

60799

Avances en el
**MANEJO EFICIENTE
DE NUTRIENTES**
En las principales Zonas
Productoras de Maíz en Colombia

Dilia Marina Coral Eraso
Ingeniero Agrónomo M.Sc.



Federación Nacional de Cultivadores de
Cereales y Leguminosas



Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia
FONDO NACIONAL CEREALISTA

AVANCES EN EL MANEJO EFICIENTE DE NUTRIENTES EN LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS DE MAÍZ EN COLOMBIA

Dilia Marina Coral Eraso
INGENIERO AGRÓNOMO M.SC.



Federación Nacional de Cultivadores
de Cereales y Leguminosas



Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia

FONDO NACIONAL CEREALISTA

La autora expresa sus sinceros agradecimientos a:

Dr. Henry Vanegas Angarita

Dr. Carlos Ernesto Molina

A los Ingenieros Agrónomos:

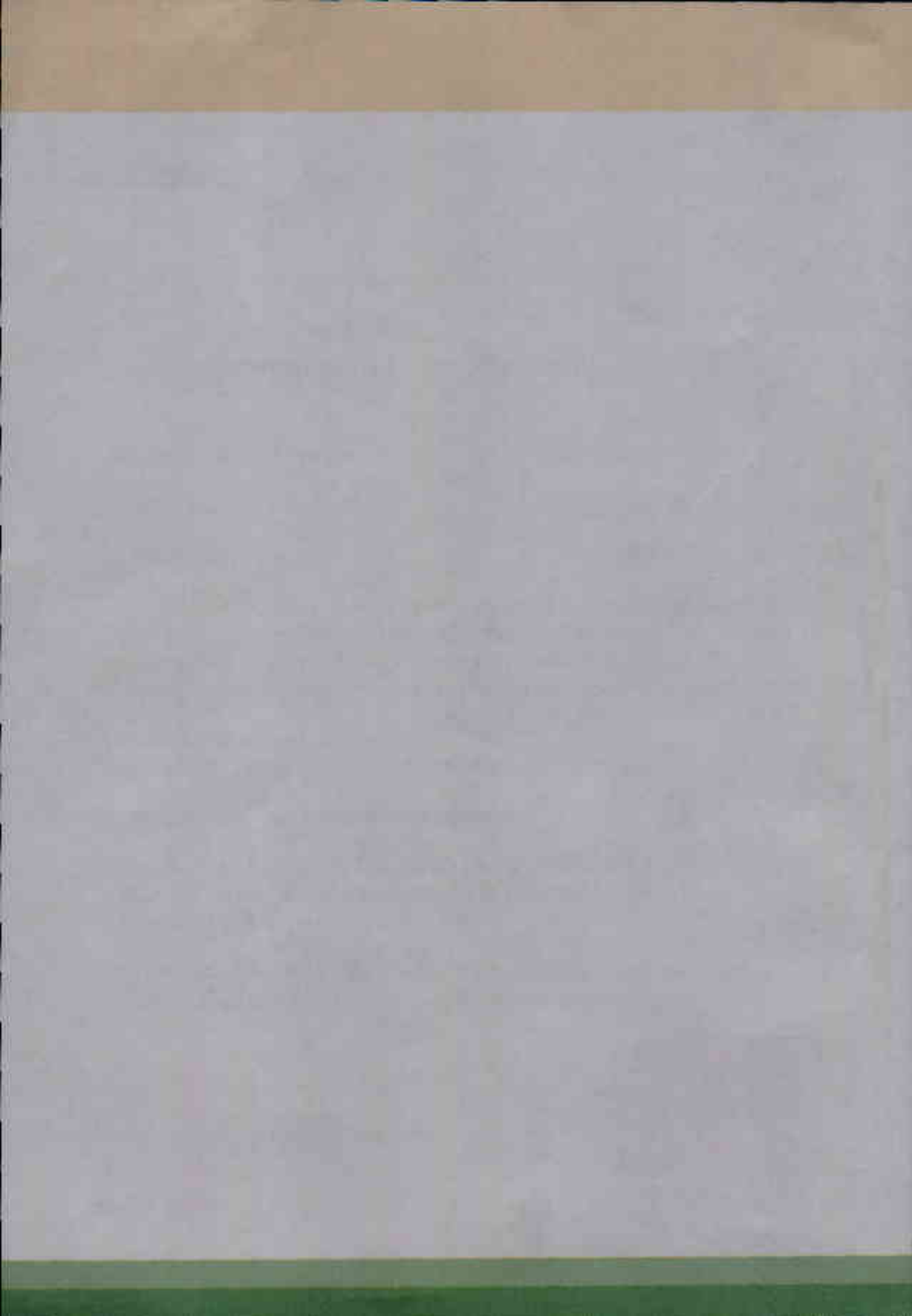
Hugo Delgado, Pluvio Otero, Jonny Ebratt, Gustavo Lemos, José Gabriel Ospina, Carlos Peluha, Carmen Julio Duarte, David Iriarte, Hernando Sabogal, Manuel Ortega, Omar Castro y Jesús Muriel quienes ejecutaron el desarrollo de los ensayos de investigación en campo.

*Al Fondo Nacional Cerealista
por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto.*

Al International Plant Nutrition Institute.

*A Alexandra Gaitán, Catalina Gómez, Sandra Paredes y
Herman Mantilla y al personal administrativo de FENALCE
que apoyó el desarrollo del Proyecto.*

*A todos los colaboradores que directa o indirectamente aportaron
ideas en la elaboración y desarrollo del proyecto.*



CONTENIDO

PRESENTACIÓN	13
1. GENERALIDADES DE LOS MACRO, MESO Y MICRONUTRIENTES EN LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ	15
1.1 NITRÓGENO	15
1.2 FÓSFORO	16
1.3 POTASIO	17
1.4 AZUFRE	17
1.5 MAGNESIO	18
1.6 MICRONUTRIENTES	18
1.6.1 BORO	18
1.6.2 COBRE	19
1.6.3 HIERRO	19
1.6.4 MANGANESO	20
1.6.5 ZINC	20
2. PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN	21
2.1 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO	21
2.2 EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ	23
2.3 EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL MAÍZ	24
2.4 EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE POTASIO EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ	25
2.5 EFECTO DE LA FUENTE DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL MAÍZ	27
2.6 EFECTO DE LA DENSIDAD Y EL ESPACIO ENTRE SURCOS EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DEL MAÍZ	29
2.7 EFECTO DE EL USO DE UREA ENTEC EN LA REDUCCIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS TOTAL DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DEL MAÍZ	30
2.8 EFECTO DE FUENTES Y EL FRACCIONAMIENTO DE POTASIO EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL MAÍZ	31
2.9 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE AZUFRE, ZINC Y BORO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL VALLE DEL CAUCA Y TOLIMA	32
2.10 MASTER SITE	33
3. BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA	35
4. RESULTADOS	37
4.1 REGIÓN CARIBE: CÓRDOBA, SUCRE, BOLÍVAR, CESAR Y GUAJIRA	37
4.1.1 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO	38
4.1.2 EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD	41
4.1.3 EFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN	42
4.1.4 EFECTO DE EL USO DE UREA ENTEC EN LA REDUCCIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS TOTAL DE NITRÓGENO	44

4.1.5	EFFECTO DE LA FUENTE Y LA DOSIS DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN	46
4.1.6	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO DE POTASIO EN LA PRODUCCIÓN	48
4.1.7	EFFECTO DE LA DENSIDAD Y EL ESPACIO ENTRE SURCOS EN LA PRODUCTIVIDAD	51
4.1.8	DETERMINACIÓN DE BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA	52
4.1.9	CONCLUSIONES	53
4.2	VALLE ALTO Y MEDIO DEL MAGDALENA: HUILA, TOLIMA, SANTANDER	54
4.2.1	DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO	55
4.2.2	EFFECTO DE LA FUENTE DE NITRÓGENO	59
4.2.3	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE NITRÓGENO	60
4.2.4	EFFECTO DE EL USO DE UREA ENTEC EN LA REDUCCIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS TOTAL DE NITRÓGENO	61
4.2.5	EFFECTO DE LA FUENTE Y LA DOSIS DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN	62
4.2.6	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO DE POTASIO EN LA PRODUCCIÓN	64
4.2.7	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO, LA DOSIS Y LA FUENTE DE POTASIO	66
4.2.8	EFFECTO DE LA DENSIDAD Y EL ESPACIO ENTRE SURCOS EN HUILA Y TOLIMA	68
4.2.9	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MAGNESIO, AZUFRE Y ZINC	70
4.2.10	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE AZUFRE, ZINC Y BORO	71
4.2.11	DETERMINACIÓN DE BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA	72
4.2.12	CONCLUSIONES	73
4.3	VALLE DEL CAUCA	75
4.3.1	DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO.	76
4.3.2	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE NITRÓGENO	80
4.3.3	EFFECTO DE EL USO DE UREA ENTEC EN LA REDUCCIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS TOTAL DE NITRÓGENO	82
4.3.4	EFFECTO DE LA FUENTE Y LA DOSIS DE FÓSFORO	83
4.3.5	EFFECTO DE LA FUENTE DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN	84
4.3.6	EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE POTASIO	86
4.3.7	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE AZUFRE, ZINC Y BORO	87
4.3.8	MASTER SITE	88
4.3.9	DETERMINACIÓN DE BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA	91
4.3.10	CONCLUSIONES	92
4.4	REGIÓN ANDINA ANTIOQUIA - CUNDINAMARCA - NARIÑO	93
4.4.1	DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO	94
4.4.2	EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO	96
4.4.3	EFFECTO DE EL USO DE UREA ENTEC EN LA REDUCCIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS TOTAL DE NITRÓGENO	97
4.4.4	EFFECTO DE LA FUENTE DE Y DOSIS DE FÓSFORO	98
4.4.5	EFFECTO DE LA DENSIDAD Y EL ESPACIO ENTRE SURCOS	100
4.4.6	EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO	102
4.4.7	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE NITRÓGENO	102
4.4.8	DETERMINACIÓN DE BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA	104
4.4.9	CONCLUSIONES	104
4.5	REGIÓN DEL ARIARI - META	106
4.5.1	DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO.	107
4.5.2	EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO Y LA FUENTE DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD	108
4.5.3	EFFECTO DE EL USO DE UREA ENTEC EN LA REDUCCIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS TOTAL DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DEL MAÍZ	110

4.5.4	EFFECTO DE LA FUENTE Y LA DOSIS DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL MAÍZ	110
4.5.5	EFFECTO DE EL FRACCIONAMIENTO, DOSIS Y FUENTES DE POTASIO EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL MAÍZ	112
4.5.6	DETERMINACIÓN BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA	114
4.5.7	CONCLUSIONES	114
4.6	ZONA CAFETERA	115
4.6.1	DETERMINACIÓN DEL APOORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO. ..	116
4.6.2	DETERMINACIÓN DE BRECHAS DE RENDIMIENTO	119
5.	CONCLUSIONES GENERALES	121
	BIBLIOGRAFÍA	123

TABLAS

Tabla 1.	Parcelas de omisión y dosis de nutrientes utilizadas en diferentes localidades.....	22
Tabla 2.	Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha ⁻¹) Fósforo (90 Kg.ha ⁻¹) Potasio (100 Kg.ha ⁻¹) y Magnesio (44 Kg.ha ⁻¹).	39
Tabla 3.	Respuesta obtenida (Ton ha ⁻¹) a la adición de nutrientes.	39
Tabla 4.	Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido) en el Caribe colombiano.....	40
Tabla 5.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida en el Caribe colombiano.	40
Tabla 6.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en el Caribe colombiano.	41
Tabla 7.	Dosis recomendada por nutriente para diferentes regiones en el Caribe colombiano.	41
Tabla 8.	Brecha ecológica y tecnológica (Kg.ha ⁻¹) en diferentes localidades del Caribe colombiano.	52
Tabla 9.	Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha ⁻¹) Fósforo (90 Kg.ha ⁻¹) Potasio (100 Kg.ha ⁻¹) y Magnesio (44 Kg.ha ⁻¹)	56
Tabla 10.	Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido)	56
Tabla 11.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida en el Valle Alto y Medio del Magdalena	57
Tabla 12.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en el Valle Alto y Medio del Magdalena.	58
Tabla 13.	Dosis recomendada por nutriente para diferentes regiones en el Valle Alto y Medio del Magdalena.	58
Tabla 14.	Brecha ecológica y tecnológica (Kg.ha ⁻¹) en diferentes localidades del Valle Alto y Medio del Magdalena.	73
Tabla 15.	Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha ⁻¹) Fósforo (90 Kg.ha ⁻¹) Potasio (100 Kg.ha ⁻¹) Magnesio (44 Kg.ha ⁻¹).	77
Tabla 16.	Respuesta obtenida (Ton ha ⁻¹) a la adición de nutrientes en el Valle del Cauca.	77
Tabla 17.	Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido).....	77
Tabla 19.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.....	78
Tabla 18.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida.....	78

Tabla 20.	Dosis recomendada por nutriente para diferentes localidades del Valle del Cauca.	79
Tabla 21.	Brecha ecológica y tecnológica en diferentes localidades del Valle del Cauca.	91
Tabla 22.	Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha^{-1}) Fósforo (90 Kg.ha^{-1}) Potasio (100 Kg.ha^{-1}) Magnesio (44 Kg.ha^{-1})	94
Tabla 23.	Respuesta obtenida (Ton ha^{-1}) a la adición de nutrientes	95
Tabla 24.	Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido).	95
Tabla 25.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida.	95
Tabla 26.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.	96
Tabla 27.	Dosis recomendada por nutriente para Sopetrán	96
Tabla 28.	Brecha ecológica y tecnológica en diferentes localidades de la Zona Andina.	104
Tabla 29.	Eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica, respuesta a la adición de nutrientes, nivel de extracción e índice de cosecha en Granada, Meta.	107
Tabla 30.	Dosis recomendada por nutriente para Granada - Meta	108
Tabla 31.	Brecha ecológica y tecnológica en Granada - Meta.	114
Tabla 32.	Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha^{-1}) Fósforo (90 Kg.ha^{-1}) Potasio (100 Kg.ha^{-1}) Magnesio (44 Kg.ha^{-1})	116
Tabla 33.	Respuesta obtenida (Ton ha^{-1}) a la adición de nutrientes	117
Tabla 34.	Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido).	117
Tabla 35.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida.	118
Tabla 36.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.	118
Tabla 37.	Dosis recomendada por nutriente para diferentes regiones.	118

FIGURAS

Figura 1.	Rendimiento (ton.ha ⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Caribe colombiano.	38
Figura 2.	Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en diferentes localidades.	42
Figura 3.	Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad en cuatro localidades.	43
Figura 4.	Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad en cuatro localidades.	44
Figura 5.	Efecto del uso de Úrea Entec en el rendimiento en diferentes localidades del Caribe colombiano.	45
Figura 6.	Efecto de la fuente de fósforo en la productividad.	46
Figura 7.	Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.	47
Figura 8.	Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.	47
Figura 9.	Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad.	49
Figura 10.	Efecto de la dosis de potasio en la productividad.	49
Figura 11.	Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad.	50
Figura 12.	Efecto de la dosis de potasio en la productividad.	50
Figura 13.	Efecto del espacio entre surcos en dos localidades.	51
Figura 14.	Rendimiento (ton.ha ⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Valle Alto y Medio del Magdalena.	55
Figura 15.	Efecto de la dosis de fuente de nitrógeno en la productividad.	59
Figura 17.	Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad.	60
Figura 18.	Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad.	61
Figura 19.	Efecto de la Úrea ENTEC en la productividad.	62
Figura 20.	Efecto de las fuentes de fósforo en la productividad.	62
Figura 21.	Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.	63
Figura 22.	Efecto de la interacción fuente por dosis de fósforo en la productividad en Campoalegre (Huila)	64
Figura 23.	Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad en Campoalegre (Huila).	65

Figura 24.	Efecto de la dosis de potasio en la productividad.	65
Figura 25.	Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad.	66
Figura 26.	Efecto de la dosis de potasio en la productividad.	67
Figura 27.	Efecto de la fuente de potasio en la productividad.	67
Figura 28.	Efecto de la fuente de potasio en la productividad.	68
Figura 29.	Efecto de la densidad en arreglo de surcos dobles, en tres localidades del Alto Magdalena.	69
Figura 30.	Efecto de los arreglos espaciales en tres localidades del Alto Magdalena.	69
Figura 31.	Efecto de la aplicación de magnesio y azufre en la productividad.	70
Figura 32.	Efecto de la aplicación de azufre, magnesio y zinc en la productividad.	71
Figura 33.	Efecto de la aplicación de Azufre, Zinc y Boro en el Departamento de Tolima.	72
Figura 34.	Rendimiento (ton.ha ⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Valle del Cauca.	76
Figura 35.	Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad en dos localidades del Valle del Cauca. Letras.	80
Figura 36.	Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades del Valle del Cauca.	81
Figura 37.	Efecto de la Úrea ENTEC en la productividad.	82
Figura 38.	Efecto de diferentes fuentes de fósforo en la productividad.	83
Figura 39.	Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.	84
Figura 40.	Efecto de la fuente de fósforo en la productividad.	85
Figura 41.	Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.	85
Figura 42.	Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad.	86
Figura 43.	Efecto de la dosis de potasio en la productividad.	86
Figura 44.	Efecto de la aplicación de Azufre, Zinc y Boro en Buga - Valle del Cauca.	88
Figura 45.	Efecto de la aplicación de nitrógeno en dos tipos de manejo del cultivo intenso y agricultor en Buga - Valle del Cauca.	90
Figura 46.	Rendimiento (ton.ha ⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos.	94

Figura 47.	Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	97
Figura 48.	Efecto de la aplicación de Úrea ENTEC en dos regiones productoras de maíz. ...	98
Figura 49.	Efecto de la fuente de fósforo en la producción.....	99
Figura 50.	Efecto de la dosis de fósforo en la producción.....	99
Figura 51.	Efecto de la densidad en la productividad.....	100
Figura 52.	Efecto del espacio entre surcos en la productividad	101
Figura 53.	Efecto de la interacción densidad de siembra por espacio entre surcos en la productividad.....	101
Figura 54.	Efecto del fraccionamiento fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades de Nariño.	102
Figura 55.	Efecto del fraccionamiento fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades de Nariño.	103
Figura 56.	Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades de Nariño.	103
Figura 57.	Rendimiento (ton.ha ⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos	107
Figura 58.	Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en la producción.	109
Figura 59.	Efecto de la fuente de Nitrógeno en la producción.	109
Figura 60.	Efecto de la aplicación de Úrea ENTEC en la producción.	110
Figura 61.	Efecto de la aplicación de fuentes de fósforo en la producción.....	111
Figura 62.	Efecto de la aplicación de dosis de fósforo en la producción.....	111
Figura 63.	Efecto del fraccionamiento de potasio en la producción.	112
Figura 64.	Efecto de la dosis de potasio en la producción.....	113
Figura 65.	Efecto de la fuente de potasio en la producción.	113
Figura 66.	Rendimiento (ton.ha ⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en la Zona Cafetera colombiana.	116

PRESENTACIÓN

La Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – FENALCE y el Fondo Nacional Cerealista, con el objeto de mejorar la información a los productores y técnicos, tienen como una de sus múltiples funciones la publicación de información actualizada proveniente de los resultados de la investigación desarrollada en las diferentes regionales a nivel nacional, que busca el mejoramiento de la productividad, la rentabilidad y la calidad de la producción agrícola.

Los fertilizantes que son necesarios para cubrir parte de la nutrición del cultivo de maíz alcanzan alta participación en los costos de producción. Su utilización en forma racional produce efectos favorables y esenciales para la fertilidad del suelo, el rendimiento y calidad de las cosechas, al aportar los elementos necesarios para el metabolismo vegetal.

En una agricultura moderna, productiva y respetuosa en todas las condiciones medioambientales, es necesario establecer el balance adecuado de nutrientes, analizando entre otros aspectos las necesidades de la planta, las características del suelo, las condiciones agro-climáticas, las deposiciones atmosféricas, etc. todo lo anterior para obtener como resultado una dosis óptima de fertilizante, garantizando una nutrición adecuada.

La información de las investigaciones se ha organizado por regiones agroecológicas, de forma que cada vez se tengan informaciones de mayor precisión para las diferentes zonas productoras de maíz. De la misma forma se han establecido las brechas tecnológicas desde el punto de vista nutricional y por los principales elementos, información que permitirá plantear las inversiones a realizar en fertilizantes.

FENALCE hace entrega de este trabajo en espera que sirva como material de consulta, para quienes tienen la responsabilidad de realizar una gestión adecuada de explotaciones rentables y sostenibles.

Henry Vanegas Angarita
GERENTE DE FENALCE

1. GENERALIDADES DE LOS MACRO, MESO Y MICRONUTRIENTES EN LA NUTRICION DEL CULTIVO DE MAÍZ

1.1 Nitrógeno

El maíz requiere entre 20 y 25 kg.ha⁻¹ de nitrógeno (N) por cada tonelada de grano producida. La oferta del terreno (nitrógeno en el suelo + N del fertilizante) deberá satisfacer esa necesidad para mantener el sistema en equilibrio nutricional. Sin embargo, las diferencias entre las cantidades de N en el suelo y las absorbidas por el cultivo son determinadas por la eficiencia de absorción, que varían según se considere el N presente en el suelo a la siembra, el N mineralizado durante el cultivo y el N aportado como fertilizantes.

Ensayos realizados en diferentes regiones de Colombia indican que para maximizar los rendimientos del cultivo, la oferta de nitrógeno deberá ser del orden de 120 a 170 kg.ha⁻¹. Sin embargo, estos rangos de nitrógeno presentan variaciones regionales, definidas por el potencial de rendimiento. En sistemas más intensivos, bajo riego y de mayor desarrollo tecnológico los rendimientos potenciales serán mayores y por ello la oferta de nitrógeno para cubrir la demanda del cultivo será superior. Esta oferta corresponde a la suma del nitrógeno asimilable presente al momento de la siembra, más el nitrógeno aportado por los fertilizantes y varía de acuerdo con las condiciones climáticas y de suelo, que a través de las variaciones de humedad y temperatura modifican la velocidad de nitrificación.

Las posibles pérdidas del nitrógeno aplicado son contempladas en la eficiencia de uso, la cual normalmente oscila alrededor del 50%, con máximos de 70%, si se aplica durante los momentos de máxima capacidad de absorción, en dosis no excesivas, proporcionales a su uso y con fuentes de bajo potencial de volatilización, como amoníaco.

El maíz comienza su mayor consumo de nitrógeno alrededor de las seis hojas completamente expandidas (V-6), por lo que durante esta etapa fenológica, el cultivo debe de disponer de una oferta de nitrógeno adecuada

para satisfacer su demanda de crecimiento. Por esta razón, es recomendable la aplicación fraccionada del nutriente, donde se garantice una gran parte de la necesidad total de nitrógeno a la siembra, repartiendo la cantidad de nitrógeno restante según las condiciones climáticas.

Una recomendación en este sentido es fraccionar la aplicación en dos o tres veces, pero aplicando, si no se hace a la siembra, la mayor proporción del N en estadios muy tempranos hasta 6 ó 10 hojas (V6 – V10), estas aplicaciones deben considerar los aspectos operativos, agronómicos y económicos.

1.2 Fósforo

A diferencia de lo que ocurre con el nitrógeno, al abordar la fertilización fosforada en maíz hay que considerar que el funcionamiento del fósforo (P) en el sistema suelo-planta es totalmente diferente al del nitrógeno. Desde el punto de vista del manejo nutricional, el principal aspecto a considerar es su baja movilidad en el suelo, debido a que lo hace principalmente por difusión, y la presencia de retención específica de los fosfatos en las arcillas, cuya magnitud depende de la cantidad y mineralogía de esta fracción. Por otro lado, el pH es un factor que impacta considerablemente sobre la disponibilidad de fósforo. La mayor disponibilidad ocurre con pH's entre 5.5 y 6.5, mientras que valores fuera de este rango su concentración en la solución del suelo se reduce significativamente.

La baja movilidad del fósforo (P) permite independizar en parte el efecto del clima (lluvias) sobre la dinámica del nutriente en el suelo, siendo las pérdidas por lavado y escorrentía mínimas desde el punto de vista práctico, siempre y cuando no haya erosión hídrica. Esto determina que exista residualidad del efecto de la fertilización, es decir parte del fósforo aplicado queda disponible para próximos cultivos de la rotación.

La determinación de la dosis de fósforo aplicada dependerá principalmente del nivel de disponibilidad y secundariamente de otros factores, como potencial de rendimiento, método y época de aplicación, cultivos de rotación entre otros. La necesidad de disponibilidad del fósforo durante los estadios iniciales determina que el momento de aplicación de los fertilizantes fosfatados deba ser junto con la siembra, aplicándolo en bandas, y preferentemente por debajo y al costado de la línea de siembra.

1.3 Potasio

El K en la fisiología de las plantas actúa a nivel del proceso de la fotosíntesis, en la translocación de fotosintatos, síntesis de proteínas, activación de enzimas claves para varias funciones bioquímicas, entre otras. Una buena nutrición potásica aumenta la resistencia a condiciones adversas como sequías o presencia de enfermedades.

En la fertilización balanceada el potasio es importante en el incremento de la eficiencia del uso del nitrógeno por el sinergismo entre estos dos nutrientes; al usar dosis altas de nitrógeno generalmente se incrementa significativamente el mayor rendimiento de maíz cuando se utiliza potasio mostrando la interacción positiva.

En investigaciones realizadas se ha demostrado que al mantener una adecuada cantidad de potasio en la planta, ésta soportará mejor el estrés ocasionado por factores tales como sequía, altas temperaturas, enfermedades, etc. Además, la fertilización balanceada con nutrientes como el Mg y el S son claves para que la planta logre la mayor eficiencia del uso del agua, asegurando un mejor acceso a la cantidad apropiada de nutrientes indispensable para lograr un óptimo desarrollo.

La tendencia es utilizar el potasio junto con el nitrógeno, fraccionar el potasio y aplicar la mayor parte de éste cuando la planta de maíz más lo demanda (V6).

1.4 Azufre

En los últimos años se han presentado numerosas evidencias que demuestran aumentos de rendimiento por el uso de azufre como fertilizante. Estas respuestas son más frecuentes en lotes con alto potencial de rendimiento y que presentan respuestas importantes a nitrógeno y fósforo. Es posible inferir mayores posibilidades de respuesta con valores bajos, menores a 5 ppm, así como en suelos degradados, con baja materia orgánica (MO) o con textura gruesa.

La magnitud de las respuestas dependerá de la fertilidad del suelo y dosis utilizada. En términos generales, su aplicación cubre el costo del fertilizante aplicado. Las respuestas son del orden de los 10 - 12 Kg de maíz por ha⁻¹ por Kg de S adicionado.

1.5 Magnesio

El Magnesio desempeña funciones muy importantes en los vegetales. Integra la molécula de la clorofila, participa en la síntesis de proteínas e interviene en la transferencia de energía a través de diferentes procesos bioquímicos que ocurren en los vegetales como la fotosíntesis, la glucólisis, el ciclo de Krebs y la respiración, entre otros.

El requerimiento de magnesio (Mg) para un óptimo crecimiento de los cultivos es de un 0.15 - 0.35% del peso seco de las partes vegetativas. El Mg es absorbido por las plantas desde la solución del suelo en forma de catión y como el calcio, es suministrado a las raíces de las plantas por flujo de masas o por difusión. Las variedades y especies de plantas difieren de sus requerimientos de Mg.

En general, el maíz tiene alta respuesta a la aplicación de magnesio, altas dosis de fertilizantes con potasio (K) o amonio pueden deprimir el nivel de Mg en los tejidos vegetales. Por ejemplo, el contenido de Mg de las plantas jóvenes en maíz se reduce notablemente cuando se aplica más amonio que nitratos.

1.6 Micronutrientes

En predios de alta producción y con aplicaciones de altas dosis de N, P y S otros nutrientes requeridos en menor cantidad pueden surgir como limitantes. En general los suelos muestran contenidos medios a bajos de Zn y B y algunos estudios muestran respuestas a la adición de los mismos en dosis bajas (1 a 2 Kg.ha⁻¹); no obstante se requiere intensificar estudios para elaborar métodos de diagnóstico y ajuste de las prácticas de nutrición.

1.6.1 Boro

El boro en el suelo está íntimamente ligado a la materia orgánica, por lo cual su deficiencia en plantas de maíz es probable observarla en suelos con niveles bajos de esta.

La deficiencia se reconoce al observar entre las venas de las hojas jóvenes pequeños puntos de color amarillo o blanco, estos puntos pueden

cohalecer y formar grandes zonas blancas. La distancia entre nudos se ve afectada y la planta toma apariencia arbustiva. Cuando las deficiencias de boro son excesivas, las mazorcas son pequeñas, delgadas, con muy pocos granos y en algunos casos se pueden deformar.

1.6.2 Cobre

Las plantas contienen 2,500 veces menos Cu que N y aún así el Cu es tan necesario para el crecimiento como lo es el N. Las plantas necesitan el Cu para completar su ciclo de vida, es decir para producir semillas viables. La fotosíntesis, la producción de hidratos de carbono a partir de luz solar, aire y agua, es uno de los procesos químicos más importantes en el mundo. Es la única forma de aportar energía al mundo viviente. Sin Cu, no habría fotosíntesis ya que este nutriente es necesario para la formación de clorofila, el material que le da su color verde a las plantas y les permite absorber la luz solar utilizada durante la fotosíntesis.

La aplicación al suelo es la forma más común de corregir la deficiencia de Cu. La dosis de aplicación varía de 2.2 a 16 kg/ha suelos minerales y de 11 a 50 kg/ha suelos orgánicos. Debido a la baja movilidad de Cu en el suelo, la aplicación al voleo con incorporación es generalmente el método más efectivo. Aplicaciones foliares son efectivas para corregir las deficiencias, pero su uso es generalmente restringido a tratamientos de emergencia.

Las deficiencias de cobre se han observado en suelos con regímenes lluviosos elevados o en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico. Los síntomas de deficiencia se observan primero en el cogollo (explicado por su baja translocación dentro de la planta), seguido por un amarillamiento de las hojas más jóvenes, las cuales emergen enroscadas y las márgenes y la punta de la hoja pueden necrosarse y morir.

1.6.3 Hierro

El factor que más limita la absorción de hierro por parte de las plantas es el pH, siendo menos disponible a medida que este aumenta. Las deficiencias de hierro son más fácilmente observables en suelos con niveles de pH iguales o superiores a 7.3. Si el síntoma es muy drástico o generalizado,

se pueden hacer aplicaciones edáficas de fertilizantes quelatados con los cuales se pueden obtener muy buenos resultados.

Los síntomas de deficiencia de hierro se observan como una clorosis intervenal en las hojas jóvenes. A medida que la deficiencia se hace más severa, estas hojas pueden tornarse completamente blancas y la clorosis intervenal se observa en hojas maduras.

1.6.4 Manganeso

El Manganeso tiene funciones en el sistema enzimático de la planta. Tiene un rol en varias reacciones metabólicas importantes incluyendo la conversión del nitrógeno en forma de nitratos, una forma que la planta puede utilizar. Además, participa en la fotosíntesis al ayudar a la síntesis de la clorofila. Debido a esta función, los síntomas de deficiencia de este micronutriente generalmente incluyen el amarillamiento o clorosis de la hoja.

El Mn no es traslocado dentro de la planta por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en hojas jóvenes. La deficiencia ocurre con mayor frecuencia en suelos con altos niveles de materia orgánica, en suelos con pH neutro a alcalino, y en aquellos suelos que son naturalmente deficientes en contenido de Mn.

1.6.5 Zinc

Su función principal es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. La deficiencia se asocia con la presencia de suelos arenosos de baja CIC y dosis elevadas de fertilizante fosforado debido a que se presenta un antagonismo a nivel de superficie radicular con este elemento. Se identifica por la aparición de bandas longitudinales blanquecinas. En casos severos, pueden aparecer plantas más pequeñas, entrenudos cortos y agrupamiento de hojas formando una roseta en la porción terminal.

El cultivo de maíz presenta requerimientos totales de Zn que casi duplican al de otros cultivos, es la especie que ha mostrado con mayor frecuencia respuestas positivas a su aplicación.

2. PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

Los trabajos de investigación realizados bajo la estrategia para lograr eficiencia en la fertilización del maíz y que dan origen a los resultados de la presente publicación se describen a continuación:

2.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

El MNSE (Manejo de nutrientes por sitio específico) 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:

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. Determinación del aporte de nutrimentos 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.

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.

En cada sitio seleccionado se establecieron los tratamientos: parcelas de omisión, para determinar el suplemento de nutrimentos nativo del suelo (N, P, K, S y Mg), parcela de fertilización completa (+N, +P, +K, +S, +Mg, +Zn) y una parcela con el manejo normal del agricultor (Tabla 1).

Tabla 1. Parcelas de omisión y dosis de nutrientes utilizadas en diferentes localidades.

Parcela	Descripción	DOSIS				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
Omisión N	PKSMg	0	90	120	44	36
Omisión P	NKSMg	200	0	120	44	36
Omisión K	NPSMg	200	90	0	44	36
Omisión S	NPKMg	200	90	120	0	36
Omisión Mg	NPKS	200	90	120	44	0
Completa	NPKSMg	200	90	120	44	36
Agricultor		120	30	30		

2.2 Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de maíz

Con el objetivo de incrementar la eficiencia de nitrógeno a nivel nacional se evaluó el efecto de diferentes fraccionamientos de la dosis total de nitrógeno los cuales estuvieron basados en las etapas fisiológicas del cultivo.

