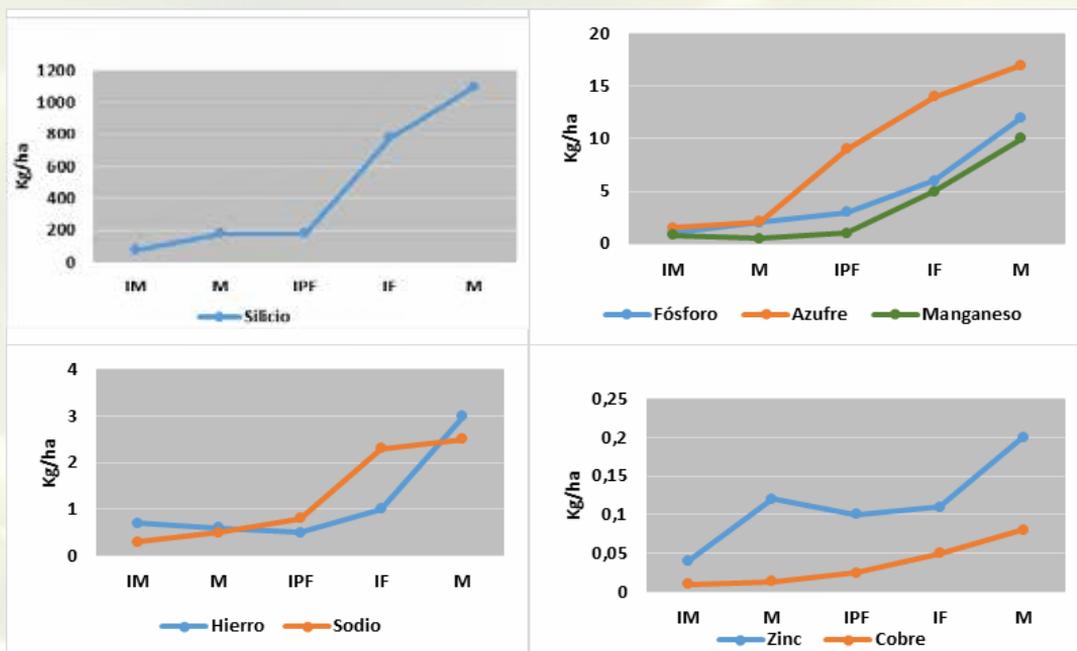


Figura 13. Curvas de absorción acumulada (Kg Elemento/Ha) de Fedearroz 67

RELACIÓN ENTRE NUTRIMENTOS

Desde el punto de vista de absorción, las relaciones catiónicas adecuadas para la producción de arroz serían: (Tabla 10).

Tabla 10. Relaciones catiónicas ideales, para la producción de arroz.

Relaciones Catiónicas Ideales		
1	N:K	1 : 1
2	N:P:K	1: 0,1: 1
3	K:Ca:Mg	1 : 0,3 : 0,2
4	Ca:Mg	1,7 : 1
5	SiO ₂ :N	6 : 1

De acuerdo a esta información 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 Fosforo los requerimientos son 0.1 de las necesidades de NK.

9. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES Y PRODUCCIÓN

Los requerimientos nutricionales por cada tonelada de arroz producida presentan alta variabilidad dependiendo del ambiente, siendo indispensable para el agricultor poseer un adecuado plan de fertilización para el cultivo dependiendo del ambiente donde se cultive.

En el caso de los nutrimentos NPK se tiene que para Nitrógeno (N) el rango va de 20 a 25 Kg/t, Fósforo (P) entre 1.5 a 8.5 Kg/t, y Potasio (K) de 15 a 25 Kg/t de arroz paddy. Con relación a Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) se tiene que Ca esta entre 5.3 a 8.7 Kg/t, Mg 2.2 a 6.4 Kg/t y S 2,6 a 6,8 Kg/t de arroz Paddy.

Los micronutrientes presentan más variabilidad entre las épocas de mayor y menor oferta ambiental, comprendiéndose que a mejor oferta ambiental mayor demanda de nutrimentos, sin embargo es necesario tener en cuenta el máximo potencial de producción en cada zona, porque si la interacción GENOTIPO – AMBIENTE no permite mayores rendimientos, de esa forma, por más fertilizantes que aplique no se puede incrementar producción.

Los requerimientos de Zinc están entre 24 a 300 g/t, Cobre 14 a 270 g/t, Boro 2.9 a 10 g/t, Hierro 90 a 2600 g/t y Manganeseo de 51 a 2300 g/t.

En cuanto al Silicio (SiO_2) se tiene que su rango va entre 137.4 a 315.0 Kg/t de arroz Paddy producido.

Esta información permite concluir que existen elementos más sensibles que otros con relaciona los cambios de ambiente, y también hace suponer por lo tanto que es necesario tenerlos muy en cuenta en las épocas de menor oferta ambiental. Por lo tanto, la labor de la fertilización busca obtener una mayor eficiencia fisiológica de la planta en los ambientes, lo cual se traduce en mayor productividad.

Entonces de acuerdo a la sensibilidad al ambiente se podrían clasificar los nutrimentos en el cultivo del arroz en:

1. Muy sensibles: Fe, Mn, Zn y Cu.
2. Sensibles: P, Mg, S, Si y B.
3. Moderadamente sensibles: N, K Y Ca.

Esta alta influencia del ambiente en la productividad que hace toda variedad antes de salir al mercado, deba ser estudiada bajo múltiples condiciones agroecológicas en cada una de las diferentes zonas arroceras con el fin de determinar su comportamiento y definir su manejo agronómico para aprovechar al máximo su potencial de productividad.

En el desarrollo de variedades es necesario tener un paquete tecnológico que garantice expresar todo su potencial de productividad y la nutrición es importante, por tanto se requiere determinar las necesidades nutricionales. Teniendo en cuenta los requerimientos por tonelada producida, y el potencial de producción, se calcula las necesidades de nutrimentos.

9.1 Absorción de nutrientes en diferentes variedades de arroz

La planta de arroz requiere de una cantidad de nutrientes esenciales para completar su ciclo de vida como las demás plantas, donde el Carbono (C), Hidrogeno (H) y oxígeno (O) son tomados del aire, el Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), considerados como elementos mayores son tomados del suelo, sin embargo la mayoría de nuestros suelos son deficientes de ellos y por consiguiente hay necesidad de aplicarlos como fertilizantes. También se tienen los elementos secundarios como el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S), además de los elementos menores o micronutrientes como el Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn) y Boro (B). Igualmente existen otros elementos importantes para el cultivo de arroz como el Silicio (Si), Níquel (Ni), Cloro (Cl) y el Molibdeno (Mo).

La cantidad de nutrientes demandados por la planta, depende del potencial de producción y está sujeto a las condiciones ambientales, características de los suelos y la misma variedad. A través de las múltiples investigaciones desarrolladas por Fedearroz se construyó la siguiente tabla base en la cual se estiman los requerimientos nutricionales promedios por tonelada de producción. Estos valores se deben ajustar de acuerdo al análisis de suelo, condiciones físicas del suelo, clima, variedad, etc. (Lozano, Tirado y Rodríguez, 2016).

Tabla 11. Requerimientos nutricionales promedio de la planta de arroz.

NUTRIENTE	Kg/t	NUTRIENTE	g/t
N	20	Fe	200
P	5	Zn	20
K	18	Cu	10
Ca	4	B	15
Mg	2	Mn	80
S	3	-	-
Si	50	-	-

También es importante conocer la fenología de la planta de arroz o sus fases de crecimiento, como es la vegetativa, reproductiva y maduración para definir las épocas de aplicación de los nutrientes (Tabla 12, 13 y 14)). De acuerdo a la fase de crecimiento del arroz se efectúa la aplicación de los nutrientes, siendo la fase vegetativa la más importante, porque allí es donde se aplican todos los nutrientes mayores, secundarios y menores, en la fase reproductiva el N, S y K y en la fase de maduración ya la planta comienza translocar los nutrientes al llenado del grano (Lozano, Tirado y Rodríguez, 2016).

