



*Federación Nacional de Cultivadores de
Cereales y Leguminosas*

FONDO DE FOMENTO DE LA SOYA

MANEJO EFICIENTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE SOYA

Dilia Marina Coral Eraso
Ingeniero Agrónomo, Magister Ciencias Agrarias

MANEJO EFICIENTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE SOYA

Autor:

DILIA MARINA CORAL ERASO, ING. AGR. M. SC.

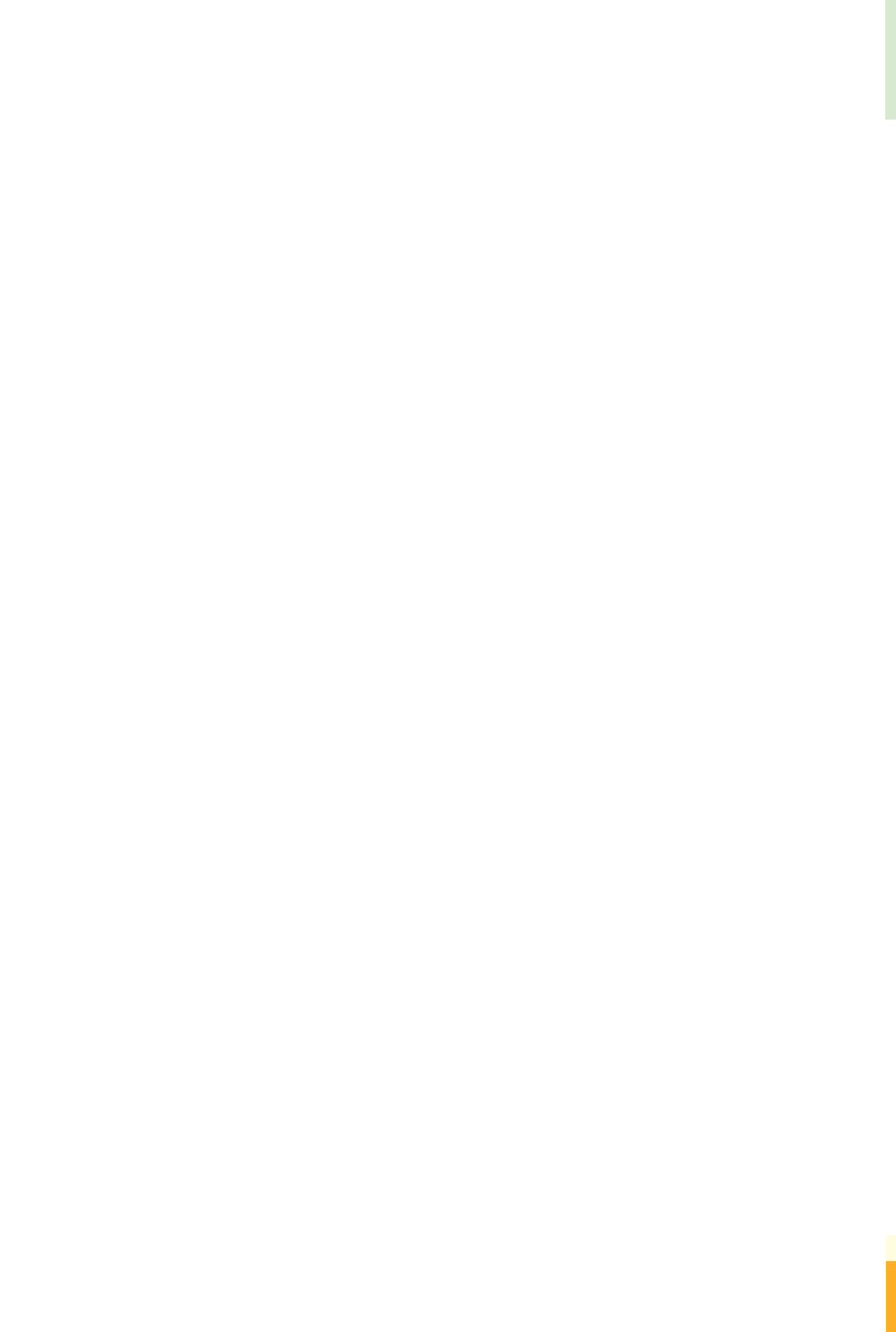
Editor:

Federación de Cultivadores de Cereales y Leguminosas - FENALCE.

ISBN: 978-958 576 18 3-4

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Nariño y Magíster en Ciencias Agrarias con área de énfasis Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Se ha desempeñado como investigadora sobre evaluación integral de la calidad del recurso suelo, docente universitario y profesional independiente en proyectos sobre validación, ajuste y transferencia de tecnología en manejo sostenible de suelos. Desde el 2009 se desempeña como líder de proyectos relacionados con manejo de suelos y nutrición de cultivos en la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas, FENALCE.





La autora expresa sus agradecimientos a:

Fondo Fomento de la Soya
por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto.

Dr. Henry Vanegas Angarita

Dr. Carlos Ernesto Molina

Dr. Carmen Julio Duarte Pérez

Ingeniero Agrónomo María Teresa Pulido Monroy
responsable del trabajo de investigación en campo.

Personal administrativo de FENALCE

5

Quienes aportaron ideas en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES DE LOS MACRO, MESO Y MICRONUTRIENTES EN LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE SOYA	19
1.1 NITRÓGENO	19
1.2 FÓSFORO	20
1.3 POTASIO	21
1.4 AZUFRE	22
1.5 MAGNESIO	23
1.6 CALCIO	23
1.7 MICRONUTRIENTES.....	23
1.7.1 BORO	23
1.7.2 COBRE	23
1.7.3 HIERRO.....	24
1.7.4 MANGANEZO	24
1.7.5 ZINC	24
1.7.6 MOLIBDENO	25
1.7.7 COBALTO.....	25
2. PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN	27
2.1 ESTABLECIMIENTO DE LA META DE RENDIMIENTO OBTENIBLE.	28
2.2 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO.	28
2.3 DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS DE NUTRIENTES NECESARIAS PARA COMPLETAR EL DÉFICIT ENTRE LAS NECESIDADES DEL CULTIVO Y EL SUPLEMENTO DE NUTRIENTES NATIVOS DEL SUELO.	28
3. RESULTADOS.....	33
3.1 ESTIMACIÓN DE LA META DE RENDIMIENTO	33
3.2 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTE DEL SUELO	33
3.3 DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS DE NUTRIENTES	34
3.4 EFICIENCIA DE USO DE LOS NUTRIENTES	39
3.4.1 EFICIENCIA AGRONÓMICA (EA)	41
3.4.2 EFICIENCIA FISIOLÓGICA (EF)	42
3.4.3 FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARCIAL (FPP).....	44

3.5	RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NUTRIENTES	45
3.6	EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE POTASIO.....	46
3.7	DOMINIO DE RECOMENDACIÓN POR SEMESTRE Y LOCALIDAD	49
4. CONSIDERACIONES FINALES		51
5. BIBLIOGRAFIA		55

TABLAS

Tabla 1. Tratamientos manejo de la nutrición del cultivo de soya por sitio específico.	29
Tabla 2. Meta de rendimiento para el cultivo de soya en el departamento del Meta.....	33
Tabla 3. Dosis de nutrientes en parcelas de omisión y de fertilización completa. 34	
Tabla 4. Resultados de análisis de suelos tres localidades del departamento del Meta.....	35
Tabla 5. Dosis de nutrientes en parcelas de omisión y de Fertilización completa, fase 2.	36
Tabla 6. Cálculos índices de eficiencia de nutrientes.....	41
Tabla 7. Eficiencia Agronómica Kg de grano producido x Kg de nutriente aplicado ton,ha ⁻¹	41
Tabla 8. Eficiencia Fisiológica Kg de grano producido x Kg de nutriente absorbido ton.ha ⁻¹	43
Tabla 9. Factor de productividad parcial Kg por hectárea.....	44
Tabla 10. Respuesta a la adición de nutriente Kilogramos de grano.	45
Tabla 11. Acumulación de nutrientes en partes de la planta de soya en estado de maduración fisiológica.	48
Tabla 12. Factor de productividad parcial para diferentes fraccionamientos de Potasio.....	49
Tabla 13. Dominio de recomendación	49

FIGURAS

Figura 1. Rendimiento (ton, ha ⁻¹) obtenido en las parcelas de omisión en los ensayos establecidos en tres localidades del departamento del Meta.....	35
Figura 2. Rendimiento (ton, ha ⁻¹) obtenido en las parcelas de omisión en los ensayos establecidos en tres localidades del departamento del Meta.....	37
Figura 3. Rendimiento (ton, ha ⁻¹) obtenido en las parcelas de omisión en tres localidades del departamento del Meta.....	38
Figura 4. Efecto del fraccionamiento de la dosis de potasio en el rendimiento (Kg.ha ⁻¹) del cultivo de soya. Letra diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento.....	47
Figura 5. Análisis combinado entre localidades del efecto de fraccionamiento de la dosis de potasio en el rendimiento (Kg.ha ⁻¹) del cultivo de soya. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos...	48

PRESENTACIÓN

La soya en la Orinoquia colombiana viene ganando importancia por la demanda instalada en la región al ser un insumo de excelente calidad proteica para la formulación de alimentos balanceados, por ser fuente importante para la producción de aceite de buena calidad y por sobre todo por ser una excelente opción como cultivo de rotación para el maíz y el arroz.