Las fuentes de nitrógeno fueron fosfato diamónico (18-46-0) y Urea (46-0-0); la fuente de fósforo fue fosfato diamónico; las fuentes de potasio fueron cloruro de potasio (0-0-60) y sulpomag (0-0-22-18-22); y la fuente de magnesio y azufre fue sulpomag. La densidad de siembra fue de 65.000 plantas ha⁻¹. El 100% de la dosis de fósforo, potasio, magnesio y azufre fue aplicada en forma de banda incorporada al momento de la siembra. La dosis de nitrógeno fue fraccionada al momento de la siembra V0, en estado fisiológico V6 y en estado fisiológico V10 en proporciones diferentes de acuerdo al tratamiento. El diseño experimental fue tratamientos organizados en bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental tenía un área de 96 m² (8 surcos de quince metros de largo espaciados 80 cm).

El objetivo general de este ensayo fue determinar las etapas fisiológicas óptimas en el fraccionamiento de nitrógeno. Los objetivos específicos fueron: 1) Comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en dos o tres aplicaciones; 2) Comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno entre siembra, V6 ó V10; 3) Determinar el efecto del fraccionamiento en la productividad y en la relación beneficio costo del cultivo del maíz.

Los tratamientos evaluados fueron:

- Urea granulada 170 kg.ha⁻¹ de nitrógeno realizando dos fraccionamientos 50% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 50% en estado fisiológico V6 en forma de banda.
- Urea granulada 170 kg.ha⁻¹ de nitrógeno realizando dos fraccionamientos el 20% de la dosis total al momento de la siembra V0 en forma de banda incorporada y el restante 80% en estado fisiológico V6 en forma de banda.

- Úrea granulada 170 kg.ha^{-1} de nitrógeno aplicando triple fraccionamiento el 20% de la dosis al momento de la siembra V0 en forma de banda incorporada; 40% de la dosis al momento fisiológico V6 y el restante 40% al estado fisiológico V10.
- Úrea granulada 170 kg.ha^{-1} de nitrógeno hectárea aplicando triple fraccionamiento el 30% de la dosis al momento de la siembra V0 en forma de banda incorporada; 40% de la dosis al momento fisiológico V6 y el restante 30% al estado fisiológico V10.

La cosecha se realizó en los cuatro surcos centrales de cada parcela. Los datos fueron analizados separadamente por localidad utilizando el programa estadístico SAS. Análisis de varianza (SAS Proc mixed) fue utilizado para determinar diferencias entre tratamientos. Una probabilidad < 0.05 fue considerada como significativa.

2.3 Efecto del fraccionamiento y la fuente de nitrógeno en la producción del cultivo del maíz

Conociendo la respuesta del cultivo de maíz al fraccionamiento de nitrógeno se planteó el ensayo con el siguiente objetivo general de determinar las etapas fisiológicas óptimas en el fraccionamiento de nitrógeno por fuente de nitrógeno y como objetivos específicos se plantearon: Comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en dos o tres etapas por fuente de nitrógeno; comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en V0, V6 ó V10; y comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno por fuente de fertilizante nitrogenado.

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas. El área de la sub parcela fue de 32 m^2 (4 surcos espaciados 80 cm. por 10 metros de largo).

Los tratamientos principales fueron fraccionamiento de nitrógeno:

- 140 kg.ha^{-1} de nitrógeno fraccionado así: 100 % de la dosis de nitrógeno al momento de la siembra.
- 140 kg.ha^{-1} de nitrógeno fraccionado así: 20 % de la dosis de nitrógeno al momento de la siembra y el restante 80% al momento fisiológico V6.
- 140 kg.ha^{-1} de nitrógeno fraccionado así: 20% de la dosis de nitrógeno

al momento de la siembra, 40% al estado fisiológico V6 y el restante 40% al estado fisiológico V10.

Los sub tratamientos fueron las fuentes de fertilizante nitrogenado que se seleccionaron según la zona.

- Úrea granulada.
- Úrea ENTEC.
- Sulfamon 26.
- Nitramid.
- Nitrato de calcio.
- Nitrato de potasio.

La densidad de siembra fue de 65 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 60 Kg de K_2O ha^{-1} , 60 Kg. P_2O_5 ha^{-1} , magnesio a dosis de 50 kg. MgO ha^{-1} y azufre a dosis de 60 kg. S ha^{-1} . La fuente de potasio fue Sulpomag; en la sub parcela de nitrato de potasio se aplicó todo el potasio con esta fuente; la fuente de fósforo fue MicroEssentials; las fuentes de azufre fueron Sulfamon 26 y MicroEssentials; la fuente de magnesio fue Sulpomag. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicaron al momento de la siembra en forma de banda incorporada. El nitrógeno fue aplicado en forma de banda incorporada de acuerdo al tratamiento de fraccionamiento.

2.4 Efecto del fraccionamiento de potasio en el rendimiento del maíz

Convencionalmente en Colombia se realizan aplicaciones de K fraccionadas hasta etapas fisiológicas tardías como V10. Los objetivos del presente ensayo fueron: i) Determinar las etapas fisiológicas del maíz óptimas para el posible fraccionamiento del potasio; ii) Comparar el efecto de dos dosis de K y su fraccionamiento a diferentes etapas fisiológicas del maíz en la productividad del cultivo del maíz.

El diseño estadístico fue el parcelas sub divididas organizadas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue 80 m^2

(10 surcos de diez metros de largo espaciados 80 cm). Los tratamientos principales fueron los fraccionamientos de potasio:

- Fraccionamiento 100-0. Aplicando el 100% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada.
- Fraccionamiento 50-50. Aplicando el 50% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 50% a estado fisiológico V6 en forma de banda.
- Fraccionamiento 20-80. Aplicando el 20% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 80% a estado fisiológico V6 en forma de banda.
- Fraccionamiento 80-20. Aplicando el 80% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 20% a estado fisiológico V6 en forma de banda.
- Fraccionamiento 0-100. Aplicando el 100% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada

Los tratamientos de las sub parcelas fueron dos dosis de potasio (Cinco surcos de 10 m largo):

- 60 Kg de K_2O ha^{-1} .
- 90 Kg. de K_2O ha^{-1} .

La densidad de siembra fue de 65 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de nitrógeno de 140 kg ha^{-1} , 60 kg. P_2O_5 ha^{-1} , magnesio a dosis de 50 kg. MgO ha^{-1} y azufre a dosis de 60 kg. S ha^{-1} . Las fuentes de nitrógeno fueron MicroEssential y Úrea granulada, las fuentes de potasio fueron cloruro de potasio; y Sulpomag; la fuente de fósforo fue MicroEssentials; las fuentes de azufre fueron MicroEssential y Sulpomag; y la fuente de magnesio fue Sulpomag. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada. La dosis de nitrógeno se fraccionó en proporciones de 20-40-40 en estados fisiológicos V0, V6 y V10.

2.5 Efecto de la fuente de fósforo en la producción del cultivo del maíz

El P es un elemento esencial para los cultivos, promueve un rápido desarrollo radicular y aéreo. Durante el período reproductivo, es importante en la formación y el llenado de los granos. En el suelo se encuentra adsorbido o fijado a la fracción mineral y en menor medida, ligado a la fracción orgánica. El objetivo general de este trabajo fue determinar la mejor fuente comercial de fertilizante fosforado en la producción del cultivo del maíz y como objetivos específicos se plantearon: i) Comparar el efecto de las diferentes fuentes de fertilizantes fosforados en la producción del cultivo del maíz y ii) Comparar el efecto de dos dosis de fósforo en la producción del cultivo del maíz.

En los primeros ciclos el diseño estadístico fue de parcelas sub divididas arregladas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental tuvo un área de 128 m² (8 surcos de 20 metros de largo espaciados 80 cm.).

Los tratamientos principales fueron las fuentes de fertilizante fosforado se seleccionaron según la zona.

- Fosfato Monoamónico.
- Fosfato Di-amónico.
- MicroEssentials.
- Roca fosfórica.
- Fertilizante orgánico.
- Sin tratamiento fosfórico.

Los sub tratamientos fueron dos dosis de fósforo

- 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.
- 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

La densidad de siembra fue de 65 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 160 Kg. N ha⁻¹, 70 Kg. de K₂O ha⁻¹, magnesio a dosis de 40 Kg. MgO ha⁻¹ y azufre a dosis de 50 Kg. S ha⁻¹. La fuente de potasio fue Sulpomag y Cloruro de Potasio; las fuente de azufre

fueron Sulpomag y la fuente de magnesio fue Sulpomag. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada. El nitrógeno se aplicó en forma de banda incorporada fraccionado en estado V0, V6 y V10 en proporciones 20, 40, 40.

En el segundo ciclo de evaluación el diseño estadístico fue bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas arregladas con cuatro repeticiones. La unidad experimental tuvo un área de 64 m^2 (8 surcos de 10 metros de largo espaciados a 80 cm). El material genético usado será el de mayor importancia en la zona, sembrado a una densidad de 65 mil plantas por hectárea.

Los tratamientos principales fueron la fuente de fertilizante fosforado se seleccionaron según la zona.

- Fosfato Monoamónico.
- Fosfato Di-amónico.
- MicroEssentials.
- FosfiTeK.
- Phosplant.
- Phosexpres.
- Solufos 44.

Los sub tratamientos tres dosis de fósforo:

- 20 kg.ha^{-1} de P_2O_5 .
- 50 kg.ha^{-1} de P_2O_5 .
- 80 kg.ha^{-1} de P_2O_5 .

En todas las parcelas se realizó una fertilización base de $160 \text{ Kg. N ha}^{-1}$, $70 \text{ Kg. de K}_2\text{O ha}^{-1}$, magnesio a dosis de $25 \text{ kg. MgO ha}^{-1}$ y azufre a dosis de 33 kg. S ha^{-1} . La fuente de potasio fue Cloruro de Potasio, FosfiteK y Phosplant,; la fuente de azufre fue sulfato de magnesio y yeso, la fuente de magnesio se utilizó sulfato de magnesio. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada. El nitrógeno fue aplicado en forma de banda incorporada fraccionado en estados V0, V6 y V10 en proporciones 20, 40, 40% respectivamente.

2.6 Efecto de la densidad y el espacio entre surcos en la productividad del cultivo del maíz

Con el fin de incrementar la productividad del cultivo del maíz mediante la adopción de un mejor arreglo espacial de las plantas para las zonas productoras de maíz tecnificado se estableció este ensayo con los objetivos de: i) Establecer el mejor espaciamiento entre surcos y plantas; ii) Establecer dentro de dos densidades de plantas por hectárea el mejor espaciamiento entre surcos para cada una; iii) Determinar para cada región el mejor diseño de arreglo de plantas.

El diseño estadístico fue de parcelas divididas arregladas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental tuvo un área de 234 m² (15 m. de largo x 15.6 m. de ancho).

Los tratamientos principales fueron densidades de siembra

- 55000 plantas ha⁻¹
- 65000 plantas ha⁻¹

Los subtratamientos fueron la separación entre surcos pares:

- E1 20 cm (entre surcos pares) x 80 cm. entre surcos.
- E2 30 cm (entre surcos pares) x 80 cm. entre surcos.
- E3 40 cm (entre surcos pares) x 80 cm. entre surcos.
- E4 80 cm. entre surcos.

En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 180 Kg. de N ha⁻¹, 100 kg de K₂O ha⁻¹, 90 kg. P₂O₅ ha⁻¹, Magnesio a dosis de 50 kg. MgO ha⁻¹ y azufre a dosis de 60 kg. S ha⁻¹. La fuente de nitrógeno fue Úrea y MicroEsencial, como fuente de potasio se utilizaron cloruro de potasio y Sulpomag; la fuente de fósforo fue MicroEsencial; la fuente de azufre y magnesio utilizada fue Sulpomag. La dosis básicas de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicaron al momento de la siembra en forma de banda incorporada. La dosis de nitrógeno fue aplicada en triple fraccionamiento a los estados fisiológicos V0, V6 y V10 en proporciones de 20%, 40% y 40% de la dosis total.

2.7 Efecto de el uso de urea entec en la reducción del fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno en el cultivo del maíz

La adopción del triple fraccionamiento origina al agricultor un extra costo debido a que en el estado fisiológico V10 la única forma de aplicar nitrógeno es manual. Buscando minimizar este extra-costo FENALCE realizó ensayos evaluando la tecnología ENTEC la cual ha mostrado beneficios reduciendo las pérdidas de nitrógeno y por ende aumentando la eficiencia de absorción. Los objetivos fueron: i) Determinar los efectos del uso de Úrea ENTEC en la productividad de maíz; ii) Reducir el fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno pasando de 3 a 2 aplicaciones.

El diseño estadístico fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 96 m^2 (8 surcos de quince metros de largo espaciados 80 cm). Los tratamientos fueron:

- Úrea ENTEC : Su equivalente de 170 Kg. ha^{-1} de N realizando 2 aplicaciones 20% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 80% a estado fisiológico V6 en forma de banda.
- Úrea ENTEC: Su equivalente de 170 Kg. ha^{-1} de N aplicando el 100% al momento de la dosis al momento de la siembra en forma de banda incorporada.
- Úrea granulada : Su equivalente de 170 Kg. ha^{-1} de N aplicando el 20% de la dosis al momento de la siembra en forma de banda incorporada; 40% de la dosis al momento fisiológico V6 y el restante 40% al estado fisiológico V10.

La densidad de siembra fue de 65.000 mil plantas por hectárea. La fertilización base fue de $120 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$, $90 \text{ kg. P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, magnesio a dosis de $50 \text{ kg. MgO ha}^{-1}$ y azufre a dosis de 60 kg. S ha^{-1} . La fuente de potasio fue cloruro de potasio y Sulfomag; la fuente de fósforo fue Superfosfato Triple; la fuente de azufre y magnesio fue Sulfomag. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada.

2.8 Efecto de fuentes y el fraccionamiento de potasio en la producción del cultivo del maíz

En el cultivo de maíz, la respuesta a la fertilización con nitrógeno es generalizada. Sin embargo, en los últimos años por medio de la investigación se han observado incrementos en los rendimientos del cultivo de maíz por la aplicación de potasio. Por tal motivo se planteó este trabajo con el fin de: i) Determinar las etapas fisiológicas del maíz óptimas para el posible fraccionamiento del potasio; ii) Comparar el efecto del fraccionamiento de Potasio a diferentes etapas fisiológicas del maíz; iii) Comparar el efecto del fraccionamiento de Potasio a las etapas fisiológicas V0 y V6.

El diseño estadístico fue de parcelas sub divididas organizadas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 20 m² (5 surcos de 5 metros de largo espaciados 80 cm).

Los tratamientos principales son los fraccionamientos de potasio:

- Fraccionamiento 20-80. Aplicando el 20% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 80% a estado fisiológico V6 en forma de banda.
- Fraccionamiento 80-20. Aplicando el 80% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 20% a estado fisiológico V6 en forma de banda.

En las sub parcelas se evaluó tres dosis de potasio (Cinco surcos de 15m largo):

- 0 Kg de K₂O ha⁻¹
- 45 Kg de K₂O ha⁻¹
- 90 Kg. de K₂O ha⁻¹.

En las sub sub parcelas se evaluó tres fuentes de potasio (Cinco surcos de 5 m largo) seleccionadas según la zona.

- Sulfato de potasio.
- Cloruro de potasio.
- Korn Kali.
- Quimag K.

La densidad de siembra fue de 65 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 170 kg N ha⁻¹, 60 kg. P₂O₅ ha⁻¹, magnesio a dosis de 57 kg. MgO ha⁻¹ y azufre a dosis de 29 kg. S ha⁻¹. La fuente de fósforo fue fosfato diamónico, la fuente de azufre sulfato de potasio, sulfato de magnesio y yeso; y la fuente de magnesio fueron sulfato de magnesio y óxido de magnesio. La dosis básica de fósforo, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada. La dosis de nitrógeno se fraccionó en proporciones de 20%-40%-40% en estados fisiológicos V0, V6 y V10 y la dosis de potasio se fraccionó según los tratamientos en V0 y V6 respectivamente.

2.9 Efecto de la aplicación de azufre, zinc y boro en la producción de maíz en el valle del cauca y tolima

Muchos suelos del país dedicados a cultivos presentan grandes deficiencias de azufre (S) y zinc (Zn), lo que incide en la disminución de los rendimientos y una baja calidad de las cosechas. Teniendo en cuenta la creciente demanda de información sobre la respuesta a la fertilización con elementos secundarios y menores se planteó el siguiente ensayo con el fin de determinar la respuesta del cultivo a estos tres elementos se estableció este ensayo de investigación en dos regiones de Colombia. El objetivo general fue determinar el efecto de la adición de azufre, zinc y boro en el rendimiento (ton ha⁻¹) de maíz, como objetivos específicos se planteó: i) Determinar la respuesta del cultivo del maíz a la aplicación de *MicroEssentials ZB* (MESZB) en los departamentos de Valle del Cauca y Tolima.

La densidad de siembra fue de 65.000 mil plantas por hectárea. La fertilización fue de 170 Kg ha⁻¹ de N, 100 kg de K₂O ha⁻¹, 80 kg. P₂O₅ ha⁻¹, magnesio en dosis de 44 kg. MgO ha⁻¹ y azufre en dosis de 74 kg. S ha⁻¹, 2 Kg ha⁻¹ de Zn y 1.1 Kg ha⁻¹ de B. La fuente de potasio fue cloruro de potasio y Sulfomag; la fuente de fósforo fue superfosfato triple; la fuente de azufre y magnesio fue Sulfomag. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada.

Las fuentes de Nitrógeno fueron Úrea, sulfato de amonio, DAP, MicroEssentials SZ y MicroEssentials ZB; el fósforo se aportó con DAP, MicroEssentials SZ y MicroEssentials SZB; las fuentes de potasio fueron cloruro de potasio y K-mag; el azufre se suministró con K-mag, sulfato de amonio, sulfato de zinc, MicroEssentials SZ y MicroEssentials SZB, la fuente de magnesio fue K-mag; las fuentes de Zinc fueron Sulfato de Zinc, MicroEssentials SZ y MicroEssentials SZB y las fuentes de Boro fueron MicroEssentials SZB y Granubor.

En todas las parcelas se aplicó el fósforo al momento de la siembra, al igual que el B y/o el Zn en aquellos tratamientos que llevan estos elementos. El Potasio se fraccionó 50% en la siembra y 50% en V6, el nitrógeno se fraccionado 20% en la siembra, 40% en V6 y 40% en V10.

2.10 Master Site

El Global Maize dentro de la iniciativa global para la intensificación ecológica del Maíz, planteo el ensayo a nivel mundial con el objetivo general de comparar la productividad entre el manejo intenso y el de agricultor considerando la nutrición suficiente, balanceada y general de la zona. Los objetivos específicos fueron: i) Establecer la diferencia entre las aplicaciones de nitrógeno durante tres años de cultivo; ii) Comparar la nutrición balanceada con la general de la zona de estudio. iii) Comparar la población utilizada en el manejo intenso y la del agricultor de la región.

Los tratamientos fueron el tipo de manejo realizado y la dosis de nutrientes aplicados.

- Manejo Intenso (90000 plantas ha^{-1} ; Nutrición: 0 N; N 2/3 ciclos y N 3/3 ciclos).
- Manejo Agricultor (70000 plantas ha^{-1} ; Nutrición: 0 N; N 2/3 ciclos y N 3/3 ciclos).

En las parcelas de Manejo Intenso se aplicaron 200 Kg ha^{-1} de Nitrógeno, fósforo a dosis de 90 Kg ha^{-1} P_2O_5 , 90 Kg ha^{-1} de K_2O , 44 Kg ha^{-1} de MgO , 50 Kg ha^{-1} de S, Zinc 3 Kg ha^{-1} . En las parcelas de Manejo Agricultor se aplicó

la nutrición general de la zona, una dosis de Nitrógeno de 150 Kg ha^{-1} ; 46 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 , $60 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{K}_2\text{O}$ y 20 Kg de elementos menores.

Las fuentes de fertilizantes fueron Úrea, superfosfato triple, cloruro de potasio sulpomag, sulfato de zinc y una fuente de menores para el manejo de agricultor. Las dosis base de fósforo, potasio, magnesio, azufre y zinc se aplicó al momento de la siembra. El nitrógeno se fracciono en proporciones $20 - 40 - 40$ en V0, V6 y V10 respectivamente.

3. BRECHAS ECOLÓGICA Y TECNOLÓGICA

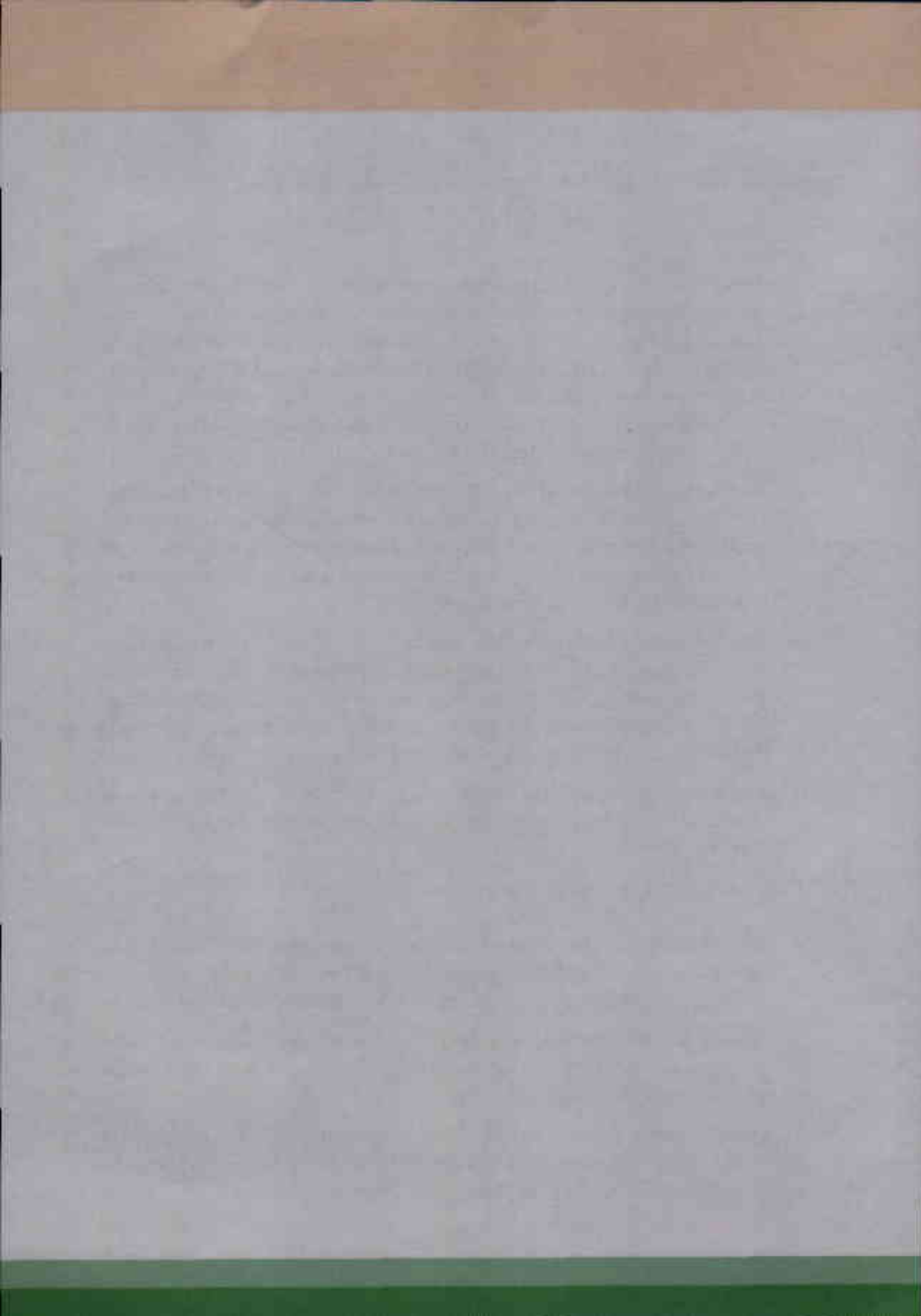
Las brechas de rendimiento son las diferencias entre los niveles teóricos del mismo, la diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento máximo alcanzable por los agricultores representa la brecha explorable para posibles incrementos en la productividad. A medida que los rendimientos de los agricultores se aproximan al rendimiento potencial, se dificulta lograr nuevos progresos, por lo que para conseguir ganancias en rendimiento es necesario realizar manejo integrado del suelo, cultivo, agua y nutrientes.

- **Rendimiento Potencial (Rp)** determinado por los factores definitorios (radiación, temperatura, genotipo), expresa el nivel de rendimiento máximo que se puede obtener con el genotipo sembrado mientras no existan limitaciones de agua o nutrientes ni efectos de malezas plagas o enfermedades (meta de rendimiento).
- **Rendimiento Alcanzable (Ra)** limitado por factores no controlables como disponibilidad de agua, expresa la proporción del rendimiento potencial que se puede obtener en condiciones normales de disponibilidad hídrica de la región y con un paquete tecnológico no limitante (adecuada disponibilidad de nitrógeno, protección fitosanitaria).
- **Rendimiento logrado (Rl)** expresa la proporción del Ra que se puede obtener cuando no se aplica una tecnología determinada (fertilización con N).

Con el conocimiento anterior se pueden definir dos clases de brechas:

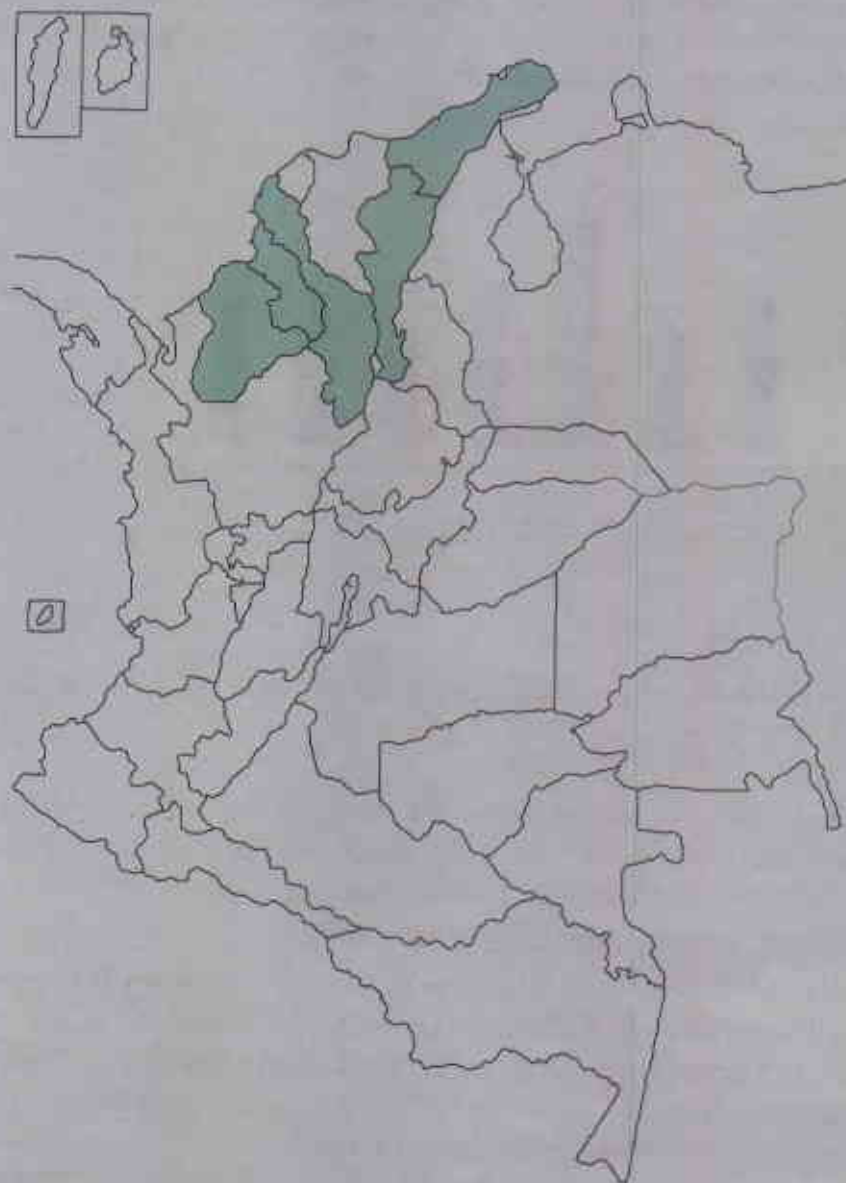
- **Brecha ecológica (Be)** en el rendimiento de una zona determinada es la diferencia entre el rendimiento potencial para esa zona y el rendimiento limitado por factores no controlables, como suelo o disponibilidad de agua.
- **Brecha tecnológica (Bt)** es la diferencia entre el rendimiento limitado por agua y el rendimiento logrado cuando no se aplica una tecnología determinada, por ejemplo Nitrógeno.

La cuantificación de las brechas abre la oportunidad de evaluar las diferencias y los márgenes de mejora esperables a partir de la incorporación de tecnología en diferentes regiones.



4. RESULTADOS

4.1 Región Caribe: Córdoba, Sucre, Bolívar, Cesar y Guajira



4.1.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

En los municipios del Caribe colombiano el elemento que más limitó la producción fue el nitrógeno, en la Figura 1 se observan los rendimientos obtenidos en las parcelas de omisión; los Municipios donde se nota una drástica disminución fueron principalmente Aguachica, Villa Nueva y Cañaverales. La omisión de los otros nutrientes no limita la producción drásticamente en las localidades evaluadas.

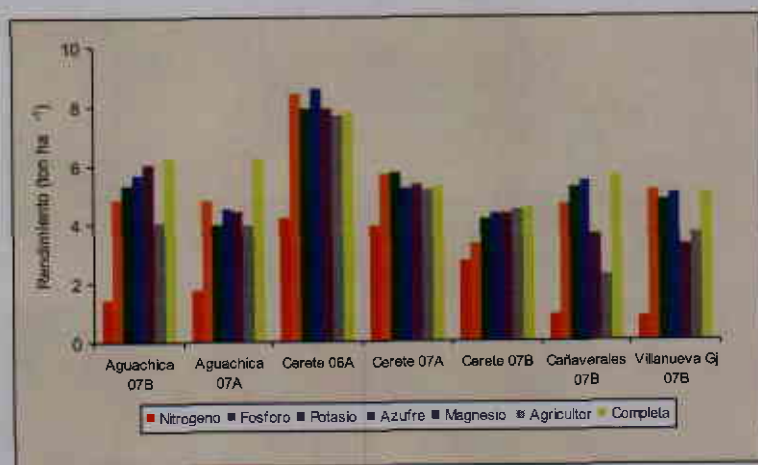


Figura 1. Rendimiento ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Caribe colombiano.

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas es posible calcular la eficiencia agronómica del cultivo: Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado. En la Tabla 2 se observan los valores observados de eficiencia agronómica en las regiones del Caribe.

El rango de la EA para Nitrógeno varía entre 6,5 – 24,0 y la respuesta a la aplicación de este nutriente varía entre 1.3 y 4.8 toneladas de grano por hectárea (Tablas 2 y 3). El promedio en la región Caribe de la eficiencia agronómica para fósforo fue de 9.0 y la respuesta a la aplicación fue en promedio de 0.8 toneladas por hectárea. La eficiencia agronómica del potasio fue en promedio de 5.6 y la respuesta a la aplicación del nutriente fue

Tabla 2. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha⁻¹) Fósforo (90 Kg.ha⁻¹) Potasio (100 Kg.ha⁻¹) y Magnesio (44 Kg.ha⁻¹).

Municipio	Kg. grano Kg. nutriente aplicado ⁻¹			
	N	P	K	Mg
Aguachica 07A	24,0	15,3	7,4	4,3
Aguachica 07B	22,2	15,6	18,4	40,1
Villa Nueva (Guajira)	21,0	0,0	1,9	40,0
Cañaverales	23,3	10,2	2,9	44,1
Cereté	8,9	13,4	3,0	3,3
Cereté	6,5	0,0	0,0	0,0
Promedio	17,6	9,0	5,6	21,9

Tabla 3. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Aguachica 07A	4,8	1,4	0,9	0,5	0,2
Aguachica 07B	4,4	1,4	2,2	1,6	1,8
Villa Nueva (Guajira)	4,2	0,0	0,2	0,0	1,8
Cañaverales	4,7	0,9	0,3	0,1	1,9
Cereté	1,8	1,2	0,4	0,1	0,1
Cereté	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Promedio	3,5	0,8	0,6	0,3	0,9

de 0.6 toneladas de grano. En magnesio se observan mayores valores de la EA, estos varían entre 3.3 y 44.1 en tanto que la respuesta a la aplicación del nutriente fue menor a 2 toneladas. Un análisis de eficiencia de uso de nutrientes enfatiza la respuesta del cultivo en cuanto a producción de grano por unidad de N absorbido en la planta, a esta relación la denominamos Eficiencia Fisiológica (EF) de Uso. La EF indica que para Nitrógeno en la región Caribe se producen entre 12,05 y 27,59 Kg de grano por Kg de nitrógeno absorbido. Los mayores valores se observan en la Guajira (27.59 y 25.80) y los menores en Córdoba (Cereté). Las EF son mayores en fósforo observándose un amplio rango de variación en las localidades (22,34 – 116,0). Para potasio los valores varían entre 24,04 y 77,22 Kg de grano por Kg de N absorbido, Tabla 4.

La extracción de nutrientes es la remoción que realizan los diferentes órganos de la planta durante su ciclo productivo. El conocimiento de esta

Tabla 4. Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido) en el Caribe colombiano.

