



ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN LA ALTILLANURA COLOMBIANA

Por: Dilia Marina Coral Eraso
Ing. Agr. M. Sc.



FNC

**Fondo Nacional
Cerealista**

Fenalce 2021

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales,
Leguminosas y Soya - Fenalce
Fondo Nacional Cerealista - FNC

Título
Estrategias de fertilización en el cultivo de maíz
en la altillanura colombiana

ISBN
978-958-53185-2-6

Autor
Dilia Marina Coral Eraso
Ingeniero Agrónomo,
Magister Ciencias Agrarias Área de Énfasis Suelos
Líder de proyectos relacionados con énfasis
en suelos y nutrición de cultivos
Fenalce

Colaboradores
Juan Pablo Correal Rey
María Teresa Pulido Monroy

Fotografías
Juan Pablo Correal Rey
Fenalce
Proyecto de investigación

Henry Vanegas Angarita
Gerente General Fenalce

Carmen Julio Duarte Pérez
Director Técnico Fenalce

Diseño en impresión:
Brant

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, sin
el permiso previo y por escrito de los autores y del gremio.





AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a:

Fondo Nacional Cerealista y a los productores que representa

Dr. Henry Vanegas Angarita,
Gerente General Fenalce

Dr. Carmen Julio Duarte Pérez,
Director Técnico

Ingenieros Agrónomos:
María Teresa Pulido Monroy y Juan Pablo Correal Rey
responsables del trabajo de investigación en campo.

Quienes aportaron ideas en la realización de este
proyecto de investigación.

FNC

**Fondo Nacional
Cerealista**





CONTENIDO

Introducción	7
1. Generalidades de los nutrientes en el cultivo de maíz	8
1.1 Carbono (C)	9
1.2 Hidrógeno (H) y Oxígeno (O)	9
1.3 Nitrógeno (N)	9
1.4 Fósforo (P)	10
1.5 Potasio (K)	11
1.6 Calcio (Ca)	12
1.7 Magnesio (Mg)	12
1.8 Azufre (S)	13
2.. Metodología manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE) protocolos de Investigación	14
2.1 Objetivos	16
2.2 Características de los sitios, tratamientos y diseño experimental	16
3. Resultados	20
3.1 Parcelas de omisión	21
3.2 Ensayos arreglo población y nutrición del cultivo	23
3.3 Índice de cosecha (IC)	26
3.4 Respuesta a la adición de nutrientes	27
3.5 Índices de uso eficiente de nutrientes	27
3.5.1 Eficiencia agronómica (EA)	28
3.5.2 Eficiencia fisiológica (EF)	29
3.5.3 Factor de productividad parcial (FPP)	29
4. Dosis de nutrientes por localidad	30
5. Cómo incrementar la eficiencia de nutrientes	32
6. Consideraciones finales	36
7. Bibliografía	38

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Tratamientos de omisión de nutrientes	17
Tabla 2.	Dosis de nutrientes	17
Tabla 3.	Tratamientos segunda fase del proyecto	18
Tabla 4.	Tratamientos tercera fase del proyecto	19
Tabla 5.	Resultados de análisis de suelos en dos localidades de la altillanura colombiana	21
Tabla 6.	Dosis de nutriente tratamiento MNSE	22
Tabla 7.	Resumen Análisis Estadístico Finca Las Bendiciones	23
Tabla 8.	Resumen Análisis Estadístico	25
Tabla 9.	Índice de Cosecha	27
Tabla 10.	Respuesta a la adición del nutriente	27
Tabla 11.	Índices agronómicos de eficiencia de uso de nitrógeno	28
Tabla 12.	Eficiencia Agronómica	28
Tabla 13.	Eficiencia Fisiológica	29
Tabla 14.	Factor Productividad Parcial	29
Tabla 15.	Dosis de nutriente recomendada por localidad	31

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Efecto de la omisión de nutrientes Puerto López, Meta	21
Figura 2.	Efecto de la omisión de nutrientes en Puerto Gaitán, Meta	22
Figura 3.	Efecto del arreglo poblacional en Puerto López, Finca Las Bendiciones - Meta. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento	24
Figura 4.	Efecto de la fuente de nitrógeno en Puerto López, Finca Las Bendiciones - Meta. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento	24
Figura 5.	Efecto del arreglo poblacional en el cultivo de maíz en dos localidades de la Altillanura. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento	25
Figura 6.	Efecto de la fuente de nitrógeno en el cultivo de maíz en dos localidades de la Altillanura. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento	26





INTRODUCCIÓN

La metodología del manejo por sitio específico busca identificar y cuantificar la variabilidad espacial de la finca, con el fin de conocer el impacto de esta en el rendimiento. Una vez que se conoce el efecto de la variabilidad espacial se definen las prácticas agronómicas que permitan manejarla disminuyendo el impacto de la fertilización en el ambiente, esta metodología permite entregar nutrientes a la planta como y cuando los necesita en cada lote de producción.

La investigación que financia el Fondo Nacional Cerealista - FNC , se enfocó en evaluar e implementar las prácticas relacionadas con la nutrición del cultivo que permitan mejorar los rendimientos y la rentabilidad del cultivo así como el balance de nutriente en los suelos para mantener y/o mejorar su capacidad de producción.

En este documento se resumen los resultados de investigación en dos localidades de la altillanura colombiana en espera de su uso como material de consulta para la toma de decisiones relacionadas con la fertilización del cultivo de maíz, conociendo que los fertilizantes en la altillanura alcanzan una alta participación en la canasta de costos del cultivo de al menos el 35% de costos directos.



1. GENERALIDADES DE LOS NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE MAÍZ



Las plantas requieren de nutrientes esenciales en proporciones oportunas y adecuadas para un óptimo crecimiento. La deficiencia de nutrientes ocurre cuando la concentración y disponibilidad así como la absorción es insuficiente para satisfacer los requerimientos y la capacidad de una planta en crecimiento y se manifiestan, a menudo, como síntomas visuales. La detección oportuna de deficiencias nutricionales permite su corrección para evitar la pérdida de rendimiento.

En plantas de maíz, la deficiencia de los nutrientes se manifiesta en campo como se aprecia a continuación:

1.1 CARBONO (C)

El carbono se encuentra en la atmósfera como CO_2 y su incorporación a la planta se realiza a través de los estomas, se difunde a los cloroplastos de las células fotosintéticas, asimilándose mediante la segunda vía de la fotosíntesis (Ruta Metabólica C4).

1.2 HIDRÓGENO (H) Y OXÍGENO (O)

El hidrógeno y el oxígeno se encuentran en el agua y su incorporación a la planta ocurre mediante la absorción de este líquido. Estos elementos cumplen la función estructural, ya que al ser asimilados se integran en la estructura molecular de los compuestos orgánicos.