Los sistemas productivos donde participa la soya como rotación presentan ventajas adicionales como el aporte de nitrógeno orgánico al suelo y al cultivo subsiguiente, la flexibilidad para acomodarse a los ciclos productivos de los principales cultivos de rotación y por la facilidad de adaptarse a los diferentes sistemas de labranza (labranza convencional, reducida, cero y demás variantes existentes).

El área cultivada de soya en Colombia durante el año fue de 21.845 hectáreas y aunque aún se considera incipiente, las condiciones de clima, la oferta tecnológica, la calidad de la producción y la cercanía a la demanda, pronostican un incremento importante.

Este potencial de crecimiento para la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales - FENALCE cobra importancia en dos sentidos: por el acelerado aumento de la demanda de este insumo para la producción avícola, piscícola y pecuaria, y una dependencia cada vez más acentuada de producto foráneo.

Dentro de los objetivos más importantes de FENALCE – Fondo de Fomento de la Soya y que se consideran como un aporte importante a los productores es el incremento de la productividad por unidad de área y la competitividad del cultivo mediante la adopción de prácticas sostenibles que incluyan el manejo racional del recurso suelo y manejo eficiente de la nutrición del cultivo para la incorporación de nuevas áreas de siembra pero con un incremento significativo en el rendimiento.

La presente publicación se fundamentó en los resultados obtenidos del proyecto de Manejo Eficiente de Nutrientes en el Cultivo de la Soya en el Departamento del Meta para maximizar su respuesta a la adición externa de los fertilizantes mediante el incremento de las eficiencias agronómicas, fisiológicas y del factor de productividad parcial. El desarrollo del proyecto contempla la implementación de un proceso de Manejo Específico por Sitio - MNSE que requiere del establecimiento de la meta de rendimiento sostenible, de la determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo y de la determinación de las dosis de nutrientes necesarias para completar el déficit entre las necesidades del cultivo y el suplemento de nutrientes nativos del suelo.

Se espera que con estos resultados y las recomendaciones aquí presentadas, se constituyan en una herramienta importante que contribuya a la apropiación del conocimiento para solucionar algunos de los aspectos tecnológicos de mayor relevancia relacionados con el manejo eficiente de la nutrición en el cultivo de la soya para incrementar la productividad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental.



INTRODUCCIÓN

La soya en Colombia se cultiva en un 90% en la altillanura con rendimientos entre 2.5 y 3 toneladas por hectárea destacándose los departamentos de Meta y Vichada. En la zona predominan los suelos oxisoles y ultisoles con pH promedio de 4.5, altos niveles de Aluminio, baja saturación de bases y bajo contenido de materia orgánica.

La soya tiene mercado nacional insatisfecho y una alta dependencia del mercado internacional que genera una coyuntura de desabastecimiento en términos de soberanía y seguridad alimentaria, durante los años 2015 a 2017 se importaron en promedio 532.412 toneladas, únicamente el 11% de la demanda interna fue cubierta por la producción nacional (Departamento Económico Fenalce, 2018).

Con el fin de incrementar la productividad y competitividad del cultivo se adelantó un estudio de manejo de nutrientes por sitio específico y prácticas sostenibles de manejo del recurso suelo y de nutrición del cultivo en tres localidades del departamento del Meta, con el uso de un manejo adecuado del cultivo y un plan de fertilización investigado y validado que asegure el uso eficiente de nutrientes, permitiría incorporar nuevas áreas de siembra acompañadas del incremento en el rendimiento promedio actual (2.61 ton,ha^{-1}).

Con el desarrollo de este proyecto se determinó en tres localidades un dominio de recomendación de nutrición del cultivo y la necesidad de adoptar prácticas agronómicas que permitan un uso eficiente de nutrientes considerando los pilares de la nutrición vegetal: fuente, dosis, lugar y momento de aplicación.



1. GENERALIDADES DE LOS MACRO, MESO Y MICRONUTRIENTES EN LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE SOYA

1.1 NITRÓGENO

El nitrógeno, es un elemento básico de la vida y está presente en determinadas reacciones químicas e intercambios entre la atmósfera, suelos y seres vivos, que se realizan en la naturaleza de forma cíclica. Intervienen fundamentalmente en este ciclo los vegetales y las bacterias fijadoras del nitrógeno. En ese proceso, el nitrógeno es incorporado al suelo, que será absorbido por los organismos vivos antes de regresar de nuevo a la atmósfera.

Los organismos vivos no pueden utilizar directamente el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa; debe ser transformado previamente en nitrógeno orgánico (nitratos o amoniaco). Esto se consigue, fundamentalmente, mediante la fijación biológica, aunque también la energía que producen los rayos en la atmósfera interviene en este proceso en menor medida combinando nitrógeno y oxígeno que una vez transformado es enviado a la superficie terrestre por las precipitaciones.

En la fijación biológica intervienen bacterias simbióticas que viven en las raíces de las plantas, sobre todo leguminosas pero también determinadas algas, líquenes, etc. Las bacterias se alimentan de estas plantas, pero a cambio le entregan abundantes compuestos nitrogenados. Es muy común en agricultura cultivar leguminosas en determinados terrenos pobres en nitrógeno, o que han quedado agotados por otras cosechas, para permitir rotar los sembrados en el mismo lugar.

Los nitratos y en menor cantidad el amonio, son las principales fuentes de nitrógeno de las plantas verdes y de muchos microorganismos. Las proteínas de las plantas sirven como fuente de aminoácidos esenciales para numerosos animales, que las utilizan para sintetizar sus propias proteínas celulares. Estos animales son ingeridos por otros animales, sirviendo así como fuente de nitrógeno a los depredadores. Luego, los animales excretan los desechos nitrogenados en forma de urea. Estos desechos se descomponen en la tierra y en el agua hasta amonio y bióxido de carbono. La descomposición de los organismos muertos transforma eventualmente las sustancias nitrogenadas de las células muertas hasta amonio, bióxido de carbono y agua.

El amonio está sujeto a numerosas transformaciones biológicas. Puede absorberse como tal por medio de las raíces de las plantas superiores y usarse para la síntesis de aminoácidos y proteínas. Puede oxidarse por el proceso llamado Nitrificación, principalmente como resultado de la acción sucesiva de grupos de bacterias que se encuentran en el suelo y que se llaman bacterias nitrificantes. El primer grupo, *Nitrosomonas*, lo oxidan aerobiamente hasta nitritos, el cual es después oxidado aerobiamente hasta nitratos por el segundo grupo de bacterias llamadas *Nitrobacter*. Los nitratos así producidos son utilizados por las plantas y microorganismos como una fuente de nitrógeno, cerrándose así el anillo y completándose el ciclo del nitrógeno.

Sin embargo, el ciclo del nitrógeno, es más complejo y posee varias derivaciones importantes. Otro grupo de bacterias importantes del suelo llamadas bacterias desnitrificantes convierten los nitritos y nitratos a nitrógeno molecular, el cual regresa a la atmósfera. Por consiguiente, este proceso la desnitrificación es un escape del nitrógeno durante el ciclo.

1.2 FÓSFORO

El fósforo juega un papel fundamental en la vida de las plantas es constituyente de ácidos nucleicos, enzimas, vitaminas, fosfolípidos y además es indispensable en procesos donde hay transformación de energía. El fósforo en los suelos es relativamente estable. Esta alta estabilidad resulta en una baja solubilidad del fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo.

De manera general, se ha encontrado que algunos factores como la temperatura, precipitación pluvial, acidez del suelo, actividad biológica, grado de desarrollo de los suelos, etc., determinan la participación de las fracciones orgánica e inorgánica en el fósforo total.

De acuerdo con la estructura química existen cinco tipos principales de compuestos fosfatados en la materia orgánica.

- Fosfolípidos
- Ácidos nucleicos
- Fosfatos metabólicos
- Fosfoproteínas
- Fosfatos del ácido inoxithexafosfórico o inositol.

La fracción principal está constituida por los fosfatos de inositol que constituyen hasta el 50 % del fósforo orgánico. Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian formas químicamente bien definidas cristalizadas. Por otro lado, se deben considerar formas químicamente no bien definidas, no bien cristalizadas o amorfas como los fosfatos adsorbidos al complejo coloidal y los hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso.

La distribución de los fosfatos inorgánicos se ve influenciada por las condiciones de pH del suelo. En reacciones neutras o alcalinas, predominan los fosfatos de calcio, bajo condiciones ácidas los de hierro y aluminio. También depende de la granulometría del suelo, en suelos arenosos predominan los fosfatos cárnicos y en los arcillosos los alumínicos y férricos.

Las plantas absorben fósforo principalmente en forma de ion monofosfato ($H_2PO_4^-$) y del ion difosfato (HPO_4^{2-}); también se ha sugerido que este elemento puede ser absorbido en forma de ácidos nucleídos y fitina, pero estos compuestos no tienen importancia práctica ya que existen en el suelo en pequeñas cantidades y son mineralizadas fácilmente.