Municipio	(Kg grano producido Kg. nutriente absorbido ⁻¹)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Aguachica 07A	17,61	116,00	40,03
Aguachica 07B	16,13	96,42	33,74
Villa Nueva (Guajira)	25,80	38,45	71,47
Cañaverales	27,59	28,34	77,22
Cereté	14,50	31,31	28,40
Cereté	12,05	22,34	24,04
Promedio	18,95	55,48	45,82

extracción es un requisito básico para establecer los programas de nutrición, especialmente cuando se aplica el criterio de la nutrición por restitución mediante el cual se trata de reponer al suelo los elementos removidos por el cultivo. Al observar el nivel de extracción de nutrientes en la Tabla 5, se aprecia que el elemento de mayor extracción es el Nitrógeno, seguido de Potasio y en menor cantidad se observa la extracción de fósforo, azufre y magnesio.

Tabla 5. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida en el Caribe colombiano.

Municipio	Kg. nutriente ton. maíz producida ⁻¹				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
Aguachica 07A	18,5	6,3	9,3	0,9	3,0
Aguachica 07B	24,3	6,2	12,6	2,0	2,7
Villa Nueva (Guajira)	12,9	2,9	17,4		2,1
Cañaverales	14,2	2,8	19,1		2,1
Cereté	27,9	5,0	16,1	1,2	3,1
Cereté	28,4	4,4	11,5	1,8	3,1
Promedio	21,0	4,6	14,3	1,5	2,7

Considerando que el Índice de Cosecha (IC) hace referencia a la cantidad de nutriente absorbido que está en el grano y en los residuos de cosecha en la Tabla 6, se observan los valores obtenidos en el Caribe colombiano. En promedio el IC total es de 0.44, es decir, que el 56% de la biomasa producida se retiene en los residuos de cosecha, esto implica que debe realizarse un manejo adecuado de residuos para a largo plazo contarlos como créditos de nutrientes. Los promedios del IC por nutriente son de 0.74 para Nitrógeno, 0.78 para Fósforo y 0.27 para Potasio, Tabla 6.

Tabla 6. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en el Caribe colombiano.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Aguachica 07A	0,46	0,74	0,82	0,37	0,61	0,54
Aguachica 07B	0,43	0,72	0,73	0,28	0,49	0,42
Villa Nueva (Guajira)	0,46	0,78	0,78	0,15		0,56
Cañaverales	0,44	0,77	0,78	0,14		0,46
Cereté	0,42	0,72	0,73	0,32	0,50	0,49
Cereté	0,44	0,71	0,81	0,36	0,45	0,53
Promedio	0,44	0,74	0,78	0,27	0,51	0,50

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 7. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 7. Dosis recomendada por nutriente para diferentes regiones en el Caribe colombiano.

Municipio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg. ha ⁻¹				
Aguachica					
Semestre A	154	78	70	26	35
Semestre B	144	88	57	21	40
Cereté	120	71	80	Rs	Rs
Villa Nueva (Guajira)	170	80	63	Rs	42
Cañaverales	170	70	80	Rs	40

Rs¹ = Dosis de Reposición basado en los niveles de extracción y el suplemento nativo

4.1.2 Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad

En la Figura 2 se observan los rendimientos en Ton ha⁻¹ obtenidos en estos ensayos en tres regiones productoras de maíz de la Región Caribe. En las localidades de evaluación al realizar el análisis estadístico en el año 2009 no se presentaron diferencias entre los tratamientos evaluados.

En San Jacinto - Bolívar, en el semestre 2008 B se presentaron diferencias estadísticas entre los fraccionamientos de nitrógeno (P=0.04), siendo

el triple fraccionamiento 20-40-40 quien obtuvo el mayor rendimiento con 6.99 ton.ha⁻¹. En la misma localidad en el semestre 2009 A se observo que el mayor rendimiento se obtuvo con el doble fraccionamiento 50 – 50 con un promedio de 7,42 ton.ha⁻¹ seguido de los triples fraccionamientos 20 – 40 – 40 y 30 – 40 – 40 con 6,89 y 6,63 ton.ha⁻¹ respectivamente, (P=0.05)

Para el Municipio de Manaure en el departamento del Cesar se observo que el mayor rendimiento en ton.ha⁻¹ se presento al fraccionar el nitrógeno en proporciones de 30 – 40 – 30 con una media de 10,86 ton.ha⁻¹, seguido del doble fraccionamiento 50 – 50 (10,65 ton.ha⁻¹), fraccionamiento 20 – 80 (9,66 ton.ha⁻¹) y fraccionamiento 20 – 40 – 40 (8,59 ton.ha⁻¹) (P=0.49).

En Colosó – Sucre no se presentan diferencias estadísticas entre tratamientos (P=0.82) observándose mayor promedio en el doble fraccionamiento 20 – 80 con un promedio de 3.32 toneladas de grano, Figura 2.

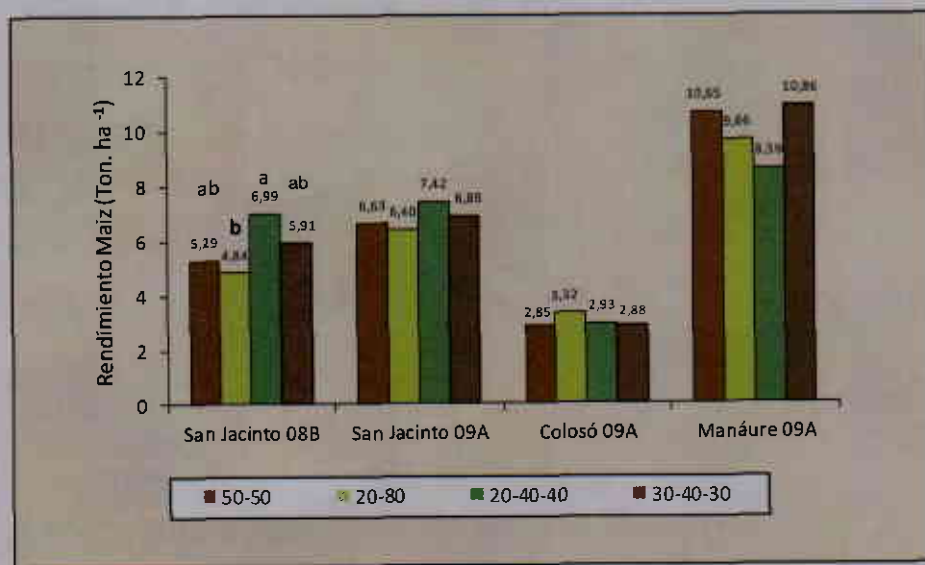


Figura 2. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en diferentes localidades. Tratamientos con letras diferentes difieren estadísticamente.

4.1.3 Efecto del fraccionamiento y la fuente de nitrógeno en la producción

Conociendo la respuesta del cultivo de maíz al fraccionamiento de nitrógeno se planteo el ensayo con objetivo general determinar las etapas fi-

siológicas óptimas en el fraccionamiento de nitrógeno por fuente de nitrógeno y como objetivos específicos se plantearon: i) Comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en dos o tres etapas por fuente de nitrógeno; ii) Comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno entre siembra, V6 ó V10; iii) Comparar el efecto del fraccionamiento de Nitrógeno por fuente de fertilizante nitrogenado.

En el Departamento de Bolívar, Municipios de Maria La Baja y San Jacinto al realizar el análisis estadístico, no se presentan diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.08$ y 0.07), (Figura 3); entre fuentes se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (Figura 4). En las dos localidades la fuente Úrea ENTEC presento diferencias con las otras fuentes nitrogenadas, en Maria La Baja ($P<0.0001$) el promedio en toneladas por hectárea para Úrea ENTEC fue de $8,71 \text{ ton.ha}^{-1}$ superando a las otras fuentes, Úrea granulada, Nitramid y Sulfamon 26 con promedios de $8,15$, $8,01$ y $7,94 \text{ ton.ha}^{-1}$ respectivamente.

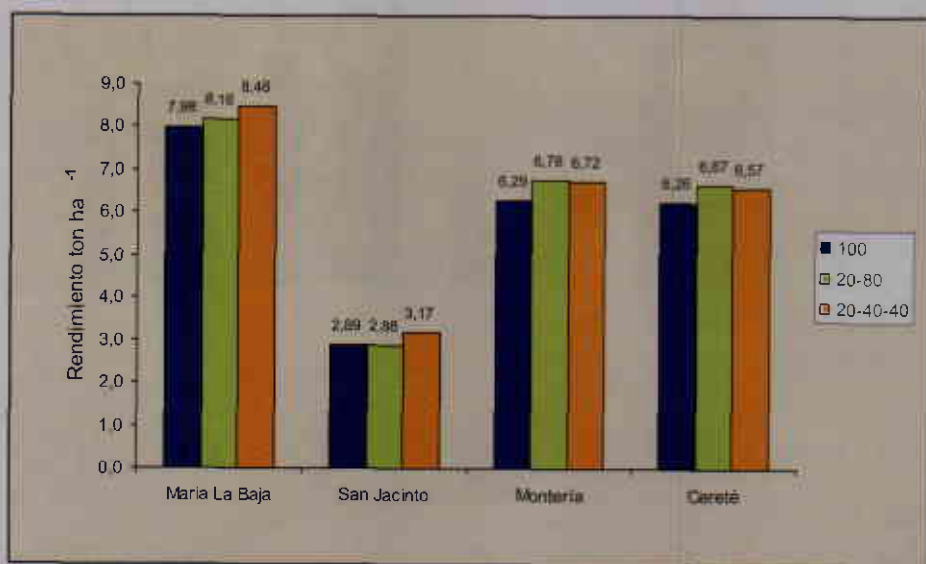


Figura 3. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad en cuatro localidades.

En San Jacinto los resultados encontrados son similares ($P=0.003$), la Úrea ENTEC presento el mayor promedio $3,15 \text{ ton.ha}^{-1}$ seguidos de Nitramid y Úrea granular con $2,95 \text{ ton.ha}^{-1}$ y sulfamon 26 con $2,87 \text{ ton.ha}^{-1}$.

Al realizar el análisis estadístico para Montería no se encontraron diferencias estadísticas para los fraccionamientos ($P=0.20$) y las fuentes de nitrógeno evaluadas ($P=0.63$). El mayor promedio lo presentó el doble fraccionamiento 20 – 80 con 6,78 ton.ha⁻¹ seguido del triple fraccionamiento con 6,72 ton.ha⁻¹. Con respecto a las fuentes nitrogenadas, el mayor promedio lo obtuvo Nitramid seguido de Úrea granular, Úrea ENTEC y Sulfamon 26 con 6,85; 6,53; 6,53 y 6,49 ton.ha⁻¹ respectivamente.

En Cereté, no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.65$). Para fuentes la diferencia estadística fue altamente significativa ($P=0.004$). El mayor rendimiento en toneladas por hectárea se obtuvo con Sulfamon 26 (7,56 ton.ha⁻¹) seguido de Úrea granular (6,42 ton.ha⁻¹); Úrea ENTEC (6,02 ton.ha⁻¹) y Nitramid (6,00 ton.ha⁻¹), Figuras 3 y 4.

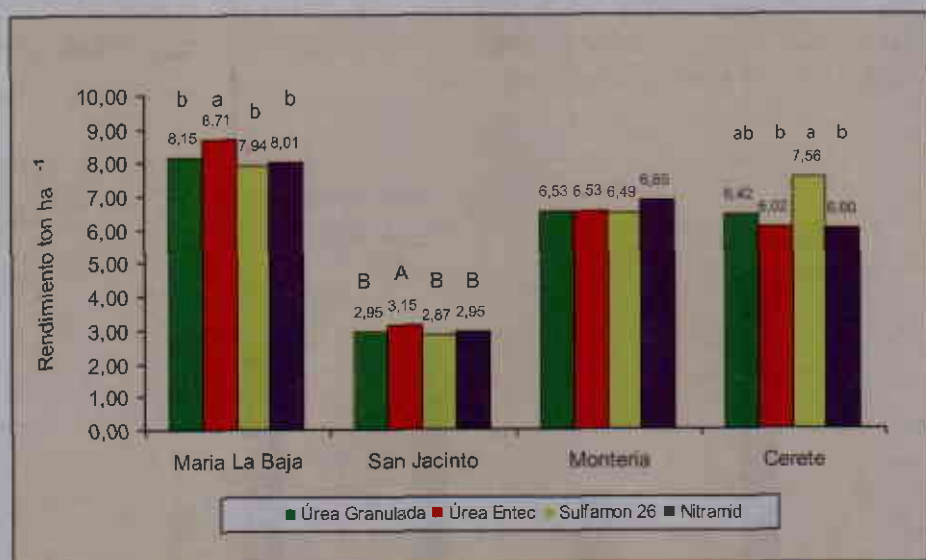


Figura 4. Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad en cuatro localidades. Letras diferentes en localidad indican diferencias entre tratamientos.

4.1.4 Efecto del uso de Úrea ENTEC en la reducción del fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno

Como se sabe, las mayores pérdidas de nitrógeno se presentan por la volatilización del amonio o por la precolación o lavado de los nitratos. Con el objetivo de reducir los costos de aplicación de los fertilizantes

nitrogenados y poder optimizar costos, se establecieron ensayos que pretendieron validar la tecnología ENTEC, donde la Úrea retarda en pasar de nitrógeno amoniacal a nítrico, para conseguir una mayor eficiencia en el aprovechamiento del nitrógeno.

Al evaluar el efecto de la aplicación de la Úrea ENTEC en diferentes semestres agrícolas, se encontró que en el semestre 2008 A en Cereté – Córdoba no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.13$), el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento Úrea ENTEC con doble fraccionamiento (20-80).

En Montería – Córdoba, se encontró que el mayor promedio lo obtuvo la aplicación de Úrea ENTEC 100% a la siembra ($5.32 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) seguido de la aplicación de Úrea ENTEC fraccionada 20 – 80 y Úrea granular con el triple fraccionamiento 20-40-40, con promedios 5.12 y $4.44 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente, sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.42$).

Para San Juan, Cañaverales – Guajira no encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($P=0.24$) a pesar de observar diferencias agronómicas. Los promedios para los tratamientos fueron $10.72 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ cuando se aplicó Úrea granulada, 9.16 al aplicar Úrea ENTEC 100% al momento de la siembra y de 8.22 cuando se fracciona Úrea ENTEC 20 – 80, Figura 5.

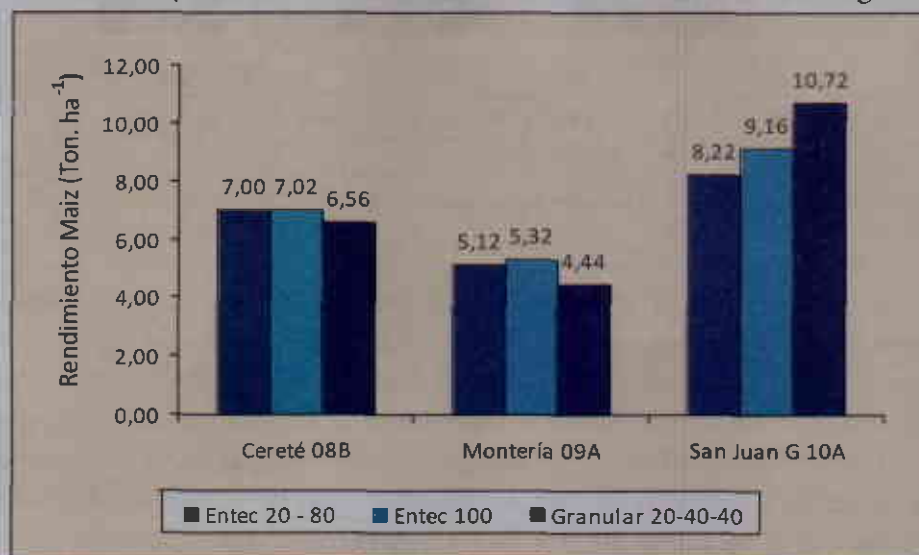


Figura 5. Efecto del uso de Úrea ENTEC en el rendimiento en diferentes localidades del Caribe colombiano.

4.1.5 Efecto de la fuente y la dosis de fósforo en la producción

El fósforo es un nutriente que está relacionado con los procesos de transporte y almacenamiento de energía en las plantas, tiene además, una marcada influencia en el potencial de rendimiento de los cultivos..

En Colosó - Sucre y María La Baja – Bolívar no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.07$ y 0.10), en San Jacinto – Bolívar ($P=0.03$) el mayor rendimiento se obtuvo con fosfato diamónico DAP con 3.35 ton.ha^{-1} de maíz, este tratamiento fue estadísticamente diferente al comparar las medias con Fosfitek, Solufos 44 y Phosplant. (Figura 6)

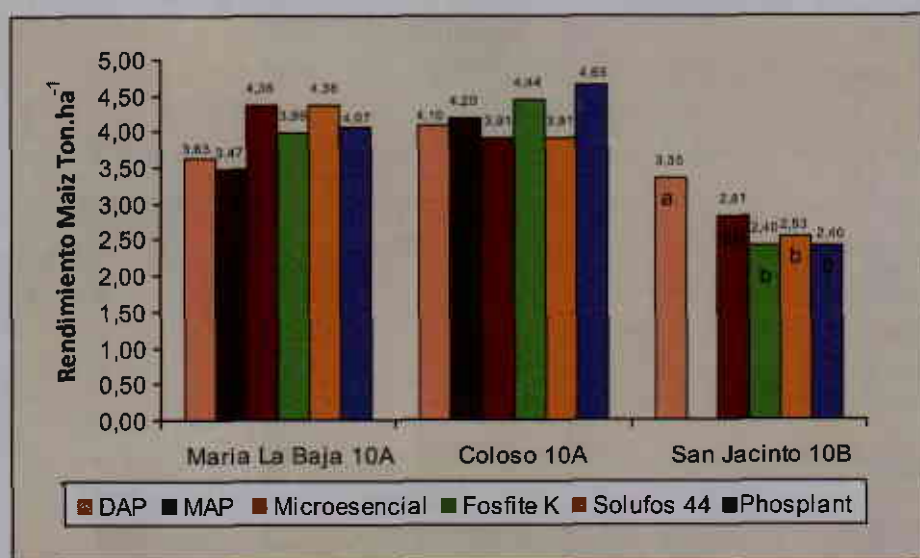


Figura 6. Efecto de la fuente de fósforo en la productividad. Letras diferentes en localidad indican diferencias entre tratamientos.

En la Figura 7 se observan los rendimientos promedio de maíz expresados en toneladas por hectárea en tres localidades. En Colosó ($P=0.07$) y San Jacinto ($P=0.41$) no se presentaron diferencias estadísticas entre subtratamientos. En Maria La Baja se observa que a medida que se disminuye la dosis de fósforo disminuye el rendimiento de maíz, la dosis con mayor rendimiento 4.24 toneladas fue para la aplicación de 80 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 , seguida por la aplicación de 50 y 20 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 con promedios de 3.90 y 3.70 respectivamente, ($P<0.01$).

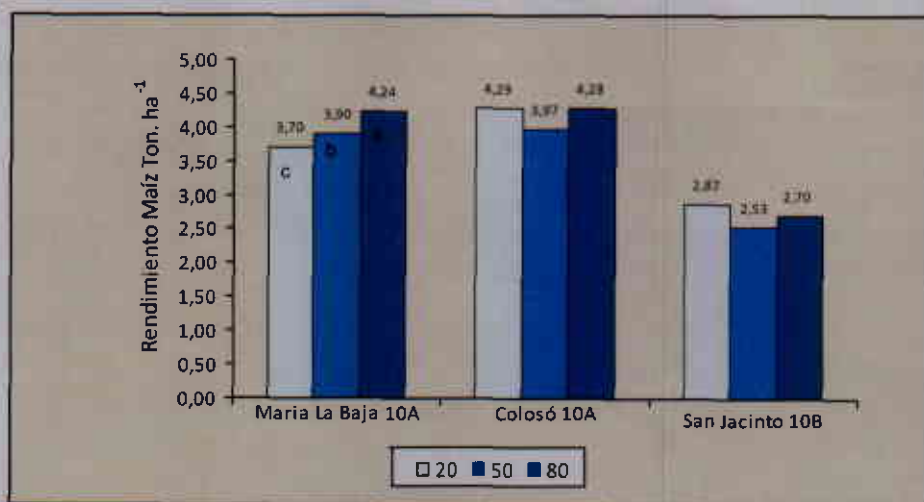


Figura 7. Efecto de la dosis de fósforo en la productividad. Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos.

En el Municipio de Cereté, Departamento de Córdoba, se evaluaron fuentes y dosis de fósforo en las localidades Martínez y Los Caballeros, en las dos localidades no se encontraron diferencias estadísticas entre fuentes ($P=0.33$ y 0.72), ni en la interacción Fuente x Dosis ($P=0.77$ y 0.38).

Al analizar el efecto de las dosis de aplicación del nutriente, se obtuvieron diferencias altamente significativas ($P<0.01$) como se aprecia en la Figura 8.

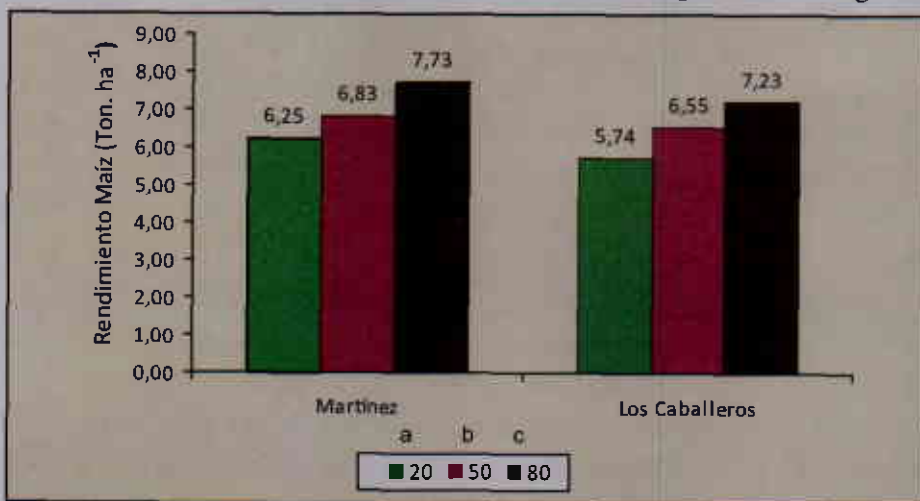


Figura 8. Efecto de la dosis de fósforo en la productividad. Letras diferentes en las dosis indican diferencias entre ellas.

El rendimiento en ton.ha^{-1} para la dosis de fósforo disminuye a medida en que esta se reduce. El mayor rendimiento en las dos localidades se obtuvo con la aplicación de $80 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ con rendimientos promedio de 7.73 y 7.23 ton.ha^{-1} , para Martínez y Los Caballeros; con la dosis de $50 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ mostraron rendimientos 6.83 y 6.55 ton.ha^{-1} en estas mismas localidades y para $20 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ los rendimientos alcanzados fueron de 6.25 en Martínez y de 5.74 ton.ha^{-1} en la localidad de Los Caballeros.

En el Departamento de Córdoba se evidencia la importancia de la aplicación del nutriente en una dosis mínima de $80 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ por obtener los mayores rendimientos de grano.

4.1.6 Efecto de el fraccionamiento de potasio en la producción

Se conoce de la importancia en la interacción Nitrógeno x Potasio en la formación del rendimiento y la presencia del potasio para que la planta use mejor el Nitrógeno del suelo que por ser tan móvil, se pierde fácilmente del perfil.

Considerando los resultados obtenidos en ensayos anteriores los cuales evidencian mayores rendimientos cuando se aplica el doble fraccionamiento de Potasio en proporciones $20 - 80$ y/o $80 - 20$ en etapas fisiológicas V0 y V6, además de la interacción entre el Nitrógeno y el Potasio en la formación del rendimiento se planteo este ensayo con el objetivo de Determinar las etapas fisiológicas del maíz óptimas para el posible fraccionamiento del potasio y como objetivos específicos se plantearon - Comparar el efecto del fraccionamiento de Potasio a diferentes etapas fisiológicas del maíz. - Comparar el efecto del fraccionamiento de Potasio a las etapas fisiológicas V0 y V6.

Al analizar estadísticamente el ensayo en San Juan del Cesar no se presentaron diferencias entre fraccionamientos de potasio ($P=0.47$), el mayor rendimiento en ton.ha^{-1} se obtuvo con el fraccionamiento $80 - 20$ con un promedio de 3.85 ton.ha^{-1} . Los promedios de los otros fraccionamientos varían entre 3.29 y 3.83 ton.ha^{-1} . Entre las dosis evaluadas las diferencias fueron altamente significativas ($P<0.01$) siendo mayor el rendimiento cuando se utilizo 90 Kg ha^{-1} de Potasio, Figuras 9 y 10.



Figura 9. Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad.

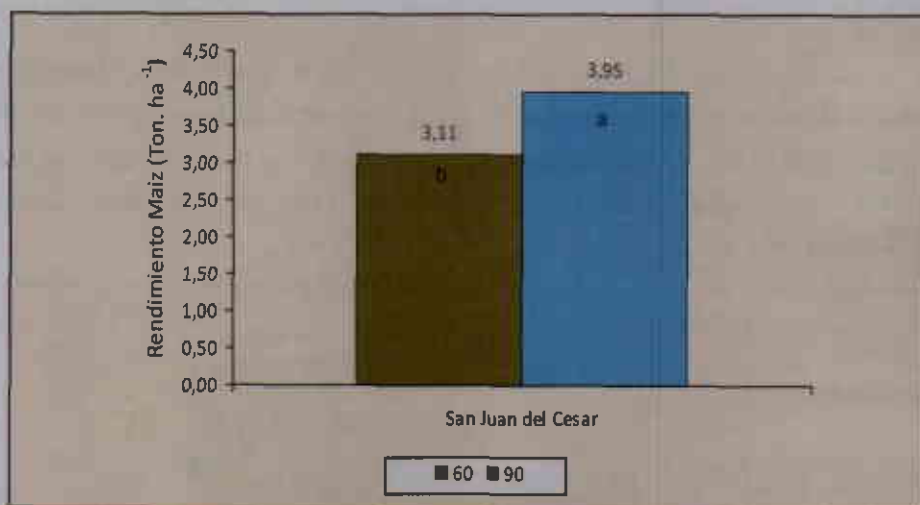


Figura 10. Efecto de la dosis de potasio en la productividad. Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos.

En Cereté - Córdoba se presentaron diferencias altamente significativas entre fraccionamientos de potasio ($P < 0.01$), el mayor rendimiento en toneladas por hectárea se obtuvo con el fraccionamiento 80 - 20 con un promedio de 6,06 ton.ha⁻¹, al compararlo con el rendimiento del fraccionamiento 20 - 80 con promedio de 5.40 toneladas por hectárea, Figura 11. No se presentan diferencias estadísticas entre fuentes ($P = 0.38$) y existen diferencias altamente significativas entre las dosis de nutriente evaluadas ($P < 0.01$).

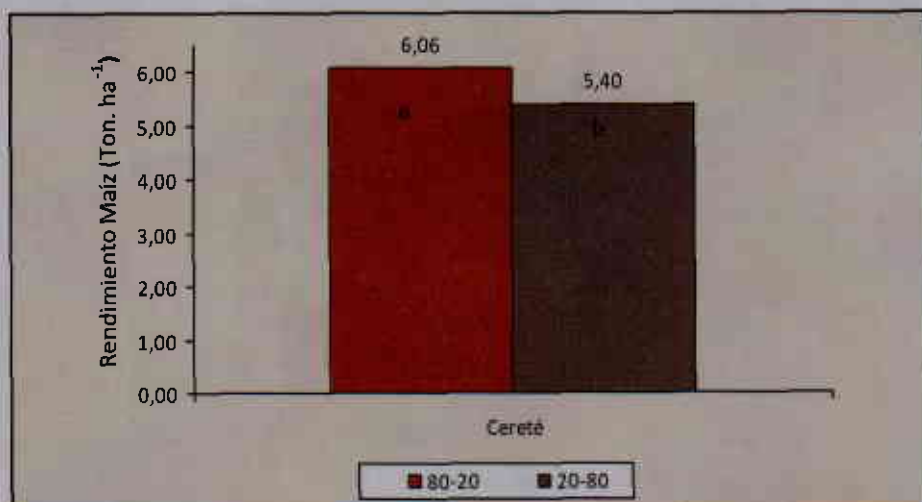


Figura 11. Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad. Letras diferentes indican diferencias.

En la Figura 12, se observan los rendimientos promedios obtenidos con las dosis de potasio evaluadas, siendo mayor cuando se aplicaron 90 Kg.ha⁻¹ de K₂O con 7,04 toneladas por hectárea el cual fue estadísticamente diferente a la aplicación de 45 y 0 Kg.ha⁻¹ de K₂O cuyos promedios fueron de 5.79 y 4.36 ton.ha⁻¹.

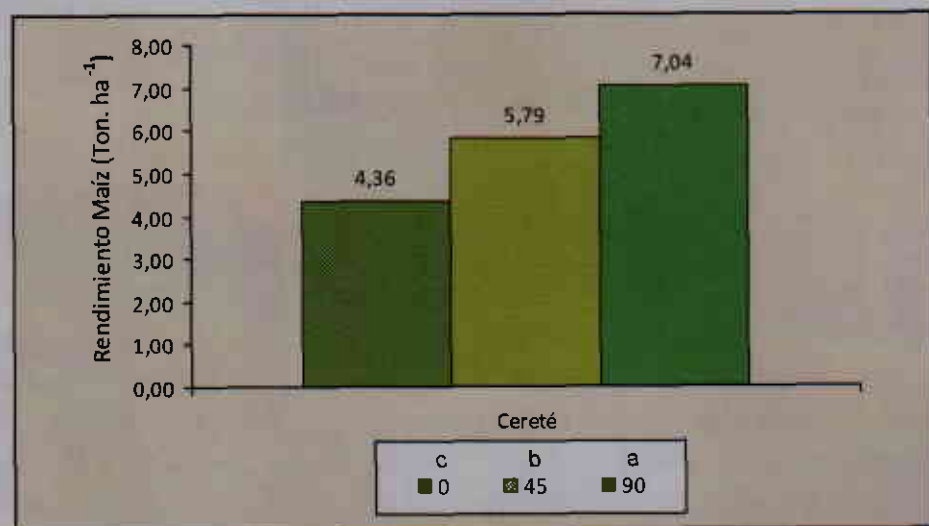


Figura 12. Efecto de la dosis de potasio en la productividad. Letras diferentes en las dosis indican diferencias entre ellas.

4.1.7 Efecto de la densidad y el espacio entre surcos en la productividad

En la Figura 13, se observa el promedio de rendimiento para surcos dobles en dos localidades y dos semestres agrícolas. Para Repelón - Bolívar, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos de densidades ($P=0.33$) y los sub tratamientos arreglo espacial ($P=0.14$).

Para Colosó - Sucre no se presentaron diferencias entre densidades de siembra ($P=0.1$), ni entre la interacción Densidad de siembra x Espacio entre surcos dobles ($P=0.23$); para los sub tratamientos representados por el espacio entre surcos las diferencias fueron altamente significativas ($P<0.01$). Como se aprecia en la Figura 13 el mayor rendimiento promedio de $6,67 \text{ ton.ha}^{-1}$ se obtuvo con el espacio de 30 centímetros entre surcos dobles, seguido de $6,62$ y $5,99 \text{ ton.ha}^{-1}$ de rendimiento, siendo estos estadísticamente iguales entre sí pero diferentes del espacio entre surcos testigo de 80 centímetros, utilizado ampliamente en la zona.

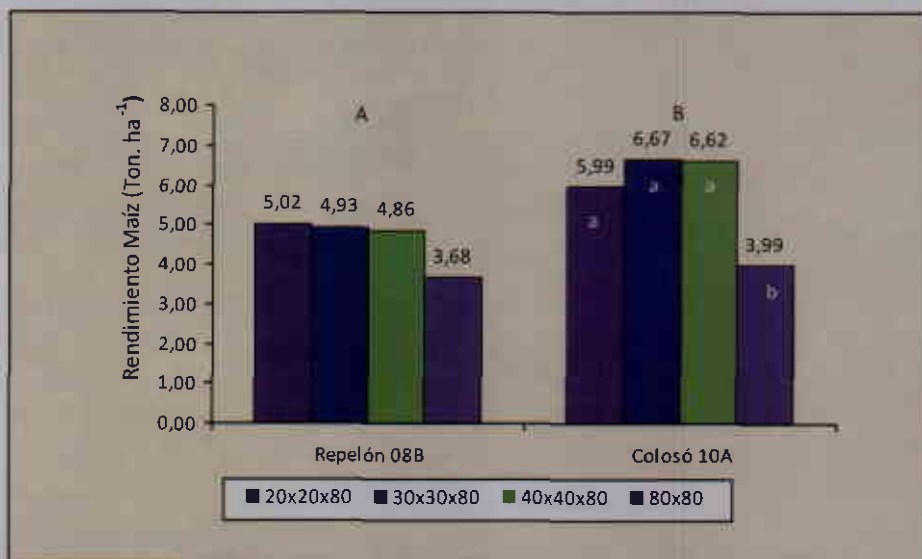


Figura 13. Efecto del espacio entre surcos en dos localidades. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticas entre localidades, letras minúsculas diferentes en localidad indican diferencias entre tratamientos.

4.1.8 Determinación de brechas ecológica (Be) y tecnológica (Bt)

El rendimiento potencial en la zona varía entre 5.000 y 9.000 Kg.ha⁻¹, está asociado a las condiciones climáticas de la región. La **Be** vario entre las regiones y los semestres, es superior en Córdoba con promedio de 3.172 Kg.ha⁻¹ y menor en Colosó y Guajira con 683 y 1.218Kg.ha⁻¹ respectivamente. La respuesta del rendimiento a la aplicación de nitrógeno fue en promedio de 3.156 Kilogramos de grano variando entre las diferentes localidades como se observa en la Tabla 8. La **Bt** para los otros nutrientes disminuye, en promedio se obtuvieron 968 y 696 Kilogramos de grano para la aplicación de fósforo y potasio respectivamente, también se observa que es mayor el efecto de la omisión de magnesio que de azufre.