Tabla 12. Extracción de nutrientes % de acuerdo a la fase de desarrollo de la planta de arroz.

NUTRIENTE	FASE VEGETATIVA	FASE REPRODUCTIVA	FASE MADURACIÓN
N	75	23	2
P	50	40	10
K	35	61	3
Ca	16	79	5
Mg	18	78	4
S	43	34	23
Si	28	58	14
Fe	43	14	43
Mn	39	19	42
Cu	37	11	52
B	30	53	17
Zn	31	13	56

Tabla 13. Concentración adecuada de nutrientes % de acuerdo a la fase de desarrollo de la planta de arroz

NUTRIENTE	FASE VEGETATIVA	FASE REPRODUCTIVA	FASE MADURACIÓN
N	2.8	4.0	1.7
P	0.19	0.19	0.09
K	1.5	2.1	4.3
Ca	0.30	0.21	0.45
Mg	0.15	0.12	0.24
S	0.20	0.24	0.16
Si	6.0	9.4	9.1

Tabla 14. Concentración adecuada de micronutrientes ppm de acuerdo a la fase de desarrollo de la planta de arroz

NUTRIENTE	FASE VEGETATIVA	FASE REPRODUCTIVA	FASE MADURACIÓN
Fe	74.6	83.9	55.8
Mn	27.6	47.9	31.9
Zn	11.7	14	13.0
Cu	7.4	10.1	8.1
B	2.7	1.8	2.1

Investigaciones realizadas en las zonas arroceras sobre diferentes variedades han permitido obtener los requerimientos nutricionales de las mismas de acuerdo a la zona agroecológica en la que se desee sembrar. A continuación se presentará un resumen de dichos requerimientos obtenidos en la zona centro del país de las principales variedades sembradas actualmente (Tabla 15 y 16).

Tabla 15. Requerimientos Nutricionales de variedades de arroz (Kg/ ton producida) zona centro.

VARIEDAD	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
Fedearroz 70	21,08	3,51	24,96	4,72	1,09	2,67	-
FL Fedearroz 68	22,13	4,14	27,44	5,05	1,94	4,14	138
Fedearroz 67	23,35	1,68	18	4,49	1,57	2,13	144
Fedearroz 2000	26,72	3,75	25,87	5,44	1,21	3,75	80
Fedearroz 60	21	4,80	20	4,80	3,1	3,1	-

Tabla 16. Requerimientos de micronutrientes de variedades de arroz (Kg/ ton producida) zona centro.

VARIEDAD	Fe	Mn	Cu	B	Zn
Fedearroz 70	0,22	0,14	0,01	0,007	0,04
FL Fedearroz 68	0,12	0,74	0,01	0,01	0,03
Fedearroz 67	0,15	1,3	0,01	0,01	0,03
Fedearroz 2000	0,14	0,5	0,01	0,01	0,05
Fedearroz 60	0,5	0,42	0,01	0,02	0,05

10. LABRANZA PARA EL CULTIVO DEL ARROZ

La labranza es una de las prácticas más importantes para garantizar el mejoramiento de los suelos y la sostenibilidad de la agricultura, sin embargo, recibe poca importancia en el manejo de los cultivos.

Investigaciones de labranza profunda, realizadas en la Meseta de Ibagué, en suelos Typic haplustalf de textura Franco Arcillo Arenosa FArA, con valores altos en la densidad aparente y compactación, se lograron obtener mejoras en las características físicas del suelo, disminuyendo la compactación y registrando valores bajos en la densidad aparente (Tabla 17).

Tabla 17. Efecto del tipo de labranza sobre la densidad aparente del suelo en la Meseta de Ibagué. 1995-1998.

TIPO DE LABRANZA	DENSIDAD APARENTE (gr/cc)
Antes de la preparación	1.71
convencional	1.69
profunda	1.52

Al estudiar la interacción labranza – fertilización se determinó que cuando existen problemas de compactación, la labranza convencional no soluciona esta limitante del suelo y la planta de arroz requiere de dosis más altas de Nitrógeno y Potasio, mientras que con la labranza profunda se descompacta el suelo en el primer horizonte y la planta de arroz responde eficientemente a menores dosis de Nitrógeno y Potasio. La dinámica nutricional solamente será óptima si el suelo presenta buenas condiciones físicas, químicas y biológicas. La tabla 18 muestra la influencia de la compactación del suelo sobre la biomasa y la producción de arroz, indicando como este factor físico influye altamente sobre el desarrollo de raíces y parte aérea, lo cual impide una normal absorción de nutrientes (Salive, 1999).

Como consecuencia de la compactación ha sido necesario aumentar el uso de fertilizantes para compensar las pérdidas nutricionales. Son muchos los casos en que la cantidad de fertilizante aplicado al cultivo del arroz ha llegado a una tonelada por hectárea, aumentando notablemente los costos de producción.

Tabla 18. Biomasa y componentes de rendimiento del arroz (*Oryzica-1*) influenciados por la compactación artificial de un Alfisol.

TRAT. COMPACTACION	PESO RAIZ (gr/ pl)	VOL. RAIZ (cc/pl)	MACOLLAS/PLANTA	BIOMASA (gr)	RENDIMIENTO (%)
Superficial	1.80 c	1.59 f	3.90 c	0.89 d	61.2
A 3 cm	2.32 c	1.91 ef	3.65 c	0.93 d	66.3
A 6 cm	3.44 b	2.86 cd	4.93 b	0.99 cd	69.2
A 9 cm	3.39 b	2.23 def	5.15 b	1.04 cd	71.8
A 12 cm	3.71 b	2.59 cde	5.20 b	1.12 bcd	78.6
A 15 cm	3.94 b	3.77 b	6.00 b	1.16 abc	95.0
A 18 cm	3.99 b	3.48 bc	5.85 b	1.28 ab	95.8
A 21 cm	5.49 b	4.79 a	7.75 a	1.38 a	100.0

Promedios con letras iguales o son significativamente diferentes.

Cuando se encuentra compactación en un suelo, la cual puede ser evaluada con el uso de un penetrómetro de cono (Figura 14) o un penetrómetro de bolsillo (Figura 15), se puede identificar estos problemas, donde valores mayores de 0.3 MPa (Mega Pascales) o 2.0 kgf/cm² (Kilogramo – fuerza por metro 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 14. Penetrómetro de cono.



Figura 15. Penetrómetro de bolsillo.

En la Figura 16 y 17 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.

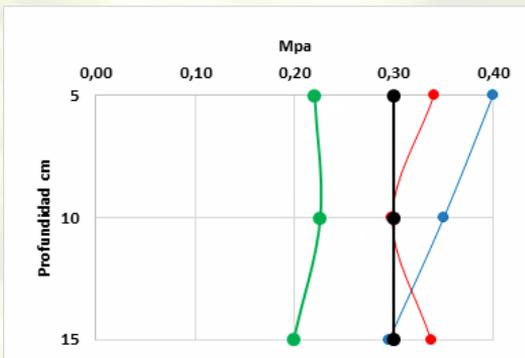


Figura 16. Análisis de la compactación de un suelo con el penetrómetro de cono antes de realizar un pase de arado de cincel vibratorio.

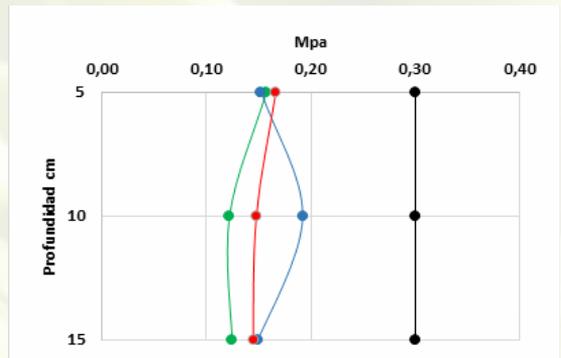


Figura 17. Análisis de la compactación de un suelo con el penetrómetro de cono después de realizar el paso de arado de cincel vibratorio.