1.3 NITRÓGENO (N)

El maíz es muy sensible a la deficiencia de nitrógeno. Cuando ésta se presenta, las plantas se retrasan en el crecimiento y forman mazorcas pequeñas. A su vez, las mazorcas afectadas tienen granos pequeños y en bajas cantidades. Se ha observado que el crecimiento de las plantas jóvenes se reduce drásticamente, aún con deficiencias leves de este nutriente.



Deficiencia de nitrógeno en maíz

Forma parte de la estructura de macromoléculas y algunas moléculas orgánicas. Viaja por el xilema en forma de iones amonio (o integrado en los aminoácidos glutamina y/o asparagina).





Asimilación: proteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, vitaminas, fitohormonas, metabolitos secundarios.



Síntomas de toxicidad: exceso de follaje, desarrollo lento de raíces, retardo de la floración y producción escasa de frutos.



Síntomas de deficiencia:

- Empieza por las hojas más viejas, las inferiores.
- Se ven hojas más claras de color verde pálido, que va tornándose en amarillo, incluyendo las nervaduras, aunque la clorosis llegue a toda la planta, los síntomas son más evidentes en las hojas viejas.
- Si la deficiencia continúa las hojas inferiores caen.

1.4 FÓSFORO (P)

Las plantas deficientes en fósforo presentan tallos delgados, madurez tardía y bajo rendimiento de grano.

Forma parte de la estructura de macromoléculas y algunas moléculas orgánicas.



Fuente: Sharma y Kumar



Asimilación: en nucleótidos mono, di y trifosforilados, entre ellos el ATP como fuente de energía y el ADP como acarreador de azúcares; ácidos nucleicos, fosfolípidos y algunos metabolitos secundarios.



Síntomas de toxicidad: mayor desarrollo radical que foliar.



Síntomas de deficiencia:

- Generalmente empieza en las hojas inferiores.
- Hojas con un verde oscuro apagado que adquieren luego un color rojizo o púrpura característicos y llegan a secarse (antocianinas).
- Forma tallos finos y cortos con hojas pequeñas.
- Menor floración y cuajado de los frutos.

1.5 POTASIO (K)

La deficiencia de potasio provoca acortamiento de los entrenudos del tallo, achaparramiento de la planta y una pérdida generalizada del color verde oscuro saludable del follaje.



Deficiencia de potasio en maíz

Actúa como osmorregulador en la apertura y cierre estomático.



Asimilación: se almacena como ión soluble en las vacuolas, a disposición de la célula para ejercer efectos osmóticos necesarios en el movimiento del agua.

El potasio (K) aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, a la sequía y al frío.



Síntomas de toxicidad: interferencia en la absorción y disponibilidad fisiológica de calcio y de magnesio.



Síntomas de deficiencia:

- Clorosis amarillo claro en las hojas viejas, seguida de una necrosis café claro. Ambos síntomas se desarrollan primero en la punta de las hojas y avanzan a lo largo de los márgenes, hacia la base.
- Las plantas afectadas producen mazorcas pequeñas, comúnmente puntiagudas y subdesarrolladas en la punta.



1.6 CALCIO (Ca)

Las plantas deficientes de calcio presentan retraso en su crecimiento, tallos cortos y robustos, y rendimiento de grano muy bajo.

Forma parte de la estructura de los pectatos de calcio de la lamela media y los puentes de calcio de la plasmalema.



Fuente: Sharma y Kumar



Asimilación: se asimila en pectatos de calcio, puentes lipídicos, calmodulinas y en oxalato de calcio en las vacuolas.



Síntomas de deficiencia

- Los síntomas de la deficiencia son más graves en las hojas jóvenes, donde aparecen primero, mientras que las hojas más viejas, por lo general, no se ven afectadas y mantienen su color oscuro.
- Las hojas nuevas crecen mal formadas y desgarradas, lo que le da a la planta una apariencia "harapienta".

1.7 MAGNESIO (Mg)

Las plantas deficientes de magnesio presentan retraso en el crecimiento, tallos delgados y largos, y mazorcas pequeñas con granos también pequeños.

Forma parte de la estructura de las clorofilas y es activador enzimático.



Fuente: Sharma y Kumar



Asimilación: se asimila en clorofilas "a" y "b". Se unen covalentemente al ATP, por lo que participa en procesos claves como la síntesis de proteínas, unión y estabilidad de las dos unidades ribosomales y en la transcripción.



Síntomas de deficiencia

- En las primeras etapas de la deficiencia, las hojas viejas se volverán color verde claro y desarrollarán una clorosis intervenal amarillo claro.
- Si la deficiencia se agrava, la clorosis intervenal evolucionará a una necrosis café.



Fuente:
Sharma y Kumar

1.8 AZUFRE (S)

Las plantas deficientes de azufre son largas, delgadas y achaparradas. Presentan madurez tardía y bajo rendimiento de grano.

Forma parte de los aminoácidos cisteína y metionina, de la coenzima A y biotina.



Fuente: Sharma y Kumar




Asimilación: se asimila en enzimas redox como ferroproteínas sulfuradas participantes en la fotofosforilación oxidativa. También en la metionina y cisteína, fitoquelatinas y en coenzimas como la coenzima A, la biotina y la tiamina.



Síntomas de deficiencias

- Si la deficiencia es leve, el follaje se verá verde claro, aunque las hojas viejas tendrán un tono más oscuro.
- Si la deficiencia es severa, las hojas jóvenes se volverán amarillo claro, mientras que las hojas viejas mantendrán el color verde claro.
- No se presentarán necrosis.

The background of the slide is a photograph of a cornfield. The top half shows dry, yellowish-brown corn husks and stalks. The bottom half shows green corn leaves and a ripe, yellow corn cob. A semi-transparent green rectangular overlay covers the middle section of the image, where the text is located.

2. METODOLOGÍA MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECÍFICO (MNSE) PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

Es una metodología que permite realizar ajustes en la aplicación de nutrientes para entregarlos a la planta como y cuando los necesita en cada lote de producción y en cada época del año. La metodología permite ajustar el déficit con el uso de fertilizantes para obtener mayores rendimientos (cantidad de grano por unidad de fertilizante aplicado) considerando el aporte de los nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo. Para implementar un proceso de MNSE requiere de tres fases:

1. Establecimiento de la meta de rendimiento obtenible por agricultor

El rendimiento de cereales es específico para el sitio y para la época del año en la que se cultiva y depende del clima, del cultivar utilizado y del manejo del cultivo. La meta de rendimiento para un sitio y temporada de un año en particular se estima del rendimiento de grano obtenible cuando las limitantes de nutrientes (N, P, K, Mg, Ca y S) son eliminadas al máximo posible.