Tabla 8. Brecha ecológica y tecnológica (Kg.ha⁻¹) en diferentes localidades del Caribe colombiano.

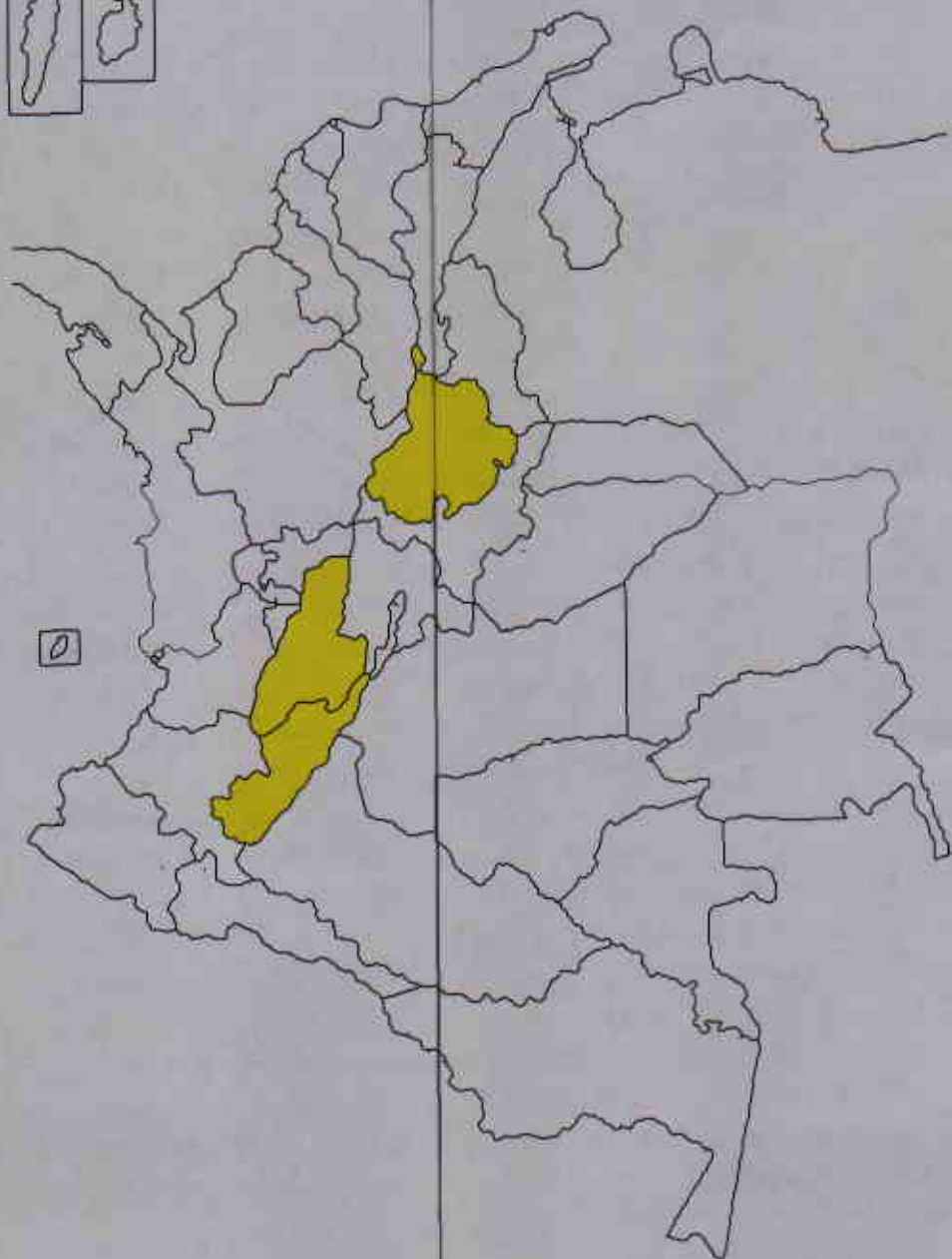
Municipio	Rendimiento Potencial	Ecológica	Tecnológica				
			N	P	K	S	Mg
Aguachica 06B	7.000	788	4.797	1.374	892	546	190
Aguachica 07A	7.000	816	4.435	1.407	2.205	1.663	1.767
Cereté Caño Paez 07A	9.000	4.501	1.776	1.208	357	179	147
Cereté Villa Gabriela 07A	9.000	3.768	1.296			63	
Cereté 06 A	9.000	1.247	3.541				
Colosó 09 A	5.000	1.201	1.575	206	186		232
Colosó 09 B	5.000	165	2.137	695	664	862	1.149
Guajira Cañaverales 07 B	6.500	938	4.653	922	347	109	1.941
Guajira Villanueva 07B	6.500	1.499	4.201		227	2	1.759
Promedio		1.658	3.156	968	696	489	1.026

4.1.9 Conclusiones

Considerando los resultados encontrados en la zona se pueden concluir algunos aspectos relacionados con la nutrición del cultivo.

1. El Nitrógeno es un nutriente de alto impacto en la producción del maíz, el fraccionamiento doble (50 – 50) o triple (20 – 40 -40) de la dosis total considerando las etapas fisiológicas de mayor demanda V0, V6 y V10 es una estrategia que permite maximizar el rendimiento del cultivo.
2. En las regiones donde se logra un incremento del rendimiento utilizando una fuente de lenta liberación de nitrógeno como es la Úrea ENTEC con el doble fraccionamiento 20 – 80 es una alternativa viable con el fin de reducir costos en mano de obra de la tercera aplicación del nutriente en V10.
3. Para la fertilización fosforada durante el desarrollo del proyecto en la mayoría de las localidades se observó que la respuesta a fósforo fue aditiva, el rendimiento incrementa a medida que es mayor la dosis de aplicación, en promedio la dosis para la zona fue de 80 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅.
4. Un aspecto a considerar en el manejo de la nutrición del cultivo, es la interacción de la nutrición con el ambiente y la interacción entre nutrientes, conociendo la interacción Nitrógeno - Potasio, se considera importante fraccionar la dosis de este último cuya mejor respuesta se encontró con 90 Kg de K₂O por hectárea y el doble fraccionamiento 20 – 80, en la mayoría de las localidades evaluadas.
5. Las distancias de 0.20 hasta 0.40 m. entre surcos dobles permitió alcanzar mayores rendimientos respecto a la siembra convencional de 0.8 m entre surcos, este rendimiento varió entre 1.300 y 2.630 kg.ha⁻¹, representando un incremento importante respecto de la distancia de siembra convencional.
6. La variación de los máximos rendimientos en la región podría atribuirse a la disponibilidad de radiación, agua y nutrientes, así como al régimen térmico de la zona. La productividad del cultivo está vinculada a la ocurrencia de la precipitación y a la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos.

4.2 Valle Alto y Medio del Magdalena: Huila, Tolima, Santander



4.2.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

Como se observa en la Figura 14, el elemento que mas limitó la producción en la región cuando este se omitió fue el nitrógeno al comparar los rendimientos de estas parcelas con el tratamiento de fertilización completa. Estas disminuciones variaron en las regiones entre 3,18 y 8,07 toneladas de grano por hectárea. Al omitir el fósforo y potasio en las parcelas, se redujeron los rendimientos, pero fueron menores comparados con los obtenidos en las parcelas con omisión de nitrógeno.

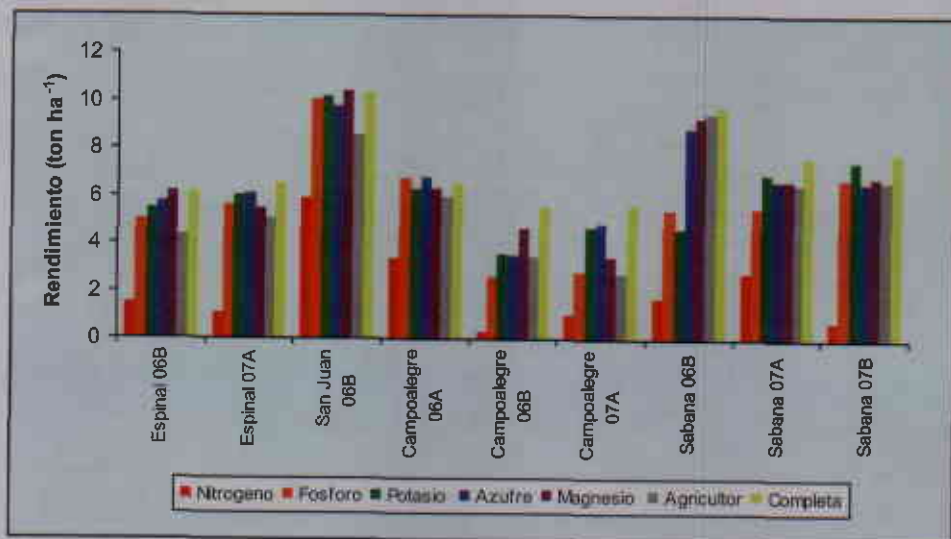


Figura 14. Rendimiento ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Valle Alto y Medio del Magdalena.

En general, los mayores valores promedio de eficiencia agronómica en la región se obtuvieron para nitrógeno (23.36), seguidos de fósforo, magnesio y potasio (19.6; 17.77 y 13.37) respectivamente. De esta manera la eficiencia agronómica de nitrógeno constituye un aspecto clave a considerar en el manejo de la nutrición enfocada principalmente a aplicar dosis de reposición del nutriente, Tabla 9.

En los Valles del Alto y Medio Magdalena para el caso de nitrógeno se producen entre 17,20 y 58,0 kilogramos de grano por kilogramo de nitrógeno absorbido, con un promedio para la zona de 31,99 Kg. Los valores de eficiencia fisiológica para fósforo varían entre 103,45 – 285,37 y fueron superiores a los de potasio 18,17 – 71,92 con un amplio rango

Tabla 9. Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha⁻¹) Fósforo (90 Kg.ha⁻¹) Potasio (100 Kg.ha⁻¹) y Magnesio (44 Kg.ha⁻¹).

Municipio	Kg. grano Kg. nutriente aplicado ⁻¹			
	N	P	K	Mg
Campoalegre 06A	15,9	0,0	1,9	5,2
Campoalegre 06B	26,5	32,9	16,5	21,0
Campoalegre 07A	23,3	31,2	7,8	49,3
Sabana 06B	40,4	48,9	42,9	12,0
Sabana 07A	24,5	24,1	5,6	23,0
Sabana 07B	35,6	12,3	2,3	23,1
Villa Nueva (Santander)	31,5	40,1	26,5	16,1
Espinal 06B	23,5	13,4	6,0	0,5
Espinal 07A	27,2	10,5	4,0	24,1
Espinal 07B	19,3	32,9	19,4	42,4
San Juan 07A	22,2	2,7	1,1	0,0
San Juan 07B	7,7	3,5	0,0	8,3
Guayabal	13,5	3,8	1,5	6,0
Ibagué	15,9	23,2	9,7	17,8
Promedio	23,36	19,96	10,37	17,77

de variación en la zona y un promedio de 172,16 y 46,75 Kilogramos respectivamente para los dos nutrientes (Tabla 10).

Tabla 10. Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido)

Municipio	(Kg grano producido Kg. nutriente absorbido ⁻¹)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Campoalegre 06A	58,00	147,62	69,27
Campoalegre 06B	47,40	121,28	69,41
Campoalegre 07A	54,19	198,75	71,92
Sabana 06B	26,15	135,89	26,92
Sabana 07A	28,84	103,45	28,69
Sabana 07B	25,07	126,38	18,17
Villa Nueva (Santander)	35,42	154,23	45,63
Espinal 06B	19,54	265,47	40,20
Espinal 07A	17,20	241,87	50,17
Espinal 07B	18,23	285,37	45,23
San Juan 07A	31,04	132,77	49,46
San Juan 07B	39,32	145,27	53,26
Guayabal	24,29	162,47	39,45
Ibagué	23,24	189,42	46,85
Promedio	31,99	172,16	46,75

En estas regiones el promedio de extracción de nitrógeno fue de 21,1 Kilogramos, de Fósforo de 4,7, de Potasio de 10,7 y en menor cantidad se extraen azufre y magnesio (1,2 y 2,8). Los valores de extracción por nutriente por tonelada de grano producida varía entre las diferentes localidades, para nitrógeno varió entre 19,1 y 21,9 kilogramos siendo este elemento el de mayor extracción. El valor de extracción promedio de fósforo por localidad vario entre 4 y 6.1 Kilogramos, siendo menor a la extracción de potasio que oscilo entre 8,1 y 14,0 Kilogramos, Tabla 11.

Tabla 11. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida en el Valle Alto y Medio del Magdalena.

Municipio	Kg. nutriente ton. maíz producida ¹				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
Campoalegre 06A	18,3	3,2	12,9	1,1	2,8
Campoalegre 06B	21,7	5,5	10,0	0,7	2,8
Campoalegre 07A	17,5	4,6	14,0	0,9	2,5
Sabana 06B	20,9	4,4	8,5	0,9	3,0
Sabana 07 A	24,3	4,1	10,7	1,3	2,1
Sabana 07B	20,7	3,5	11,3	1,9	1,8
Espinal 06B	20,7	6,0	8,1	0,8	3,3
Espinal 07 A	23,2	4,0	11,8	1,2	2,5
Espinal 07B	21,7	4,6	10,8	1,5	3,0
San Juan 07A	21,2	6,8	8,5	0,8	3,4
San Juan 07B	23,0	5,4	10,0	1,3	3,1
Guayabal	21,0	5,3	12,4	1,5	3,6
Ibagué	20,5	4,9	11,0	1,7	3,1
Promedio	21,1	4,7	10,7	1,2	2,8

En promedio el Índice de Cosecha, IC total es de 0.46, es decir, que el 54% de la biomasa producida se retiene en los residuos de cosecha. Para los Valles del Alto y Medio Magdalena, los promedios del IC por nutriente son de 0.76 para Nitrógeno, 0.75 de Fósforo y 0.26 para Potasio; los valores del IC para Azufre y Magnesio son de 0.50 y 0.44 respectivamente, Tabla 12. Lo anterior nos indica que los residuos de cosecha contienen mayores valores de Potasio, Azufre y Magnesio los cuales al realizar un adecuado manejo de los residuos pueden considerarse disponibles a largo plazo para la nutrición de cultivos.

Tabla 12. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en el Valle Alto y Medio del Magdalena.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Campoalegre 06	0,43	0,73	0,83	0,27	0,52	0,36
Campoalegre 06B	0,43	0,79	0,72	0,30	0,56	0,32
Campoalegre 07	0,42	0,74	0,70	0,21	0,52	0,39
Sabana 06B	0,51	0,71	0,78	0,29	0,58	0,48
Sabana 07A	0,45	0,76	0,79	0,30	0,55	0,46
Sabana 07B	0,44	0,72	0,72	0,23	0,66	0,46
Villa Nueva (Santander)	0,46	0,75	0,74	0,24	0,48	0,43
Espinal 06B	0,50	0,75	0,75	0,28	0,50	0,42
Espinal 07A	0,46	0,75	0,81	0,30	0,44	0,46
Espinal 07B	0,48	0,77	0,79	0,29	0,46	0,42
San Juan 07A	0,56	0,78	0,71	0,29	0,44	0,44
San Juan 07B	0,47	0,75	0,75	0,28	0,42	0,47
Guayabal	0,43	0,80	0,73	0,20	0,41	0,53
Ibagué	0,45	0,81	0,70	0,21	0,48	0,51
Promedio	0,46	0,76	0,75	0,26	0,50	0,44

En la Tabla 13, se aprecian las dosis recomendadas por nutriente para las diferentes regiones considerando el semestre agrícola. Es importante

Tabla 13. Dosis recomendada por nutriente para diferentes regiones en el Valle Alto y Medio del Magdalena.

Municipio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg. ha ⁻¹				
Campoalegre					
Semestre A	132	60	58	28	55
Semestre B	160	74	67	32	60
Sabana de Torres					
Semestre A	180	100	78	Rs	Rs
Semestre B	150	96	80	Rs	Rs
Espinal					
Semestre A	142	84	70	19	40
Semestre B	153	60	60	23	45
San Juan					
Semestre A	180	82	90	Rs	Rs
Semestre B	190	75	80	Rs	Rs

Rs¹⁾ = Dosis de Reposición basado en los niveles de extracción y el suplemento nativo

considerar que con la nutrición del cultivo busca, no solamente la rentabilidad del mismo, sino el obtener el máximo rendimiento económico de todo el sistema productivo y a largo plazo.

4.2.2 Efecto de la fuente de nitrógeno

En el municipio de Ibagué al evaluar las fuentes de nitrógeno ($P=0.01$) se encontró que la fuente de Úrea ENTEC (5.03 ton.ha^{-1}) es estadísticamente diferente a Sulfamon 26 (4.26 ton.ha^{-1}) y nitrato de calcio (4.07 ton.ha^{-1}), no se encontraron diferencias con Úrea granular y Nitrato de Potasio con promedio de 4.58 y 4.73 ton.ha^{-1} respectivamente, Figura 15.

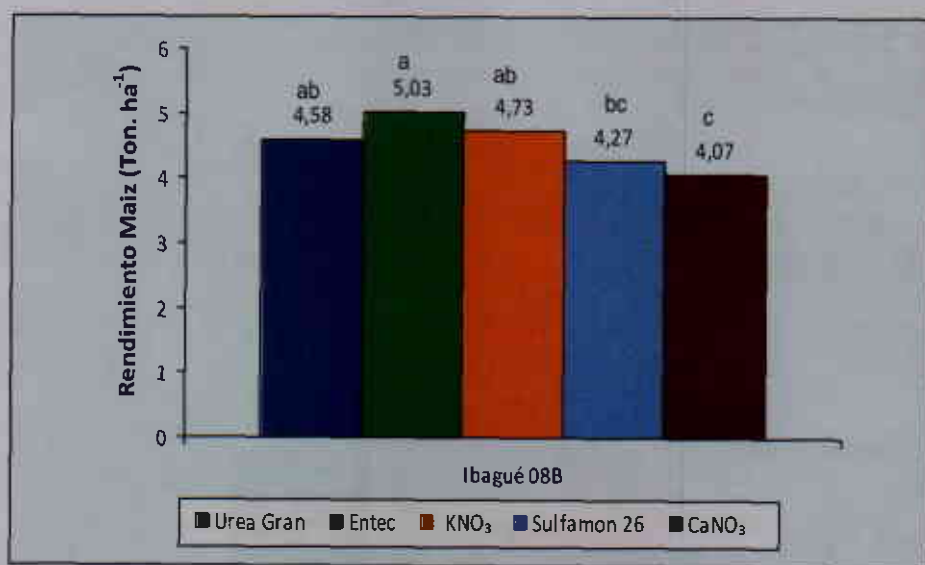


Figura 15. Efecto de las fuentes de nitrógeno en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

4.2.3 Efecto de el fraccionamiento y la fuente de nitrógeno

En Campoalegre – Huila, al analizar el ensayo ($P<0.01$) se observa que el mayor rendimiento entre tratamientos se obtuvo con el triple fraccionamiento 20-40-40 con promedio de 8.57 ton.ha^{-1} de maíz, siendo estadísticamente diferentes a los otros fraccionamientos como se observa en la Figura 16.

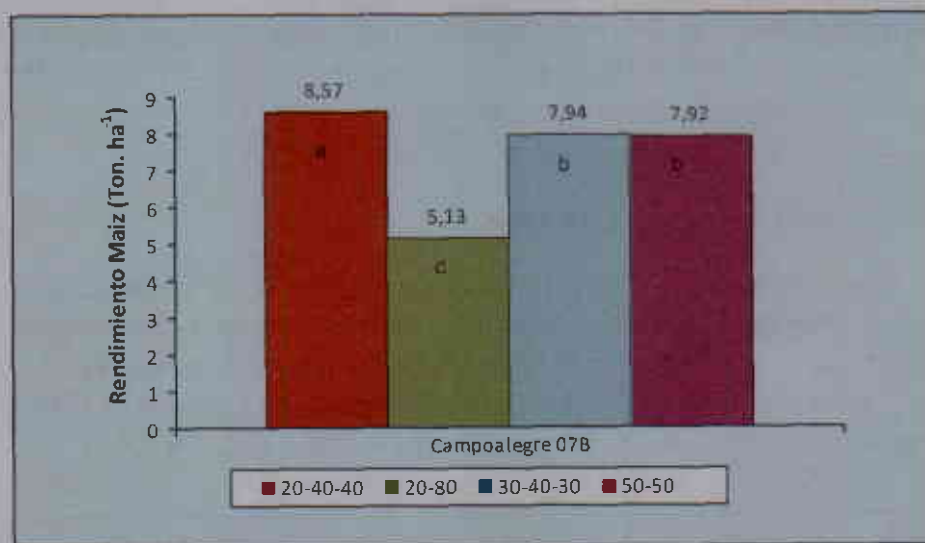


Figura 16. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

En Campoalegre (Figuras 17 y 18) al analizar los ensayos estadísticamente, no se encontraron diferencias entre fraccionamiento ($P=0.32$) y fuentes de nitrógeno ($P=0.34$), ni la interacción entre ellos ($P=0.51$). El

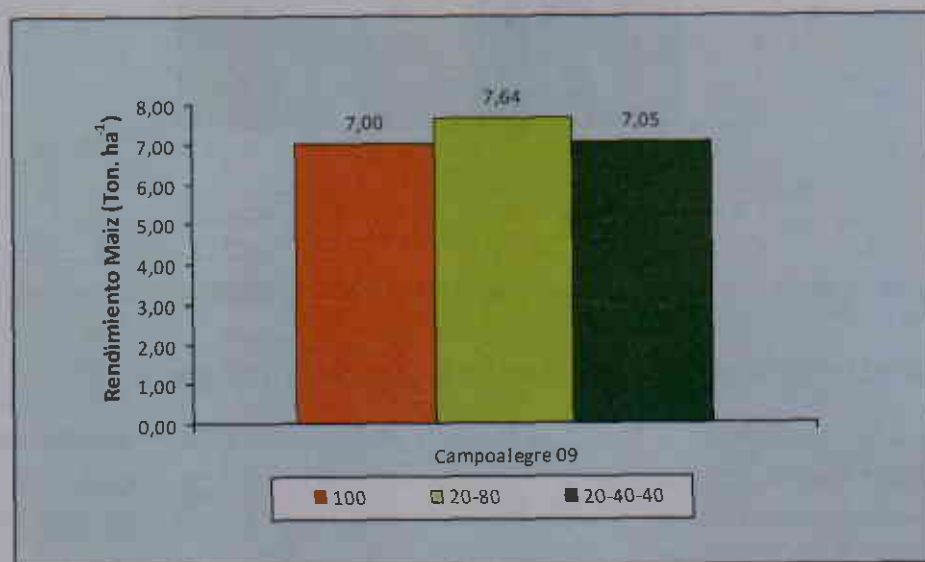


Figura 17. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad.

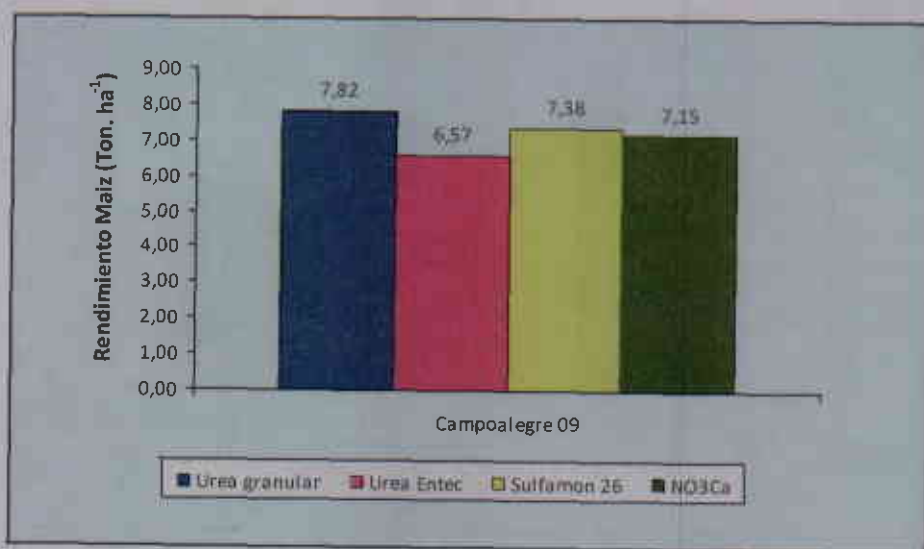


Figura 18. Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad.

mayor promedio lo obtuvo el doble fraccionamiento 20 – 80 con 7,64 ton. ha⁻¹ seguidos del triple fraccionamiento 20 – 40 – 40 con 7.05 ton.ha⁻¹ y 7,00 ton.ha⁻¹ para cuando no se fracciona (100% a la siembra). Respecto a las fuentes evaluadas, los rendimientos obtenidos en su orden fueron: Úrea granular, Sulfamon 26, Nitrato de Calcio y Úrea ENTEC con promedios de 7,82, 7,38, 7,15 y 6,57 ton.ha⁻¹ respectivamente.

4.2.4 Efecto de la dosis de urea en la reducción del fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno

En Campoalegre durante el año 2008 se evaluó el efecto de la Úrea ENTEC, los resultados analizados estadísticamente se observan en la Figura 19 ($P=0.012$ y 0.013) para tratamientos. No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos de aplicación de Úrea granular en triple fraccionamiento y Úrea ENTEC en fraccionamiento doble 20-80 en el semestre A y aplicación a la siembra en el semestre B. Similares resultados se encontraron en el Valle de San Juan, Tolima en el semestre B del mismo año.

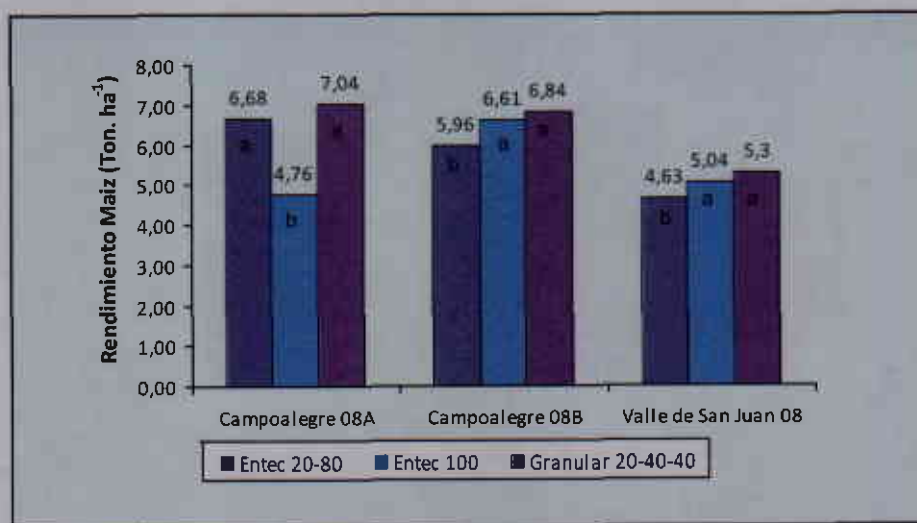


Figura 19. Efecto de la Úrea ENTEC en la productividad.

4.2.5 Efecto de la fuente y la dosis de fósforo en la producción

En Campoalegre – Huila, al realizar el análisis estadístico para el ensayo los semestres A y B de 2009, se observa que no existen diferencias estadísticas para fuentes ($P=0.44$ y 0.26) y dosis de Fósforo ($P=0.62$ y 0.38)

En la Figura 20, se observa los rendimientos promedio en los dos semestres evaluados para cada una de las fuentes en toneladas por hectárea;

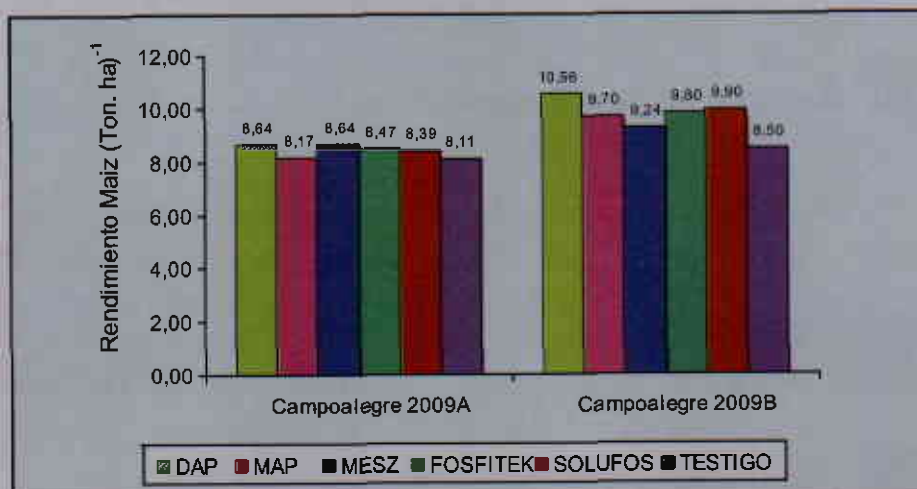


Figura 20. Efecto de las fuentes de fósforo en la productividad.

en el semestre A fueron de 8.11 para el testigo (sin aplicación de Fósforo), 8.17 con MAP; 8.39 con Solufos 44; 8,47 al usar Fosfitek y 8,64 para Fosfato Diamónico y MicroEssentials.

Al promediar los resultados obtenidos para las dosis, se encontró que con 80 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ el rendimiento fue 8.44 toneladas, este rendimiento es superior en 0.07 ton.ha⁻¹ al obtenido con la dosis de 50 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ con una media de 8.37 ton, Figura 21.

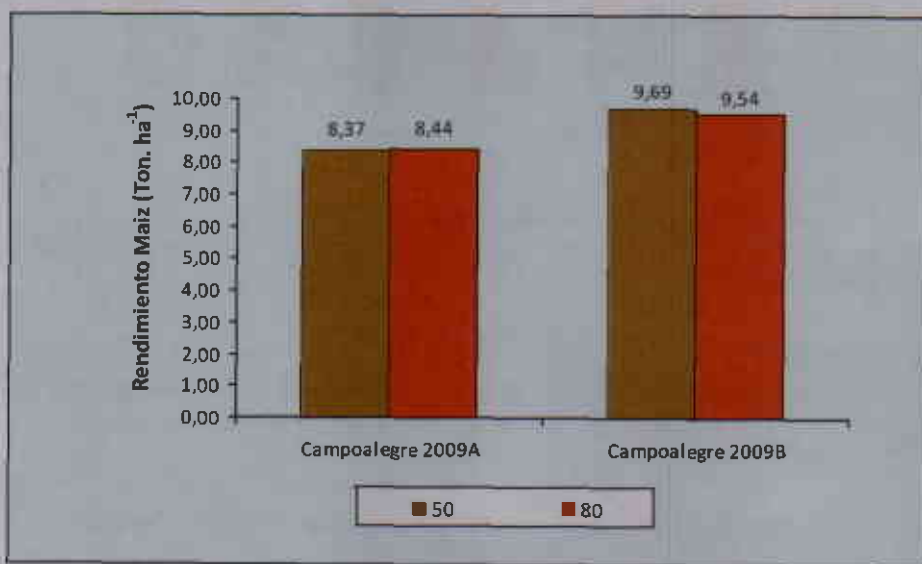


Figura 21. Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.

En el semestre B el promedio de rendimiento de maíz fue de 8.50 para el testigo, 9.24 cuando se aplicó MicroEssentials, 9.70 al aplicar fosfato monoamónico, 9.80 con FosfiteK, 9.90 con Solufos 44 y 10.55 ton.ha⁻¹ al aplicar Fosfato Diamónico, Figura 20.

La media de rendimiento de las dosis evaluadas fue de 9,69 toneladas de grano con la aplicación 50 Kg. ha⁻¹ P₂O₅ superior en 0.16 ton.ha⁻¹ a la media obtenida con la dosis de 80 Kg.ha⁻¹ P₂O₅ (9,54 toneladas).

En la Figura 22 se observa el promedio de rendimiento en ton.ha⁻¹ de la interacción Fuente x Dosis de fósforo (P=0.50) en el semestre 09 A. Para la dosis 50 Kg. ha⁻¹ P₂O₅ el mayor rendimiento se obtuvo con MicroEssentials,

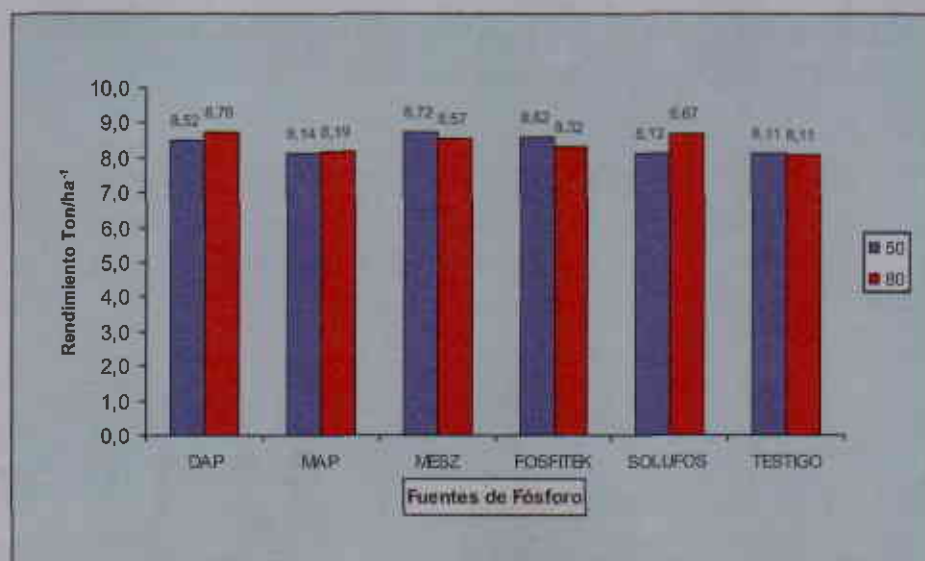


Figura 22. Efecto de la interacción fuente por dosis de fósforo en la productividad en Campoalegre (Huila).