11. NUTRICIÓN Y FITOSANIDAD

Con relación al estado nutricional de la planta de Arroz y la severidad del *Helminthosporium* se pudo determinar que se presentó un mayor porcentaje de área foliar afectada (AFA) a medida que hubo disminución en la absorción de Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Cobre, Hierro, Zinc y Manganeseo por las plantas de arroz.

En relación con el Nitrógeno y la severidad de *Helminthosporium* se determinó que a medida que este nutrimento no esté presente en la solución del suelo, la planta de arroz será poco vigorosa y clorótica, alcanzando reducciones en su rendimiento hasta en un 64%.

En suelos con alto contenido de Calcio (mayor 6 meq/100g), la aplicación de este elemento no muestra un efecto positivo en la disminución de la severidad del *Helminthosporium*, en cambio la aplicación de Magnesio en suelos con una relación Ca/Mg mayor a 10 produce efectos positivos, disminuyendo la severidad de la enfermedad. En cuanto elementos menores, nutrientes como el Zinc y Manganeseo, se ha encontrado menores severidades con la aplicación de estos.

Suelos con problemas de sellamiento y compactación y que han sufrido un proceso de pérdida de materia orgánica, debido a la alta mecanización, son más susceptibles a la incidencia y severidad de *Helminthosporium*. La fertilización con Silicio en esta clase de suelos es importante debido a que su ausencia en el plan de fertilización incrementa la severidad de *Helminthosporium* a 13.2%, mientras que en donde se aplicó Silicio el porcentaje de severidad fue de 4.3%. La aplicación de Silicio estimuló a la planta a una mayor absorción de Fosforo, Potasio, Calcio, Azufre, Silicio y Manganeseo, y su ausencia afectó la absorción de Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Cobre, Zinc, Hierro y Manganeseo (Tabla 19).

A medida que la concentración de materia orgánica en el suelo aumenta a un contenido de 2.0%, la incidencia y severidad del *Helminthosporium* se disminuye a valores entre 1.5 y 2.6%, y la respuesta de la planta de arroz a las aplicaciones de silicio es baja. (Figura 18)

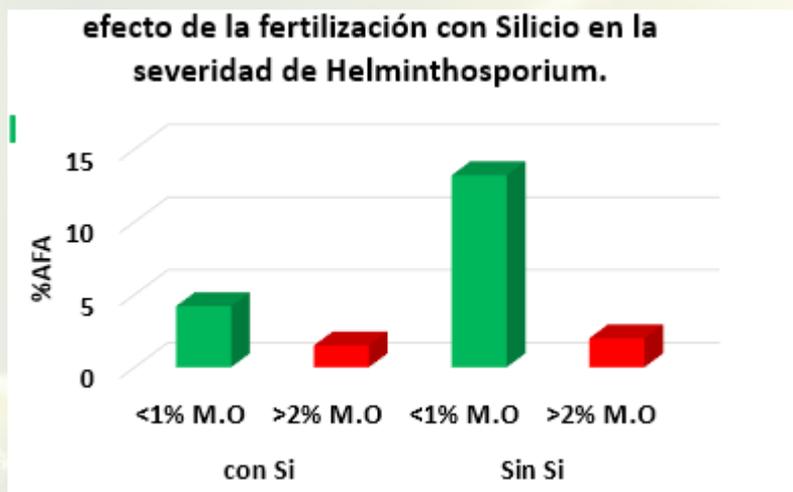


Figura 18. Efecto de la fertilización con Silicio en la Severidad de Helminthosporium.

Tabla 19. Efecto del Silicio en la Absorción de Nutrientes.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Zn	Mn
	%					Ppm					
Con Si	2.5	0.19	3.8	0.71	0.63	3.4	21.5	13	212	23	207
Sin Si	2.6	0.13	2.8	0.16	0.24	1.5	24.5	8	62	8	9

El Potasio se considera un elemento clave en la resistencia de la planta a enfermedades, sin embargo un uso excesivo de él produce antagonismo en la solución del suelo que afecta la absorción de Nitrógeno, Boro y Manganeseo por la planta de arroz ocasionando una mayor severidad de Helminthosporium (Tabla 20).

Tabla 20. % AFA por Helminthosporium y absorción de N, B y Mn, de acuerdo a diferentes dosis de potasio en un suelo con alto contenido de este elemento, sembrado en arroz.

VARIEDAD	Kg/Ha de	% AFA	N	B	Mn
			%	Ppm	
Yacu 9	0	27.7	2.44	15.0	346
	60	51.6	2.33	7.7	187
Oryzica 1	0	58.6	1.88	17.0	529
	60	71.4	1.76	13.1	493

Es importante el balance de los nutrimentos, con el fin de evitar efectos antagónicos y baja absorción. Un adecuado suministro de nutrientes ocasiona una buena disponibilidad de estos en razón de que se encuentran en proporciones óptimas. Adicionalmente, fertilizando de acuerdo con los resultados del análisis químico, podemos disminuir la severidad de *Helmintosporium* de un 21.3% a 17.8%; al igual que la eficiencia de los fungicidas se ven favorecidos (Figura 19).

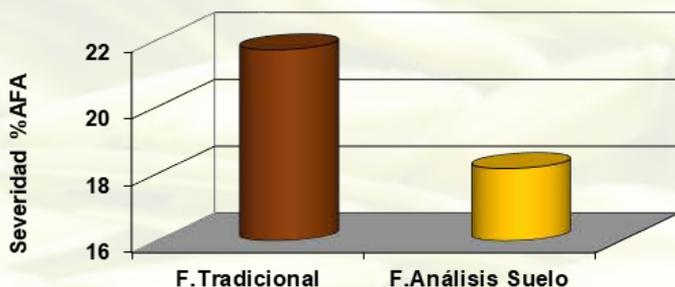


Figura 19. Efecto de la Fertilización en la Severidad de *Bipolaris oryzae*.

Con relación a la pudrición de la vaina (*Sarocladium oryzae*), una baja disponibilidad de Fosforo, Magnesio y Zinc ocasionan una mayor incidencia en la pudrición de la vaina, pudiéndose disminuir esta incidencia en aproximadamente un 15% con un adecuado balance nutricional.

Este mismo efecto del balance nutricional se pudo apreciar en otras enfermedades importantes del Arroz como es el caso del añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*) y el entorchamiento del Arroz, en donde elementos como el Fosforo, Potasio y Zinc son importantes para disminuir la incidencia y severidad de estas enfermedades (Tabla 21).

Tabla 21. Efecto de la Fertilización en la Severidad de *Rhizoctonia solani* y Entorchamiento en el cultivo del Arroz.

Fertilización	<i>Rhizoctonia</i>	Entorchamiento	
	Grado	%	Grado
Tradicional	3.5	9.1	7
Análisis de Suelo	2.2	3.4	3

12. 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 balanceado.

El balanceo de nutrientes en la fertilización incrementa los rendimientos de una a dos toneladas por hectárea, el balanceo no se supedita solo a la aplicación de N, P o K, sino que es necesarios otros nutrimentos como el Magnesio (Mg), Azufre (S) y micronutrientes como el Zinc (Zn) y sus relaciones catiónicas.

La respuesta al N y P aplicación con los fertilizantes puede ser baja porque existe deficiencia de K. la fertilización balanceada requiere que todas las deficiencias nutricionales sean eliminadas por medio de un adecuado manejo de nutrientes (Dobermann y Fairhurst, 2000).

Cuando el Nitrógeno es menor de 10 kg/t de arroz Paddy, el Fosforo menor de 1.6 kg/t y Potasio menor a 9 kg/t se limitan al máximo los rendimientos. Cuando se superan los límites de 24:5:28 de kg/t de nutriente de N: P: K respectivamente, se considera exceso de estos nutrientes en la planta y las dos situación producen desbalance nutricional afectando los rendimientos de la planta de arroz.