En general, esta meta de rendimiento puede ser un porcentaje (70 – 80 %) del máximo rendimiento genético demostrado por los materiales híbridos para cada sitio, ya sea por investigación o por el rendimiento obtenido en lotes de productores con muy buen manejo del cultivo.

2. Determinación del aporte de nutrimentos provenientes del suelo

El MNSE hace un uso efectivo de los nutrientes nativos del suelo para cada región y época del año, este suplemento es aquel que proviene de fuentes diferentes a los fertilizantes por ejemplo, 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.

3. Determinación de las dosis de nutrientes

Para calcular las dosis de nutrientes requerida para obtener la meta de rendimiento, se considera el índice de cosecha (grano / biomasa total) y la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados como fertilizantes.

El manejo de N es el más difícil en todos los sistemas de cultivo. El MNSE permite un manejo dinámico de este nutriente que busca incrementar la eficiencia, aplicando N en épocas críticas para el cultivo.

El análisis de suelos es una herramienta de apoyo para manejo de nutrientes. Permite conocer características químicas importantes (pH, conductividad eléctrica) y ayuda a monitorear el estado de nutrientes en el suelo para evitar acumulaciones y desbalances.

2.1 OBJETIVOS

Objetivo general:

Contribuir a incrementar la productividad y competitividad del maíz, mediante la aplicación de prácticas de manejo sostenible de nutrientes mediante el manejo de nutrición por sitio específico.

Objetivos específicos:

- Determinar las eficiencias agronómica y fisiológica de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y azufre, para 2 dominios de recomendación en la altillanura colombiana.
- Determinar los niveles de extracción y el índice de cosecha de nitrógeno, fósforo y potasio para los niveles de reposición de estos nutrientes para 2 dominios de recomendación en la altillanura colombiana.
- Determinar para cada dominio de recomendación la mejor combinación entre manejo agronómico y nutrición que garanticen incrementos en productividad.
- Realizar prácticas de mejoramiento de manejo agronómico que garanticen incrementos en el uso eficiente de nutrientes y por consiguiente incrementos en la productividad.
- Determinar la dosis óptima de nutrición que garantice ingresos al agricultor independientemente de la productividad.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS, TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en dos localidades de la altillanura colombiana, zonas productoras de maíz, en cada una se seleccionó una finca que representa la variación local en suelos y prácticas de manejo, cada localidad se considera una repetición.



En cada sitio seleccionado se establecieron parcelas de omisión para determinar el suplemento de nutrimentos nativo del suelo (Tabla 1), en cada parcela se omitió un nutriente con aplicación suficiente de los otros de modo que el rendimiento sea solamente limitado por el nutriente omitido. Se usa para medir el suplemento efectivo de nutriente nativo del suelo, por ejemplo absorción total de N por el cultivo cuando no se aplica N. La parcela con fertilización completa se usa para estimar la eficiencia de recuperación de N, P, K, S, Ca y Mg de los fertilizantes.

Tabla 1. Tratamientos de omisión de nutrientes

N°	Tratamiento	Descripción
1	Testigo	
2	PKSMgCa	Parcela de omisión de N
3	NKSMgCa	Parcela de omisión de P
4	NPSMgCa	Parcela de omisión de K
5	NPKMgCa	Parcela de omisión de S
6	NPKSCa	Parcela de omisión de Mg
7	NPKSMg	Parcela de omisión de Ca
8	NPKSMgCa	Parcela con fertilización completa
9	NPKS	Manejo agricultor

Fuente: Equipo Técnico Investigador

**EL TAMAÑO DE CADA PARCELA EXPERIMENTAL
FUE DE 240 m²
(12 SURCOS * 0.80 cm ENTRE SURCOS * 25 m LARGO)
TAMAÑO TOTAL DEL ENSAYO
FUE DE 1.960 m²**

Las dosis de fertilizantes usadas en las parcelas de omisión y en las parcelas con fertilización completa en esta fase, se describen en la Tabla 2.

Las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron urea, superfosfato triple, cloruro de potasio, KMag, Kieserita, de acuerdo a la parcela de omisión del nutriente.

Tabla 2. Dosis de nutrientes

Tratamientos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	CaO
	kg,ha ⁻¹					
1 Testigo	0	0	0	0	0	0
2 PKSMgCa	0	120	140	50	44	30
3 NKSMgCa	250	0	140	50	44	30
4 NPSMgCa	250	120	0	50	44	30
5 NPKMgCa	250	120	140	0	44	30
6 NPKSCa	250	120	140	50	0	30
7 NPKSMg	250	120	140	50	44	0
8 NPKSMgCa	250	120	140	50	44	30
9 Manejo agricultor	190	100	186	35	0	0

Fuente: Equipo Técnico Investigador

La dosis de nitrógeno se fraccionó 20% en V0, 40% en V6 y 40% en V10, la dosis de potasio se fraccionó 50% en V0 y 50% en V6. La dosis total de los otros nutrientes se aplicó en V0.

Con los resultados se calcula la dosis de nutrientes denominada MNSE, para calcularla se usa los resultados de las parcelas de omisión y la parcela con nutrición completa además de la eficiencia agronómica.

AÑO 2 Y 3

En los años 2 y 3 con el tratamiento MNSE se evaluaron dos densidades de siembra y arreglos poblacionales de acuerdo al manejo agronómico de la zona, los tratamientos se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Tratamientos segunda fase del proyecto

N°	Tratamiento	Descripción
1-3-5	NPKSMgCa + D1	Parcela con manejo específico. Meta del rendimiento determinada con resultados de las parcelas de omisión y la parcela de fertilización completa. Densidad de siembra 1
2-4-6	NPKSMgCa + D2	Parcela con manejo específico. Meta del rendimiento determinada con resultados de las parcelas de omisión y la parcela de fertilización completa. Densidad de siembra 2
7	M. A.	Práctica de manejo y fertilización del agricultor. Se aplican los fertilizantes usados por el agricultor.

Fuente: Equipo Técnico Investigador





Con la información obtenida, en el tercer año se evalúa el MNSE con tres fuentes de nitrógeno y dos arreglos poblacionales. En esta fase se establece el paquete nutricional completo de MNSE y sistemas de manejo para hacer más eficiente el uso de nutrientes, los tratamientos se describen en el Tabla 4.

El diseño estadístico utilizado fue bloques completos con arreglo en parcelas divididas, en la parcela principal se evaluó arreglo poblacional (D1 y D2) y en la subparcela la fuente de nitrógeno (F1, F2, F3).