21

1.3 POTASIO

Después del nitrógeno y el calcio, el potasio es el elemento esencial de las plantas absorbido en mayores cantidades, juega un papel importante en el

metabolismo de los carbohidratos y proteínas, regula la transpiración, y el contenido de agua en las células, es cofactor enzimático e interviene en la fotosíntesis.

El contenido de potasio en el suelo varía ampliamente de acuerdo con el tipo de roca madre y grado de intemperismo. En general suelos derivados de rocas básicas y suelos muy intemperizados son los que tienen menores contenidos. Los minerales primarios que actúan como fuente de potasio en el suelo son los feldespatos potásicos, ortoclasa y las micas, biotita y moscovita, y las arcillas micáceas conocidas como illitas.

El potasio total del suelo puede considerarse como un conjunto de estados en el cual el ion K^+ existe, en distintas formas de combinación, todas en equilibrio. Pero solamente el que existe como intercambiable sobre la superficie de los minerales de arcilla, es considerado como la principal fuente de potasio aprovechable para las plantas, y depende de la cantidad y de la movilidad relativa de los diferentes estados.

1.4 AZUFRE

El azufre es tomado por las plantas en cantidades apreciables. Es indispensable para la formación de ciertos aminoácidos y hace parte de la estructura molecular de las proteínas. Su sintomatología de deficiencia a veces se confunde con la de nitrógeno. Es componente de aminoácidos y ayuda a la formación de proteínas, y acumulado en las semillas, en la etapa de crecimiento participa activamente en el crecimiento.

El azufre se encuentra en el suelo tanto en la forma orgánica como mineral, conocidos en términos generales como formas orgánicas e inorgánicas. Alrededor del 90% del azufre presente en el suelo se halla en forma de combinaciones orgánicas.

La principal forma inorgánica del azufre en los suelos es la de sulfatos solubles que se encuentran en la solución del suelo o en forma iónica $SO_4^{=}$, absorbida principalmente en el subsuelo de suelos ácidos o en la forma de precipitados de calcio, magnesio y potasio en suelos alcalinos.

1.5 MAGNESIO

El magnesio es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila y está localizado en la parte central. Está relacionado con el metabolismo del fosforo y se considera que es específico en la activación de numerosos sistemas enzimáticos.

El magnesio puede estar en forma intercambiable en el complejo coloidal o en forma soluble en la solución del suelo, en los suelos se origina de la descomposición de las rocas que contienen minerales, tales como la biotita, la serpentina y la olivina.

1.6 CALCIO

El calcio es un elemento nutritivo esencial para la elongación y división celular (crecimiento de las plantas). Forma parte de la estructura de los pectatos de calcio de la lamela media y los puentes de calcio de la plasmalema. La importancia del calcio en la fertilidad del suelo es doble, directo en la planta e indirecto en el suelo. Algunos de los procesos en que interviene en la planta son: Síntesis de proteínas, ya que promueve la absorción de nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-), Neutraliza las toxinas producidas en la planta, está presente en la pared celular, en la laminilla media y es necesario para el crecimiento de los meristemas apicales.

1.7 MICRONUTRIENTES

1.7.1 BORO

Afecta muchos procesos en forma indirecta, interviene en el transporte de azúcares al formar complejos con los átomos de oxígeno libres o con los grupos OH presentes en ellos, reduciendo su polaridad y facilitando su transporte a través de las membranas, estabiliza la estructura de la pared celular. Los cultivos varían significativamente en su respuesta al B.

1.7.2 COBRE

Es componente de diferentes enzimas fenolasas, lactasas y de la oxidasa del ácido ascórbico, así como de ciertas proteínas (plastocianina) presentes en el cloroplaso, de aquí que participe en la fotosíntesis. Promueve la formación de vitamina A, además, activa varias enzimas y actúa como conductor implicado en la biosíntesis de ligninas. El Cu es necesario para la formación de clorofila y cataliza varias otras reacciones en las plantas a pesar de no ser parte del producto(s) que se forma con esas reacciones.

1.7.3 HIERRO

Actúa como activador enzimático en la síntesis de clorofila; es un factor necesario, pero no forma parte de la molécula. Es parte del sitio activo de hemoproteínas como los citocromos, catalasas y peroxidases. Se unen con grupos de “tioles” a las sulfoferroproteínas. Interviene en la síntesis de proteínas y es componente de algunas metaloflavoproteínas que intervienen en diferentes oxidaciones y reducciones biológicas.

1.7.4 MANGANESO

El Mn funciona principalmente como parte de los sistemas enzimáticos de las plantas. Activa varias reacciones metabólicas y juega un papel directo en la fotosíntesis al ayudar a la planta a sintetizar clorofila. Actúa como activador enzimático en la respiración y en el metabolismo del N, en este último caso, activando las reductasas. Es el catión predominante en estos procesos, pero puede ser sustituido por Mg, Co, Zn y Fe. También participa en la síntesis proteica y en la formación de ácido ascórbico (vitamina C). Además, es capaz de destruir u oxidar el AI. El Mn acelera la germinación y la maduración de las plantas e incrementa la disponibilidad de P y Ca.

1.7.5 ZINC

El Zn es un micronutriente reconocido como esencial para las plantas, es el micronutriente que con más frecuencia limita los rendimientos de los cultivos. Se asimila en la enzima reguladora de la síntesis del triptófano, que es el aminoácido inicial en la síntesis de auxinas. Es cofactor enzimático de por lo menos 80 sistemas enzimáticos. Forma parte de las superóxido dismutasas y estabiliza la ARN polimerasa, regulando la expresión genética.

El Zn ayuda a la síntesis de substancias que permiten el crecimiento de la planta y es esencial para promover ciertas reacciones metabólicas, así como para la producción de clorofila y carbohidratos.

1.7.6 MOLIBDENO

Está relacionado con el metabolismo del N; interviene en la fijación del N gaseoso a nivel de organismos fijadores, en la asimilación de los nitratos y forma parte del sistema de la reductasa del N. La función del Mo está relacionada a la formación de enzimas que participan en las reacciones de formación de la nitrogenasa y nitrato reductasa, responsables de la ruptura del triple enlace N≡N, y de la asimilación de este elemento en la planta durante la fijación biológica de nitrógeno. El Mo puede ver reducida su disponibilidad debido a la acidificación producida en los suelos como consecuencia de la exportación de cationes (Calcio y Magnesio) la disponibilidad de Mo se reduce 100 veces por cada unidad que desciende el pH en los suelos.

Se relaciona con los niveles de ácido ascórbico que sirven para proteger al cloroplasto. También, interviene en el metabolismo del P y se postula su participación en la absorción y transporte de Fe.

1.7.7 COBALTO

El Cobalto es esencial para la fijación biológica de nitrógeno (FBN), es componente de la vitamina B12, la cual forma parte de la cobamida, coenzima precursora de la leghemoglobina, que interviene en la oxigenación del nódulo. Una deficiencia de Co inhibe la síntesis leghemoglobina, y como consecuencia, la FBN. Suele ser deficiente en suelos arenosos, ácidos o excesivamente cultivados

Con él se puede ejemplificar el concepto de balanceo de nutrientes: una leguminosa puede estar muy bien dotada de fosforo, nitrógeno, y azufre, pero si no cuenta con cobalto y molibdeno, difícilmente pueda utilizar eficientemente estos nutrientes, o probablemente requiera mayor cantidad de ellos para funcionar.



2. PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

El Manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE), es una metodología que busca entregar nutrientes a la planta como y cuando los necesita. Esta forma de manejo permite ajustar dinámicamente el uso de fertilizantes para llenar afectivamente el **déficit** que ocurre entre la necesidad total de nutrientes para obtener rendimientos altos y el aporte de los nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo. Este déficit debe ser compensado con la aplicación de fertilizantes. Con esta forma de manejo se busca aplicar los nutrientes en dosis óptimas y al momento adecuado para obtener altos rendimientos y alta eficiencia de uso de los nutrientes por el cultivo. Con esto se busca cosechar la mayor cantidad de grano por unidad de fertilizante utilizado.

El MNSE hace un uso efectivo de los nutrientes nativos del suelo. El suplemento de nutrientes nativos del suelo es aquel que proviene de otras fuentes menos los fertilizantes (materia orgánica, residuos del cultivo, agua de riego, etc.). La evaluación del aporte de los nutrientes nativos del suelo se logra mediante la técnica de las parcelas de omisión. El desarrollo de un programa de investigación para implementar un proceso de MNSE requiere de tres pasos:

2.1. ESTABLECIMIENTO DE LA META DE RENDIMIENTO OBTENIBLE.

La meta de rendimiento para un sitio y temporada de un año en particular se estima por el rendimiento de grano obtenible cuando las limitantes de nutrientes (N, P, K, Mg y S) son eliminadas. En general, esta meta de rendimiento puede ser un porcentaje (70 – 80 %) del rendimiento potencial demostrado para el sitio, ya sea por investigación o por el rendimiento obtenido en lotes de productores con muy buen manejo del cultivo. La cantidad de nutrientes absorbida por el cultivo está directamente relacionada con el rendimiento. Por esta razón, la meta de rendimiento obtenible indica la cantidad total de nutrientes que el cultivo debe absorber para obtener ese rendimiento. En otras palabras, se establece la demanda de nutrientes (N, P, K, Mg y S) para obtener la meta de rendimiento.