Se consideran valores óptimos de eficiencia cuando por cada kg de N se produce un rendimiento de 68 kg de grano, con un kg de (P) Fosforo se produce 385 kg de grano y un kg de K produce 69 kg de grano. Es decir que la relación NPK es 5:1:5 en materia seca de la planta de arroz.

Entre los años de 1960 a 1980, la demanda mundial de N se incrementó más rápidamente que el P y K, como resultado de esto, las relaciones N: P y N: K se incrementaron. En la década de 1990, las relaciones N:P:K se estabilizaron con el uso de programas de fertilización balanceada, en varios países de alto consumo de fertilizantes y la demanda de P y K se ha incrementado, como también ha ocurrido con el Azufre (S) y Magnesio (Mg) y micronutrientes (Luc y Heffer, 2007).

Así, bajo fertilización balanceada, se han reportado incrementos entre 0.1 – 1.3 t/ha, índices de pilada entre 0.5 – 7.0% y disminución en grano partido entre 1 – 5%, con la aplicación de Sulfato de Magnesio como Kieserita (100 a 200 kg/ha) cuando el contenido de Magnesio y Azufre en el suelo es bajo o con relaciones Ca/Mg mayor de 4.0 y bajos contenidos de materia orgánica; la época de aplicación puede estar entre el inicio del macollamiento (12-15 dde) y el desarrollo del primordio floral (45-60 dde).

Por lo tanto, la adición de nutrimentos en el cultivo del arroz, se debe realizar en forma balanceada para optimizar la nutrición de la planta, teniendo en cuenta nutrimentos como Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Azufre (S) y Zinc (Zn) entre otros.

13. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA A LA FERTILIZACIÓN Y LA DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES

Entre los principales factores se tiene la pendiente del terreno, entre más ondulado el suelo la eficiencia de la fertilización es más baja por tanto el agricultor tiene la necesidad de aplicar mayor cantidad de fertilizante, lo ideal es tener los suelos adecuados y nivelados. El nutriente que más se afecta es el nitrógeno.

Otro aspecto importante es la textura del suelo, en suelos arenosos la retención de humedad es baja y las pérdidas de nutrientes por lixiviación o lavado es alto, especialmente en N y K, por lo tanto es necesario fraccionar la fertilización.

En suelos arcillosos ocurre lo contrario, en este casi se fracciona menos la aplicación de los nutrientes, en este tipo de suelo puede ocurrir fijación de Nitrógeno en forma amoniacal y de potasio especialmente en arcillas del tipo 2:1. La manera de tener disponibilidad de estos nutrientes es mediante el fraccionamiento y la inundación.

La disponibilidad de agua es clave, hay mayor disponibilidad con un manejo adecuado del agua de riego o lluvia, por lo que la aplicación de nutrientes es más baja, debido a que en los suelos saturados la eficiencia de la fertilización

es más alta, en suelos que se mantienen secos a través del ciclo del cultivo de arroz, la eficiencia es más baja y requiere mayor cantidad de fertilizante.

Es necesario conocer el pH y la concentración de materia orgánica que tienen los suelos, antes de sembrar, porque de acuerdo a sus valores se hace indispensable aplicar enmiendas químicas y orgánicas, debido a que nutrientes como Calcio, Magnesio y Potasio pueden reducir su disponibilidad en suelos de pH ácidos

En suelos ácidos con pH por debajo de 5.0 se hace necesario la aplicación de cal, la cual neutraliza las altas concentraciones de Aluminio (Al) e Hierro (Fe), los cuales en niveles altos son tóxicos para la planta.

En suelos alcalinos con pH mayor a 7.0 se debe aplicar Azufre en cantidad necesaria para neutralizar problemas de carbonatos y altas concentraciones de Calcio y Sodio (Na).

En suelos pobres de materia orgánica, el uso de ella es importante mediante el uso de los residuos de cosecha, aplicando antes de la siembra compost de alta calidad, y mezclando con las primeras fertilizaciones fuentes orgánicas e inorgánicas. Adicionalmente es recomendable la aplicación de microorganismos para tener una mayor disponibilidad de nutrientes para la planta de arroz, debido a que en estos suelos el Azufre y Molibdeno son deficitarios.

En suelos alcalinos con baja MO, se presenta déficit de elementos menores como el zinc, hierro, manganeso por estar fijados por una alta concentración de carbonatos. El calcio se puede encontrar en altas concentraciones, afectando la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, magnesio y boro. La mayor disponibilidad y eficiencia de los nutrientes se encuentra en un pH que oscila entre 5.5 y 6.5.

En el momento de la fertilización se hace necesario drenar bien los suelos evitando lámina de agua para poder tener una mayor eficiencia en la fertilización y una buena respuesta de la planta de arroz a la aplicación de los fertilizantes, después de la fertilización la inundación inmediata es lo ideal para tener buenos rendimientos.

El análisis del suelo es importante realizarlo antes de la siembra ojala con anticipación de por lo menos dos meses. Es necesario conocer el estado

físico del suelo, el cual consiste en la profundidad efectiva que tiene el suelo, lo ideal es que sea de 20 cm, si hay problemas de compactación se hace necesario descompactar usando arados de cincel, con el fin de que el agua se infiltre en el suelo y la raíz se pueda desarrollar y la planta pueda tomar los nutrientes aplicados en la fertilización.

Para muestrear el suelo es importante no mezclar suelos heterogéneos, es decir aquellos que difieren en topografía, textura, color y sobre todo tener en cuenta el desarrollo de la planta, para tomar muestras en sitios donde la planta se desarrolle bien, regular y mal por separado y luego enviar para el respectivo análisis químico.

Con base en el análisis químico se determina que nutrientes se encuentran en forma disponible, igualmente se relacionan entre sí, donde las relaciones catiónicas son muy importantes como se muestran en el tabla 22.

Tabla 22. Relaciones catiónicas en la fertilización del cultivo de arroz.

RELACION	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca+Mg/K
Ideal	2 – 4	3	6	<50
K deficiente		>18	>30	>50
Mg deficiente	>10	<1		

Con relación a la fuente a aplicar es necesario tener en cuenta la investigación realizada, conocer la calidad de la fuente para fertilizar con aquellas que garanticen una buena respuesta de la planta de arroz.

14. COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LOS SUELOS SEMBRADOS EN ARROZ (Castilla y Flórez, 2014)

El crecimiento y desarrollo de la planta de arroz se realiza mejor en suelos húmedos o inundados, ya que esta condición permite un buen suministro de nutrientes y agua. El agua produce en el suelo una serie de cambios químicos que no se presentan en un suelo seco, siendo necesario conocerlos y entenderlos, para tener una mayor eficiencia en la nutrición de la planta de arroz. Entre los principales efectos que se tienen está la disminución de Oxígeno en el suelo, lo cual genera un incremento de la población de microorganismos anaerobios que descomponen la materia orgánica produciendo gases como el dióxido de Carbono (CO_2) y el metano (CH_4) que influyen en la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos sembrados en arroz se caracterizan por ser reductores debido a la presencia de agua en él.

El pH del suelo indica la concentración de hidrógenos en la solución del suelo, de acuerdo con su valor puede ser ácido (<6), neutro ($6 - 7$) o alcalino (>7.0). Cuando se riega un suelo ácido o alcalino, este tiene la tendencia en un tiempo aproximado de tres semanas a volverse neutro, siempre y cuando se mantenga el suelo saturado.

Sin embargo, en suelos ácidos es importante la adición de enmiendas como la cal agrícola, ya que esto permite aumentar el pH a un valor neutro donde la disponibilidad de nutrientes es mayor. En un suelo ácido existen altas concentraciones de Hidrógeno (H), Hierro (Fe) y Aluminio (Al) que disminuyen la disponibilidad de Fósforo (P). También encontramos cantidades bajas de potasio, Calcio y Magnesio. Al aplicar cal al suelo permite la neutralización de Hidrógeno, Hierro y Aluminio en la solución del suelo, mermando la acidez y precipitándolos como hidróxidos de Fe y Al, esta reacción es válida únicamente en presencia de agua en el suelo. El Calcio queda como nutriente y no interviene en las reacciones para incrementar el pH; los OH^- generados neutralizan el Hidrógeno, el Hierro y el Aluminio aumentando la disponibilidad de Fósforo en la solución del suelo. Las reacciones de neutralización de la cal necesitan que el material se solubilice previamente, lo que determina que se debe aplicar incorporada, mezclándola completamente en la capa arable para que esta sea eficiente.