Fosfitek y DAP con promedios de 8.72; 8.62 y 8.52 ton.ha⁻¹ respectivamente. Para 80 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ los mayores rendimientos fueron para DAP, Solufos 44 y MicroEssentials con 8.76; 8.67 y 8.57 ton.ha⁻¹.

4.2.6 Efecto de el fraccionamiento de potasio en la producción

Al evaluar el fraccionamiento y la dosis de potasio en Campoalegre (Huila), se encontró diferencias estadísticas entre fraccionamientos de potasio en los dos semestres ($P < 0.01$ y 0.01). En el semestre 08 B el mayor rendimiento se obtuvo con el doble fraccionamiento 50 – 50 (7,45 ton) y la aplicación total del nutriente en V0 (7,26), seguidos de el fraccionamiento 20 – 80 (6,84 ton) y los fraccionamientos 80 – 20 (6,58) y 0 – 100 (6,45).

En el primer semestre de 2009 se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre fraccionamientos de Potasio. Los rendimientos obtenidos con los fraccionamientos 100 – 0 (7,23) y 80 – 20 (7,13) fueron diferentes estadísticamente al fraccionamiento 0 – 100 con una media de 6,56 toneladas como se aprecia en la Figura 23.

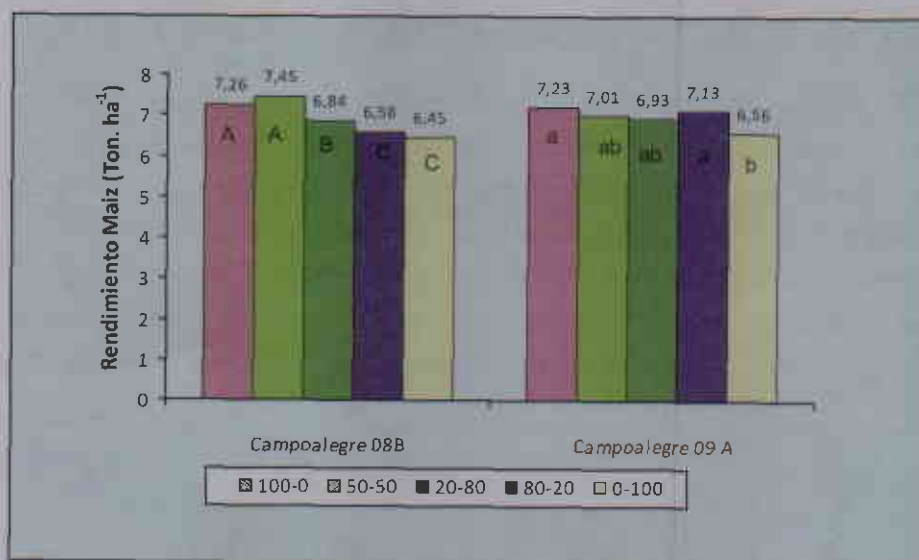


Figura 23. Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad en Campoalegre (Huila). Letras diferentes en los fraccionamientos indican diferencias.

En los dos semestres evaluados no se presentaron diferencias estadísticas entre las dosis de potasio evaluadas ($P=0.35$ y 0.27), aunque se observan diferencias agronómicas importantes, Figura 24.

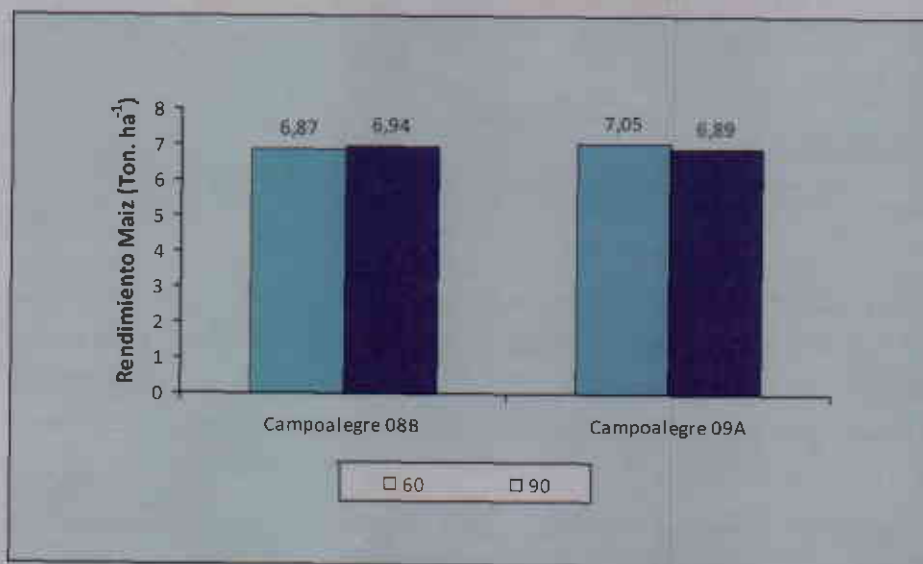


Figura 24. Efecto de la dosis de potasio en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

4.2.7. Efecto de el fraccionamiento, la dosis y la fuente de potasio

En Rionegro – Santander no se presentó diferencias estadísticas al evaluar los dobles fraccionamientos de potasio ($P=0.44$), Figura 25. Al evaluar las dosis de 0 – 45 y 90 Kg.ha^{-1} de K_2O las diferencias fueron altamente significativas ($P<0.01$), (Figura 26), los resultados muestran mayor rendimiento con la dosis de 90 Kg.ha^{-1} con un promedio de 6.77 ton.ha^{-1} seguido por el obtenido cuando se aplicaron 45 de K_2O con rendimientos promedios de 6.14 ton.ha^{-1} y 5.04 ton.ha^{-1} cuando no se aplicó este nutriente.

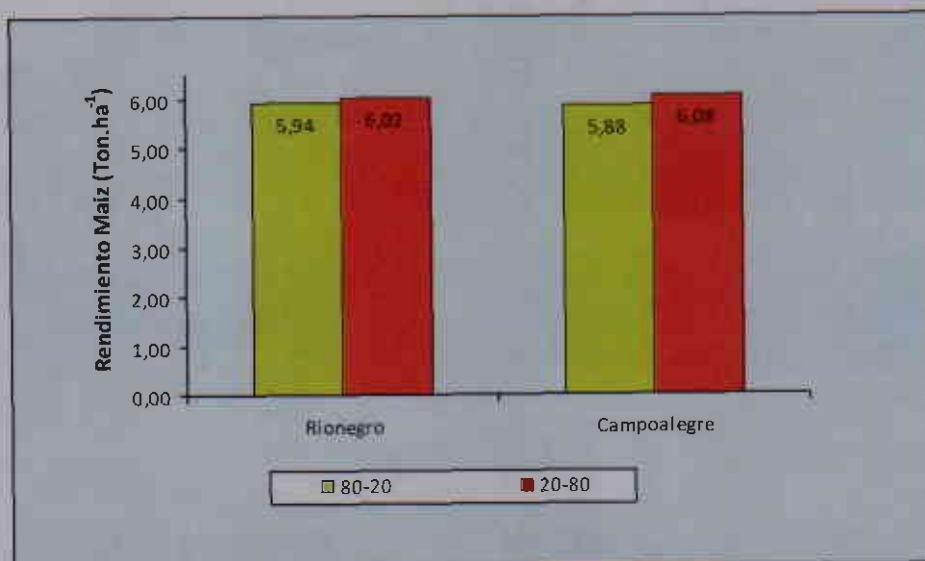


Figura 25. Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad

En Campoalegre Huila se analizaron estadísticamente los fraccionamientos y no se encontraron diferencias entre éstos ($P=0.02$) Figura 25; al evaluar las dosis de nutriente aplicadas ($P<0.01$) se observa que no existieron diferencias significativas cuando se aplicaron 45 y 90 Kg.ha^{-1} , pero si hay diferencias entre estas dos con el tratamiento en donde no se aplicó K_2O (Figura 26).

Al evaluar fuentes de potasio, en Rionegro el mayor rendimiento promedio se obtuvo con Korn Kali con promedio de 6.43 ton.ha^{-1} , diferente estadísticamente de los promedios para Cloruro de potasio (5.94 ton.ha^{-1}) y

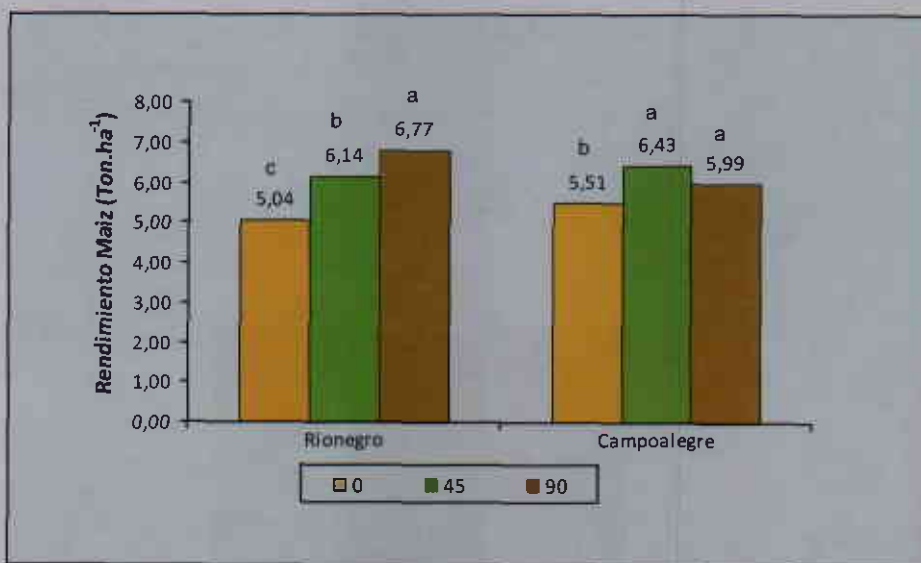


Figura 26. Efecto de la dosis de potasio en la productividad. Letras diferentes en las dosis indican diferencias entre ellas.

Sulfato de potasio (5.77 ton.ha⁻¹) los dos últimos estadísticamente iguales, Figura 27.

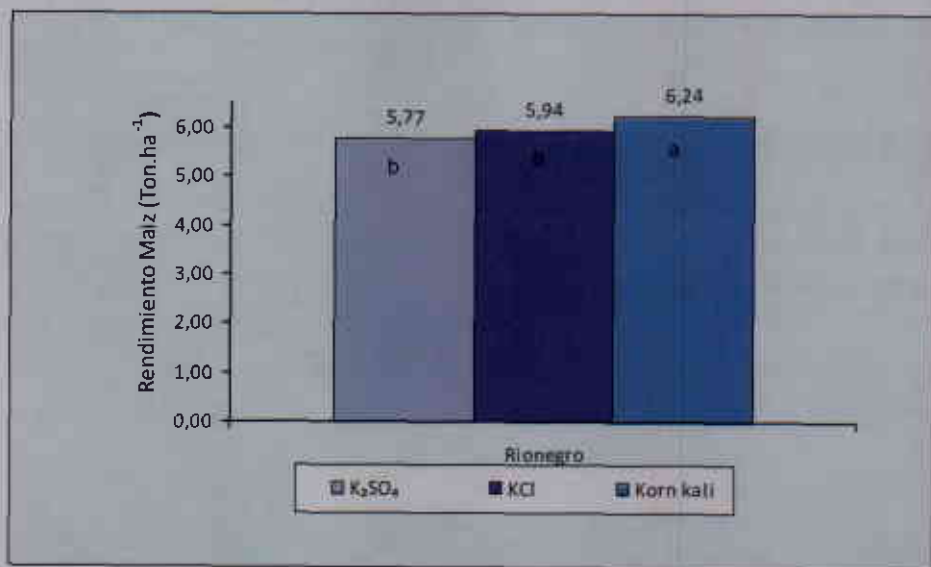


Figura 27. Efecto de la fuente de potasio en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

En Campoalegre al analizar las fuentes de potasio, se encontró que el mayor promedio de rendimiento se obtuvo con Quimag K (6.08 ton.ha^{-1}) seguido por Cloruro de Potasio (5.99 ton.ha^{-1}) y Korn Kali (5.84 ton.ha^{-1}), Figura 28.

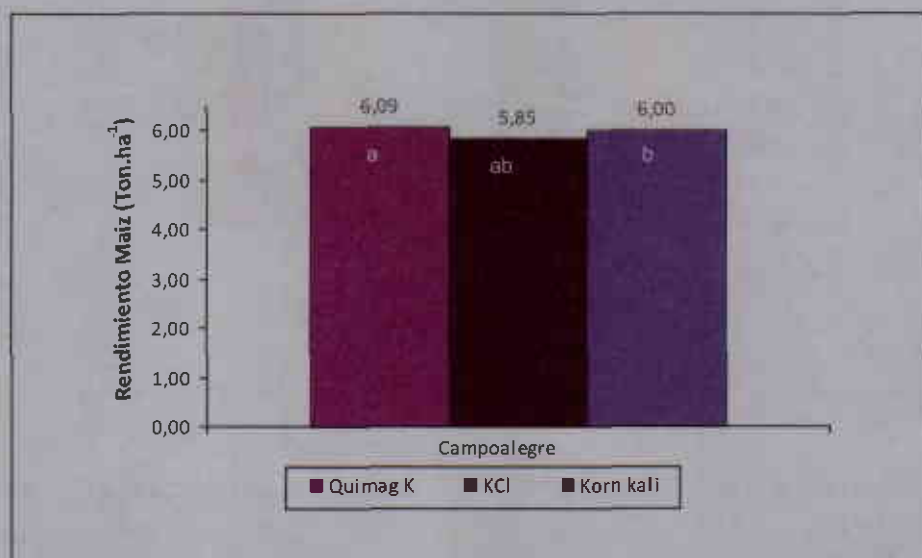


Figura 28. Efecto de la fuente de potasio en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

4.2.8 Efecto de la densidad y el espacio entre surcos en huila y tolima

Durante tres semestres y en diferentes localidades se evaluó el efecto de la densidad y el espacio entre surcos, al analizar estadísticamente el efecto de la densidad no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P=0.50$; 0.07 y 0.54) para Campoalegre, Valle de San Juan y Guayabal, las densidades evaluadas fueron 55.000 y 65.000 plantas por hectárea, Figura 29.

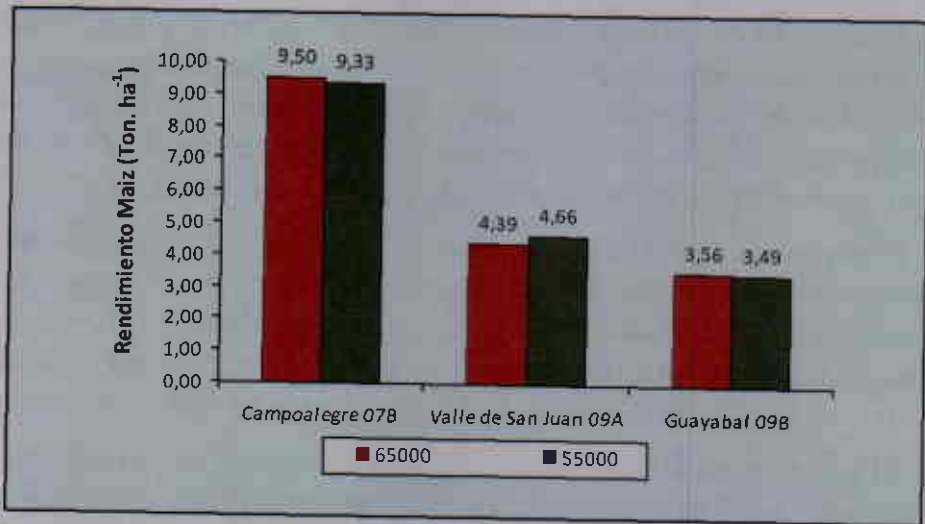


Figura 29. Efecto de la densidad en arreglo de surcos dobles, en tres localidades del Alto Magdalena.

El análisis de los subtratamientos (espacio entre surcos dobles) en las tres localidades fue estadísticamente diferente ($P < 0.01$), arrojó los siguientes resultados: en Campoalegre el mayor promedio de rendimiento de 10.57 ton.ha⁻¹ se obtuvo con el arreglo espacial de 30 x 30 cm entre surcos pares y fue estadísticamente diferente a los otros arreglos evaluados, seguido por el arreglo de 40 x 40 cm entre surcos pares con 9.40 ton.ha⁻¹, Figura 30.

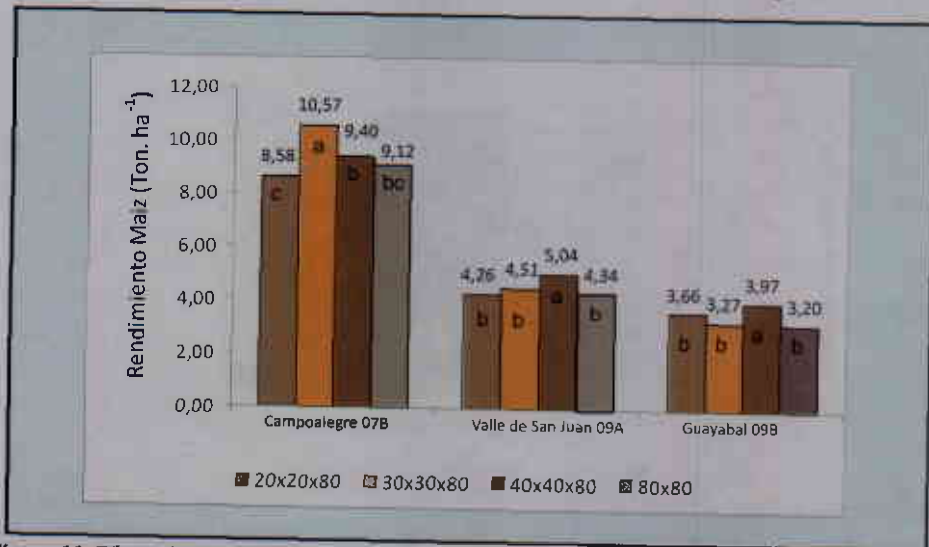


Figura 30. Efecto de los arreglos espaciales en tres localidades del Alto Magdalena.

Para el Valle de San Juan - Tolima, se observaron diferencias estadísticas en los sub tratamientos (espacio entre surcos dobles); la mejor respuesta en rendimiento se obtuvo con 40 cm entre surcos pares con 5.04 ton.ha^{-1} con diferencias altamente significativas con los demás tratamientos de 30, 80 y 20 cm entre surcos pares con 4.51; 4.34 y 4.26 ton.ha^{-1} respectivamente.

Similares resultados se encontraron en Guayabal - Tolima en donde existen diferencias estadísticas altamente significativas entre sub tratamientos (espacio entre surcos pares); el mejor rendimiento se presentó cuando hay 40 cm entre surcos pares con 3.97 ton.ha^{-1} y los otros espacios entre surcos de 20, 30 y 80 cm con 3.66, 3.27 y 3.20 ton.ha^{-1} respectivamente.

El arreglo espacial de la siembra del cultivo de maíz en surcos dobles espaciados a 40 cm se convierte en una alternativa para incrementar el rendimiento del cultivo, especialmente en donde la recolección se hace en forma manual.

4.2.9 Efecto de la aplicación de magnesio, azufre y zinc

Al evaluar el efecto de la aplicación de Magnesio y Azufre en Campoalegre - Huila, se encontraron diferencias estadísticas ($P=0.01$) (Figura 31) cuando estos dos nutrientes fueron incorporados en el plan

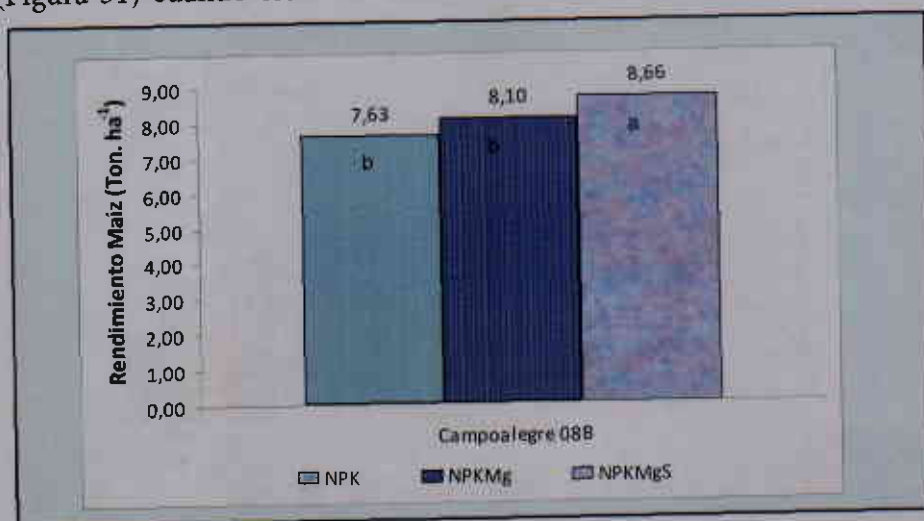


Figura 31. Efecto de la aplicación de magnesio y azufre en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

de nutrición, obteniendo en promedio 8.66 ton.ha⁻¹ de maíz. Se hace necesario profundizar en estudios tendientes a precisar la dosificación de estos elementos secundarios.

Los rendimientos promedio de la aplicación de Magnesio, Azufre y Zinc se observan en la Figura 32, en dos localidades. Como se observa en la figura el tratamiento con aplicación de los tres nutrientes presenta los mayores rendimientos promedio (7.97 y 7.69 ton.ha⁻¹) superando estadísticamente a los otros tratamientos evaluados ($P < 0.01$).

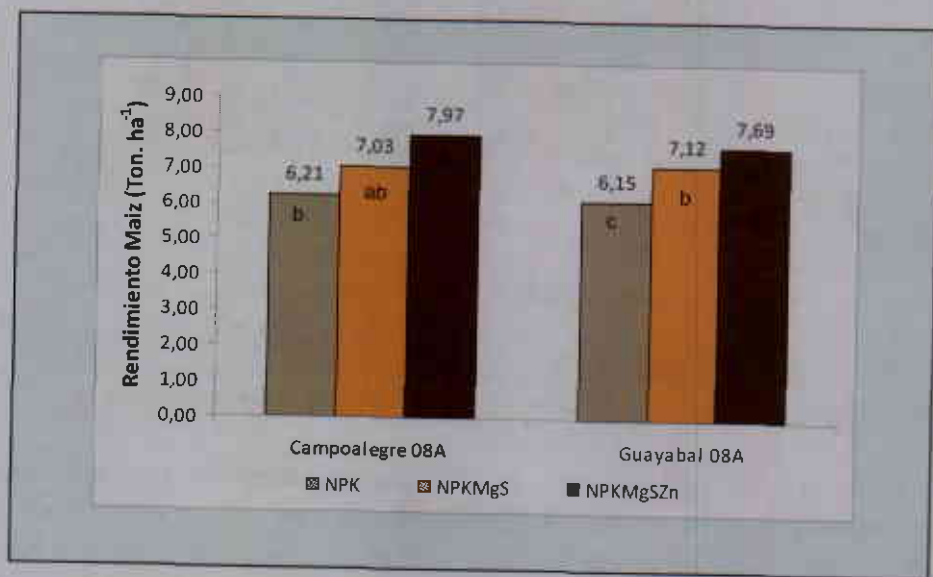


Figura 32. Efecto de la aplicación de azufre, magnesio y zinc en la productividad. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

4.2.10 Efecto de la aplicación de azufre, zinc y boro

En dos semestres agrícolas se evaluó la respuesta del cultivo a la aplicación de Azufre, Zinc y Boro. Al analizar el ensayo se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0.01$). En el semestre B de 2009 el tratamiento con Azufre, Zinc y Boro (MicroEssentials), obtuvo el mayor rendimiento con promedios de 5,96 ton.ha⁻¹, fue estadísticamente diferente a los tratamientos con omisión de boro y de zinc.

En el semestre A de 2010 el mayor promedio de $6.01 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ se obtuvo con el tratamiento donde se utilizó como fuente MicroEssentials y boro granular, este fue estadísticamente igual al tratamiento donde se aplicó MicroEssentials y estadísticamente diferente a los otros tratamientos, Figura 33.

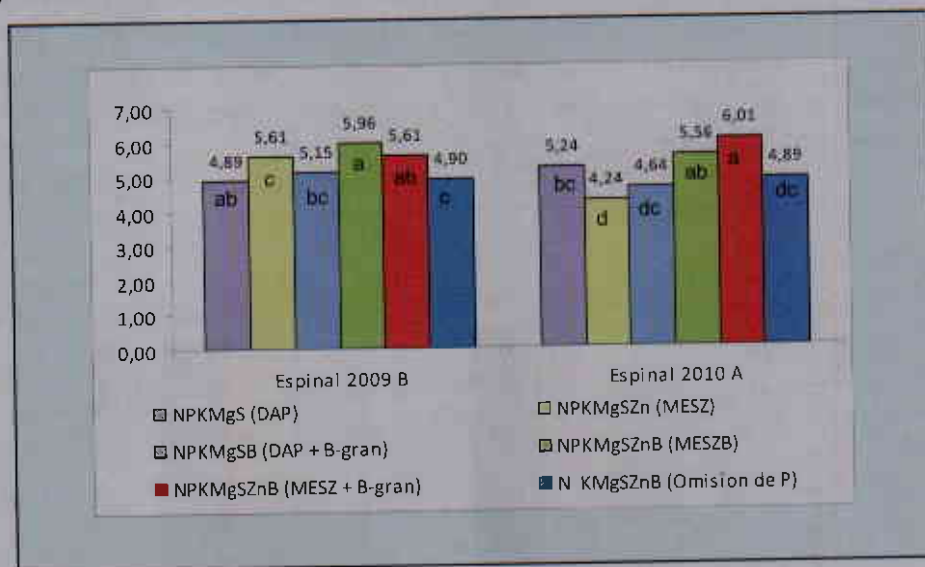


Figura 33. Efecto de la aplicación de Azufre, Zinc y Boro en el Departamento de Tolima.

En la mayoría de los suelos de la misma región natural pueden tener limitantes y respuestas a los elementos estudiados y no son considerados por la mayoría de los productores de maíz en el país, por lo cual se deben intensificar trabajos con esta orientación.

4.2.11 Determinación de brechas ecológica y tecnológica

El rendimiento potencial en la zona varía entre 7.000 y $10.500 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. La **Be** varía entre las regiones y los semestres, es superior en El Espinal con promedio de $1.643 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y menor en Campoalegre y Sabana de Torres con 1.084 y $1.584 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente. La respuesta del rendimiento a la aplicación de nitrógeno fue en promedio de 5.312 Kilogramos de grano variando entre las diferentes localidades como se observa en la Tabla 14. La **Bt** para los otros nutrientes disminuye, en promedio se obtuvieron 1.980 y 1.175 Kilogramos de grano para la aplicación de fósforo y potasio respectivamente.

Tabla 14. Brecha ecológica y tecnológica (Kg.ha⁻¹) en diferentes localidades del Valle Alto y Medio del Magdalena.

Municipio	Rendimiento potencial	Ecológica	Tecnológica				
			N	P	K	S	Mg
Campoalegre 06A	7.000	443	3.187		226		227
Campoalegre 06B	7.000	1.438	5.301	2.965	1.985	2.051	924
Campoalegre 07A	7.000	1.372	4.656	2.811	941	776	2.167
Sabana de Torres 06A	10.000	217	8.078	4.397	5.146	918	530
Sabana de Torres 07A	10.000	2.350	4.892	2.170	678	965	1.014
Sabana de Torres 07B	10.000	2.185	7.122	1.103	276	1.225	1.015
Espinal 06 B	8.000	1.815	4.692	1.210	719	400	19
Espinal 07 A	8.000	1.472	5.446	948	480	436	1.062
San Juan 06B	10.500	202	4.436	241	131	551	
Promedio		1.277	5.312	1.980	1.175	915	869

4.2.12 Conclusiones

1. La fertilización nitrogenada, es una práctica relevante para el logro de cultivos de maíz de alta producción, cuando se omite la aplicación del nutriente el rendimiento se ve afectado drásticamente en los Valles del Alto y medio Magdalena.
2. Los resultados muestran que existe una relación significativa entre los rendimientos de grano y la disponibilidad continua de N durante la etapa vegetativa del cultivo, éstos se consideran una herramienta útil para ajustar la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz y a la dosis de recomendación.
3. El doble (20 – 80) o triple (20 – 40 – 40) fraccionamiento (%) de la fertilización nitrogenada contribuyó a aumentar la producción de maíz - grano en las condiciones de los ensayos. Las mayores eficiencias en el uso del nitrógeno y la recuperación aparente del N aplicado en el grano se obtuvieron para aplicaciones realizadas considerando las etapas fisiológicas del cultivo en V0, V6 y V10.

4. La respuesta de los cultivos a la fertilización fosforada depende del nivel de P disponible en suelo, pero también es afectada por factores del suelo como textura, pH, contenido de materia orgánica, entre otros, y del cultivo como requerimiento y meta de rendimiento y de manejo de los fertilizantes. Al evaluar diferentes fuentes y dosis de fósforo no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo, con la mayor dosis aplicada (80 Kg de P_2O_5) y la combinación con fosfatos amónicos se obtuvieron los mayores rendimientos.
5. Para la nutrición del cultivo con potasio se considera importante tener en cuenta la interacción entre el doble fraccionamiento (20-80 o 80-20) según la fisiología del cultivo, la dosis entre 60 y 90 Kg de K_2O y la fuente debido a que puede originar diferencias agronómicas en los rendimientos. La utilización de fuentes potásicas como cloruro de potasio es una alternativa de fertilización.
6. Una alternativa importante para la zona es difundir la siembra en surcos dobles entre 0.3 y 0.4 m ya que se incrementaron los rendimientos, en las localidades donde se evaluó este arreglo espacial de siembra se encontraron diferencias al compararla con el testigo de surco convencional de 0.8 m. Esta práctica puede ser de utilidad en zonas en donde la recolección es manual.
7. El uso de nutrientes secundarios Magnesio y Azufre y de micronutrientes como Zinc y Boro, promueven un buen desarrollo del cultivo. Los resultados obtenidos en las localidades donde se aplicaron estos nutrientes demuestran incrementos en rendimiento al compararlo con el testigo, confirmando que son nutrientes importantes en ambientes de buena productividad que llevan a mejorar el rendimiento y la calidad del producto cosechado.
8. Con el fin de alcanzar el rendimiento potencial de la zona es necesario conocer el ambiente edáfico y atender factores económicos para hacer rentable el uso de insumos incluido el riego, además, realizar un manejo adecuado de cultivo que incluya entre otros aspectos época de siembra, densidad y arreglo espacial.

4.3 VALLE DEL CAUCA



4.3.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo.

En el Valle del Cauca en general, el elemento que limito la producción fue el nitrógeno como se observa en la Figura 34, la reducción varía en las localidades entre 1,24 y 7,14 toneladas de grano, en Obando la omisión de este nutriente fue marcada (7,14 toneladas) si se compara con las otras localidades, la omisión de fósforo disminuye la producción entre 0,36 y 2,80 toneladas de grano y la de potasio entre 0,45 en Bolívar y 1,14 en Roldanillo, la omisión de Azufre y Magnesio no ocasionan disminuciones marcadas en el rendimiento, Figura 34.

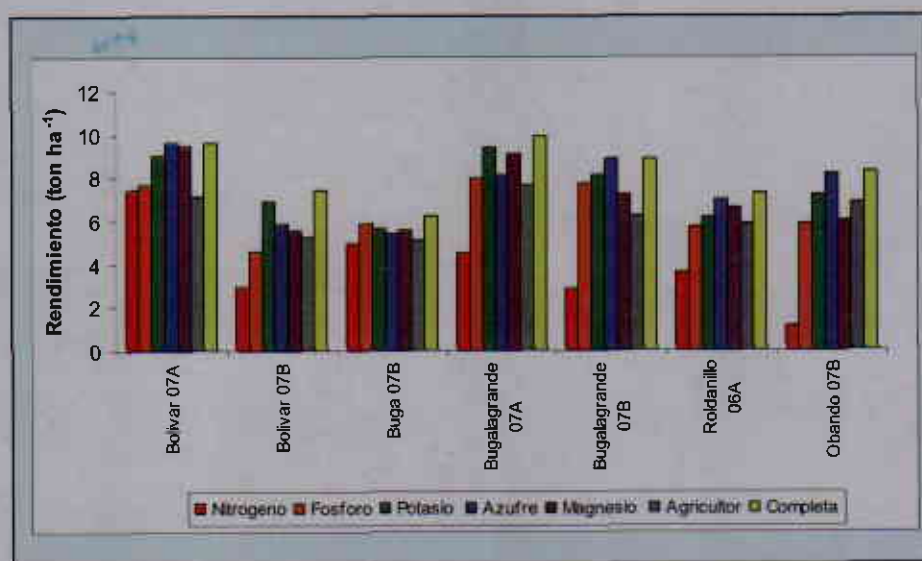


Figura 34. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Valle del Cauca.