2.2. DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO.

El MNSE hace un uso efectivo de los nutrientes nativos del suelo. El suplemento de nutrientes nativos del suelo es aquel que proviene de otras fuentes menos los fertilizantes (materia orgánica, residuos del cultivo, agua de riego, etc.). La evaluación del aporte de los nutrientes nativos del suelo se logra mediante la técnica de las parcelas de omisión. Esta técnica determina el suplemento de nutrientes nativos del suelo por su acumulación en el cultivo sin fertilizar con el nutriente de interés, pero fertilizado en cantidades suficientes con los otros nutrientes para asegurarse que la ausencia de éstos no limite el rendimiento.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS DE NUTRIENTES NECESARIAS PARA COMPLETAR EL DÉFICIT ENTRE LAS NECESIDADES DEL CULTIVO Y EL SUPLEMENTO DE NUTRIENTES NATIVOS DEL SUELO.

Es necesario aplicar fertilizantes para completar los requerimientos de nutrientes del cultivo que no son satisfechos por los nutrientes nativos del suelo para obtener la meta de rendimiento. La dosis total de un nutriente aplicado con los fertilizantes depende del déficit entre la necesidad total del

nutriente para obtener la meta de rendimiento y el suplemento del nutriente proveniente del suelo, determinado en la respectiva parcela de omisión.

Con el fin de estimar la capacidad del suelo de suministrar nutrientes se utilizó la técnica del elemento faltante o parcelas de omisión, en campo en parcelas pequeñas se omitió un nutriente por parcela y los demás nutrientes se aplicaron en niveles adecuados, a una parcela se aplica todos los nutrientes. Si no se observa disminución de rendimiento cuando se omite un nutriente comparado con la parcela con aplicación de todos los nutrientes, se asume que el suelo está suministrando niveles adecuados del nutriente omitido. En cada sitio seleccionado se establecieron los tratamientos: parcelas de omisión, para determinar el suplemento de nutrientes nativo del suelo (N, P, K, Ca, Mg y S), parcela de fertilización completa (+N, +P, +K, +Ca, +Mg + S) y una parcela con el manejo normal del agricultor (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos manejo de la nutrición del cultivo de soya por sitio específico.

Nº	Tratamiento	Descripción parcela
1	PKSCaMg	Parcela de omisión de N, con aplicación de suficiente cantidad de P, K, S, Ca y Mg. Usada para medir el suplemento efectivo de N nativo del suelo (absorción total de N por el cultivo cuando no se aplica N).
2	NKSCaMg	Parcela de omisión de P, con aplicación de suficiente cantidad de N, K, S, Ca y Mg. Usada para medir el suplemento efectivo de P nativo del suelo (absorción total de P por el cultivo cuando no se aplica P).
3	NPSCaMg	Parcela de omisión de K, con aplicación de suficiente cantidad de N, P, S, Ca y Mg. Usada para medir el suplemento efectivo de K nativo del suelo (absorción total de K por el cultivo cuando no se aplica K).
4	NPKCaMg	Parcela de omisión de S, con aplicación de suficiente cantidad de N, P, K, Ca y Mg. Usada para medir el suplemento efectivo de S nativo del suelo (absorción total de S por el cultivo cuando no se aplica S).
5	NPKSMg	Parcela de omisión de Ca, con aplicación de suficiente cantidad de N, P, K, S y Mg. Usada para medir el suplemento efectivo de S nativo del suelo (absorción total de S por el cultivo cuando no se aplica S).
6	NPKSCa	Parcela de omisión de Mg, con aplicación de suficiente cantidad de N, P, K, S y Ca. Usada para medir el suplemento efectivo de Mg nativo del suelo (absorción total de Mg por el cultivo cuando no se aplica Mg).

...viene

Nº	Tratamiento	Descripción parcela
7	NPKSCaMg	Parcela con aplicación completa de NPKSMg. Usada para estimar la eficiencia de recuperación de N, P, K, S, Ca y Mg de los fertilizantes en comparación con las parcelas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.
8	M.A.	Práctica de manejo y fertilización del agricultor. Se aplican los fertilizantes usados por el agricultor.

En el tercer año, con la información obtenida en los dos años previos se evalúa diferentes formas de manejo de la dosis de Potasio, los tratamientos fueron aplicación del 100% de la dosis a la siembra, doble fraccionamiento (50% a la siembra y 50% en R1), doble fraccionamiento (20% la siembra y 80% en R1) y doble fraccionamiento (80% a la siembra y 20% en R1), en diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

La semilla se inoculó con la cepa de *Bradyrhizobium japonicum* J-96 (Rhizobiol) en dosis de 5 gramos por Kilogramo de semilla para suelos de piedemonte y de 10 gramos por kilo de semilla para suelos de altillanura.

Los conceptos de: Eficiencia de uso de los nutrientes, Eficiencia agronómica, Eficiencia fisiológica, Factor de productividad parcial, Respuesta a la aplicación de nutrientes y de Evaluación del fraccionamiento de potasio, serán expuestos en el Capítulo III de esta obra.



3. RESULTADOS

3.1 ESTIMACIÓN DE LA META DE RENDIMIENTO

El rendimiento de soya varía según sitio y semestre agrícola, dependiendo de las condiciones de suelo, de la oferta ambiental y del genotipo cultivado. La meta de rendimiento se estimó como el rendimiento de grano sin limitantes de nutrientes y de agua, generalmente se acerca al 70 – 80% del rendimiento potencial obtenido en el sitio en parcelas de investigación o lote comercial con un adecuado manejo del cultivo. La meta de rendimiento considerando históricos registrados en la región se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Rendimiento objetivo para el cultivo de soya en el departamento del Meta.

Departamento	Municipio	Meta de rendimiento t.ha ⁻¹
Meta	Fuente de Oro	2,5
Meta	Puerto López	3,5

3.2 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTE DEL SUELO

Durante la Fase 1, se colectó datos para cuantificar el suplemento de nutrientes nativos del suelo, requerimientos de nutrientes, eficiencia de uso de los fertilizantes y el potencial de rendimiento en 3 áreas representativas de producción de soya. En cada uno de los sitios se sembró y evalúo parcelas

de omisión y parcelas con fertilización completa durante cinco ciclos de cultivo en 2 zonas de producción de soya, Piedemonte y Altillanura con 1 y 2 localidades respectivamente.

Los sitios seleccionados (fincas) en cada zona representan los tipos de suelos más comunes, los sistemas de producción (rotaciones) y las prácticas de manejo del cultivo de la zona. Además, representan las condiciones socioeconómicas del área (productores pequeños y grandes).

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS DE NUTRIENTES

En la Fase 1 del proyecto, año 2015 se sembraron 6 parcelas de omisión de nutrientes, 3 en el semestre A y 3 en el semestre B localizadas en la Altillanura (Puerto López) y Ariari (Fuente de Oro).

En la Tabla 3, se aprecian las dosis de nutrientes evaluados en la Fase 1.

Tabla 3. Dosis de nutrientes en parcelas de omisión y de fertilización completa.

Tratamientos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
----- kg/ha -----						
1 PKSCaMg	0	60	60	45	27	21
2 NKSCaMg	20	0	60	45	27	21
3 NPSCaMg	20	60	0	45	27	21
4 NPKCaMg	20	60	60	45	27	0
5 NPKSCa	20	60	60	45	0	21
6 NPKSMg	20	60	60	0	27	21
7 NPKCaSMg	20	60	60	45	27	21
8 Manejo Agricultor	15	40	60	22	20	15

Las parcelas se establecieron considerando los resultados obtenidos en el proyecto de Densidad por Variedad por Época, donde el mejor manejo poblacional fue de 45 cm entre surcos y 20 a 25 plantas por metro lineal asegurando el número de plantas a cosecha y la Variedad SK7 con la cual se reportaron los mayores rendimientos.

Previo a la siembra del ensayo se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 20 cm. De cada parcela, en cada una de las localidades, se extrajo una muestra compuesta, que se usó para determinar pH y los contenidos de materia orgánica, Fosforo, Bases intercambiables, Azufre, los resultados se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de análisis de suelos tres localidades del departamento del Meta.

Localidad	Finca	pH	CO	N	Ca	Mg	K	Na	Al	Ac++	P	S
			%				meq/100 g				mg/Kg	
Puerto López	La Barquereña	5,7	1,2	0,1	3,37	0,81	0,31	0,09	0,05	0,05	16	6
Puerto López	Tierra Prometida	4,8	1,6	0,14	1,91	0,73	0,55	0,07	0,51	0,69	31	8
Fuente de Oro	La Leona	5,8	1,3	0,11	3,74	0,56	0,52	0,07		0,06	310	4

En la Figura 1 se observan los rendimientos del cultivo de soya en cada semestre y localidad evaluada. En el municipio de Puerto López en los dos semestres de evaluación, el nutriente que limitó el rendimiento fue el Magnesio con rendimientos de 1.68 y 1.70 ton, ha⁻¹ de grano. Los mayores rendimientos se observan en la omisión de calcio en el semestre A (3.41 ton, ha⁻¹) y potasio en el semestre B con rendimiento de 2.7 ton, ha⁻¹.