En los suelos alcalinos se presentan concentraciones altas de Calcio, Sodio, carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$) y bicarbonatos ($\text{HCO}_3^{=}$), los cuales afectan la disponibilidad del Nitrógeno, Fósforo, Potasio y elementos menores. En suelos alcalinos la aplicación de Azufre en presembrado incorporado, aumenta la disponibilidad de Fósforo y elementos menores como el Zinc, Hierro y Manganeseo. El Azufre necesita ser oxidado por microorganismos como son las bacterias del género *Thiobacillus* para ser convertidos en sulfatos y estos poder reaccionar con el Calcio y el Sodio y así poder ser lavados del perfil del suelo. Estudios realizados en el Tolima demuestran que valores mayores de 1.5 dS/m en la conductividad eléctrica producen muerte en las plantas de arroz, en suelos con dominio de tipos de arcilla 2:1.

Potencial Redox. En un suelo saturado se produce disminución del potencial Redox, el cual consiste en una mayor concentración de Hidrógeno en la solución del suelo, que ocasiona reducción de los nutrientes. Esta reducción de los nutrientes genera cambios químicos en la solución del suelo que afectan la nutrición en la planta de arroz. Los cambios químicos más importantes que suceden en suelo saturado o húmedo son:

- Transformación del Nitrógeno.
- Incremento en la disponibilidad de Fósforo y Sílice.
- Reducción de Manganeseo e Hierro.
- Disminución de la disponibilidad de Zinc y Cobre.
- Aumento en la disponibilidad del Molibdeno.
- El Boro no es afectado en su disponibilidad por la acción de la capa reductora en un suelo húmedo.

Nitrógeno. El Nitrógeno orgánico, que está asociado con la materia orgánica puede sufrir mineralización hasta transformarse en amonio (NH_4^+) compuesto utilizable por las plantas de arroz. El ion amonio aplicado por los fertilizantes puede ser tomado por las plantas directamente o se acumula en el suelo como una reserva nutricional. Los suelos con bajos contenidos de materia orgánica no producen amonio en altas cantidades y, es lógico suponer que, se debe por lo tanto fertilizar con Nitrógeno. La aplicación de nitratos en suelos saturados tienen la desventaja de la desnitrificación, que

consiste en el proceso de reducción que sufren los nitratos al transformarse en óxidos de Nitrógeno (N_2O) y Nitrógeno (N_2), que escapan a la atmósfera. La magnitud de las pérdidas depende de varios factores, entre otros: drenaje del suelo, volumen de precipitación pluvial, capacidad de intercambio aniónico y sistema radical del cultivo. En consecuencia, la pérdida de Nitrógeno por lixiviación suele ser severa en suelos livianos, en las zonas de alta precipitación pluvial o de riego intensivo.

Las condiciones de los suelos tropicales bien drenados, favorecen las pérdidas de N por lixiviación. Durante el periodo de lluvias, cuando el volumen de precipitación excede a la evaporación, la lixiviación de nitratos es significativa. La fuente amoniacal es menos susceptible a las pérdidas por lixiviación, ya que el ion amonio es retenido más fuertemente por el complejo coloidal que el ion nitrato.

En los suelos mal drenados del trópico, una proporción considerable de las pérdidas de Nitrógeno son atribuidas a la desnitrificación. Estas pérdidas son más acentuadas en suelos que están sujetos a los ciclos alternados de inundación y secamiento.

Las pérdidas de N por volatilización ocurren mediante la conversión de amonio (NH_4^+) a amoníaco (NH_3), mediante hidrólisis alcalina. En consecuencia, la volatilización es más intensa en suelos alcalinos y calcáreos, así como en suelos livianos y en los cultivados con arroz inundado, especialmente cuando se aplica urea superficial, pudiendo alcanzar proporciones cercanas al 50% del Nitrógeno aplicado (Vlek y Craswell, 1979; Vlek y Byrnes, 1986).

Actualmente, se sabe que la magnitud de la volatilización del N en el cultivo del arroz depende de factores adicionales, tales como: a) pH, concentración de CO_2 , NH_3 , HCO_3 en el agua de inundación; b) actividad biótica; c) actividad de la ureasa; d) absorción de NH_4^+ por algas; e) velocidad del viento (Keeny y Sahrawat, 1986).

La fijación de NH_4^+ por arcillas ocurre en suelos con arcillas de tipo 2:1 y las pérdidas por este proceso son mayores en suelos arcillosos, cuando se utilizan fertilizantes del tipo amoniacal, bajo condiciones de secamiento – humedecimiento (Guerrero, 1990).

Las pérdidas de N por lixiviación o desnitrificación ocurren solamente con el Nitrógeno en estado nítrico. La inhibición o retardo de la nitrificación

de la N- Amida o $N-NH_4$, puede por consiguiente, disminuir estas pérdidas considerablemente y aumentar la eficiencia de la fertilización. Otra práctica que puede atenuar las pérdidas es el uso de fertilizantes de liberación lenta.

Por su parte las pérdidas de N por volatilización pueden disminuirse mediante localización apropiada del fertilizante, selección del tipo adecuado de abono, interactuando con fertilizantes de reacción acida y aplicaciones fraccionadas (Baligar y Bennett, 1986.b).

Fósforo: la inundación mejora su disponibilidad y el pH neutro favorece su paso a la solución del suelo. En suelos ácidos este es fijado por las arcillas de tipo 1:1, por la alta concentración de Hierro y Aluminio, y en suelos alcalinos por la alta concentración de Calcio.

Calcio, Magnesio y Potasio. Las relaciones catiónicas no adecuadas, como el caso de la relación Ca/Mg cuando es mayor de 6, lo cual origina deficiencias de potasio y magnesio.

La respuesta del arroz al Potasio depende de la concentración de este elemento en el suelo y de las relaciones catiónicas de Ca/Mg y $(Ca + Mg)/K$. A medida que estas relaciones son altas mayores de 6 y 50 respectivamente la absorción de potasio se dificulta. La movilidad del potasio en el suelo indica que es necesario fraccionarlo.

En suelos de textura mediana se lixivian y cuando el suelo es pesado se fijan a las arcillas tipo 2:1. Una práctica importante para economizar Potasio es la incorporación de residuos de cosecha.

Azufre. La materia orgánica guarda una alta correlación con la disponibilidad del Azufre e igualmente las texturas arenosas favorecen las pérdidas afectando su disponibilidad en la solución del suelo. En medios anaerobios los principales cambios son la reducción de sulfatos a sulfuros con posterior incorporación a los tejidos. Los sulfuros pueden llegar a ser tóxicos cuando las concentraciones de hierro son bajas en el suelo.

Altas concentraciones de sulfuros de Hidrógeno y bajas de hierro, disminuyen la absorción del Fósforo, Potasio, Silicio y Calcio en la planta de arroz, afectando además el desarrollo de las raíces. La fertilización nitrogenada y potásica en forma adecuada, favorece un buen desarrollo de la planta de arroz, aumentando el poder oxidante de las raíces y de esta forma contrarrestando el efecto tóxico y dañino de los sulfuros.

Micro nutrientes. Cuando se inunda un suelo se incrementa la disponibilidad de Hierro, Manganeseo y Molibdeno. En suelos ácidos el Hierro y el Manganeseo pueden llegar a niveles tóxicos.

En suelos alcalinos (calcáreos, salinos y sódicos) los carbonatos fijan el hierro, manganeseo y zinc disminuyendo su disponibilidad para la planta de arroz. Así mismo, el agua puede incrementar la disponibilidad de estos elementos. En suelos húmedos la disponibilidad de Zinc y Cobre disminuye drásticamente en tres semanas por formación de compuestos solubles que se precipitan.