La eficiencia agronómica para nitrógeno en el Valle del Cauca varía entre 6,2 y 36,0 kilogramos, con un promedio de 21,58 Kilogramos, como se aprecia en la Tabla 15. Para fósforo la EA varía entre 4,1 y 31,1 kilogramos y para potasio el promedio en la región fue de 6,2 kilogramos.

La respuesta obtenida a la aplicación de los diferentes nutrientes se observa en la Tabla 16, en el Valle del Cauca la respuesta a la aplicación de nitrógeno varía entre 1,2 toneladas de grano en Buga y 7,2 en Obando, con un promedio de 4,4 toneladas. Sigue en importancia la respuesta a la

Tabla 15. Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha⁻¹), Fósforo (90 Kg.ha⁻¹), Potasio (100 Kg.ha⁻¹) y Magnesio (44 Kg.ha⁻¹).

Municipio	Kg. grano Kg. nutriente aplicado ⁻¹			
	N	P	K	Mg
Buga	6,2	4,1	4,5	14,6
Bugalagrande 07A	27,0	21,8	4,5	20,0
Bugalagrande 07B	30,5	13,3	6,7	38,6
Bolívar 07A	10,5	21,1	5,0	2,3
Bolívar 07B	22,5	31,1	4,2	4,5
Obando	36,0	27,8	9,2	52,3
Roldanillo	18,4	17,8	9,6	15,7
Promedio	21,5	19,6	6,2	21,1

Tabla 16. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes en el Valle del Cauca.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Buga	1,2	0,4	0,5	0,7	0,6
Bugalagrande 07A	5,4	2,0	0,5	1,7	0,9
Bugalagrande 07B	6,1	1,2	0,8	0,0	1,7
Bolívar 07A	2,1	1,9	0,6	0,0	0,1
Bolívar 07B	4,5	2,8	0,5	1,5	0,2
Obando	7,2	2,5	1,1	0,1	2,3
Promedio	4,4	1,8	0,7	1,0	0,97

aplicación de Fósforo con un promedio de 1,8 toneladas de incremento y Magnesio con un promedio de 0,97.

Como se observa en la Tabla 17, los mayores valores de EF para nitrógeno se observan en la localidad de Bolívar al norte del Valle del Cauca

Tabla 17. Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio	(Kg grano producido Kg. nutriente absorbido ⁻¹)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Buga	35,82		17,70
Bugalagrande 07A		197,10	67,15
Bugalagrande 07B			10,95
Bolívar 07A	25,37	791,38	23,63
Bolívar 07B	63,63		17,47
Obando		351,83	39,82
Roldanillo	60,90	303,00	43,71
Promedio	46,43	410,82	31,49

con un valor de 63.63. En promedio el mayor valor de Eficiencia fisiológica para la zona se obtuvo con fósforo 791.38 y los valores de nitrógeno y potasio estuvieron cercanos 46,43 y 31.49 kilogramos.

Las mayores tasas de extracción en todas las localidades corresponden a nitrógeno y varían entre 14,8 y 23,5 con un promedio de 18,91; sigue en importancia el potasio con un promedio de extracción de 14,26 y posteriormente el fósforo con 3,93 Kg. de nutriente por tonelada de grano producida, en menor cantidad se extraen el magnesio (2,83) y el azufre (1,3), Tabla 18.

Tabla 18. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida.

Municipio	Kg. nutriente ton. maíz producida ¹				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
Buga	17,5	4,1	13,1		3,2
Bugalagrande 07A	19,3	3,4	15,3	0,9	2,5
Bugalagrande 07B	14,8	3,8	11,7	2,0	2,5
Bolívar 07A	23,5	2,9	11,8	0,9	2,9
Bolívar 07B	20,1	3,6	14,0	1,4	2,0
Obando	17,7	3,4	17,1	1,4	1,8
Roldanillo	19,5	6,3	16,8	1,2	4,9
Promedio	18,91	3,93	14,26	1,30	2,83

Como se observa en la Tabla 19, en promedio para las localidades evaluadas el índice de cosecha fue de 0,44 esto indica que el 56% del total de la biomasa producida es retenida en los residuos de cosecha y puede a mediano plazo ser reciclada en el suelo. Los mayores extracciones fueron para

Tabla 19. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Buga	0,43	0,71	0,76	0,21		0,28
Bugalagrande 07A	0,47	0,73	0,74	0,18	0,43	0,34
Bugalagrande 07B	0,45	0,74	0,78	0,26	0,49	0,30
Bolívar 07A	0,45	0,71	0,76	0,25	0,48	0,36
Bolívar 07B	0,45	0,73	0,74	0,16	0,46	0,37
Obando	0,44	0,72	0,75	0,15	0,48	0,42
Roldanillo	0,41	0,73	0,71	0,21	0,47	0,42
Promedio	0,44	0,72	0,75	0,20	0,47	0,36

Nitrógeno y Fósforo (0,72 y 0,75) seguidos de Azufre, Magnesio y Potasio (0,47, 0,36 y 0,20) respectivamente.

Considerando las variables y respuestas obtenidas se calibró la dosis para el manejo de nutrientes en la zona, Tabla 20. Es importante tener en cuenta que es una dosis básica de nutriente por lo que es necesario explorar el momento oportuno y las fuentes de nutrientes para lograr mejores resultados con la nutrición del cultivo.

Tabla 20. Dosis recomendada por nutriente para diferentes localidades del Valle del Cauca.

Municipio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg. ha ⁻¹				
Buga					
Semestre A	143	55	88	Rs ¹¹	Rs
Semestre B	165	65	75	Rs	Rs
Bugalagrande					
Semestre A	160	85	58	Rs	Rs
Semestre B	176	68	71	Rs	Rs
Bolivar					
Semestre A	137	61	40	Rs	Rs
Semestre B	117	90	35	Rs	Rs
Obando					
Semestre A	195	85	53	Rs	Rs
Semestre B	200	90	60	Rs	Rs

Rs¹¹ = Dosis de Reposición basado en los niveles de extracción y el suplemento nativo

4.3.2 Efecto de el fraccionamiento y la fuente de nitrógeno

Como se observa en la Figura 35, en Buga y Bolívar al evaluar el fraccionamiento de Nitrógeno los mayores rendimientos promedio se encontraron en el triple fraccionamiento 20 - 40 - 40 en las etapas V0, V6 y V10-12.

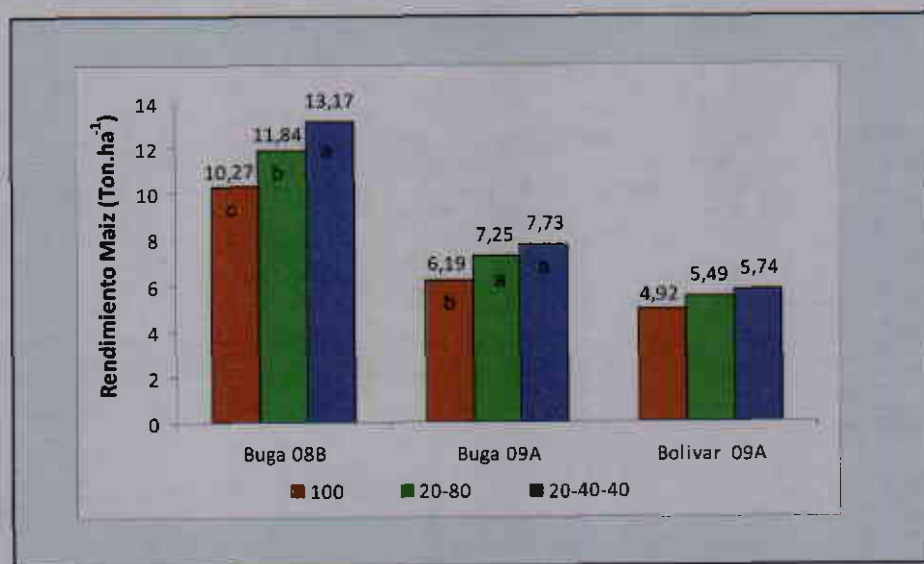


Figura 35. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad en dos localidades del Valle del Cauca. Letras diferentes en los fraccionamientos indican diferencias entre ellas.

En Buga se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($P=0.01$), en el semestre B - 08 se presentan diferencias entre el triple fraccionamiento 20 - 40 - 40 (13,17 ton) y los otros tratamientos evaluados, el doble fraccionamiento 20 - 80 (11,84) y la aplicación total del elemento a la siembra (10,27). En el semestre 09 A ($P=0.04$) existen diferencias en los rendimientos promedios, se observan entre el triple (7,73 ton) y el doble fraccionamiento del nutriente (7,25 ton) con la aplicación total del Nitrógeno a la siembra (6,19 ton). En Bolívar no se encontraron diferencias entre los fraccionamientos evaluados ($P=0.15$).

Al analizar el efecto de las fuentes utilizadas las diferencias fueron altamente significativas, Figura 36. En Buga en el semestre 08 B ($P<0.01$) se observa que Úrea ENTEC (12,55), Nitrato de Calcio (12,32) y Sulfamon 26

(12,12) presentan diferencias con Úrea granulada y Nitrato de Potasio. En el semestre 09 A ($P=0.01$) la Úrea ENTEC, la Úrea granular, el Nitrato de Potasio y el Sulfamon 26 presentaron diferencias estadísticas significativas con el Nitrato de Calcio cuyo promedio fue el mas bajo (6,31 ton.ha⁻¹).

En Bolívar ($P<0.01$), la fuente con mayor promedio fue Úrea ENTEC con 5,73 ton.ha⁻¹, le sigue Sulfamon 26, Nitrato de Potasio y Úrea granular con promedios que varían entre 5,32 y 5,60 ton.ha⁻¹, estas fuentes presentaron diferencias estadísticas significativas con el Nitrato de Calcio con promedio de 4,74 ton.ha⁻¹, Figura 36.

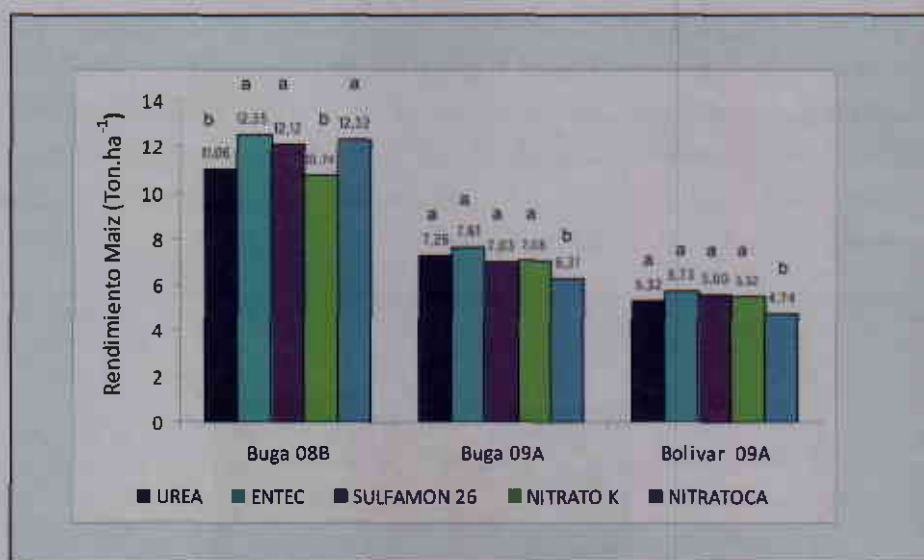


Figura 36. Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades del Valle del Cauca. Letras diferentes en las fuentes indican diferencias entre ellas.

En general, se podría afirmar, que la práctica de fraccionamiento en el cultivo de maíz es apropiada porque disminuye las pérdidas de nitrógeno causadas por volatilización y/o lixiviación del elemento, considerando además, las condiciones climáticas imperantes en cada una de las zonas evaluadas. Al evaluar la Úrea ENTEC se obtuvo mayores rendimientos, esto se debe a los beneficios de la molécula lo que permite considerar esta fuente como una alternativa para la fertilización nitrogenada.

4.3.3 Efecto de la urea entec en la reducción del fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno

Diversos estudios han demostrado que la utilización de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación reduce significativamente las pérdidas de nitrógeno en forma de nitrato en comparación a los fertilizantes convencionales, aumentando así la eficiencia en la utilización del nitrógeno por parte de las plantas, lo que se traduce directamente en un mayor rendimiento y mejor calidad de la producción agrícola.

En la Figura 37, se pueden apreciar los rendimientos promedio de maíz al evaluar la Úrea ENTEC en diferente fraccionamiento y compararla con la aplicación de Úrea granular en triple fraccionamiento ($P=0.85$). Con la urea granular en triple fraccionamiento se obtiene el mayor rendimiento promedio por hectárea seguido de la aplicación de Úrea ENTEC en doble fraccionamiento 20 - 80 % siendo esta una alternativa adecuada para la nutrición del cultivo de maíz en la zona.

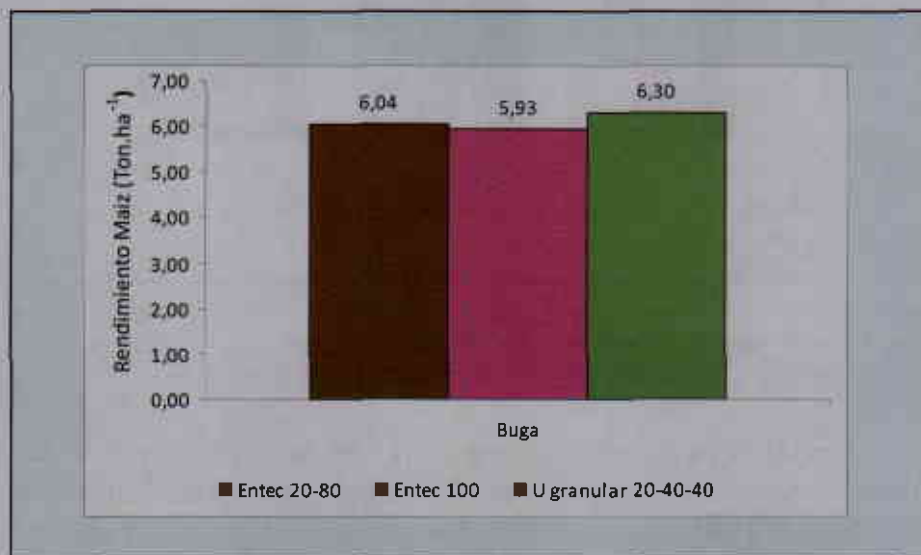


Figura 37. Efecto de la Úrea ENTEC en la productividad.

4.3.4 Efecto de la fuente y la dosis de fósforo

El Fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división, el crecimiento celular y otros procesos de las plantas. Una pequeña cantidad del fósforo del suelo proveniente de mineralización es disponible para las plantas, por lo que hay que mejorarlas con la adición de este nutriente.

La fertilización con fósforo es clave, no sólo para restituir los niveles de nutriente en el suelo, sino también para obtener plantas más vigorosas y promover la rápida formación y crecimiento de las raíces, haciéndolas más resistentes. El Fósforo mejora la calidad de los granos, siendo vital para la formación de las semillas. La deficiencia de fósforo retarda la madurez del cultivo.

Al evaluar fuentes y dosis de Fósforo en tres localidades del Valle, se observan diferencias estadísticas entre fuentes ($P>0.01$) en Bolívar y Obando, además, el MicroEssentials es la fuente con la cual se obtuvieron los mayores rendimientos promedio, en dos de las tres localidades las diferencias fueron significativas, Figura 38.

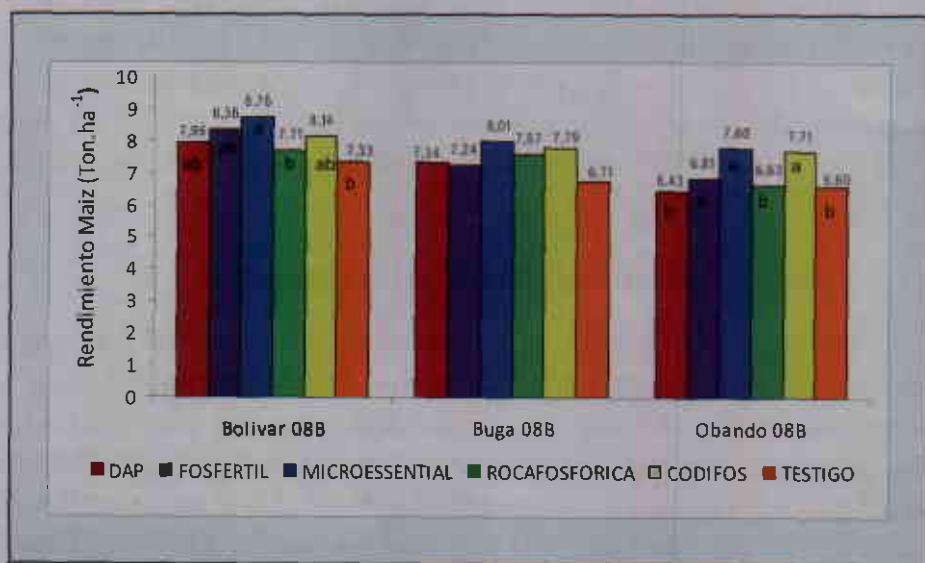


Figura 38. Efecto de diferentes fuentes de fósforo en la productividad.

En las tres localidades, se encontró respuesta a la fertilización fosforada con MicroEssentials siendo este el mejor tratamiento. Los otros tratamientos (fuentes de fósforo) alcanzaron rendimientos levemente inferiores sin diferencias entre las dosis evaluadas (Figura 39). Los menores rendimientos promedio se alcanzaron con roca fosfórica en las tres localidades evaluadas (7,71; 7,57 y 6,63 ton.ha⁻¹) Bolívar, Buga y Obando respectivamente.

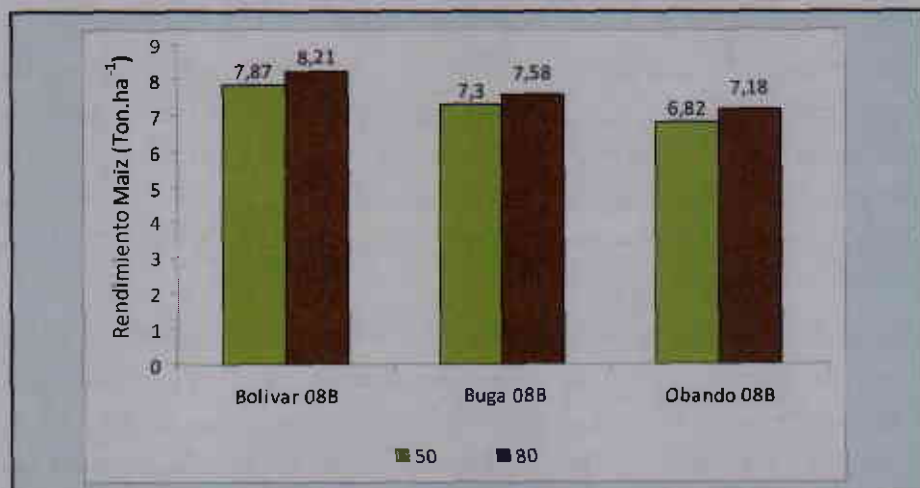


Figura 39. Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.

Al analizar estadísticamente la dosis de aplicación en las tres localidades no se encuentran diferencia entre estas ($P=0.57$; 0.14 y 0.02) para Bolívar, Buga y Obando. A pesar de la escasa diferencia observada entre las dosis evaluadas, podría optarse por la más elevada (80 Kg.ha^{-1}) con el fin de no tornar excesivamente deficitario el balance del nutriente en el suelo.

4.3.5 Efecto de la fuente de fósforo en la producción

Al evaluar diferentes fuentes de fósforo en dos localidades del Valle del Cauca, Bolívar y Buga, no se encontraron diferencias estadísticas en la interacción Fuente x Dosis. En las dos localidades se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las fuentes de fósforo ($P=0.03$ y 0.04). El mayor promedio de producción de maíz se obtuvo con MicroEssentials en las dos localidades, con 8,20 y 8,33 toneladas por hectárea (Bolívar y Buga), este tratamiento fue diferente a las demás fuentes evaluadas, Figura 40.

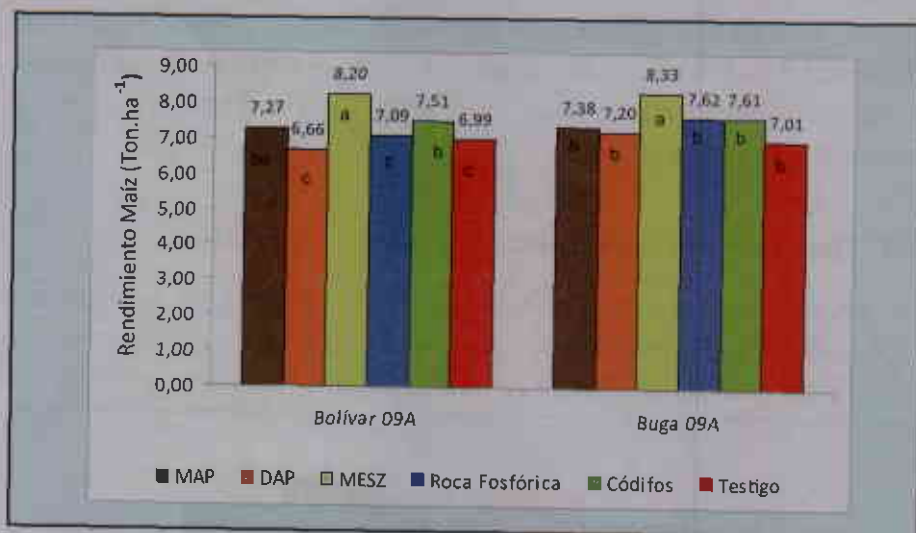


Figura 40. Efecto de la fuente de fósforo en la productividad.

En Buga, no se encontraron diferencias estadísticas cuando se compararon las dosis de Fósforo los promedios de maíz fueron de 7,70 y 7,35 ton. ha⁻¹ con las dosis evaluadas de 80 y 50 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (P=0.07), situación contraria a Bolívar donde las diferencias estadísticas fueron significativas (P=0.01), cuando se aplicó 80 Kg.ha⁻¹ P₂O₅, se obtuvo como promedio 7,45 ton.ha⁻¹ de maíz en comparación a 7,13 ton.ha⁻¹ ha cuando se aplicó la dosis de 50 Kg.ha⁻¹ P₂O₅, Figura 41.



Figura 41. Efecto de la dosis de fósforo en la productividad.

Estos resultados manifiestan la incidencia de una adecuada provisión de fósforo del suelo sobre el desarrollo del cultivo y sobre los rendimientos. Futuras evaluaciones en el mismo sitio, permitirán ampliar y profundizar la información obtenida.

4.3.6 Efecto del fraccionamiento y la fuente de potasio

Al evaluar cinco fraccionamientos de Potasio y dos dosis del nutriente en Obando – Valle en ningún caso hubo diferencias significativas en promedio de rendimiento como se muestra en las Figuras 42 y 43. Para el

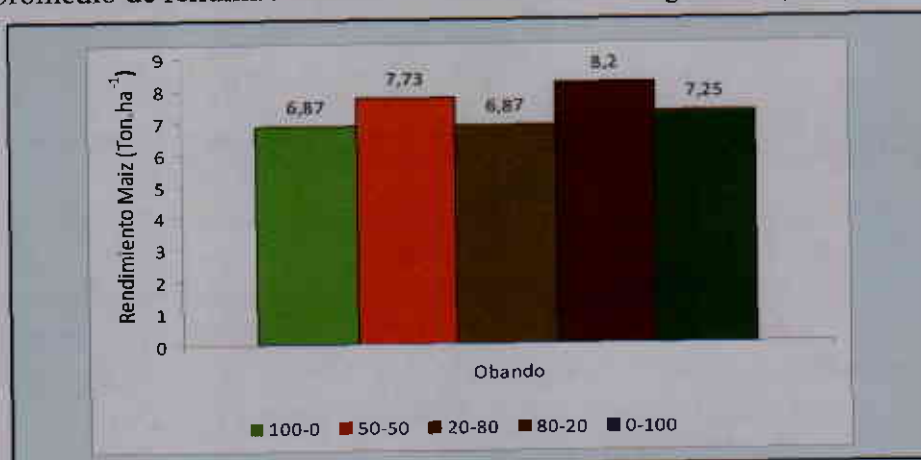


Figura 42. Efecto del fraccionamiento de potasio en la productividad.



Figura 43. Efecto de la dosis de potasio en la productividad.

caso de fraccionamiento ($P=0.19$), los mayores promedios se obtuvieron con los dobles fraccionamientos 80 – 20 seguido de 50 – 50 en V0 y V6 con rendimientos de 8.20 y 7.73 ton.ha⁻¹ de grano y para la dosis ($P=0.33$) cuando se aplicó 90 Kg.ha⁻¹ de K₂O el rendimiento fue mayor.

4.3.7 Efecto de la aplicación de azufre, zinc y boro

El deterioro en la fertilidad de los suelos y el potencial de respuesta al agregado de nutrientes han determinado que habitualmente se recurra a la suplementación con Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S). Sin embargo, existen otros elementos que, aunque son esenciales para el crecimiento y el rendimiento del cultivo, generalmente no son tenidos en cuenta en los esquemas de nutrición. Por ser requerido en menores dosis que los nutrientes principales, estos elementos se denominan meso y micronutrientes.

El uso de micronutrientes ha despertado interés para promover un buen desarrollo de los cultivos y mejorar el rendimiento y la calidad del producto. En algunas regiones se han documentado respuestas positivas a su aplicación, siendo los más frecuentes el de zinc (Zn) y boro (B) en maíz.

Al analizar los rendimientos de los dos ensayos se determinaron diferencias estadísticas significativas en los rendimientos ($P= 0.007$; $CV=5.75\%$) y $P=0.05$ para los semestres 09B y 10A, respectivamente.

Puede señalarse que la aplicación del tratamiento completo que incluyó Magnesio, Azufre, Zinc y Boro en dosis de 44, 75, 2.1 y 1.1 Kg.ha⁻¹ respectivamente, obtuvo el mayor rendimiento con promedios de 4.97 y 5.60 en los dos semestres evaluados, además el rendimiento promedio con los otros tratamientos varió entre 290 y 890 Kg.ha⁻¹ en el primer ciclo de evaluación y entre 50 y 550 Kg.ha⁻¹ en el segundo ciclo, Figura 44.

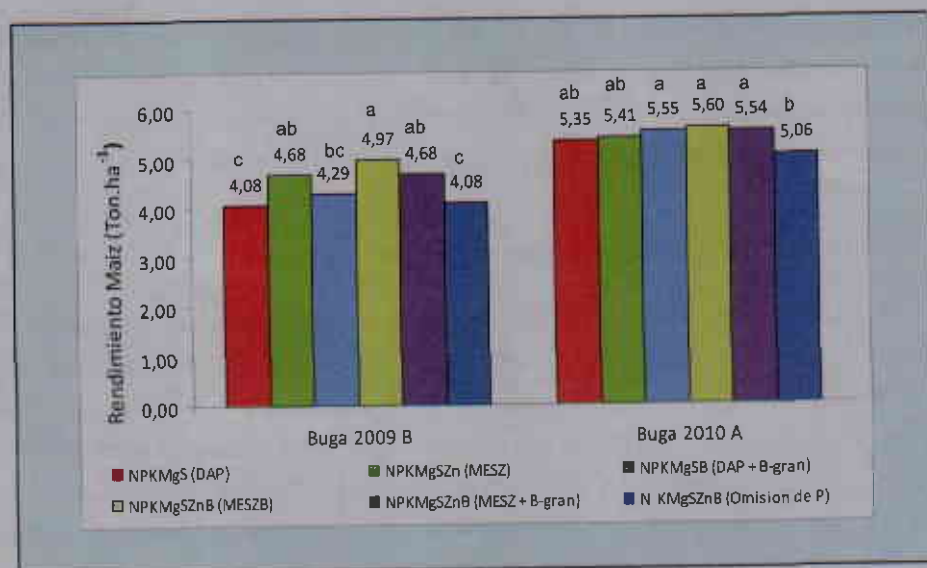


Figura 44. Efecto de la aplicación de Azufre, Zinc y Boro en Buga - Valle del Cauca.

Cabe destacar que los menores rendimientos se obtuvieron cuando se omitió la aplicación de fósforo (4.08 y 5.06 ton.ha⁻¹) y estos fueron estadísticamente diferentes a los otros tratamientos, la diferencia en rendimientos fueron las mas altas 890 y 550 Kg.ha⁻¹ de maíz para el primer y segundo ciclo de evaluación.

Los resultados presentados indican que tanto fósforo como azufre deben ser tenidos en cuenta al evaluar las necesidades de fertilización del cultivo. Para el caso de fósforo, las investigaciones realizadas permiten diagnosticar la fertilización utilizando el análisis de suelo y el rendimiento esperado. Futuras investigaciones permitirán establecer sistemas de diagnóstico y pautas de manejo (dosis, fuentes, momentos y métodos de aplicación) para la fertilización con elementos secundarios y microelementos.

4.3.8 Master site

El aumento de la demanda de maíz para alimentación, forraje y combustible está alentando a los productores de todo el mundo para aumentar la producción. El aumento sostenible debe venir sin efectos negativos sobre el agua, el suelo o el aire de los recursos. El Instituto

Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), International Plant Nutrition Institute puso en marcha una iniciativa para establecer una Red Mundial para la intensificación ecológica de los sistemas de cultivo de maíz. La Intensificación Ecológica (IE) es un concepto centrado en el desarrollo de sistemas de cultivo altamente productivos que tienen un impacto mínimo sobre los ecosistemas circundantes.

Dentro de la iniciativa global para la intensificación ecológica del Maíz, se planteo el ensayo con el objetivo general de comparar la productividad entre un manejo intenso y el del agricultor considerando la nutrición suficiente y balanceada y general de la zona. Los objetivos específicos fueron - Establecer la diferencia entre las aplicaciones de nitrógeno durante tres años de cultivo. - Comparar la nutrición balanceada con la general de la zona de estudio. - Comparar la población utilizada en el manejo intenso y la del agricultor de la región.

Los tratamientos fueron el tipo de manejo realizado y la dosis de nutrientes aplicados

- Manejo Intenso (90.000 plantas.ha⁻¹; Nutrición: 0 N; N 2/3 ciclos y N 3/3 ciclos)
- Manejo Agricultor (70.000 plantas.ha⁻¹; Nutrición: 0 N; N 2/3 ciclos y N 3/3 ciclos)

En las parcelas de Manejo Intenso se aplicó una dosis básica: Fósforo 90 kg. P₂O₅ ha⁻¹, Potasio 90 kg. K₂O ha⁻¹, Magnesio 44 kg. MgO ha⁻¹ y Azufre en dosis de 50 kg. S ha⁻¹, Zinc 3 Kg ha⁻¹. La dosis de Nitrógeno fue de 200 Kg ha⁻¹. En las parcelas de Manejo Agricultor se aplicó la nutrición general de la zona, una dosis base de fósforo en dosis de 46 kg. P₂O₅ ha⁻¹, 60 kg. K₂O ha⁻¹, 20 Kg de elementos menores. El Nitrógeno se aplicó la dosis de 150 Kg ha⁻¹.

FENALCE durante tres ciclos consecutivos apoyo la implementación del "Master Sites" en donde se realiza seguimiento de: crecimiento y desarrollo, uso de recursos e insumos, la eficiencia obtenida y la huella ecológica. Al comparar la intensificación ecológica con el tratamiento convencional para la región, se intentará definir los sistemas de producción para llegar entre 85 a 90% del rendimiento potencial teórico para la respectiva región agro-ecológica.

En el primer ciclo de evaluación, los resultados muestran que al realizar manejo intenso y la aplicación de Nitrógeno en 3 de 3 ciclos del cultivo, el promedio de rendimiento fue de 7,99 toneladas por hectárea, este tratamiento fue estadísticamente diferente a los demás ($P=0.04$ $CV=19.37$), seguido de los tratamientos con manejo intensivo 2/3 aplicaciones de nitrógeno ($6,96 \text{ Ton.ha}^{-1}$) y el tratamiento con 0 nitrógeno ($6,85 \text{ Ton.ha}^{-1}$). Los tratamientos con manejo intensivo fueron estadísticamente diferentes a los de manejo de agricultor, Figura 45.

En el segundo ciclo de evaluación, los resultados muestran que al realizar manejo intenso y la aplicación de Nitrógeno 3/3 ciclos del cultivo, el promedio de rendimiento fue de 9.96 toneladas por hectárea, este tratamiento fue estadísticamente diferente a los demás ($P=0.001$ $CV=11.13$), seguido de los tratamientos con manejo agricultor 3/3 (8.24 ton.ha^{-1}); manejo intenso 2/3 (8.10 ton.ha^{-1}) y manejo agricultor 2/3 (7.18 ton.ha^{-1}), en el semestre A, los menores promedios fueron los obtenidos por los tratamientos Manejo intenso y manejo agricultor con cero nitrógeno (6.44 y 5.58 ton.ha^{-1}) respectivamente, Figura 45.