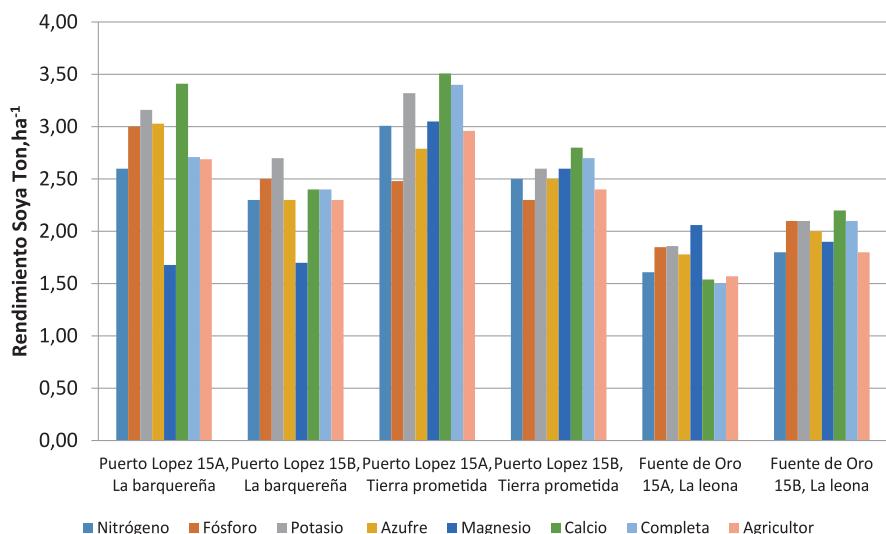


Figura 1. Rendimiento (ton, ha⁻¹) obtenido en las parcelas de omisión en los ensayos establecidos en tres localidades del departamento del Meta.

En el Municipio de Puerto Gaitán el mayor rendimiento se obtuvo en las parcelas de omisión de Calcio con rendimiento de 2.8 y 3.5 ton, ha^{-1} de grano en los dos semestres evaluados y el rendimiento más bajo se aprecia en las parcelas con omisión de fosforo (2.48 y 2.3 ton, ha^{-1}) semestre A y B respectivamente.

En el semestre A en Fuente de Oro el nutriente que limitó el rendimiento fue el Calcio (1.54 ton, ha^{-1}) y el mayor rendimiento se aprecia con omisión de Magnesio (2.06 ton, ha^{-1}). En el semestre B los rendimientos en general, fueron superiores a los del semestre A y se limitaron con la omisión de Nitrógeno y Magnesio.

Los resultados obtenidos en la Fase 1 al calcular el uso de nutrientes permitieron reevaluar las dosis de nutrientes para la fase 2, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Dosis de nutrientes en parcelas de omisión y de Fertilización completa, fase 2.

N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	S
20	78	78	58	35	27



Parcelas de omisión, Departamento del Meta.

En la Figura 2 se observan los rendimientos del cultivo de soya en cada semestre y localidad evaluada en el segundo año. En todas las localidades el mayor rendimiento se obtuvo en las parcelas con fertilización completa con rendimiento promedio de 3098 Kg de grano por hectárea.

En el primer semestre, en Fuente de Oro el nutriente que limitó el rendimiento fue el Magnesio con rendimiento de 1.8 ton, ha^{-1} de grano, fosforo limitó el rendimiento en las dos localidades de Puerto López – La Barquerena y Tierra Prometida con rendimiento de 2,05 y 2.1 ton, ha^{-1} . Para el segundo semestre la omisión de potasio limitó el rendimiento en Fuente de Oro y Puerto López (Tierra Prometida) con rendimiento de 2,17 y 2,05 ton y fosforo en Puerto López, La Barquerena (2100 Kg).

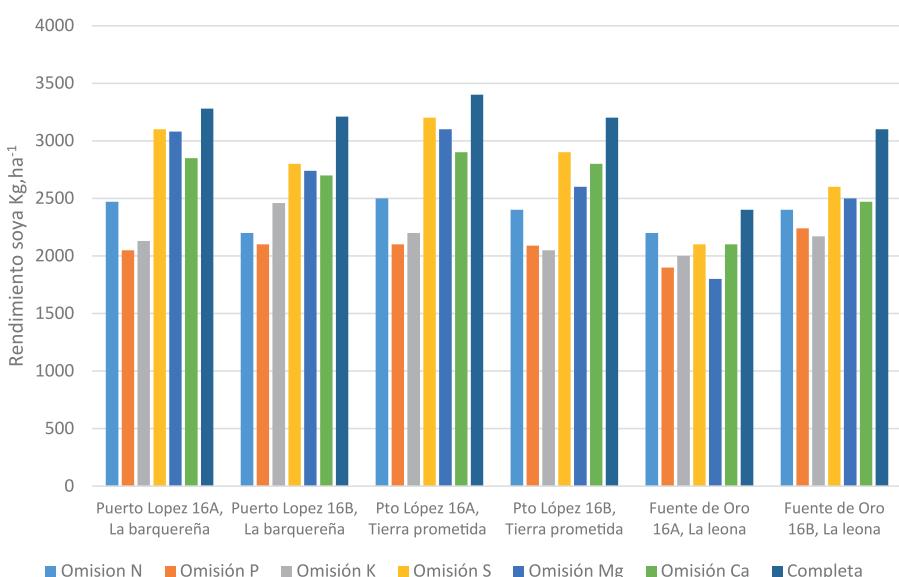


Figura 2. Rendimiento (ton, ha^{-1}) obtenido en las parcelas de omisión en los ensayos establecidos en tres localidades del departamento del Meta.

Al analizar el promedio general, se aprecia que la omisión de fosforo reduce el rendimiento a 2,08 ton, seguido de la omisión de potasio con 2,16 ton. En la omisión de Nitrógeno en las localidades se aprecia rendimientos entre 2,2 y 2,5 ton ha^{-1} mostrando respuesta al uso de biofertilizantes.

En el tercer año de evaluación, durante el primer semestre se evaluó parcelas de omisión y en el segundo semestre el efecto del fraccionamiento de potasio con las dosis de nutrientes que se obtuvo los mayores valores de eficiencia agronómica y fisiológica de uso de nutriente.

En la Figura 3 se aprecia el rendimiento de las parcelas de omisión en las tres localidades, las parcelas con fertilización completa presentan los mayores rendimientos con 3,2; 3,1 y 2,58 ton por hectárea del grano.

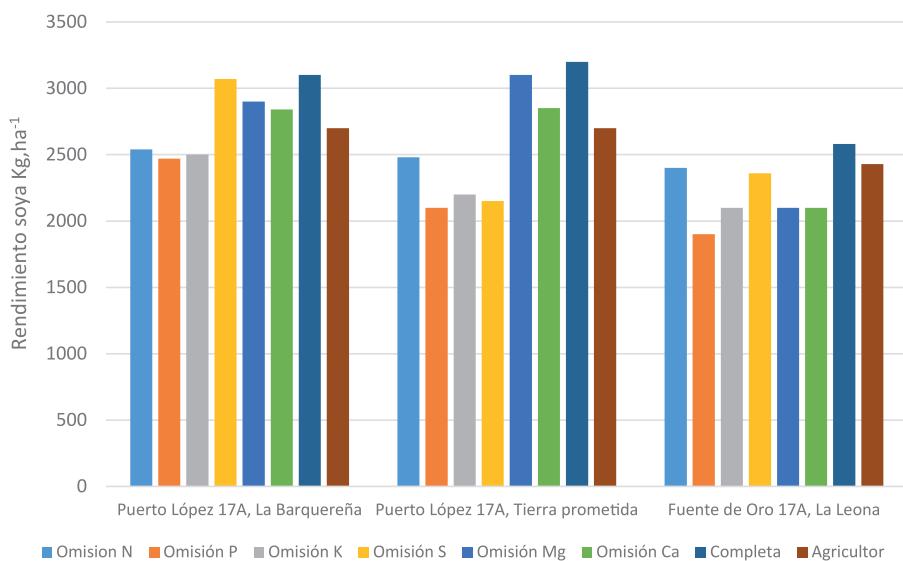


Figura 3. Rendimiento (ton, ha⁻¹) obtenido en las parcelas de omisión en tres localidades del departamento del Meta.

En el primer semestre de evaluación, en las tres localidades la mayor reducción en rendimiento se presentó con omisión de fosforo (2.100; 2470 y 1900 Kg.ha⁻¹), seguido por la omisión de Azufre (2.150 Kg.ha⁻¹) en Tierra Prometida, Potasio en la Barquereña (2.500 Kg.ha⁻¹) y Potasio, Magnesio y Calcio en La Leona (2.100 Kg.ha⁻¹).



Parcelas de omisión Puerto López, Departamento del Meta.

3.4 EFICIENCIA DE USO DE LOS NUTRIENTES

La eficiencia de uso de los nutrientes es un factor de importancia a nivel productivo, económico y ambiental. Se debe tener en cuenta que incrementando la eficiencia de uso de los nutrientes y, consecuentemente, la eficiencia global del sistema, se genera una mayor potencialidad en beneficios económicos y sustentables en el largo plazo de producción.

La eficiencia de uso de los nutrientes o fertilizantes describe como las plantas o los sistemas de producción utilizan los nutrientes. Estos índices pueden estudiarse teniendo en cuenta el tiempo involucrado en la evaluación: corto, mediano o largo plazo. La eficiencia se puede estudiar desde los rendimientos de los cultivos, la recuperación en planta y la extracción de nutrientes por el sistema.