Tabla 4. Tratamientos tercera fase del proyecto

N°	Tratamiento	N°	Tratamiento
1	NPKSMg + D1 + F1	5	NPKSMg + D2 + F1
2	NPKSMg + D1 + F2	6	NPKSMg + D2 + F2
3	NPKSMg + D1 + F3	7	NPKSMg + D2 + F3
4	Omisión D1	8	Omisión D2

Fuente: Equipo Técnico Investigador



3. RESULTADOS



3.1 PARCELAS DE OMISIÓN

Con base en los resultados de análisis de suelos que se muestran en la Tabla 5, se realizó la aplicación de la enmienda Calfomag Especial con las siguientes características: P₂O₅ 16,2%, CaO 39,2%, MgO 6.7%, SiO₂ 8.4% y S 1.7%, 30 días antes de la siembra.

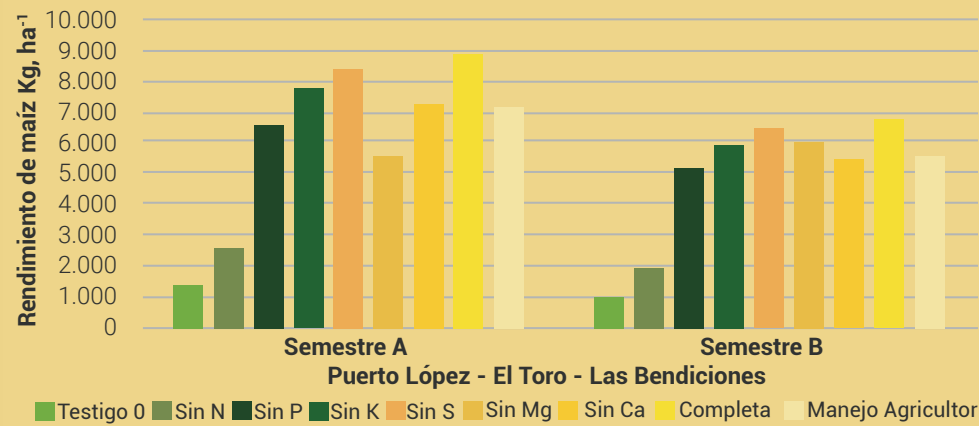
Tabla 5. Resultados de análisis de suelos en dos localidades de la altillanura colombiana

Finca	pH	CO	Ntot	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A
		%		meq / 100g						mg/kg						%		
Las Bendiciones	4,4	1,8	0,2	1,1	0,2	0,3	0,1	2,5	4,2	8,8	0,3	57	0,8	2,5	0,6	33	42	25
La Unión	4,6	2	0,2	1,3	0,2	0,3	0,1	2	3,9	8,6	0,3	58	1,6	1,1	0,4	29	42	29

Fuente: Equipo Técnico Investigador

En Puerto López la omisión de nitrógeno redujó drásticamente el rendimiento del cultivo de maíz 6,37 toneladas en el semestre A y 4,77 toneladas en el semestre B. Le sigue en reducción del rendimiento la omisión de fósforo y magnesio con 2,01 y 2,03 toneladas, promedio al compararla con la parcela con fertilización completa y la omisión de calcio con 1,66 y 1,26 toneladas de maíz en el semestre A y B respectivamente.

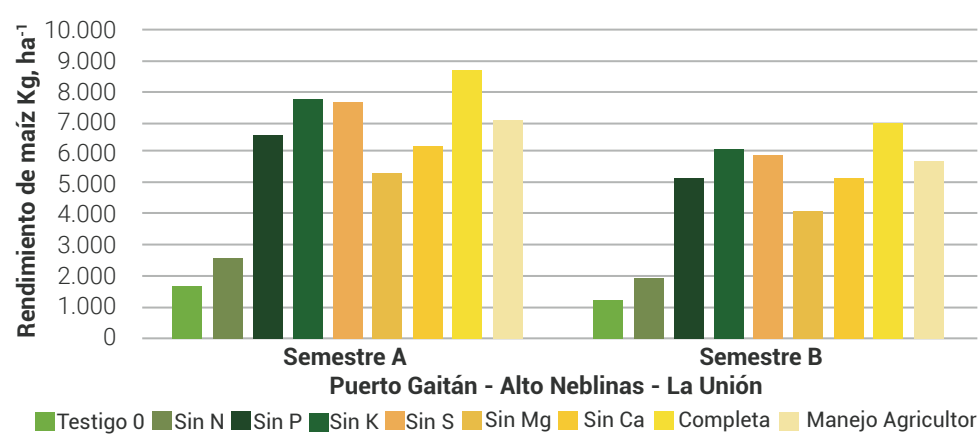
Figura 1. Efecto de la omisión de nutrientes Puerto López, Meta



Fuente: Equipo Técnico Investigador

Para Puerto Gaitán el rendimiento se vió limitado por la omisión nitrógeno con 6,17 y 4,93 toneladas al compararlo con la parcela de fertilización completa, seguido de la omisión de magnesio con 3,06, calcio 2,05 y fósforo 1,90 toneladas en promedio en el año.

Figura 2. Efecto de la omisión de nutrientes en Puerto Gaitán, Meta



Fuente: Equipo Técnico Investigador

En las dos localidades evaluadas los resultados mostraron que la omisión de nitrógeno limitó el rendimiento en mayor proporción que los otros nutrientes, de ahí la importancia de incrementar la eficiencia de la nutrición nitrogenada aplicando la fuente adecuada, en el lugar y época oportuna y en la dosis adecuada.

Los resultados mostraron que, en las dos localidades existe bajo contenido de nutrientes nativos del suelo para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz como se aprecia en el testigo absoluto con rendimiento promedio de 1,2 toneladas en Puerto López y 1,4 toneladas en Puerto Gaitán en la primera fase de trabajo.

Con la meta de rendimiento, el resultado de la parcela de omisión y la eficiencia agronómica se calculó la recomendación de nutrientes para cada localidad, se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6. Dosis de nutriente tratamiento MNSE

Municipio	Vereda	Dosis nutriente					
		N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López	El Toro	241	107	167	18	46	25
Puerto Gaitán	Alto Neblinas	250	116	185	39	48	28

Fuente: Equipo Técnico Investigador



3.2 ENSAYOS ARREGLO POBLACIÓN Y NUTRICIÓN DEL CULTIVO

En las fases 2 y 3 se evaluaron arreglos poblacionales con 70.000 plantas por hectárea, el primero a 0,45 cm entre surco y 3,15 plantas por metro lineal y el segundo a 0,90 cm entre surco y 6,3 plantas por metro lineal.