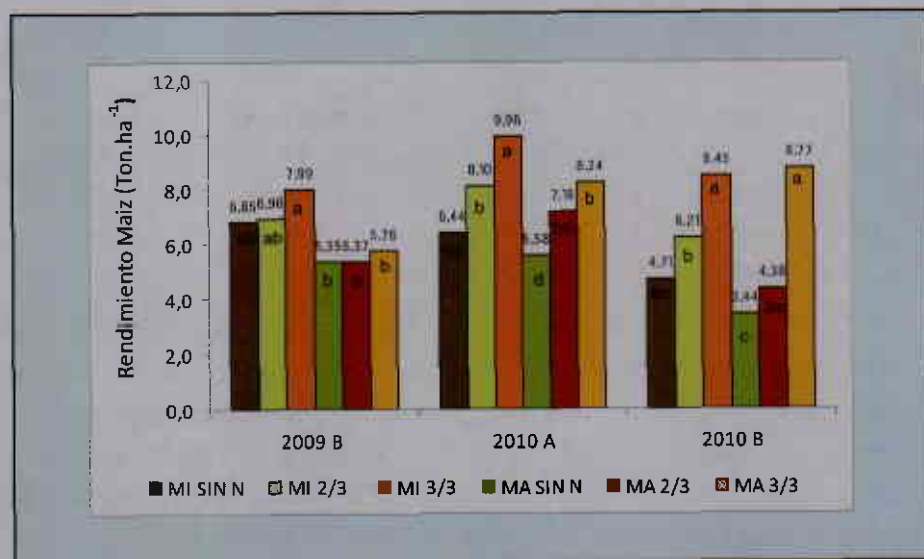


Figura 45. Efecto de la aplicación de nitrógeno en dos tipos de manejo del cultivo intenso y agricultor en Buga - Valle del Cauca.

Para el semestre B tanto en el manejo intenso como en el de agricultor los mayores rendimientos se obtuvieron al aplicar nitrógeno en los tres ciclos evaluados con 8.77 y 8.45 ton.ha^{-1} y son estadísticamente diferentes a los otros tratamientos ($P=0.001$ $CV=20.46$). Los menores rendimientos se observan en los tratamientos con omisión de nitrógeno 4.71 y 3.44 ton.ha^{-1} en manejo intenso y manejo agricultor respectivamente.

En ausencia de nutrición nitrogenada, se observaron efectos acumulativos que determinaron una caída progresiva de los rendimientos, la obtención de máximos rendimientos económicos en cultivos de maíz depende de la adecuada nutrición del cultivo.

4.3.9 Determinación de brechas, ecológica y tecnológica

Como se observa en la Tabla 21 en términos generales, el impacto de la fertilización nitrogenada en la determinación del rendimiento es mayor Obando si se compara con las otras localidades.

Tabla 21. Brecha ecológica y tecnológica en diferentes localidades del Valle del Cauca.

Municipio	Rendimiento potencial	Ecológica	Tecnológica				
			N	P	K	S	Mg
Roldanillo 06 A	9.000	1.696	3.677	1.603	1.148	334	689
Bugalagrande 07 A	10.500	614	5.413	1.961	545	1.779	818
Bugalagrande 07 B	10.500	2.050	5.623	715	338		1.316
Buga 07 B	9.000	2.800	1.249	367	538	780	640
Bolívar 07 A	10.000	386	2.163	1.939	590	12	152
Bolívar 07 B	10.000	2.600	4.489	2.819	463	1.564	1.828
Obando 07 B	9.000	900	6.970	2.265	932		2.117
Promedio		1.578	4.226	1.667	650	570	1.080

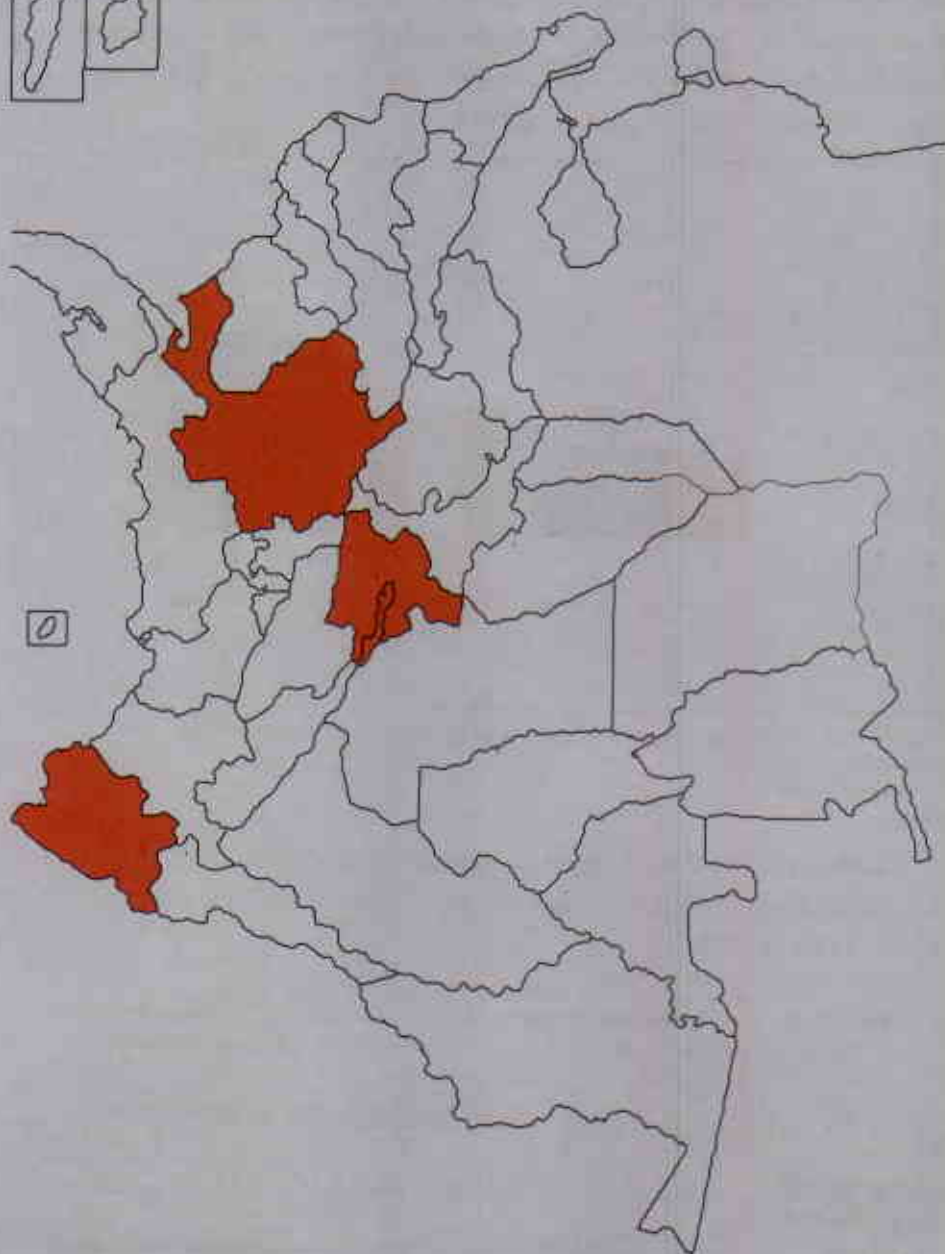
El rendimiento potencial en la zona varía entre 9.000 y 10.500 Kg.ha^{-1} . La **Be** varía entre las regiones y los semestres; es superior en Buga con 2.800 Kg.ha^{-1} y menor en Bugalagrande con 614 Kg.ha^{-1} . La respuesta del rendimiento a la aplicación de nitrógeno fue en promedio de 4.226 Kilogramos de grano variando entre las diferentes localidades como se observa en la Tabla. La **Bt** para los otros nutrientes disminuye, en prome-

dio se obtuvieron 1.667 y 650 Kilogramos de grano para la aplicación de fósforo y potasio respectivamente, se aprecia además, que la omisión de magnesio repercute en mayor cantidad que la omisión de azufre.

4.3.10 Conclusiones

1. Al evaluar el fraccionamiento de Nitrógeno los resultados muestran que la aplicación en proporciones 20 – 40 – 40 de Úrea granular es una alternativa que proporciona el nutriente durante épocas fisiológicas (V0, V6 y V10) importantes en la determinación del rendimiento del cultivo.
2. Como fuentes nitrogenadas en la zona pueden utilizarse además de Úrea granular, Úrea ENTEC y Sulfamon 26 en doble fraccionamiento (20 – 80) en V0 y V6 disminuyendo el costo de mano de obra de aplicación en V10.
3. Al evaluar diferentes dosis y fuentes de fósforo se encontró que los mayores rendimientos de maíz se obtuvieron con MicroEssentials en dosis de 80 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅.
4. Al igual que para el Nitrógeno, el cultivo respondió con incremento en el rendimiento al fraccionamiento de la dosis total de potasio. Con doble fraccionamiento 20 -80 ó 80 – 20 (V0 – V6) y dosis de 90 Kg.ha⁻¹ de K₂O.
5. Los resultados obtenidos confirman que la aplicación de Azufre, Magnesio, Boro y Zinc es de importancia para cultivos de maíz en la zona del Valle del Cauca, caracterizada por ser un ambiente de buena productividad. Sin embargo, es necesario ajustar aspectos tecnológicos de estos nutrientes tales como la dosis, el momento y la forma de aplicación.
6. El manejo de la fertilidad de suelos y la fertilización de maíz con Nitrógeno, Fósforo y Potasio, puede disminuir la brecha tecnológica existente entre rendimientos promedio y potenciales y por ende, mejorar los rendimientos actuales promedios de las zonas evaluadas.

4.4 REGIÓN ANDINA ANTIOQUIA - CUNDINAMARCA - NARIÑO



4.4.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

En la Figura 46, se observan los rendimientos de las parcelas de omisión de dos ciclos de cultivo en Sopetrán Antioquia, las parcelas con menor rendimiento son las de omisión de nitrógeno siendo este el nutriente más limitante de la producción de maíz en la zona, se aprecia que el fósforo es otro nutriente limitante para el cultivo.

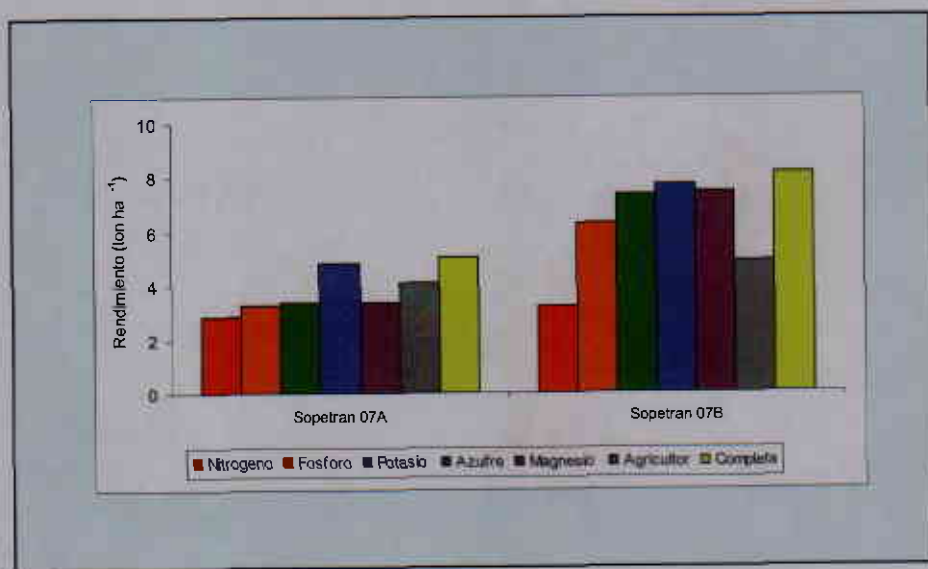


Figura 46. Rendimiento ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos.

La eficiencia agronómica en la zona es en promedio de 17 Kg. para nitrógeno siendo levemente inferior a la de fósforo (20,0) y superior a la de potasio (10,1) Tabla 22.

Tabla 22. Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno ($170 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), Fósforo ($90 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), Potasio ($100 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y Magnesio ($44 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Municipio	Kg. grano Kg. nutriente aplicado ⁻¹			
	N	P	K	Mg
Sopetrán 07A	11,1	19,6	13,8	38,1
Sopetrán 07B	24,5	20,5	6,5	15,5
Promedio	17,8	20,0	10,1	26,8

La respuesta a la aplicación de nutrientes se aprecia en la Tabla 23, como es de esperar la mayor respuesta se observa a la aplicación de nitrógeno y fósforo con promedio de 3,55 y 1,8 toneladas de grano respectivamente.

Tabla 23. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Sopetran 07A	2,2	1,8	1,7	0,24	1,7
Sopetran 07B	4,9	1,8	0,8	0,42	0,7
Promedio	3,55	1,8	1,25	0,33	1,2

Respecto a la Eficiencia fisiológica se puede afirmar que el mayor valor se obtuvo en Fósforo (356.68) seguido de Nitrógeno (38.51) y Potasio (37.02) estos resultados indican que para nitrógeno se producen en promedio 38.51 Kg. de grano por cada kilogramo de nutriente absorbido, Tabla 24.

Tabla 24. Eficiencia fisiológica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio	(Kg grano producido Kg. nutriente absorbido ⁻¹)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Sopetran 07A	25,76	356,68	
Sopetran 07B	51,26		37,02
Promedio	38,51	356,68	37,02

La extracción de nutrientes no varió de forma significativa en los dos semestres evaluados, Tabla 25. El Nitrógeno es el nutriente que se extrae en mayor cantidad, en la zona de Sopetrán y en promedio se extraen 26,05 kilogramos de Nitrógeno por tonelada de grano producido; el Potasio es el segundo elemento extraído con un promedio de 15,9 kilos. En menor cantidad se extraen Fósforo, Magnesio y Azufre con promedios de 3,5, 2,5 y 1,25 kilos respectivamente.

Tabla 25. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida.

Municipio	Kg. nutriente ton. maíz producida ⁻¹				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
Sopetran 07A	27,5	3,7	15,4	1,0	2,8
Sopetran 07B	24,6	3,3	16,4	1,5	2,2
Promedio	26,05	3,5	15,9	1,25	2,5

De los resultados del índice de cosecha total en la zona se puede afirmar en promedio es de 0,44, es decir, que el 56% del total de la biomasa producida por el cultivo es retenida en los residuos de cosecha, el nutriente que más se retiene es el Potasio en aproximadamente el 81% y los nutrientes que menos se retienen porque pasan a formar parte del grano son el Nitrógeno y Fósforo con 25 y 24% respectivamente, Tabla 26.

Tabla 26. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Sopetran 07A	0,41	0,76	0,79	0,22	0,42	0,37
Sopetran 07B	0,46	0,73	0,72	0,15	0,62	0,57
Promedio	0,44	0,75	0,76	0,19	0,52	0,47

Integrando los conceptos anteriores se sugiere la dosis de macronutrientes Tabla 27. Es de anotar, que es importante conocer las condiciones de los suelos y ambientales de la zona con el fin de lograr la respuesta esperada en rendimiento del cultivo.

Tabla 27. Dosis recomendada por nutriente para Sopetrán.

Municipio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg. ha ⁻¹				
Sopetran					
Semestre A	130	91	50	Rs	Rs
Semestre B	140	80	53	Rs	Rs
Rs ¹¹ = Dosis de Reposición basado en los niveles de extracción y el suplemento nativo					

4.4.2 Efecto del fraccionamiento de nitrógeno

En el Municipio de Jardín – Antioquia, no se presentan diferencias estadísticas entre fraccionamiento ($P=0.45$, $CV= 14.88$), el mayor rendimiento se obtuvo con el triple fraccionamiento 20 – 40 – 40 con un promedio de 3,74 ton ha⁻¹ seguido del fraccionamiento doble 20 – 80 (3,38 ton ha⁻¹); 30 – 40 – 30 (3,29 ton ha⁻¹) y 3,05 ton ha⁻¹ para el doble fraccionamiento 50 – 50, Figura 47.

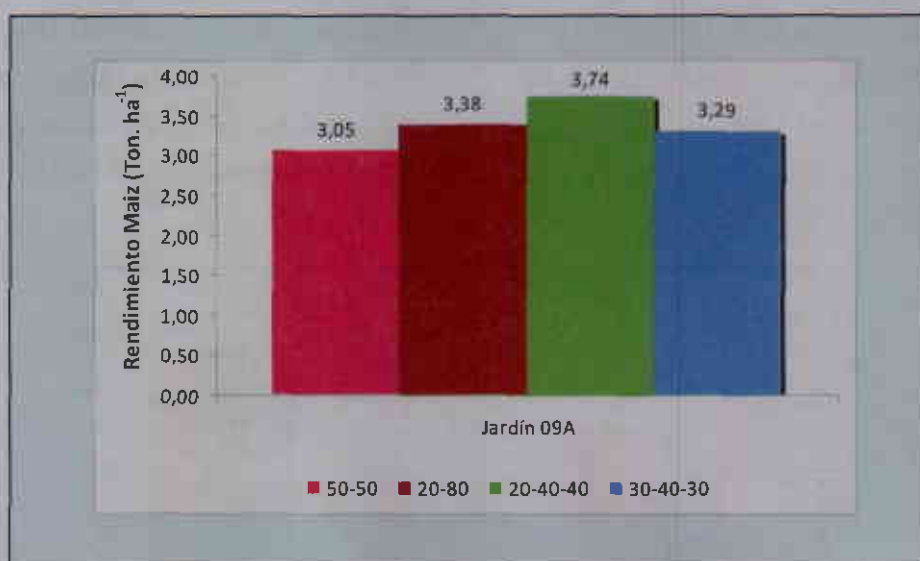


Figura 47. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

4.4.3 Efecto de la dosis de urea en la reducción del fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno

Al realizar el análisis estadístico en Jardín - Antioquia no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($P=0.60$, $CV=29.73$). Los promedios para los tratamientos fueron 3.02 ton ha^{-1} cuando se fraccionó Úrea ENTEC 20-80%; 2.89 ton ha^{-1} para Úrea ENTEC aplicada 100% a la siembra y 3.67 ton ha^{-1} al aplicar urea granulada con el triple fraccionamiento 20-40-40.

En el Municipio de Anolaima (Cundinamarca) en el primer y segundo ciclo de evaluación, los resultados fueron similares al evaluar los tratamientos, a pesar de la diferencia en rendimientos no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($P=0.32$, $CV=10.73$). El mayor promedio lo obtuvo el triple fraccionamiento con Úrea Granular (2.86 ton ha^{-1}) seguido de la aplicación de Úrea ENTEC en doble fraccionamiento (2.6 ton ha^{-1}) y de Úrea ENTEC aplicada 100% a la siembra (2.46 ton ha^{-1}).

Para el segundo ciclo no se presentaron diferencias estadísticas entre ellos ($P=0.57$ $CV=12.79$). El mayor promedio lo obtuvo el triple fracciona-

miento con Úrea Granular 4.65 ton ha^{-1} seguido de la aplicación de Úrea ENTEC (20 – 80%) 4.63 ton ha^{-1} y de Úrea ENTEC aplicada 100% a la siembra 4.18 ton ha^{-1} . En general, las variaciones fueron pequeñas entre tratamientos, con ligeras ventajas a favor de los fertilizados con la Úrea Granular en triple fraccionamiento 20 – 40 – 40, Figura 48.

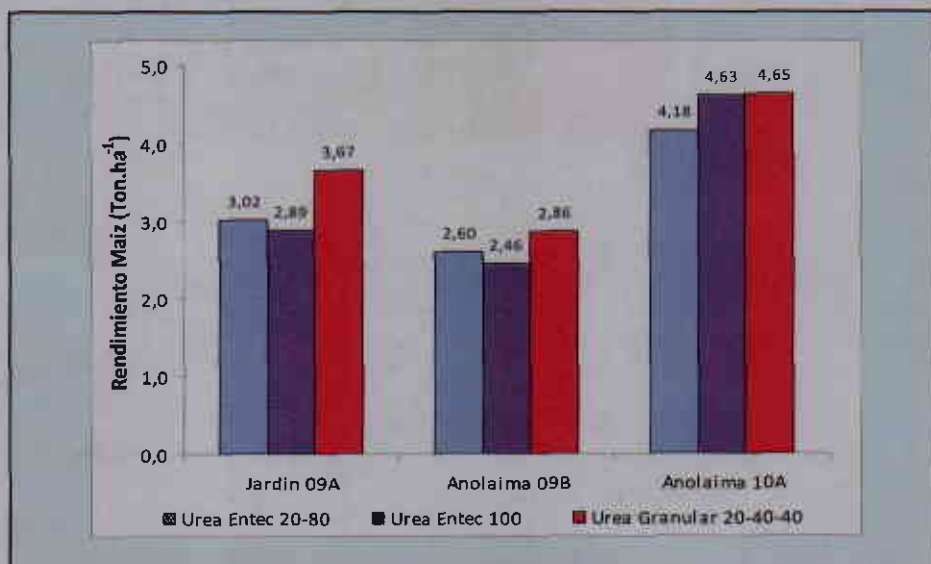


Figura 48. Efecto de la aplicación de Úrea ENTEC en dos regiones productoras de maíz.

4.4.4 Efecto de la fuente de y dosis de fósforo

En la Figura 49, se observan los rendimientos promedio de maíz expresados en toneladas por hectárea en Jardín durante dos semestres de evaluación. Al analizar estadísticamente los resultados en el primer ciclo no se presentaron diferencias entre fuentes de fósforo aplicadas ($P=0.90$ $CV=29.49$) y en el segundo ciclo existieron diferencias estadísticas entre fuentes de fósforo ($P=0.006$ $CV=21.79$).

En el primer ciclo de evaluación el promedio de rendimiento para la dosis de 50 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 fue de 3.41 toneladas, diferente a las dosis 80 y 20 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 que presentaron en promedio de 2.85 y 2.72 ton ha^{-1}

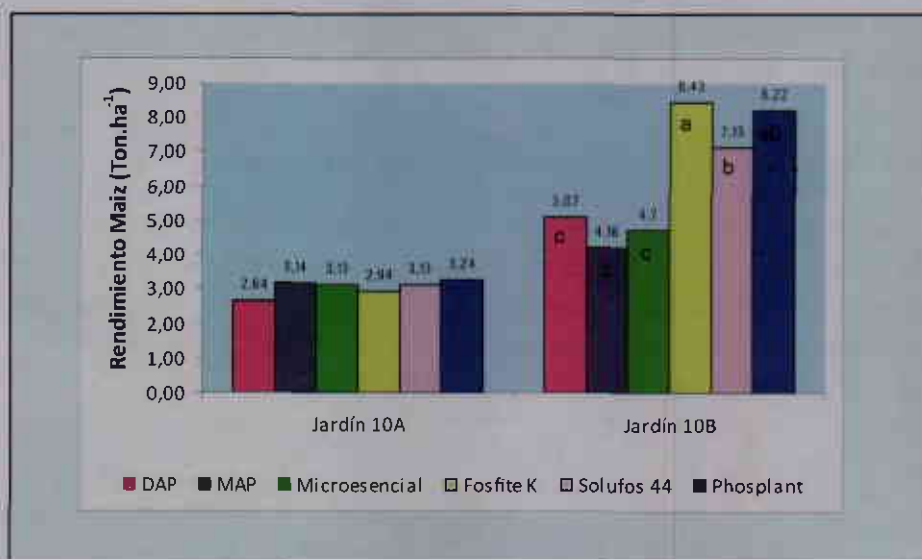


Figura 49. Efecto de la fuente de fósforo en la producción.

de maíz. En el segundo ciclo semestre B, las diferencias se observaron entre las dosis 50 y 80 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ con respecto a la de 20 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, Figura 50.

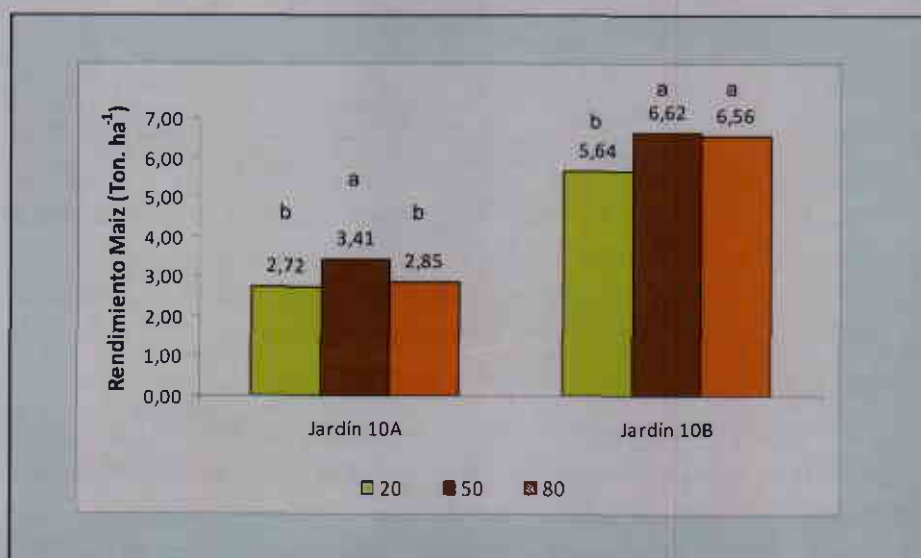


Figura 50. Efecto de la dosis de fósforo en la producción.

En los dos ciclos de evaluación, la interacción fuente por dosis no fue estadísticamente diferente ($P=0.23$ y $P=0.09$).

4.4.5 Efecto de la densidad y el espacio entre surcos

En la Figura 51 se observan los resultados del ensayo en Jardín, para el rendimiento fue de 5,24 y 4,13 toneladas por hectárea para 65.000 y 55.000 plantas respectivamente. Al realizar el análisis estadístico, no se presentaron diferencias entre la densidad de siembra ($P=0.32$), el espacio entre surcos y la interacción densidad por espacio ($P=0.47$).

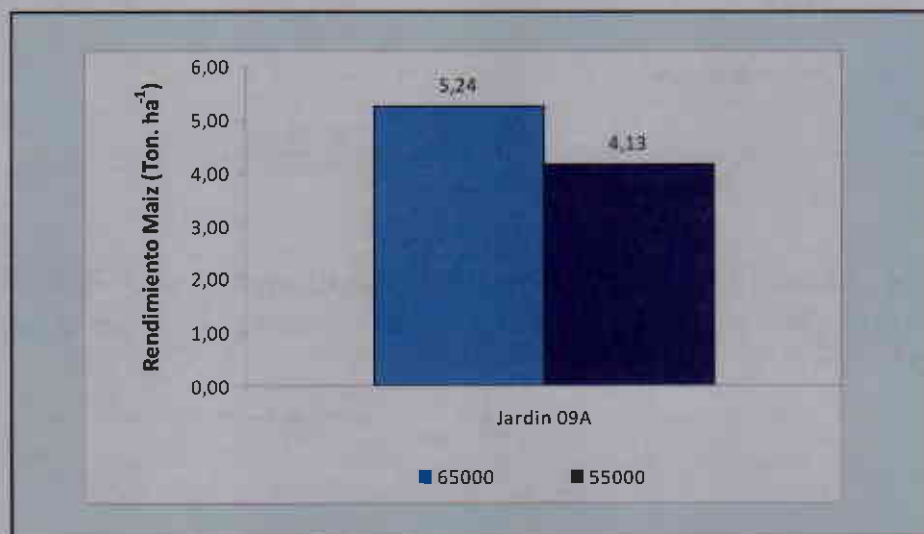


Figura 51. Efecto de la densidad en la productividad.

Desde el punto de vista estadístico, no se determinaron diferencias entre espacio entre surcos ($P=0,13$; $LSD=1475.9$), Figura 52, aunque agronómicamente varias de estas diferencias fueron de una magnitud considerable. Los incrementos de rendimiento oscilaron entre 608 y 1728 Kg ha⁻¹ según el tratamiento con respecto al testigo.

En la Figura 53 se observan los rendimientos promedio de la interacción densidad de siembra por arreglo espacial, a pesar de no ser diferente estadísticamente ($P=0,47$) se podría recomendar la siembra de surcos dobles espaciados a 30 cm debido a que este sub tratamiento supera al siguiente con una tonelada de rendimiento promedio.

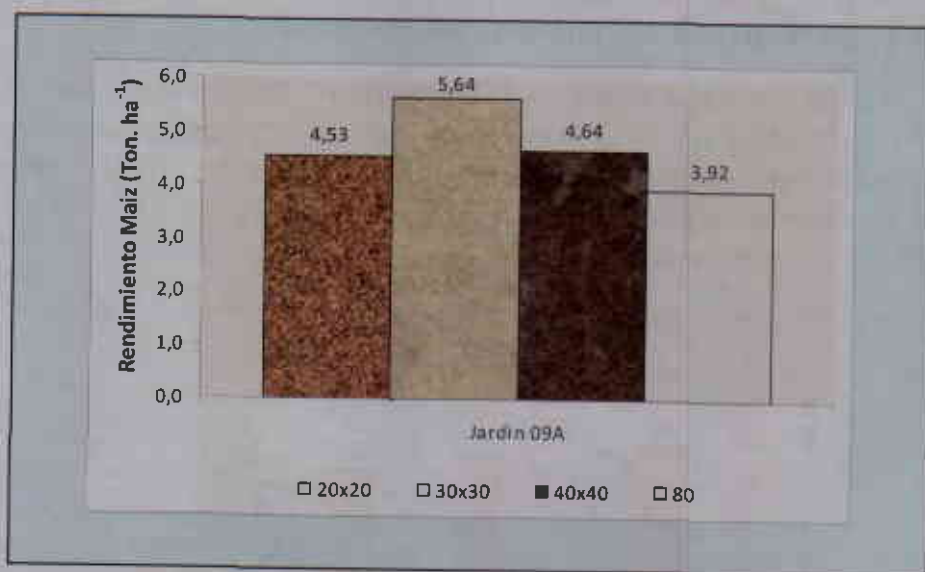


Figura 52. Efecto del espacio entre surcos en la productividad.



Figura 53. Efecto de la interacción densidad de siembra por espacio entre surcos en la productividad.

4.4.6 Efecto del fraccionamiento de nitrógeno

Al evaluar el fraccionamiento de Nitrógeno en dos localidades de Nariño (Arboleda y Consacá), no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos de fraccionamiento de nitrógeno ($P=0.06$ y 0.17), Figura 54. El rendimiento promedio del triple fraccionamiento 20 – 40 – 40 fue superior en las dos localidades.

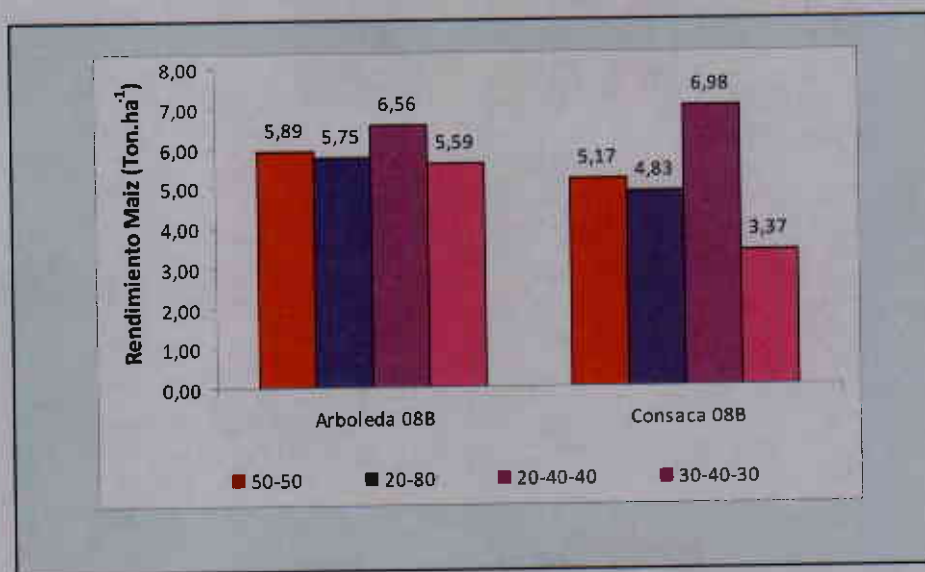


Figura 54. Efecto del fraccionamiento fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades de Nariño.

4.4.7 Efecto de el fraccionamiento y la fuente de nitrógeno

Como se observa en las Figuras 55 y 56, en Arboleda no se presentan diferencias estadísticas entre los fraccionamientos ($P=0.68$) y fuentes evaluadas ($P=0.80$), siendo mayor el rendimiento promedio con el triple fraccionamiento y Nitrato de Calcio como fuente.

En El Peñol se obtuvo el mayor rendimiento con el doble fraccionamiento 20 – 80 (6,21 ton) sin presentar diferencias estadísticas entre éstos ($P=0.07$). No se observaron diferencias estadísticas entre las fuentes evaluadas ($P=0.88$)

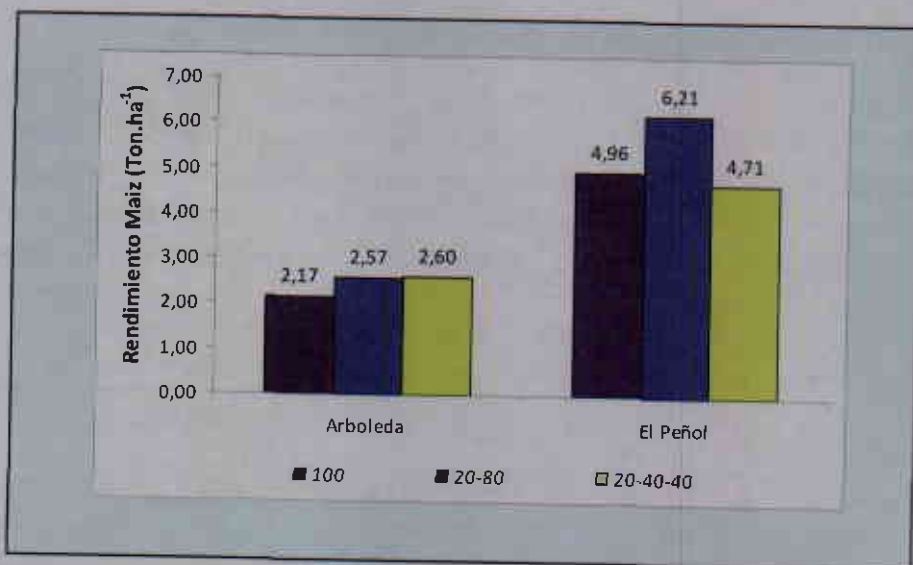


Figura 55. Efecto del fraccionamiento fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades de Nariño.