El comportamiento del Boro no es afectado por la inundación del suelo, este mantiene constante su concentración en la solución.

15. RECOMENDACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

Uno de los problemas del cultivo del arroz en las diferentes zonas arroceras es la baja eficiencia de la fertilización especialmente la Nitrogenada y Fosfórica, donde la aplicación de N oscila su eficiencia entre 50 y 70% y la de P entre 10 y 30%. De acuerdo a lo anterior se han establecido una serie de prácticas que aumentan la eficiencia de la fertilización de estos nutrientes: Manejo del agua de riego, retención de humedad, fraccionamiento, épocas de aplicación y selección de fuentes más eficientes.

Para recomendar la cantidad de nutriente que se debe aplicar en un plan de fertilización esto se debe hacer de acuerdo a la siguiente formula.

$$\text{Kg Nutriente/ha} = \text{requerimientos planta (kg/ha)} - \text{Nutrientes disponibles en el suelo (kg/ha)}$$

La cantidad de nutrientes 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 nutrientes en el suelo (cantidad vs disponibilidad), características físicas, químicas y biológicas del suelo, ambiente y tecnología de aplicación.

Para facilitar este trabajo de calcular la cantidad de nutrientes, FEDEARROZ FNA ha desarrollado el programa SIFA el cual está disponible en la página

web de FEDEARROZ (www.fedearroz.com.co). donde se clasifica el país arrocero de acuerdo al ambiente y a las diferentes zonas agroecológicas donde se siembra arroz, teniendo en cuenta que el comportamiento de las variedades y su potencial cambia de acuerdo a cada ambiente.

La densidad aparente es un factor que el SIFA tiene en cuenta donde valores mayores a 1.5 g.cc^{-1} o t.m^{-3} limitan la absorción y disponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo por disminución de la porosidad del suelo. Igualmente de acuerdo a la textura es la disponibilidad y eficiencia de los nutrientes donde texturas arenosas presentan valores bajos en disponibilidad.

En el manejo químico del suelo la utilización de las enmiendas y planes de fertilización adecuados garantizan una buena nutrición de la planta. En suelos alcalinos las enmiendas indicadas son el azufre y la materia orgánica, en suelos ácidos se tiene la cal, donde el PRNT (Poder Relativo de Neutralización Total) es importante el cual debe ser mínimo de 75%. Otros factores son el pH y Materia Orgánica (MO) donde de acuerdo a sus valores es la disponibilidad de los nutrientes. La saturación de bases debe estar entre 60 y 80%, y la saturación de aluminio debe ser menor de 25%.

En el manejo de los nutrientes con el programa SIFA la disponibilidad de los nutrientes es fundamental de acuerdo a la experiencia y al fundamento técnico en la interpretación del análisis del suelo y a la metodología usada en laboratorio para la determinación de cada nutriente, donde esta interacción hace que cualquier método que se utilice en laboratorio permite el uso del SIFA para originar recomendaciones guías que le permiten al técnico ajustar el plan de fertilización y lograr el objetivo de tener plantas bien nutridas y productivas. En el SIFA una disponibilidad baja esta entre 0 y 40, media entre 40 y 70 y alta mayor de 70%.

Además de esta herramienta también es importante tener algunos niveles de interpretación de los 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 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 arrocerá” diseñado por Fedearroz (Tabla 23).

Tabla 23. 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	>=5,5 - <=6,	>6,5
	ACIDO	NEUTRO	ALCALINO
CIC	<10	10 ---20	>20

16. USO DEL CLOROFILÓMETRO (ÍNDICE DE VERDOR) COMO ESTRATEGIA EN LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE ARROZ (Garcés y Castilla, 2015)

El nitrógeno es uno de los elementos indispensables en la producción de arroz, hace parte de la estructura de muchos compuestos orgánicos, como proteínas y ácidos nucleicos, así como de la molécula de clorofila. La toma de este elemento es afectada por muchos factores, tanto de su aplicación, como de suelo y ambientales (Yang et al, 2003).

Las dosis utilizadas por los agricultores varían ampliamente entre las zonas arroceras, debido a las diferencias en tipo de suelos, clima y variedades sembradas.

El proceso de fotosíntesis se encuentra correlacionado positivamente con el contenido de clorofila (Markino et al, 1983; Xu et al, 1997, citados por Toshiyuki et al, 2010). Dentro de los métodos de medición del contenido de clorofila de la hoja, existen métodos no destructivos para estimar su valor, por ejemplo, el medidor digital de clorofila SPAD (Soil and Plant Analyzer Development meter) provee un buen método de estimar el contenido de clorofila a través de la medición de la absorbancia de luz de bandas espectrales específicas en hojas vivas. Las mediciones de valores SPAD son rápidas y sencillas y se ha encontrado alta correlación entre los valores de SPAD y la fotosíntesis de la hoja (Huang and Peng, 2004). De igual forma, existe correlación entre las mediciones SPAD y el nivel de nitrógeno de la hoja, de manera que se utiliza como herramienta para la toma de decisiones en cuanto a la fertilización nitrogenada del cultivo (Cabangon et al, 2011; Hernández y Luna, 2014).

Debido a la utilidad de la medición de los valores SPAD para la determinación del contenido de clorofila y su importancia como herramienta de diagnóstico nutricional de la planta, es de gran importancia lograr una aproximación a los valores óptimos para cada variedad, teniendo en cuenta su estado de desarrollo, de manera que la utilización del medidor de clorofila se consolide como una eficiente herramienta de diagnóstico del estatus nutricional del cultivo.

MEDIDOR PORTATIL DE CLOROFILA SPAD 502 & 502DL Los medidores de clorofila SPAD 502 cuantifican la salud de los cultivos. El medidor de clorofila SPAD 502 mide inmediatamente el contenido de clorofila o “verdor” de las plantas y reduce el riesgo de tener deficiencias que limiten el rendimiento, o una fertilización costosa.

El SPAD 502 cuantifica cambios sutiles o tendencias en la salud de sus plantas mucho antes que sean visibles al ojo humano. Es una medición no invasiva, simplemente se coloca el medidor sobre el tejido de la hoja y se recibe una lectura del contenido indexado de clorofila (0- 99.9) en menos de dos segundos.

Las investigaciones muestran una fuerte correlación entre las mediciones del SPAD y el contenido de nitrógeno de las hojas. El medidor SPAD 502 puede ser adquirido con o sin un data logger integrado. La versión con data logger le permite compilar las lecturas para realizar un análisis estadístico. Incluye un puerto RS-232 para conectarse con una PC y/o un receptor GPS portátil. Se utiliza datos geo-referenciados para correlacionar los niveles de N con los mapas de rendimiento o se descarga los datos a un software de mapas. Este robusto dispositivo de recolección de datos de campo tiene una capacidad de 1,488 mediciones cuando se le acopla a un receptor GPS o 4,096 mediciones cuando se utiliza sin GPS. El software requiere de Windows 98 o versiones posteriores. Se requiere un cable GPS/DGPS para funcionar con programas de geo-referencia. Este medidor de clorofila ha sido catalogado como la mejor herramienta de diagnóstico de nitrógeno para plantas (Blackmer, T.M., and J.S. Schepers. 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:1791-1800. y Scharf, P.C. 2001. Soil and plant tests to predict optimum nitrogen rates for corn. *J. Plant Nutr.* 24:805-826).

El monitoreo del contenido de Nitrógeno (N) en la planta es un método para mejorar la sincronización entre la demanda del cultivo y el suplemento del N del suelo y de los fertilizantes aplicados. Generalmente se utiliza el color de la hoja como un indicador visual del contenido de N en el cultivo y de la necesidad de aplicación de fertilizantes nitrogenados. El uso del clorofilómetro permite ajustar las aplicaciones de N en tiempo real (IRRI, 2000).