En el plan de nutrición se evaluaron tres fuentes nitrogenadas amidas, sulfato de amonio y urea. El diseño estadístico fue de BCA con arreglo en parcelas divididas, las parcelas principales fueron los arreglos poblacionales (10 surcos * 0,90 * 14 m ó 20 surcos * 0,45 * 14 m), en las subparcelas se evaluaron tres fuentes de nitrógeno y una parcela testigo F1: nitrógeno + azufre, F2 sulfato de amonio, F3: urea, el área de evaluación fue 10 surcos * 0,90 * 7 m ó 20 surcos * 0,45 * 7 m.

Se realizó análisis estadístico (ANDEVA) para cada localidad y semestre agrícola y los resultados mostraron que en Puerto López, El Toro, finca Las Bendiciones, en los dos semestres, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los arreglos poblacionales, ver Tabla 7.

En los semestres evaluados los mayores rendimientos promedio se obtuvieron con el arreglo poblacional de 0,45 m entre surco y 3,15 plantas por metro lineal.

Tabla 7. Resumen análisis estadístico finca Las Bendiciones

Las Bendiciones	2020 A		2020 B	
Fuente de variación	Pr > F	DMS	Pr > F	DMS
Arreglo poblacional	0,04*	1665	0,01**	1353,3
Fuente de N	0,006**	2354,7	0,0005**	1913,9
Interacción	0,67	NS	0,3	NS
Coefficiente de Variación (CV) %	27	-	22	-
R ²	0,74	-	0,83	-

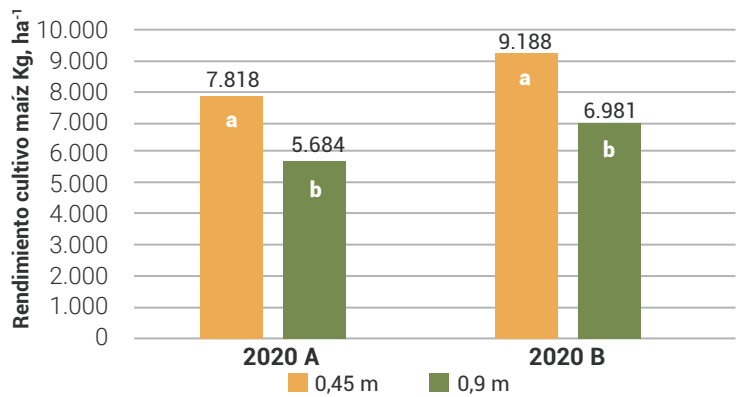
** Diferencias estadísticas significativas / ** Diferencias estadísticas altamente significativas / NS No significativo*

Fuente: Equipo Técnico Investigador

En el semestre A el rendimiento promedio para el arreglo de 0,45 m fue 7.818 kg comparado con 5.684 kg con el arreglo de 0,90 m, en el semestre B el rendimiento promedio fue de 9.189 y 6.981 kg para los arreglos de 0,45 y 0,90 m entre surcos respectivamente, ver Figura 3.

En los dos semestres la interacción entre el arreglo poblacional y la fuente de nitrógeno no presentó diferencias estadísticas. El coeficiente de variación (CV) indica que los datos pueden asumirse con confianza y el coeficiente de determinación (R²) muestra la variabilidad total de la respuesta que es explicada por el modelo, en el primer semestre se explica el 74% y en el segundo semestre es del 83%, ver Tabla 7.

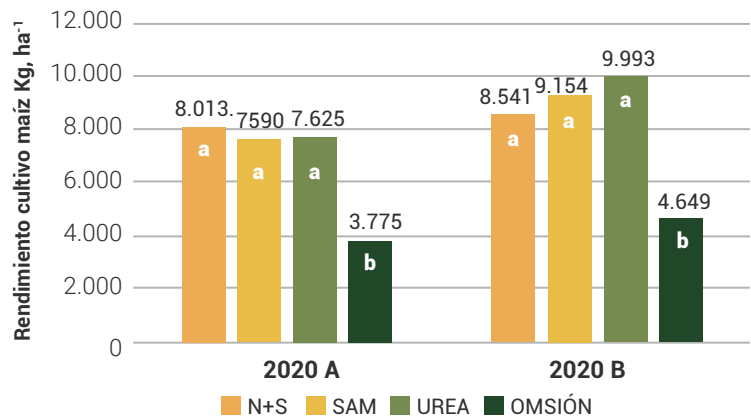
Figura 3. Efecto del arreglo poblacional en Puerto López, finca Las Bendiciones -Meta. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento.



Fuente: Equipo Técnico Investigador

En la Figura 4 se aprecia que no hubo diferencias estadísticas entre las fuentes de nitrógeno evaluadas, únicamente se presentaron diferencias de las fuentes con el tratamiento testigo que fue la omisión del nutriente. En el semestre 2020 A el mayor rendimiento promedio se obtuvo con la fuente 1 (N+S) seguida por la urea y el SAM. En el segundo semestre de evaluación el mayor rendimiento se aprecia con urea seguida de SAM y luego N+S.

Figura 4. Efecto de la fuente de nitrógeno en Puerto López, finca Las Bendiciones – Meta. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento.



Fuente:Equipo Técnico Investigador

Los resultados del análisis estadístico de los ensayos en La Unión, vereda Alto Neblinas, municipio Puerto Gaitán en el semestre A y Versalles vereda Yurimena Puerto López en el B se aprecian en la Tabla 8.

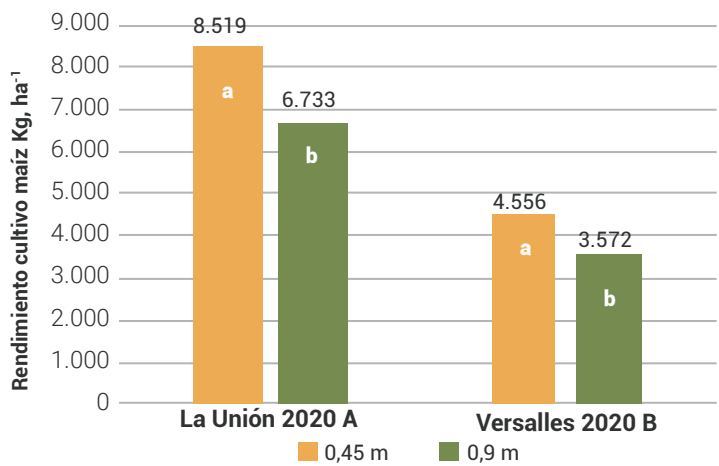
Tabla 8. Resumen análisis estadístico

Localidad	2020 A La Unión		2020 B Versalles	
Fuente de variación	Pr > F	DMS	Pr > F	DMS
Arreglo poblacional	0,03*	1.620	0,002**	565
Fuente de N	0,004*	2.291	<0,001**	799
Interacción	0,12	NS	0,14	NS
Coeficiente de Variación (CV) %	23	-	15	-
R ²	0,78	-	0,90	-

* Diferencias estadísticas significativas / ** Diferencias estadísticas altamente significativas / NS No significativo
Fuente: Equipo Técnico Investigador

En los semestres evaluados los mayores rendimientos promedio se obtuvieron con el arreglo poblacional de 0,45 m entre surco y 3,15 plantas por metro lineal, con un rendimiento promedio de 8.519 kg en Puerto Gaitán (La Unión) con una diferencia mínima significativa DMS de 1.620 kg entre tratamientos. En Versalles el mayor rendimiento promedio fue 4.556 kg y una DMS de 565 kg, ver Figura 5.