Fixen y otros, 2014 manifiestan que la eficiencia del uso de nutrientes (NUE) es un concepto importante en la evaluación de sistemas de producción de cultivos. Puede verse muy afectado por el manejo de fertilizantes, así como por el manejo del suelo y del agua de la planta. El objetivo del uso de nutrientes es aumentar el rendimiento general de los sistemas de cultivo al proporcionar una alimentación económicamente óptima para el cultivo, al tiempo que se minimizan las pérdidas de nutrientes del campo.

La Eficiencia Agronómica (EA) se calcula en unidades de aumento de rendimiento por unidad de nutriente aplicado. Refleja más de cerca el impacto directo de la producción de un fertilizante aplicado y se relaciona directamente con el rendimiento económico. El cálculo de EA requiere el conocimiento del rendimiento sin aporte de nutrientes, por lo que solo se conoce cuando se han implementado parcelas de investigación con cero aporte de nutrientes. Si se calcula utilizando datos de ensayos anuales en lugar de ensayos a largo plazo, la NUE del fertilizante aplicado a menudo se subestima debido a los efectos residuales de la aplicación en cultivos futuros. Estimar la contribución a largo plazo del fertilizante al rendimiento de los cultivos requiere ensayos a largo plazo.

La eficiencia fisiológica (EF) se define como el aumento del rendimiento en relación con el aumento de la absorción del cultivo del nutriente en las partes aéreas de la planta. Al igual que Eficiencia agronómica necesita una parcela sin la aplicación del nutriente de interés para ser implementado en el sitio, requiere la medición de las concentraciones de nutrientes en el cultivo y se mide principalmente en la investigación.

40

El Factor de Productividad Parcial (FPP) es una expresión de eficiencia de producción simple, calculada en unidades de rendimiento de cultivo por unidad de nutriente aplicado. Se calcula fácilmente para cualquier finca que mantiene registros de insumos y rendimientos. También se puede calcular a nivel regional y nacional, siempre que se disponga de estadísticas confiables sobre el uso de insumos y los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, los valores varían entre los cultivos en diferentes sistemas de cultivo, porque los cultivos difieren en sus necesidades de nutrientes y agua. El cálculo de los índices de eficiencia de nutrientes se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Cálculos índices de eficiencia de nutrientes.

Términos	Cálculos
Eficiencia Agronómica	$EA = (\text{kg } \Delta \text{ rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$
Eficiencia Fisiológica	$EF = (\text{kg } \Delta \text{ rendimiento} / \text{kg de nutriente absorbido})$
Factor de Productividad Parcial	$FPP = (\text{kg de rendimiento del cultivo} / \text{kg de nutriente aplicado})$

3.4.1 EFICIENCIA AGRONÓMICA (EA)

En la Tabla 7 se observa la eficiencia agronómica en localidades y semestres, en el semestre A de 2015 en Tierra Prometida y La Leona se aprecian valores bajos de EA para la mayoría de nutrientes. En Puerto López la mayor EA se obtuvo en la parcela de omisión de Magnesio con valor de 38.1 Kg de grano producido por Kg de Magnesio aplicado. En Fuente de Oro de en el segundo semestre se obtuvo la mayor EA para Nitrógeno con valor de 15 Kg de grano producido por Kg de N aplicado.

En Tierra Prometida se observa la mayor EA para Fosforo, Azufre y Nitrógeno, sin embargo, para Nitrógeno no son valores altos lo que permite inferir que el manejo de estos nutrientes puede realizarse con el criterio de reposición con el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y una dosis base de nitrógeno aplicada en la siembra cómo se maneja actualmente.

Tabla 7. Eficiencia Agronómica Kg de grano producido x Kg de nutriente aplicado ton,ha⁻¹.

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Fuente de Oro, La Leona 15A	0	0	0	0	0	0
Fuente de Oro, La Leona 15B	15	0	0	5	10	0
Fuente de Oro, La Leona 16A	10	6	5	5	17	11
Fuente de Oro, La Leona 16B	35	11	12	9	17	23
Fuente de Oro, La Leona 17A	9	9	6	4	14	18
Puerto López, La Barquereña 15A	5,5	0	0	0	38,1	0
Puerto López, La Barquereña 15B	5	0	0	0	5	35
Puerto López, La Barquereña 16A	41	16	15	3	6	16
Puerto López, La Barquereña 16B	51	14	10	7	13	19
Puerto López, La Barquereña 17A	28	8	8	1	6	10
Puerto López, Tierra Prometida 15A	19,5	46	4	30,5	17,5	0
Puerto López, Tierra Prometida 15B	10	20	5	10	5	0

sigue...

...viene

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López, Tierra Prometida 16A	45	17	15	3	9	18
Puerto López, Tierra Prometida 16B	40	14	15	5	17	15
Puerto López, Tierra Prometida 17A	36	14	13	18	3	13

En el año 2016 la EA expresada en kilos de grano producido por kilos de nutriente aplicado varió para Nitrógeno entre 10 y 51 Kilogramos de grano por cada Kg de nutriente aplicado; Fosforo entre 6.4 y 16.7; Potasio entre 5.1 y 15.4; Calcio entre 11 y 23.1; Magnesio entre 5.7 y 17.1; Azufre entre 3.1 y 8.5 reflejando la menor EA de todos los nutrientes evaluados.

En el año 2017 la EA de los nutrientes varía en los siguientes rangos, para el Nitrógeno entre 9 y 36 Kilogramos de grano por cada Kg de nutriente aplicado; Fosforo entre 8.1 y 14.1; Potasio entre 6.2 y 12.5; Calcio entre 9.5 y 17.6; Magnesio entre 2.8 y 13.7; Azufre entre 0.5 y 17.9. En Argentina, para el cultivo de soya se reportan EA entre 12 y 24 con dosis de Fosforo entre 40 y 10 Kg del nutriente.

En las tres localidades donde se calcularon valores bajos de EA para algunos nutrientes se deben pensar estrategias de reconstrucción, para realizarlas es necesario evaluar la viabilidad técnica y económica de un esquema de fertilización, además, es importante cuantificar los niveles de entrada y salida de nutriente para un sistema productivo y el ambiente en particular.

3.4.2 EFICIENCIA FISIOLÓGICA (EF)

42

Se define como el aumento de rendimiento en relación con el aumento en la absorción del cultivo del nutriente en las partes de arriba del suelo de la planta. En Puerto López en el primer año de evaluación, semestres A y B por cada Kg de nitrógeno absorbido se producen 111 Kg de grano, para otros nutriente como P, K, S y Ca se aprecia ceros, al realizar el análisis comparando resultados con el tratamiento de agricultor se concluye que para Puerto López en el semestre A para el Calcio la cantidad neta absorbida en el tratamiento completo es menor a la de la omisión, esto ocurre en sitios con amplio suministro del elemento, explicado por una continua

aplicación del elemento. Para los otros nutrientes los resultados muestran que en el sistema productivo no se realiza la nutrición balanceada adecuada para cultivos con altos niveles de rendimiento, estos resultados se aprecian para las otras localidades, Tabla 8.

Tabla 8. Eficiencia Fisiológica Kg de grano producido x Kg de nutriente absorbido ton.ha⁻¹.

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Fuente de Oro, La Leona 15A	121	404	203	0	244	295
Fuente de Oro, La Leona 15B	191	0	0	0	86	328
Fuente de Oro, La Leona 16A	23	63	51	42	112	32
Fuente de Oro, La Leona 16B	38	260	68	53	216	378
Fuente de Oro, La Leona 17A	76	934	28	19	921	37
Puerto López, La Barquereña 15A	111	0	554	0	269	0
Puerto López, La Barquereña 15B	0	232	134	148	0	764
Puerto López, La Barquereña 16A	6	142	15	25	10	16
Puerto López, La Barquereña 16B	36	549	31	24	294	458
Puerto López, La Barquereña 17A	42	414	48	4	301	244
Puerto López, Tierra Prometida 15A	0	0	0	0	0	110
Puerto López, Tierra Prometida 15B	0	0	0	207	0	211
Puerto López, Tierra Prometida 16A	4	82	13	41	23	24
Puerto López, Tierra Prometida 16B	43	304	34	24	553	318
Puerto López, Tierra Prometida 17A	25	4	36	2	91	185

En el segundo año, 2016 B se incrementaron los valores de eficiencia fisiológica, para la mayoría de los nutrientes. El cálculo indica que por cada kilogramo de nutriente absorbido de fosforo se producen entre 63 y 549 Kg de grano; entre 13 y 68 kg de grano por cada kilogramo absorbido de potasio, entre 24 y 148 Kg de grano por cada kilogramo absorbido de azufre, entre 10 y 553 Kilos de grano por cada kg absorbido de magnesio y entre 16 y 378 kilos de grano por cada kilogramo absorbido de calcio, según la localidad.

En 2017 A, al calcular la EF, en Puerto López, Tierra Prometida por cada Kg de nitrógeno absorbido se producen 25 Kg de grano, para otros nutrientes como P, K, S y Mg varía entre 4 y 92 Kg de grano para cada Kg de nutriente absorbido, se aprecia que el mayor valor de EF es para Calcio con 186. En La Barquereña, la mayor EF fue para fosforo, calcio y magnesio, la

menor se obtuvo para azufre, en La Leona se aprecian resultados similares, lo anterior puede atribuirse a la capacidad de las raíces para absorber los nutrientes sumado a los contenidos adecuados de nutriente nativo.