Las lecturas con el SPAD empiezan a los 8 días después de emergencia (dde) del arroz haciendo una medida semanal hasta el inicio de la floración. Se utiliza la hoja más joven extendida totalmente, en su sección central al lado de la nervadura central o en la punta de las hojas. Durante las mediciones, siempre se debe mantener a la hoja bajo la sombra del cuerpo. No se deben tomar lecturas con el SPAD a plena luz del sol. Se deben tomar mínimo 10 lecturas en plantas elegidas al azar en cada lote y luego se debe calcular el valor SPAD promedio (IRRI, 2000).

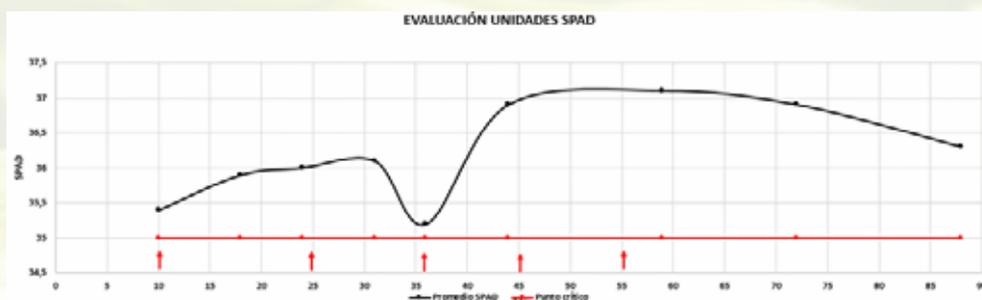


Figura 20. Evaluaciones con el SPAD a través de todo el ciclo de la variedad Fedearroz 67 (Castilla y Tirado, 2017).

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 nos permite observar que cuando las unidades SPAD estaban disminuyendo se programó la fertilización.



Figura 21. Clorofilómetro o SPAD.



Figura 22. Toma de datos con el SPAD.

17. APORTES DEL USO DE DRONES EN LA EVALUACIÓN DE LA NUTRICIÓN Y EL RENDIMIENTO DEL ARROZ (Barrero y Castilla, 2019)

Uno de los aspectos críticos para el crecimiento y rendimiento de las plantas es su nutrición, por tal motivo, muchos investigadores y empresas de base tecnológica se han dado a la tarea de desarrollar equipos que permitan monitorear el estado nutricional de las plantas de una forma rápida y precisa, Según Laacouri, Kaiser, & Mulla, 2016; idealmente, el nitrógeno debería ser aplicado solo a áreas con suficiente lámina de agua disponible. Para cuantificar el N y el estrés hídrico, los métodos de detección de estrés espectral y térmico de cultivos fueron explorados usando hiperespectrales, multiespectral y térmico datos de teledetección recopilados en un sitio de campo de investigación en Victoria, Australia El trigo se cultivó durante dos temporadas. con dos niveles de aportes de agua (lluvia / riego).

Entre los más conocidos están los sistemas de reflectometría, los cuales se usan para determinar el estado nutricional de los cultivos. La función principal de este tipo de sensores es la de establecer la reflexión de la luz en las plantas en ciertas longitudes de onda, más precisamente, entre el rojo y el infrarrojo cercano (NIR), donde ya se ha detectado que las plantas con problemas de nutrición presentan cambio significativos en la forma como reflejan la luz (Maresma, Ariza, Martínez, Lloveras, & Martínez-Casasnovas, 2016; Meyer & Neto, 2008; Wang et al., 2012).

El sensor Green Seeker (Buscador de Verde), el cual se instala sobre un tractor y puede establecer el índice vegetativo de diferencia normalizado (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), cuya interpretación puede contribuir a un rápido y localizado diagnóstico de las condiciones nutricionales de las plantas, además de ayudar a establecer el potencial de producción del cultivo, (Harrell, Tubaña, Walker, & Phillips, 2011; Teal et al., 2006; Tubaña et al., 2008).

De otro lado, están las imágenes de reflectancia de satelitales y drones aéreos UAV (Unmanned Aerial Vehicules - Vehículos Aéreos no Tripulados), las cuales son obtenidas con cámaras multiespectrales e hiperespectrales. Con base en estas imágenes también es posible calcular el NDVI. Es importante resaltar, que el NDVI no es el único índice que sirve para establecer el estado nutricional de las plantas, una vez identificado el rango de longitudes de onda donde las plantas presentan mayor sensibilidad con relación a su estado nutricional, se pueden establecer otro tipo de índices como el NDRE (Normalized Difference Red Edge – Diferencia de Borde Rojo Normalizado), OSAVI (Optimized Soil reflectance Adjusted Vegetation index – Índice Vegetativo Optimizado con la reflectancia del suelo) entre otros (Maresma et al., 2016).

Mediante el uso de las metodologías, de Random Forest y Mínimos Cuadrados, la predicción de rendimientos en el cultivo de arroz es confiable, ya que el error de predicción para ambos métodos varía entre -14,88% y 13,85%, lo cual es aceptable para este tipo de aplicación.

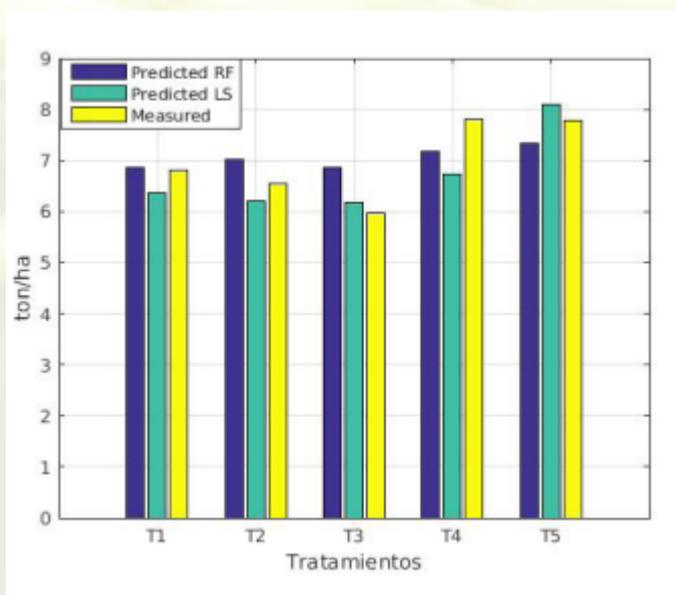


Figura 23. Comparación de la predicción del rendimiento de Random Forest y Mínimos Cuadrados, con base en la información de los 38 y 45 dde. De NDVI, SPAD, n° de macollas, y altura de planta.

Existe una relación alta entre el NDVI, el número de macollas y panículas, lo que refuerza la correlación directa entre el índice NDVI con el rendimiento del cultivo. El mayor valor de NDVI se obtuvo en general para todos los tratamientos alrededor de los 80 DDE, época que corresponde al máximo embuchamiento e inicio de la floración de la variedad de arroz estudiada Fedearroz 67.

Las plantas de arroz a las que se les aplicó 150 kg de N/ha mostraron el mayor nivel de NDVI durante todas las etapas, encontrándose alta correlación entre el NDVI y la cantidad de nitrógeno aplicada. Las curvas de NDVI para los tratamientos de humedad más baja, presentan los menores valores, lo que también indica una alta correlación con el estrés por déficit hídrico en las plantas de arroz.

El NDVI es el índice que mejor se ajusta a los datos, seguido por NDRE Y GNDVI; esto corrobora los resultados de otros autores, quienes recomiendan el uso de estos índices para la determinación del estado nutricional de las plantas de arroz.