Figura 5. Efecto del arreglo poblacional en el cultivo de maíz en dos localidades de la Altillanura. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento.



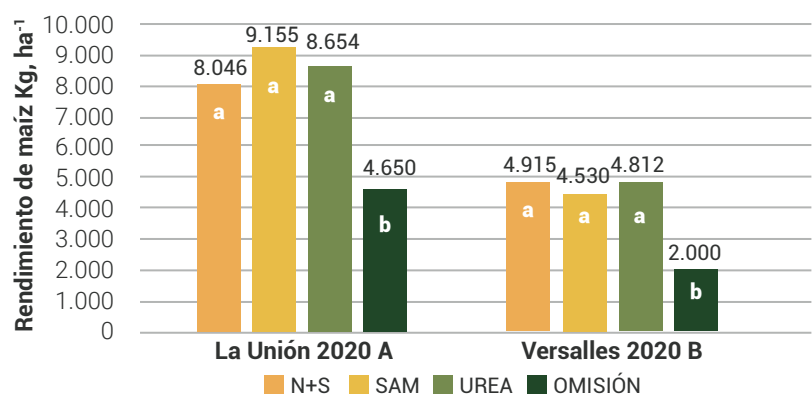
Fuente: Equipo Técnico Investigador

El CV de los ensayos mostraron que fueron manejados adecuadamente y el R² indicó el porcentaje de explicación del modelo, en el primer semestre fue del 78% y en el segundo semestre del 90%. El ANDEVA mostró que no existieron diferencias estadísticas en la interacción arreglo poblacional por fuente de nitrógeno, ver Tabla 8.

La Figura 6 muestra que no hubo diferencias estadísticas entre las fuentes de nitrógeno evaluadas, al igual que en la finca Las Bendiciones en Puerto López, se presentó diferencias de las fuentes con el tratamiento testigo que fue la omisión del nutriente.

En el semestre 2020 A el mayor rendimiento promedio se obtuvo con la fuente 2 SAM, seguida por la urea y N+S. En Versalles en el semestre 2020 B el mayor rendimiento se aprecia con N+S seguido de la urea y el SAM, cabe señalar que los bajos rendimientos se debieron a la deficiente disponibilidad de agua (precipitación) que existió entre su fecha de siembra - 19 de septiembre - y la fecha de madurez fisiológica - 6 de enero -; y que, de acuerdo con la información registrada en las estaciones meteorológicas y/o pluviómetros más cercanos, osciló entre 283 mm y menos de 350 mm localizados en San Carlos de Guaróa¹.

Figura 6. Efecto de la fuente de nitrógeno en el cultivo de maíz en dos localidades de la Altillanura. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamiento.



Fuente: Equipo Técnico Investigador



3.3 ÍNDICE DE COSECHA (IC)

El índice de cosecha indica del total del nutriente absorbido cuanto es removido en el grano y cuanto queda en los residuos de cosecha. Es importante conocerlo ya que ayuda a determinar el balance de los nutrientes cuando estos se dejan en el lote y se manejan de manera conservacionista. El índice de cosecha total en las dos localidades fue de 0.50, indica que el 50% del total de la biomasa producida es retenida en los residuos de cosecha. Para el nitrógeno el 70% del nutriente es removido por el grano en Puerto López y el 80% en Puerto Gaitán, similar resultado se aprecia en fósforo con valores de 80 y 87%, Tabla 9.

1. Las estaciones localizadas en Aceites Morichal, finca Bocas del Guayuriba y finca El Pilar se encuentran a 54, 45 y 42 kilómetros en línea recta desde la localización del ensayo en la finca Versalles.

Tabla 9. Índice de cosecha

Municipio	Finca	N	P	K	S	Mg	Ca	Total
Puerto López	Las Bendiciones A	0,70	0,80	0,20	0,40	0,42	0,30	0,47
Puerto Gaitán	La Unión A	0,80	0,82	0,18	0,47	0,62	0,26	0,51
Puerto López	Las Bendiciones B	0,83	0,76	0,23	0,38	0,08	0,20	0,53
Puerto Gaitán	La Unión B	0,80	0,78	0,24	0,42	0,06	0,19	0,50

Fuente: Equipo Técnico Investigador

3.4 RESPUESTA A LA ADICIÓN DE NUTRIENTES

La respuesta obtenida en las dos localidades de la altillanura a la adición de nutriente se aprecia en la Tabla 10. La mayor respuesta se obtiene a la adición de nitrógeno con un promedio de 6.100 kg, le sigue la adición de fósforo con promedio de 2.200 kg y la adición de calcio con un promedio de 2.000 kg de grano.

Tabla 10. Respuesta a la adición del nutriente

Municipio	Finca	N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López	Las Bendiciones A	6.317	2.338	1.137	480	3.343	1.665
Puerto López	Las Bendiciones B	4.776	1.699	865	286	734	1.266
Puerto Gaitán	La Unión A	6.037	2.229	881	1.034	3.281	2.355
Puerto Gaitán	La Unión B	1.923	1.579	944	1.062	2.842	1.761

Fuente: Equipo Técnico Investigador

La respuesta a la adición de potasio podría atribuirse al contenido del nutriente en los residuos de cosecha que pasan a ser parte de nutriente nativo en el suelo.

3.5 ÍNDICES DE USO EFICIENTE DE NUTRIENTES

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.

En la Tabla 11 se observa el indicador de eficiencia de uso de nutrientes, el calculo y el rango para cereales.

Tabla 11. Índices agronómicos de eficiencia de uso de nitrógeno

Indicador	Calculo	Rango para cereales
Eficiencia Agronómica	EA = (kg de incremento en rendimiento kg ⁻¹ de nutriente aplicado)	10 – 30 kg,kg ⁻¹ >25 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o bajo suplemento de N del suelo
Eficiencia Fisiológica	EF = (kg de incremento en rendimiento kg ⁻¹ de nutriente absorbido)	40 – 60 kg,kg ⁻¹ >50 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o bajo suplemento de N del suelo
Factor de Productividad Parcial	FPP = (Kg de rendimiento kg ⁻¹ de nutriente aplicado)	40 – 80 kg,kg ⁻¹ >60 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o bajo suplemento de N del suelo

Fuente: Doberman, 2007

3.5.1 EFICIENCIA AGRONÓMICA (EA)

La Eficiencia Agronómica 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.