3.4.3 FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARCIAL (FPP)

El factor de productividad parcial permite responder que tan productivo es el sistema en relación con la cantidad de nutrientes aplicada, es un indicador a largo plazo de la tendencia del uso eficiente de nutrientes. En las tres localidades los mayores valores se observan en Nitrógeno, indica la respuesta al uso de biofertilizantes, lo cual permite concluir la eficiencia de la fijación biológica de las bacterias del genero *Bradyrhizobium japonicum* que son inoculadas en la semilla, el FPP vario entre 75 y 170 para nitrógeno, Tabla 9.

Menores valores del FPP se aprecian en Fosforo y Potasio con valores entre 25 y 57, es necesario analizar si las dosis de uso de estos nutrientes en el cultivo han aumentado proporcionalmente mientras que los rendimientos de estos cultivos no, si los fertilizantes de P y K deben ser aplicados en una sola ocasión para suministrar las necesidades de uno o de múltiples cultivos, si se aplican una sola vez o se fraccionan, con el fin de realizar las correcciones de manejo. Para azufre los valores en el primer año de evaluación varían entre 71 y 162; en el segundo año entre 55 y 88 y entre 53 y 95 para el quinto semestre de evaluación.

Tabla 9. Factor de productividad parcial Kg por hectárea.

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Fuente de Oro, La Leona 15A	75	25	25	71	56	33
Fuente de Oro, La Leona 15B	105	35	35	100	78	47
Fuente de Oro, La Leona 16A	120	31	31	88	68	41
Fuente de Oro, La Leona 16B	155	40	40	114	88	53
Fuente de Oro, La Leona 17A	129	33	33	95	74	44
Puerto López, La Barquereña 15A	136	45	45	129	100	60
Puerto López, La Barquereña 15B	120	40	40	114	89	53
Puerto López, La Barquereña 16A	164	42	42	56	93	120

...viene

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López, La Barquereña 16B	161	41	41	55	91	118
Puerto López, La Barquereña 17A	155	40	40	53	88	114
Puerto López, Tierra Prometida 15A	170	57	57	162	126	76
Puerto López, Tierra Prometida 15B	135	45	45	129	100	60
Puerto López, Tierra Prometida 16A	170	44	44	58	97	125
Puerto López, Tierra Prometida 16B	160	41	41	55	91	117
Puerto López, Tierra Prometida 17A	160	41	41	55	91	117

Los menores valores del FPP para magnesio y calcio se aprecian en Fuente de Oro y se observa un leve incremento del factor en los dos nutrientes a medida que se incorporan como fertilizante, esto indica la necesidad de incluirlos en el plan de fertilización en la región. En Puerto López en las dos localidades los valores del Factor son mayores debido al mejoramiento del suelo con enmiendas.

3.5 RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NUTRIENTES

La respuesta a la adición de nutrientes se muestra en la Tabla 10, en la Fase 1 la respuesta en algunos nutrientes no fue la esperada.

En el segundo año de trabajo, la mayor respuesta se aprecia a la aplicación de fosforo y potasio con valores entre 400 y 1.200 kg en potasio y entre 500 y 1.300 Kg de fosforo. Para azufre varía entre 180 y 500 Kg de grano; Magnesio entre 200 y 600 Kg y Calcio entre 300 y 630 Kg dependiendo de la localidad, la respuesta a la adición es en general, inferior a fosforo y potasio.

En el primer semestre de evaluación del 2017, la mayor respuesta se aprecia a la aplicación de fosforo con valores entre 630 y 1.100 kg; seguida de potasio dentro del rango de 480 a 1.000 Kg de grano por la aplicación del nutriente.

Tabla 10. Respuesta a la adición de nutriente Kilogramos de grano.

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Fuente de Oro, La Leona 15A	0	0	0	0	0	0
Fuente de Oro, La Leona 15B	300	0	0	100	200	0
Fuente de Oro, La Leona 16A	200	500	400	300	600	300

sigue...

...viene

Municipio/Finca/Semestre	N	P	K	S	Mg	Ca
Fuente de Oro, La Leona 16B	700	860	930	500	600	630
Fuente de Oro, La Leona 17A	180	680	480	220	480	480
Puerto López, La Barquereña 15A	110	0	0	0	1030	0
Puerto López, La Barquereña 15B	100	0	0	0	100	700
Puerto López, La Barquereña 16A	810	1230	1150	180	200	430
Puerto López, La Barquereña 16B	1010	1110	750	410	470	510
Puerto López, La Barquereña 17A	560	630	600	30	200	260
Puerto López, Tierra Prometida 15A	390	920	80	610	350	0
Puerto López, Tierra Prometida 15B	200	400	100	200	100	0
Puerto López, Tierra Prometida 16A	900	1300	1200	200	300	500
Puerto López, Tierra Prometida 16B	800	1110	1150	300	600	400
Puerto López, Tierra Prometida 17A	720	1100	1000	1050	100	350

3.6 EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE POTASIO

Se evaluó el efecto del fraccionamiento de potasio, debido a la importancia en el crecimiento vegetal y a sus funciones ligadas al metabolismo. El potasio es vital para la fotosíntesis, cuando la concentración de potasio es deficiente, la fotosíntesis disminuye y la velocidad de respiración de las plantas aumenta, disminuyendo el abastecimiento de carbohidratos para las plantas, además, está relacionado con la calidad del fruto las plantas con deficiencia de potasio producen granos pequeños, arrugados y deformados.

46

Los tratamientos para manejo de Potasio, evaluados son los siguientes tratamientos: 100% a la siembra, doble fraccionamiento (50% a la siembra y 50% en R1), doble fraccionamiento (20% la siembra y 80% en R1) y doble fraccionamiento (80% a la siembra y 20% en R1), diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

En la Figura 4, se aprecia el resultado del ANDEVA por localidad, se encontró diferencias estadísticas significativas en La Barquereña, Puerto López ($Pr>F 0.038$) y altamente significativas en Tierra Prometida, Puerto López y La Leona, Fuente de Oro ($Pr>F 0.002$ y 0.0089) entre tratamientos.

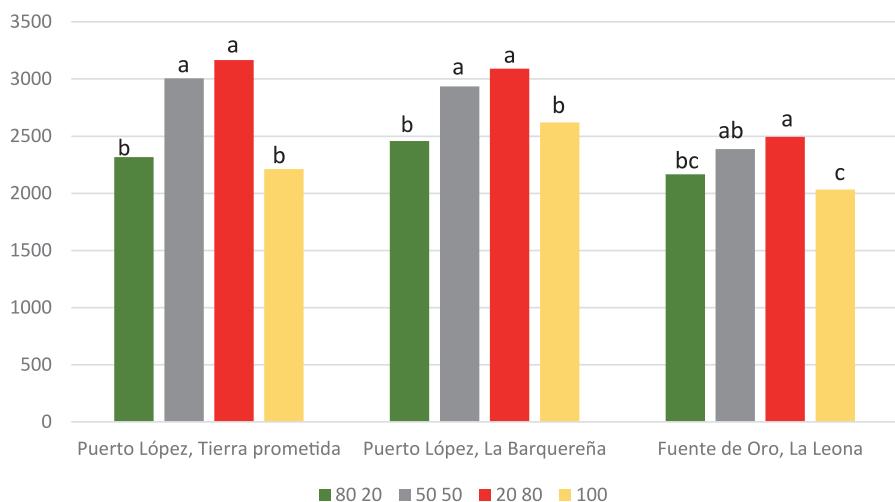


Figura 4. Efecto del fraccionamiento de la dosis de potasio en el rendimiento (Kg.ha^{-1}) del cultivo de soya. Letra diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento.

En las tres localidades evaluadas, con el doble fraccionamiento de la dosis de potasio 20% a la siembra y 80% en R1 se obtuvo el mayor rendimiento del cultivo, siendo estadísticamente igual al doble fraccionamiento de la dosis 50 – 50 y diferente de los dos tratamientos evaluados (fraccionamiento 80 – 20 y 100 a la siembra).

En Tierra Prometida, la diferencia en rendimiento entre el fraccionamiento 20 – 80 y 100% a la siembra fue de 953 Kg, en La Barquereña de 470 Kg y en La Leona de 460 Kg.

Al realizar el análisis combinado, se aprecia diferencias estadísticas entre los fraccionamientos 20 – 80; 50 – 50 y 80 – 20 y 100% a la siembra, ($\text{Pr}>\text{F} < 0.005$), Figura 5.

Usherwood (2006), manifiesta que la máxima absorción de potasio tiene lugar desde la floración hasta el desarrollo temprano de vainas y la intensidad de absorción puede variar de 5 a 8 kilos por hectárea por día. Debido a que el potasio no es parte estructural de ningún componente de la planta, este se encuentra distribuido más uniformemente dentro de la planta.