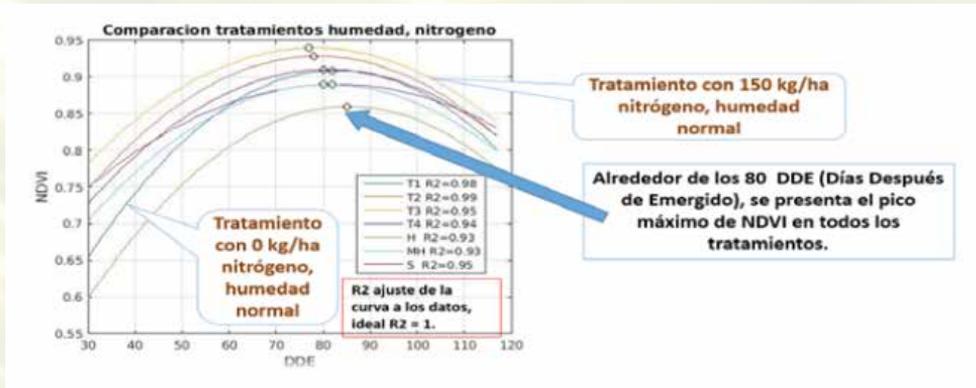


Figura 24. Datos NDVI en el tiempo con diferentes tratamientos de nitrógeno y humedad en el suelo. R2 es el coeficiente de ajuste de los datos a un polinomio de segundo orden.

18. BIBLIOGRAFÍA

Azcón-Bieto, J., Talon, M. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. 1° Edición. McGraw Hill. Madrid (España). 581 Pág.

BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por lo cultivos. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo (ACCS) San José. Costa Rica.

BARRERO M., O. CASTILLA L., A. Valiosos aportes del uso de drones en la evaluación de nutrición y el rendimiento del arroz. 2019. Revista Arroz. Fedearroz. Vol 67 – mayo, junio 2019.

Blackmer, T.M., and J.S. Schepers. 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:1791-1800.

Cabangon, R., E. Castillo, T. Tuong. 2011. Chlorophyll meter-based nitrogen management of rice grown under alternate wetting and drying irrigation Field Crops Research, 121: 136–146

Castila, L.A. 2012. Manejo productivo de la cosecha de arroz. Revista Arroz, Bogotá, Vol. 60, N°500: 10-16

CASTILLA L., A. ORTIZ L., H. Por qué rotar con soya es una práctica productiva para el arroz. 2019. Revista Arroz. Vol 67 enero – febrero 2019.

Castilla, L.A. Tirado, Y.C. Sandoval, D. Guzmán, C. 2016. Requerimientos nutricionales en las variedades de arroz Fedearroz 67 y FL Fedearroz 68. Revista arroz, Bogotá, Vol. 64, N°524: 42-43

Castilla, L.A. 2016. Manejo integrado de la materia orgánica en el cultivo del arroz. Revista Arroz. Fedearroz. Vol 64, N° 522: 18 – 24

CASTILLA, L.A. 2013. Requerimientos nutricionales de las variedades de arroz Fedearroz 60 y 733 en Colombia. Revista arroz, Bogotá, Vol. 61, N°503: 4-8.

CASTILLA, L.A. 2011. Nutrición y fertilización en el cultivo del arroz. Fedearroz – Fondo Nacional del Arroz. Ibagué.

CASTILLA, L.A 2000. Factores que afectan la eficiencia de la fertilización en el cultivo del arroz. En: Fundamentos técnicos de los fertilizantes y la fertilización en el cultivo del arroz. Ibagué, Colombia.

Castilla, L.A. FLÓREZ, E. 2014. SIFA: sistema de fertilización en el cultivo de arroz a través de la web. Revista Fedearroz. Vol 62 N° 509: 4-15.

Castilla, L.A. 1995 – 1999 Resultados de investigación. Ibagué.

Castilla, 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 arroceras del Tolima. Compendio resultados de investigación 2006-2007. Fedearroz-Fondo nacional del arroz. pp 93-98.

Cuevas M.,A. 2004. El tamo del arroz: el sub producto de la sostenibilidad. Revista Arroz. Fedearroz. Enero- Febrero 2004 Bogotá vol. 52 No. 448.

Dobermann, A. y Fairhurst, T. 2000. Arroz. Desordenes Nutricionales y Manejo de nutrientes. PPI. IRRI. PPIC. Filipinas. Fedearroz. 1999. Manejo y conservación de suelos para la producción del arroz. Bogotá.

FAO. 1998. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera. El Salvador. Proyecto CENTA – FAO.

GUERRERO, R. 1990. Fertilización de cultivos en clima cálido. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Barranquilla. Gráficas. Aguilera. 312 p.

GUZMÁN M., C. CASTILLA L., A. 2018. Manejo integrado de residuos de cosecha en el cultivo de arroz. 2018. Vol 66. Noviembre – diciembre. Revista Arroz. Fedearroz.

Garcés, G. Castilla, L.A. 2015. Uso del clorofilómetro como estrategia en la fertilización nitrogenada en el cultivo de arroz. Revista Arroz. Fedearroz. Vol 63.

Hernández, F. y N. Luna. 2014. La importancia del clorofilómetro (SPAD) en el cultivo del arroz. Arroz, 62 (512): 38-42.

Harrell, D. L., Tubaña, B. S., Walker, T.W., & Phillips, S. B. (2011). Estimating rice grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*, 103(6), 1717–1723. <https://doi.org/10.2134/2011.0202>

Huang, J., Peng, S. 2004. Comparison and standardization among chlorophyll meters in their readings on rice leaves. *Plant Prod Sci.*, 7: 97–100.

INIA. Sema de la Ciencia y Tecnología. 2015.

IRRI. 2000.

Luc, M., HEFFER, P. 2007. Desarrollo tecnológico en el uso de fertilizantes, informaciones agronómicas, julio 2007. Número 66. IPNI. Quito. Ecuador.

Mengel, K, y Kirkby E. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute, Suiza

Maresma, Á., Ariza, M., Martínez, E., Lloveras, J., & MartínezCasasnovas, J. A. (2016). Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (*zea mays l.*) from a standard uav service. *Remote Sensing*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/rs8120973>

PINEDA D.PRECIADO, L. OSPINA, J.GÓMEZ, R. 2016. Informe especial. Llegó la hora de almacenar agua a través de reservorios. *Revista Arroz. Fedearroz*. Vol 64. Julio – Agosto.

Peng, S., R. Buresh, J. Juang, J. Yang, Y. Zou, X. Zhong, G. Wang, F. Zhang. 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Research*, 96: 37-47.

RAAA. 2005. Red de acción en alternativas al uso de agroquímicos.

RODRÍGUEZ, H. 1999. Fertilización del cultivo del arroz. XI Congreso Nacional Argonómico/ III Congreso Nacional de Suelos. Conferencia 174. San José, Costa Rica.

Scharf, P.C. 2001. Soil and plant tests to predict optimum nitrogen rates for Corn. *J. Plant Nutr.* 24:805-826

STONE, L; MARQUES, P; ALVES, J. Irrigação. In: BAÊTA, A; STONE, L; VIEIRA, N A Cultura do Arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás, GO Embrapa Arroz Feijão. 2006. cap. 17, p. 683-722

Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc.

Publishers. Sunderland, Massachusetts. 764 Pág. Teal, R. K., Tubana, B., Girma, K., Freeman, K. W., Arnall, D. B., Walsh, O., & Raun, W. R. (2006). In-season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*, 98(6), 1488–1494. <https://doi.org/10.2134/2006.0103>

Tubaña, B. S., Arnall, D. B., Walsh, O., Chung, B., Solie, J. B., Girma, K., & Raun, W. R. (2008). Adjusting midseason nitrogen rate using a sensor-based optimization algorithm to increase use efficiency in corn. *Journal of Plant Nutrition*, 31(8), 1393–1419. <https://doi.org/10.1080/01904160802208261>

Yang, J., Jiang, N., Chen, J. 2003. Dynamic simulation of nitrogen application level effects on rice yield and optimization analysis of fertilizer sup-my in paddy field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(10): 1654–1660.

Terminó de imprimirse
en noviembre de 2017 en



Bogotá, DC, Colombia
editorialmvb@gmail.com



FEDEARROZ
FONDO NACIONAL DEL ARROZ