En Puerto López, Las Bendiciones en el primer semestre del año se produjeron 25 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado considerando los nutrientes nativos del suelo, se produjeron 19 kg de grano por cada kilogramo de fósforo aplicado, 9 kg de grano por kg de potasio, 10 kg de grano por cada kilo de azufre, 66 kg de grano por cada kilo de magnesio y 55 kilos de grano por cada kilogramo de calcio aplicado, ver Tabla 12.

Comparando los resultados obtenidos con los propuestos en la Tabla 11, para nitrógeno como nutriente limitante en el cultivo de maíz, se observa que los resultados están en el rango de 10 a 30 Kilos de grano por Kg de nutriente aplicado, sin embargo, es necesario mejorar el uso del nutriente manejando el sistema de producción en el cual se deben considerar el aporte de materia orgánica de los cultivos de rotación, el uso de microorganismos como biofertilizante, la nutrición balanceada y oportuna que incluya además, de nutrientes secundarios, los micronutrientes de gran importancia como cofactores enzimáticos.

Tabla 12. Eficiencia agronómica

Municipio	Finca	N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López	Las Bendiciones A	25	19	9	10	66	55
Puerto López	Las Bendiciones B	20	15	7	6	14	12
Puerto Gaitán	La Unión A	24	19	10	23	66	78
Puerto Gaitán	La Unión B	18	16	8	24	56	58

Fuente: Equipo Técnico Investigador

3.5.2 EFICIENCIA FISIOLÓGICA (EF)

Se define como el aumento de rendimiento en relación con el aumento en la absorción del cultivo del nutriente en las partes aéreas de la planta, se necesita una parcela sin la aplicación del nutriente, requiere la medición de las concentraciones de nutrientes en el cultivo y se mide principalmente en la investigación.

Para Puerto López se produjeron 24 kg de grano de maíz por cada kg de nitrógeno absorbido, 103 kg de grano por kilo de fósforo absorbido, 27 kg de grano por cada kilo de potasio, 15 kg de grano por kilo de azufre, 24 kg de grano por kilo de magnesio y 10 kg de grano por kilo de calcio, en este indicador cada nutriente fue absorbido y metabolizado por la planta, ver Tabla 13.

En Puerto Gaitán, la EF está en el rango de 40 a 60 kilogramos de grano por kilogramo de nutriente absorbido, lo que indica que el sistema se manejó adecuadamente, en Puerto López el valor obtenido es inferior a 40 por lo que se recomienda mejorar la eficiencia del nitrógeno, trabajando fertilizantes con moléculas que estabilicen el nitrógeno (inhibidor de ureasa y nitrificación) o de liberación controlada.

Tabla 13. Eficiencia fisiológica

Municipio	Finca	N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López	Las Bendiciones A	24	103	27	15	24	10
Puerto López	Las Bendiciones B	24	89	18	17	22	5
Puerto Gaitán	La Unión A	62	84	40	13	10	28
Puerto Gaitán	La Unión B	45	97	43	18	16	32

Fuente: Equipo Técnico Investigador

3.5.3 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.

Indica que en Puerto López se produjeron 35 kg de grano por cada kilo de nitrógeno aplicado, 73 kg por cada kilogramo de fósforo, 44 kg por cada kilogramo de potasio, 200 kg por kilo de azufre, 176 kg por kilo de magnesio y 293 kg por cada kilogramo de potasio, en este indicador no se necesitó parcela de omisión, ver Tabla 14.

Tabla 14. Factor productividad parcial

Municipio	Finca	N	P	K	S	Mg	Ca
Puerto López	Las Bendiciones A	35	73	44	200	176	293
Puerto López	Las Bendiciones B	27	56	33	152	134	223
Puerto Gaitán	La Unión A	35	72	43	196	173	288
Puerto Gaitán	La Unión B	28	58	35	157	138	230

Fuente: Equipo Técnico Investigador



4. DOSIS DE NUTRIENTES POR LOCALIDAD

En la Tabla 15 se aprecia el dominio de recomendación para cada localidad y semestre evaluado, es decir, la dosis de nutrientes por hectárea en las condiciones edafoclimáticas que se presentaron durante el desarrollo del trabajo en campo y los rendimientos utilizados para el cálculo de los indicadores de uso eficiente de nutrientes.

Tabla 15. Dosis de nutriente recomendada por localidad kg, ha⁻¹


Municipio	Semestre	Localidad	Dosis nutriente					
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	CaO
Puerto López	A	El Toro	200	107	167	18	26	25
Puerto López	B	El Toro	190	98	180	20	28	30
Puerto Gaitán	A	Alto Neblinas	210	116	185	22	32	28
Puerto Gaitán	B	Alto Neblinas	215	120	190	25	30	30

Fuente: Equipo Técnico Investigador

El triple fraccionamiento de la dosis de nitrógeno 20% en V0, 40% en V6 y 40% en V10 resulta en mayor eficiencia de uso considerando las precipitaciones de la región y la menor pérdida por volatilización y/o denitrificación en micrositios en el suelo. En el presente estudio, la eficiencia de uso de nitrógeno se incrementó con el doble fraccionamiento de la dosis de potasio (50% en V0 y 50% en V6) y la aplicación de nutrientes secundarios.

La eficiencia de la fuente dependió de la condición ambiental y del adecuado almacenamiento y aplicación (incorporada en banda localizada). Las evaluaciones realizadas en campo demostraron que bajo las condiciones de manejo y forma de aplicación, la eficiencia de uso de nitrógeno fue similar entre urea, sulfato de amonio y la fuente de nitrógeno + azufre (N+S).

Para mejorar la eficiencia de la fertilización balanceada y oportuna es conveniente considerar entre otras herramientas, el resultado del análisis de suelo, el manejo de residuos de cosecha del cultivo de rotación, el efecto de las condiciones climáticas (radiación, precipitación, temperatura), de suelo (materia orgánica, profundidad efectiva, textura, densidad), y prácticas de manejo (población, arreglo espacial, manejo integrado de plagas y enfermedades), así como el genotipo por la interacción de genotipo x ambiente x manejo.



5. CÓMO INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE NUTRIENTES

El manual de nutrición de plantas del IPNI (2013) menciona que se incrementa efectuando mejores prácticas que incluye entre otras prácticas, el manejo responsable de nutrientes o 4R, estos cuatro factores dosis, fuente, momento y ubicación, interactúan entre ellos y con las condiciones edáficas y climáticas son específicas en cada predio del productor.