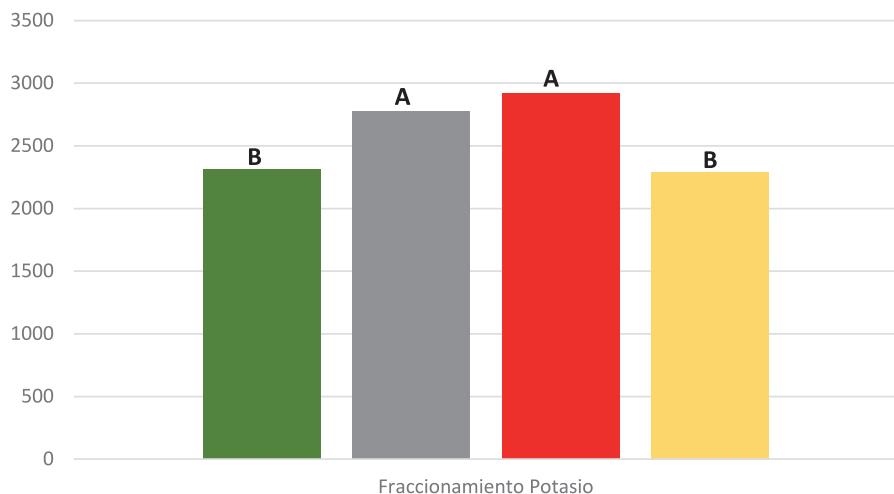


Figura 5. Análisis combinado entre localidades del efecto de fraccionamiento de la dosis de potasio en el rendimiento (Kg.ha^{-1}) del cultivo de soya. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 11. Acumulación de nutrientes en partes de la planta de soya en estado de maduración fisiológica.

PARTE DE LA PLANTA	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
Hojas	23	16	25
Pecíolos	3	6	14
Tallos	8	14	22
Vainas y semillas	66	64	39

48

Afirma además, que el Potasio es necesario durante el llenado temprano de las vainas, recomiendan el fraccionamiento de una parte aplicado con el fosforo, con cualquier método de preemergencia y el resto incorporado antes de que las vainas empiecen a llenar, este efecto puede asociarse a la removilización de los nutrientes de hoja y tallos hacia la vaina.

Al calcular el factor de productividad parcial para los tratamientos evaluados, se aprecia que en las tres localidades el mayor valor se obtuvo con el fraccionamiento 20 – 80 de la dosis de potasio y los menores valores cuando se aplicó la dosis total del nutriente a la siembra, Tabla 12.

Tabla 12. Factor de productividad parcial para diferentes fraccionamientos de Potasio.

Municipio/Localidad/Tratamiento	80 - 20	50 - 50	20 - 80	100
Puerto López, Tierra Prometida	30	39	41	28
Puerto López, La Barquereña	31	38	40	34
Fuente de Oro, La Leona	28	28	32	26

Los resultados obtenidos permiten concluir que una práctica adecuada de manejo de potasio es el fraccionamiento de la dosis total, el 20% al momento de la siembra y el 80% en R1 inicio de floración.

3.7 DOMINIO DE RECOMENDACIÓN POR SEMESTRE Y LOCALIDAD

La dosis óptima de nutriente resultara en el mayor beneficio monetario del nutriente aplicado. Considerando la meta de rendimiento (3.500 y 2.500 Kg.ha⁻¹ altillanura y Ariari), el rendimiento obtenido en las parcelas de omisión y la eficiencia agronómica, se calculó la dosis recomendada por semestre agrícola y para cada localidad, Tabla 13.

Tabla 13. Dominio de recomendación.

Municipio/Localidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	CaO	MgO
Fuente de Oro, La Leona Semestre A	21	83	83	58	35	29
Fuente de Oro La Leona Semestre B	20	24	42	44	41	17
Puerto López, La Barquereña Semestre A	30	145	133	104	85	53
Puerto López, La Barquereña Semestre B	25	100	104	100	58	42
Puerto López, Tierra Prometida Semestre A	25	91	93	75	89	42
Puerto López, Tierra Prometida Semestre B	28	101	97	120	53	47



4. CONSIDERACIONES FINALES

El rendimiento del cultivo está relacionado con la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta, de ahí la importancia de determinar la meta de rendimiento la cual acompañada de un adecuado manejo agronómico semestre a semestre permite una estimación de la demanda de nutrientes del sistema de producción.

Los nutrientes deben aplicarse para coincidir con el momento de mayor demanda del cultivo, para lograrlo debe considerarse la fecha de siembra, las características del genotipo, las condiciones climáticas entre otros aspectos, la evaluación del fraccionamiento de potasio permitió incrementar la eficiencia del nutriente al fraccionar la dosis total en dos épocas de aplicación 20% a la siembra y 80% en R1.

Para fosforo, calcio y magnesio, se debe evaluar una estrategia de construcción y mantenimiento enfocadas a aplicar suficiente nutriente para satisfacer la necesidad del cultivo y elevar los niveles en el suelo, este programa minimiza la posibilidad de que los nutrientes limiten el rendimiento.

Es necesario evaluar la eficiencia de uso de nutrientes a mediano y largo plazo para reducir el impacto ambiental de algunos fertilizantes, para lograrlo es necesario el registro y monitoreo de las fuentes de nutrientes aplicadas y los registros de rendimiento, además de la evaluación de las prácticas aplicadas.

Los valores de índices de eficiencia y el rendimiento por unidad de área, se pueden mejorar al analizar en conjunto la información existente del predio y asociarse con prácticas de manejo de suelos como labranza, uso de fijadores simbióticos de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fósforo, micorrizas, uso de enmiendas, tipo y dosis de fertilizante y cultivos de rotación que aseguren la sustentabilidad y calidad del recurso suelo.



5. BIBLIOGRAFIA

CIAMPITTI, I. A. y GARCÍA, F. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43da-d9c126e27032579050071b657/\\$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43da-d9c126e27032579050071b657/$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf)

CORAL ERASO, D.M. Avances en el manejo eficiente de nutrientes en las principales zonas productoras de maíz en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE, FONDO NACIONAL CEREALISTA. 2011. Bogotá, 126 p.

CORAL ERASO, D.M. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de frijol en zonas productoras de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE, FONDO NACIONAL DE LEGUMINOSAS. 2012. Bogotá, 70 p.

DOBERMANN, A. R., "Nitrogen Use Efficiency – State of the Art" (2005).Agronomy & Horticulture -- Faculty Publications. Paper 316.

- ESPINOSA, J. Y GARCÍA, F. 2009. Memorias del simposio uso eficiente de nutrientes. IPNI. San José de Costa Rica.
- FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
- FIXEN, P., BRENTROP, F., BRUULSEMA, T., GARCIA, F., NORTON, R., and SHAMIE ZINGORE. Nutrient/Fertilizer Use Efficiency: Measurement, Current Situation and Trends. IFA, IWMI, IPNI and IPI. Chapter 1. April 2014.
- GARCIA, F. Y SALVAGIOTTI, F. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. In J. Espinosa and F. García (ed.). Memorias del Simposio “Uso eficiente de nutrientes”. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. pág. 37-48
- GARCIA MONTEALEGRE, J. P. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de maíz en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cereales y Leguminosas FENALCE, 2008. Bogotá. 127 p.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1997. Potasa: su Necesidad y Uso en agricultura moderna. Canadá. 44 p.
- IPNI. 2013. 4R - Manual de Nutrición de Plantas 4R: Un Manual Para Mejorar el Manejo de la Nutrición de Plantas. T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski, (eds.). Trad. al español 1ra Edición Acassuso. International Plant Nutrition Institute. 140 p.
- OROZCO, F. 1999 La biología del nitrógeno: conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Universidad nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias. 231p.

RAMIREZ, G.M. 2.003. Biofertilizantes y Nutrición de Plantas. In. Triana, M.P., et. al. Eds. Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité de Cundinamarca y Boyacá. Pp: 153-163.

SANCHEZ DE PRAGER, M; MARMOLEJO DE LA TORRE, F. y BRAVO OTERO, N. Microbiología. Aspectos fundamentales. Feriva, Cali. 260 p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO (SCCS). 2001. Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. 2^a Ed. Bogotá, D.C. 523 p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. 2006. Biofertilización: Alternativa viable para la nutrición vegetal. SCCS. Capítulo Tolima. 195p.

TISDALE, S y NELSON, W. 1977. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Mantener y Simón, S.A., Barcelona, España. 760 p.

THOMPSON, L.H. y TROEH, F.R. Los suelos y la fertilidad. Cuarta edición, Editorial Reverté. España, 1.988. 409 – 438 pp.

WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 1989. 99 73 – 118

KASS, D. Fertilidad de Suelos. Editorial EUNED, Costa Rica, pp. 112 – 181

https://www.researchgate.net/publication/265076345_EFICIENCIA_DE_USO_DE_NUTRIENTES_EN_SISTEMAS_AGRICOLAS_DEL_CONO_SUR_DE_LATINOAMERICA

http://www.fertilizer.org/imis20/images/Library_Downloads/2014_fue_chapter_1.pdf?WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc-8152ed74f306&c=404%3bhttp%3a%2f%2fwww.fertilizer.org%3a80%2fen%2fimages%2fLibrary_Downloads%2f2014_fue_chapter_1.pdf

<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/mexico-manejo-nutrientes-ganancias-soya-t26694.htm>



**Impreso en Bogotá D.C.
2018**