Algunos de los principios que sustentan los 4R se mencionan a continuación:

5.1 DOSIS CORRECTA

- Evaluar la demanda de nutrientes por la relación directa entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbido.
- Uso de métodos para evaluar la oferta de nutrientes del suelo (análisis de suelo y tejidos).
- Evaluar las fuentes de nutrientes disponibles como residuos de cosecha, abono orgánico, fijación biológica, agua de riego y fertilizantes.
- Considerar impacto sobre recurso suelo a mediano y largo plazo si la salida de nutrientes excede la entrada.
- Analizar aspectos económicos para definir la dosis.

5.2 FUENTE CORRECTA

- Reconocer que existen interacciones entre los nutrientes y las fuentes. Algunos ejemplos incluyen la interacción P-Zn, N incrementa la disponibilidad de P, la complementación con abonos orgánicos, etc.
- Conocer la compatibilidad entre las fuentes de fertilizantes. Algunas combinaciones de fuentes disminuyen la humedad crítica cuando se mezclan, limitando la uniformidad de la aplicación debido a que absorben fácilmente humedad del ambiente.
- Tener en cuenta las propiedades químicas y físicas de los suelos. Evitar la aplicación de nitrato en suelos anegados o aplicaciones superficiales de urea en suelos con valores de pH elevados.

5.3 MOMENTO CORRECTO

- Conocer el momento de la toma de nutrientes por la planta. El nutriente se aplica en el momento de mayor demanda del cultivo (sincronía entre la demanda del cultivo y la disponibilidad de nutrientes) para mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes, especialmente para el N.
- Para mejorar la sincronía entre la aplicación y la absorción se puede utilizar productos que incrementen la eficiencia de uso de los fertilizantes. Se incluyen fertilizantes con componentes orgánicos sintéticos “lentamente solubles” conteniendo N, fertilizantes solubles cubiertos o rodeados de una barrera física.
- Evaluar la dinámica de suministro de nutrientes del suelo. Analizar la mineralización de la materia orgánica.






5.4 UBICACIÓN CORRECTA

- Considerar como crecen las raíces. Los nutrientes se deben ubicar donde puedan ser tomados por las raíces en crecimiento.
- Ajustarse a objetivos del sistema de labranza. Si es de conservación puede ayudar a conservar nutrientes y agua.
- Manejar la variabilidad espacial. Evaluar las diferencias en la productividad en el lote o entre lotes.



6. CONSIDERACIONES FINALES





Con estudios de absorción y extracción de nutrientes en la altillanura colombiana se puede obtener valores con mayor precisión de los requerimientos del cultivo considerando la variabilidad espacial de los suelos, lo anterior permite mejorar la planificación del manejo de nutrientes en la región.

Los índices de uso eficiente de nutrientes se pueden incrementar con prácticas de manejo de suelos adecuada como siembra directa, uso de biofertilizantes, aplicación oportuna de enmiendas, tipo y dosis de fertilizante, cultivos de rotación entre otras prácticas para asegurar la sustentabilidad, salud y calidad del recurso suelo.

Las prácticas y tecnologías de manejo actual del cultivo deben enfocarse hacia una agricultura sustentable, manteniendo una relación balanceada entre entrada y salida de nutrientes a mediano y largo plazo en el sistema de rotación.

La fertilización balanceada se considera como una herramienta que permite cerrar brechas de rendimiento, además, se logra la biofortificación del producto final.

Es necesario seguir investigando el manejo actual de la tecnología de híbridos, densidad de siembra, rendimiento potencial y condiciones edáficas y climáticas con la interacción genotipo x ambiente x manejo para las condiciones de la altillanura colombiana.

Para mejorar la respuesta a la fertilización balanceada se propone actualmente el uso de bioestimulantes por los efectos fisiológicos y la respuesta de los cultivos a la fertilización, es necesario realizar un análisis agronómico en campo de productores y evaluar el impacto esperado.

La tendencia actual es incrementar el rendimiento, con menor aplicación de fertilizantes y por lo tanto disminuir el impacto ambiental, esto es posible gestionando el Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo (MIFS) que incluye el conocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas para adaptar la fertilización a las condiciones locales.

7. BIBLIOGRAFIA

CIAMPITTI, I. A. y GARCÍA, F. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/\\$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf)

CIAMPITTI, I.A. y F.O. GARCIA. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.ipni.net/lasc> Ciampitti I.A., F.O. García, G. Rubio y L.I. Picone. 2010.

CIAMPITT, I.A., FONTANETTO H., MICUCCI F. y F.O. GARCIA. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos. Informaciones Agronómicas N° 31, Archivo Agronómico N° 10. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.ipni.net/lasc>

CIAMPITTI, I., BOXLER, M. y GARCIA, F. 2010. Nutrición de Maíz: Requerimientos y Absorción de Nutrientes. Informaciones Agronómicas N° 48. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/$FILE/14.pdf)

CORAL ERASO, D.M. 2011. 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. Bogotá, 126 p.

CORAL ERASO, D.M. 2012. 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. Bogotá, 70 p.

CORAL ERASO, D.M. 2018. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de soya. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE, FONDO NACIONAL DE LEGUMINOSAS. Bogotá, 60 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.

FAO. 2019. Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes. Roma. Disponible en Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes (fao.org)

FAO. Asociación Internacional de la industria de los fertilizantes IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. Disponible en <http://www.fao.org/publications/card/es/c/b0f8bfc5-4c95-54b0-80cd-96b810006037/>

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. pag. 37-48

GARCIA, F. y M.F. GONZALEZ, SANJUAN. 2010. Balances de nutrientes en Argentina: ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 48:1-5.

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. 2003. 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.

Sharma, M. K. y P. Kumar. 2011. A guide to Identifying and Managing Nutrient Deficiencies in Cereal Crops. (K. Majumdar, T. Satyanarayana, R. Gupta, M. L. Jat, G.D. Sulewski, D. L. Armstrong Eds.) International Plant Nutrition Institute (IPNI), Norcross, GA, USA. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). El Batán, México. 50 p.

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

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, 1988. 409 – 438 pp.

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

Funciones, deficiencias y toxicidades de los principales nutrientes en la planta. Disponible en <http://fisiolvegetal.blogspot.com/2012/10/funciones-deficiencias-y-toxicidades-de.html>

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&=404%3bhttp%3a%2f%2fwww.fertilizer.org%3a80%2fen%2fimages%2fLibrary_Downloads%2f2014_fue_chapter_1.pdf

AUTOR: DILIA MARINA CORAL ERASO
ING. AGR. M. Sc.

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Nariño y Magister 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, Leguminosas y Soya, FENALCE.