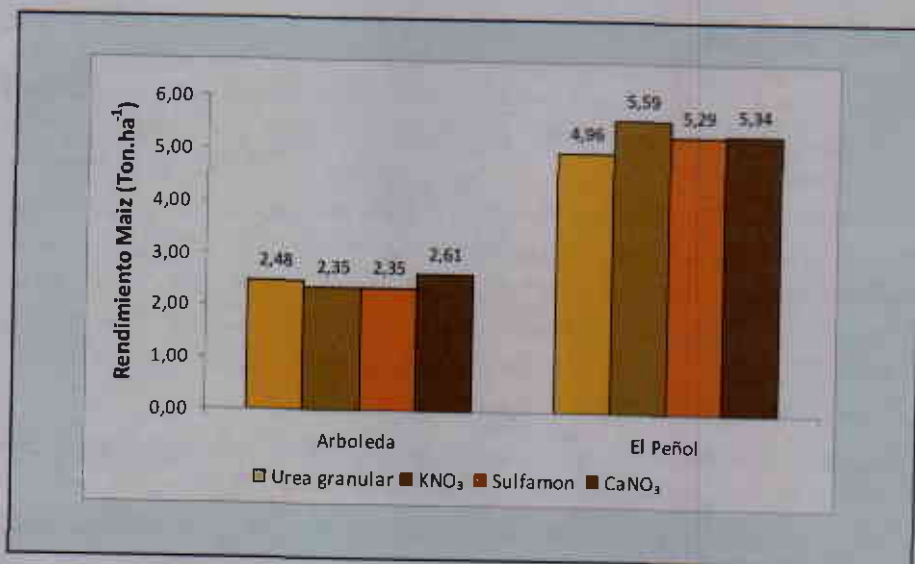


Figura 56. Efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad en dos localidades de Nariño.

4.4.8 Determinación de brechas ecológica y tecnológica

Para la zona de Sopetrán el rendimiento potencial se calculo en 8500 Kg, la **Be** en el semestre A fue de 2.936 Kg. debido a las condiciones ambientales y se redujo a 373 Kilogramos en el semestre posterior en donde las condiciones ambientales no disminuyeron el rendimiento drásticamente. La **Bt** para Nitrógeno es en promedio de 3.559 Kg. y de 1.806 Kg. para Fósforo (Tabla 28).

Tabla 28. Brecha ecológica y tecnológica en diferentes localidades de la Zona Andina.

Municipio	Rendimiento potencial	Ecológica	Tecnológica				
			N	P	K	S	Mg
Sopetran 07 A	8.500	2.936	2.214	1.768	1.658	242	1.676
Sopetran 07 B	8.500	373	4.905	1.845	784	429	683
Promedio		1.654	3.559	1.806	1.221	335	1.179

4.4.9 Conclusiones

1. Para la región andina se podría manifestar que el fraccionamiento de nitrógeno es una práctica que proporciona incrementos en el rendimiento del cultivo de maíz, a pesar de no presentar diferencias estadísticas entre tratamientos, con el fraccionamiento de la dosis total en proporciones 20-40-40 en las etapas fisiológicas V0, V6 y V10 se obtuvieron los mayores rendimientos promedio. En esta región no se presentaron diferencias en rendimiento cuando la fuente utilizada fue Úrea ENTEC de tal manera que la Úrea granular es una buena opción cuando se trate de pensar en fuentes nitrogenadas.
2. La dosis de fósforo podría establecerse entre 50 y 80 Kg de P_2O_5 por hectárea dependiendo del contenido del nutriente en el suelo. Se aprecia además, que existe una respuesta cuando la fuente Fosfórica utilizada tiene Potasio como catión acompañante, es el caso de FosfiTek y Phosplant con estas fuentes se presentaron los mayores rendimientos.
3. Para la zona un arreglo poblacional adecuado según los resultados obtenidos sería la siembra de 65.000 plantas por hectárea arreglados en surcos dobles espaciados a 0.30 m.

4. Al realizar un adecuado y oportuno manejo de la fertilización del cultivo con los nutrientes limitantes en la zona Nitrógeno, Fósforo y Potasio, se podría reducir la brecha tecnológica actual.
5. Para la nutrición del cultivo de maíz en Nariño se recomienda realizar fraccionamiento del Nitrógeno como mínimo en las etapas fisiológicas V0 y V6, considerando la zona, las condiciones climáticas y la fuente del elemento.

4.5 REGIÓN DEL ARIARI – META



0

4.5.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

En la Figura 57, se observa los resultados de las parcelas de omisión en Granada, Meta. El efecto de la omisión de nitrógeno reduce drásticamente la producción de maíz en la zona en los dos semestres evaluados con un rendimiento de 482 y 602 kilogramos por hectárea, la omisión de los otros nutrientes no limita de igual manera la producción del cereal.

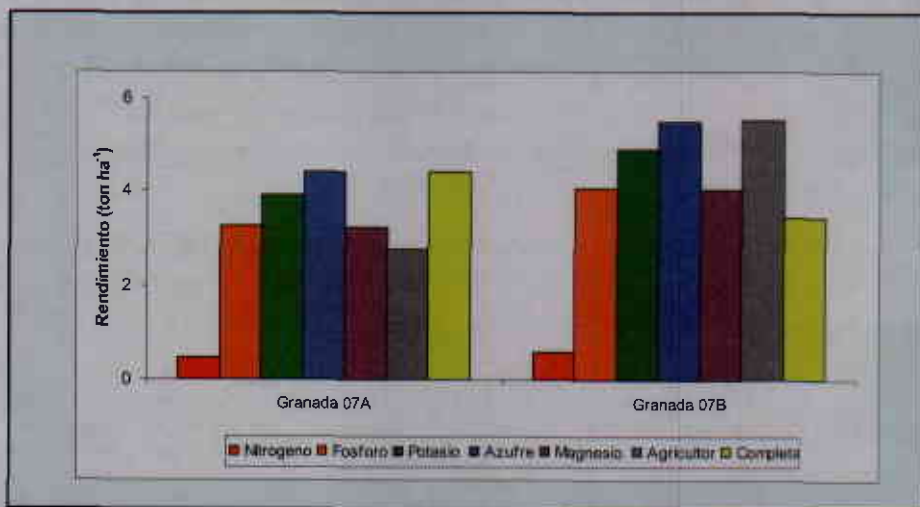


Figura 57. Rendimiento ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos.

En la Tabla 29, se aprecia los valores de eficiencia agronómica (Kg de grano producido por Kg de nutriente aplicado) para la localidad, el mayor valor corresponde a Magnesio seguido de Nitrógeno con valores de

Tabla 29. Eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica, respuesta a la adición de nutrientes, nivel de extracción e índice de cosecha en Granada, Meta.

Municipio Granada	Nutrientes				
	Total	N	P	K	Mg
Eficiencia Agronómica		19,7	13,0	4,2	26,9
Eficiencia Fisiológica		38,55	199,04	831,78	138,52
Respuesta adición nutrientes		3,9	1,2	0,5	1,2
Nivel de extracción		13,5	4,74	1,07	7,62
Índice de cosecha	0.65	0,78	0,91	0,54	0,41

26,9 y 19,7 respectivamente. Se aprecia que el mayor valor de Eficiencia fisiológica (Kg. de grano producida por Kg. de nutrientes absorbido) se obtuvo para Potasio, Fósforo y Magnesio y la mayor respuesta a la adición de nutrientes como era de esperarse fue para nitrógeno con 3,9 toneladas seguido de Fósforo y Magnesio con 1,2 toneladas de grano.

El nivel de extracción de nutrientes fue más alto para Nitrógeno 13,5 Kg. de nitrógeno por tonelada de grano producido, seguido de Magnesio y Fósforo con valores de 7,62 y 4.7 Kg. de nutriente por tonelada de maíz producida. Respecto a los índices de cosecha, el valor del IC total fue de 0,65 es decir, el 35% del total de la biomasa producida es retenida en los residuos de cosecha siendo muy importante en este caso el contenido de potasio y magnesio.

Considerando las condiciones ambientales presentadas durante el desarrollo de estos ensayos permiten inferir sobre las dosis recomendadas para los dos semestres en esa localidad, se aprecian en la Tabla 30.

Tabla 30. Dosis recomendada por nutriente para Granada - Meta.

Municipio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg. ha ⁻¹				
Granada					
Semestre A	135	80	70	Rs	37
Semestre B	145	93	57	Rs	39
Rs ¹⁾ = Dosis de Reposición basado en los niveles de extracción y el suplemento nativo					

4.5.2 Efecto del fraccionamiento y la fuente de nitrógeno en la productividad

En Fuente de Oro (Meta) Figuras 58 y 59, al analizar el ensayo estadísticamente, no se encontraron diferencias entre fraccionamiento ($P=0.22$) y fuentes de nitrógeno ($P=0.75$). El rendimiento promedio obtenido con el uso del doble fraccionamiento 20 – 80 fue de 9.33 ton ha⁻¹ superando a los otros tratamientos en 360 Kg. respecto al triple fraccionamiento 20 – 40 – 40 y 530 Kg. con la aplicación total a la siembra (100) siendo estos valores considerables agronómicamente.

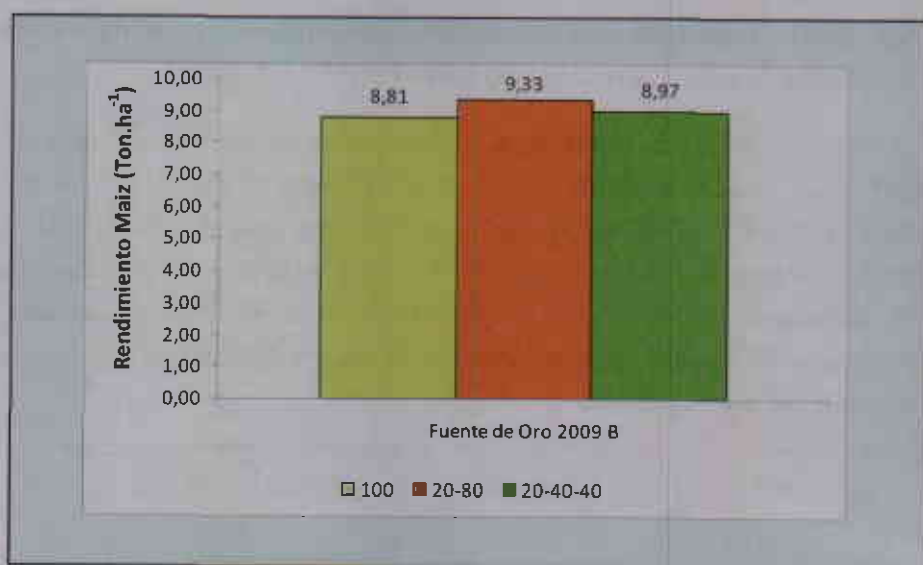


Figura 58. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en la producción.

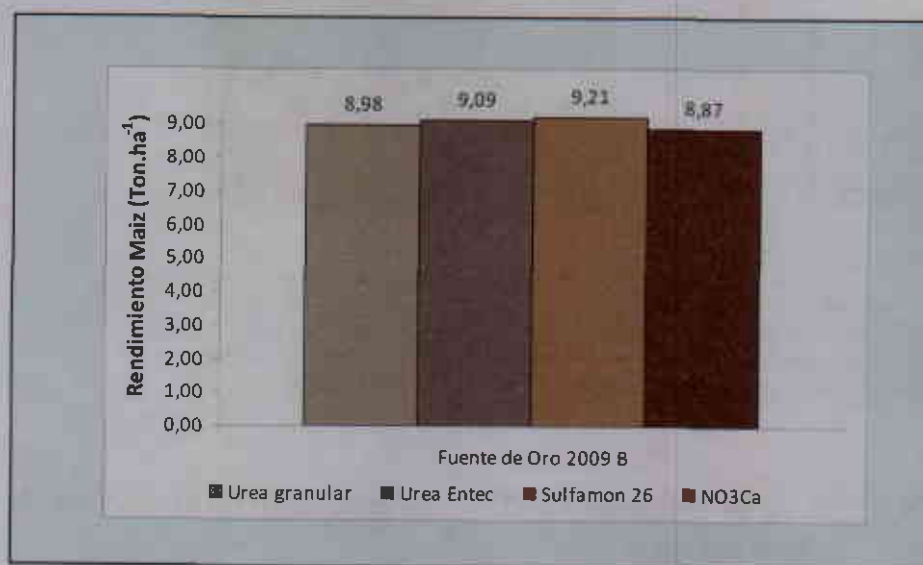


Figura 59. Efecto de la fuente de Nitrógeno en la producción.

En cuanto a fuentes de aplicación, la utilización de Sulfamon 26 permitió alcanzar niveles de rendimiento altos (9.21 ton ha⁻¹), superando a las otras fuentes evaluadas con 117,3 Kg a la Úrea ENTEC, 232.7 Kg a la Úrea granular y con 335,7 Kg. al Nitrato de Calcio.

4.5.3 Efecto de la dosis de urea en la reducción del fraccionamiento de la dosis total de nitrógeno en el cultivo del maíz

En Fuente de Oro se observaron incrementos de rendimientos que, sin llegar a ser estadísticamente significativos ($P=0.92$ $CV=5.21$), permitió obtener entre 150 y 180 Kg ha⁻¹ adicionales de grano, al aplicar la Úrea granular en triple fraccionamiento 20 – 40 – 40, Figura 60. Los rendimientos más elevados se obtuvieron con la aplicación de este nutriente en las etapas críticas del cultivo probablemente asociado a la posibilidad de una mayor absorción del N en el grano.

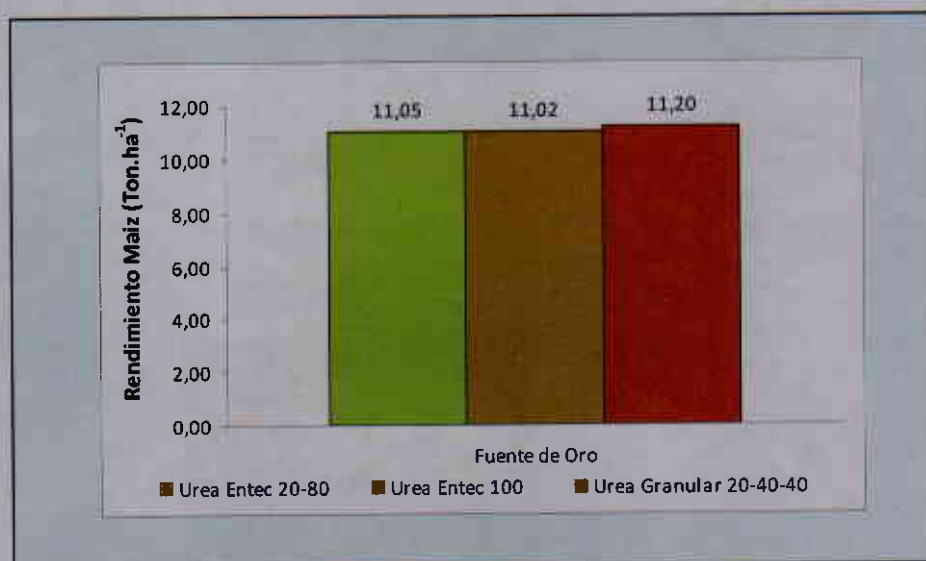


Figura 60. Efecto de la aplicación de Úrea ENTEC en la producción.

4.5.4 Efecto de la fuente y la dosis de fósforo en la producción del cultivo del maíz

En Granada – Meta, se evaluaron diferentes fuentes y dosis de fósforo, al analizar estadísticamente el ensayo no presentó diferencias entre fuentes ($P=0.85$), dosis ($P=0.77$) ni la interacción entre ellas ($P=0.31$). En la Figura 61 se observa el rendimiento promedio en toneladas por hectárea de grano para cada fuente, siendo mayor la obtenida por Solufos 44, seguida

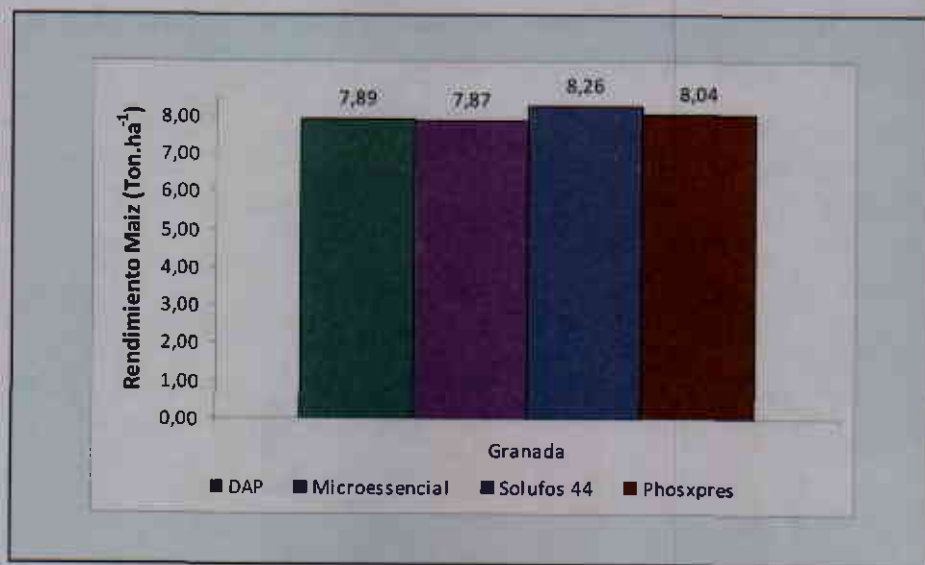


Figura 61. Efecto de la aplicación de fuentes de fósforo en la producción.

de Phosexpres con 8.26 y 8.04 ton ha⁻¹ respectivamente. Sin grandes variaciones el mayor rendimiento correspondió a la dosis de aplicación de fósforo de 50 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ con 8.09 toneladas por hectárea, Figura 62.

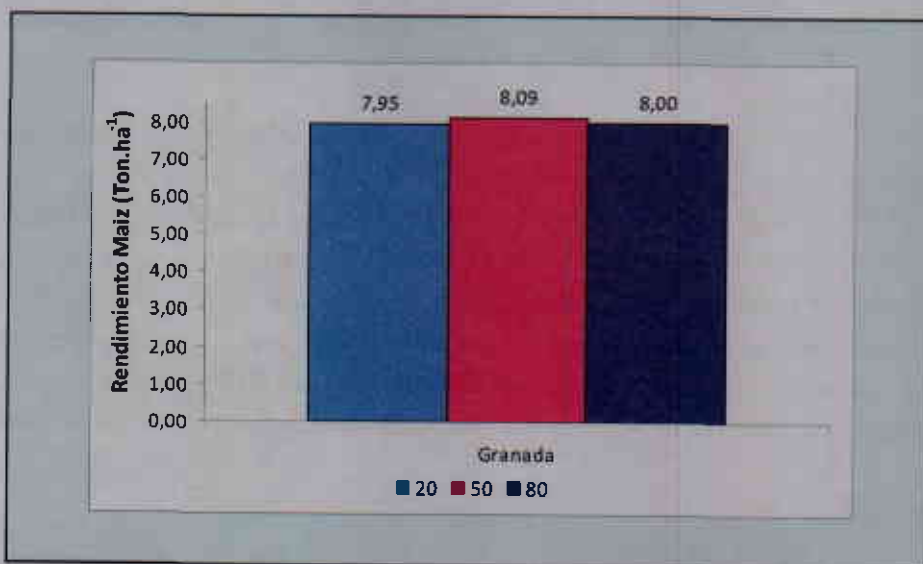


Figura 62. Efecto de la aplicación de dosis de fósforo en la producción.

4.5.5 Efecto de el fraccionamiento, dosis y fuentes de potasio en la producción del cultivo del maíz

En Granada Meta al analizar estadísticamente el ensayo no existieron diferencias estadísticas entre el fraccionamiento de Potasio ($P=0.85$), dosis de K_2O ($P=0.79$) y fuentes del nutriente ($P=0.65$). Los promedios de rendimiento se observan en la Figura 63.

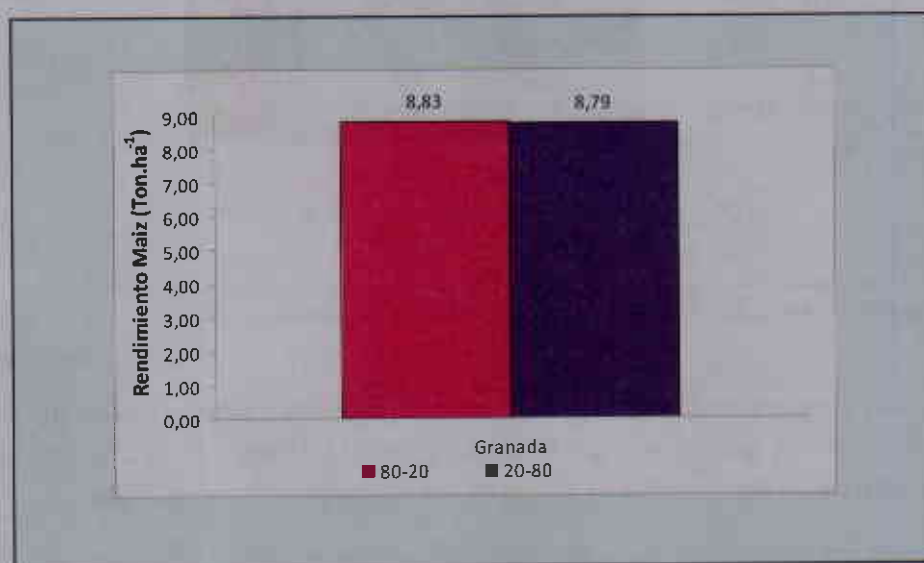


Figura 63. Efecto del fraccionamiento de potasio en la producción.

Los rendimientos indican que no existen incrementos entre los fraccionamientos evaluados; los promedios de rendimiento varían entre 8.73 y 8.90 Kg.ha⁻¹ de maíz cuando se aplicaron diferentes dosis (Figura 64) y se observan ligeros incrementos estadísticamente no significativos al evaluar las fuentes de potasio (Figura 65) donde Korn kali superó al Sulfato de Potasio en 240 Kg de grano y al Cloruro de Potasio en 100 Kg. Por lo anterior se podría considerar el Cloruro de Potasio como una fuente que además de ser económica es de fácil consecución en la zona de estudio.

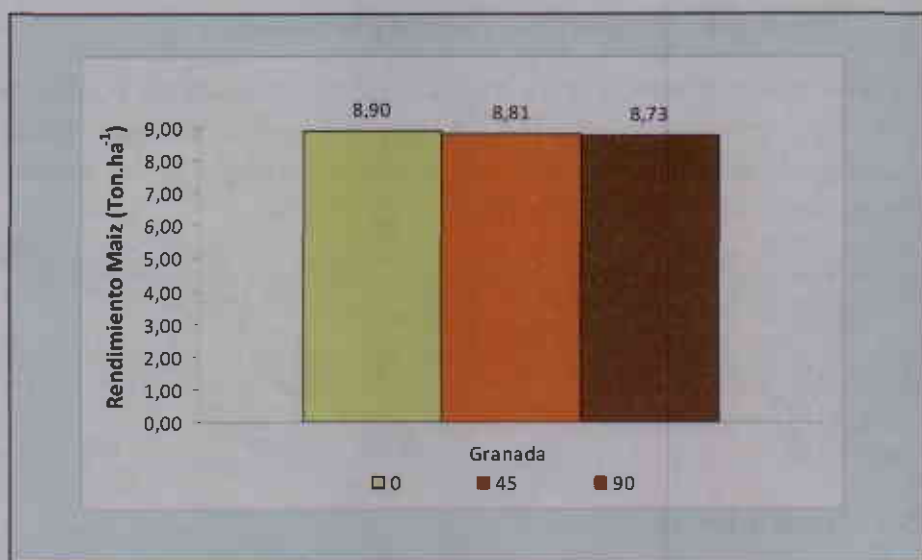


Figura 64. Efecto de la dosis de potasio en la producción.

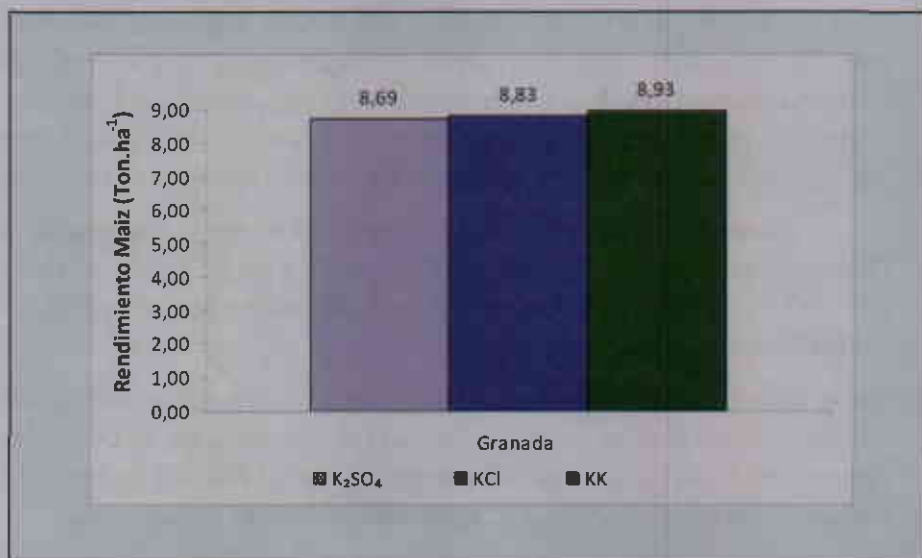


Figura 65. Efecto de la fuente de potasio en la producción.

4.5.6 Determinación brechas ecológica y tecnológica

El rendimiento potencial para la zona se calculó en 6.500 Kg. por hectárea. La Be obtenida vario entre 964 y 2.149 y la Bt para el Nitrógeno fue de 4.252 Kg., siendo consistente con los resultados obtenidos en las parcelas de omisión de los ensayos, Tabla 31.

Tabla 31. Brecha ecológica y tecnológica en Granada - Meta.

Municipio	Rendimiento potencial	Ecológica	Tecnológica		
			N	P	K
Granada 06 A	6.500	2.071	3.946	1.171	503
Granada 06 B	6.500	964	4.932	1.464	629
Granada 07 A	6.500	2.149	3.877	1.151	495

4.5.7 Conclusiones

1. Al analizar el efecto del fraccionamiento y las dosis de nitrógeno, no se apreciaron diferencias estadísticas, sin embargo, el doble fraccionamiento 20-80 en las etapas V0 y V6 con la aplicación de Sulfamon 26 y Úrea granular permiten alcanzar mayores rendimientos del cultivo. El fraccionamiento y la aplicación de Úrea ENTEC no mostraron diferencias respecto a la Úrea granular aplicada en proporciones 20-40-40, por lo que esta última se considera una adecuada fuente nitrogenada para la zona.
2. Como fuente fosfórica para la zona podría utilizarse Solufos 44 y Phosxpres en dosis que varían entre 50 y 80 Kg de P_2O_5 por hectárea. Para definir la dosis se recomienda tener en cuenta la disponibilidad del fósforo en el suelo.
3. Por la importancia que representa el potasio en la nutrición del maíz, es necesario ampliar la información en la zona ya que no se presentan diferencias notables en el rendimiento respecto al fraccionamiento del nutriente, las dosis evaluadas y las fuentes utilizadas con este fin.
4. Como se aprecia, la brecha tecnológica de mayor importancia se relaciona con el Nitrógeno, la ausencia de este nutriente es muy limitante en la producción de maíz. Con el fin de disminuir la brecha de producción se pueden plantear algunas estrategias como hacer un uso eficiente de suelo y agua y seleccionar genotipos adecuados para la zona, entre otras.

4.6 ZONA CAFETERA



4.6.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

Para la zona cafetera colombiana los resultados obtenidos en las parcelas de omisión se muestran en la Figura 66. Como se observa en las tres localidades el nutriente que mas limita la producción es el Nitrógeno, afectado marcadamente el rendimiento en Montenegro; en Concordia y La Palestina, el segundo nutriente que limita la producción es el Potasio.

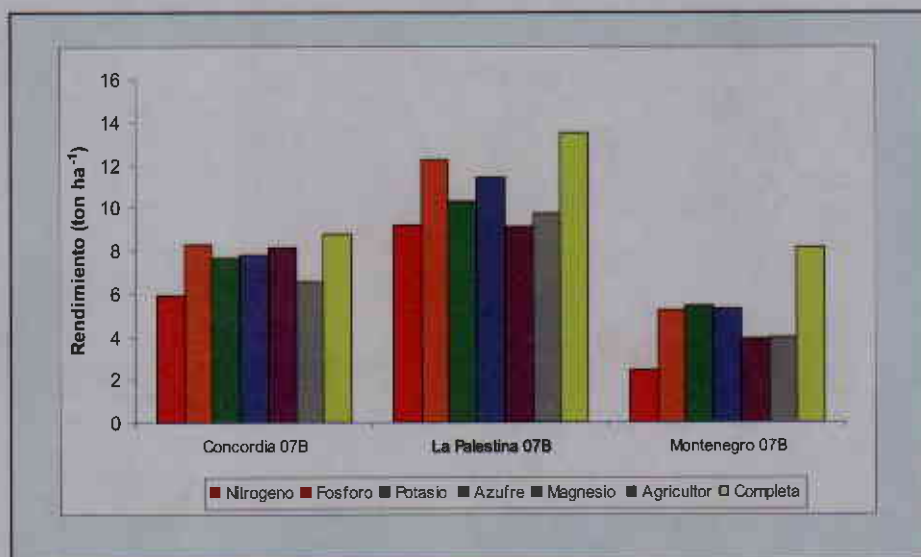


Figura 66. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en la Zona Cafetera colombiana.

En la Tabla 32, se observan los valores obtenidos para la eficiencia agronómica, en las localidades estudiadas. Para Nitrógeno la EA varía entre 14,3

Tabla 32. Eficiencia agronómica (kilogramos de grano producido por kilogramos de nutriente aplicado) para Nitrógeno (170 Kg.ha⁻¹) Fósforo (90 Kg.ha⁻¹) Potasio (100 Kg.ha⁻¹) Magnesio (44 Kg.ha⁻¹)

Municipio	Kg. grano Kg. nutriente aplicado ⁻¹			
	N	P	K	Mg
Concordia	14,3	5,7	9,4	14,6
La Palestina	21,5	14,3	26,9	99,3
Montenegro	28,2	32,0	22,3	95,1
Promedio	21,3	17,3	19,5	69,7

y 28,2 con promedio de 21,3 kilogramos. LA EA para Magnesio es la más alta en todas las localidades con promedio de 69,6 Kilogramos, le siguen Potasio y Fósforo con 19,5 y 17,3 kilogramos en promedio respectivamente.

La mayor respuesta a la aplicación de nutrientes se obtuvo para nitrógeno con un promedio para las tres localidades de 4,3 toneladas seguido de Magnesio y Potasio con valores medios de 3,1 y 2,3 toneladas de maíz, Tabla 33.

Tabla 33. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Concordia	2,9	0,5	1,1	0,9	0,6
La Palestina	4,3	1,3	3,2	2,1	4,4
Montenegro	5,6	2,9	2,7	2,8	4,2
Promedio	4,3	1,6	2,3	1,9	3,1

La Eficiencia Fisiológica en la zona cafetera fue en promedio de 50,38 Kg. para Nitrógeno; se producen entre 29.12 y 70.05 Kg. de grano por cada Kg. de Nitrógeno absorbido, Tabla 34. Para el caso de Concordia y La Palestina estos valores son bajos, los que nos indica que se debe evaluar la dosis, fuente e interacción con el ambiente de la zona cafetera. Situación contraria se observa en Montenegro donde la EF es mayor (70.05) implicando una adecuada combinación entre las variables mencionadas. La EF para fósforo y potasio fueron en promedio de 116,13 y 358.89 kilogramos producidos por kilogramo de nutriente absorbido.

Tabla 34. Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio	(Kg. grano producido Kg. nutriente absorbido ⁻¹)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Concordia	51,97	105,90	21,99
La Palestina	29,12	41,49	1003,72
Montenegro	70,05	201,13	50,95
Promedio	50,38	116,13	358,89

En la Zona Cafetera el nutriente que se extrae en mayor cantidad es el Nitrógeno (17,2 kilogramos por tonelada de maíz producida), le sigue en tasa de extracción en promedio el Potasio y el Fósforo (7,6 y 7,9) y en me-

nor cantidad se extraen el Magnesio y Azufre (1,9 y 0,9) Kg. de nutriente por tonelada de maíz producida, Tabla 35.

Tabla 35. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida.

Municipio	Kg. nutriente ton. maíz producida ¹				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
Concordia	15,6	4,2	11,4		1,4
La Palestina	20,9	7,1	8,5	0,9	3,0
Montenegro	15,2	3,8	10,8		1,3
Promedio	17,2	7,6	7,9	0,9	1,9

El índice de cosecha total en promedio fue para la zona fue de 0,56, los valores promedio más altos fueron para Nitrógeno y Fósforo (0,79 y 0,75) y el menor valor para Magnesio (0,33) como se observa en la Tabla 36.

Tabla 36. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Concordia	0,58	0,82	0,76	0,29		0,51
La Palestina	0,51	0,71	0,78	0,39	0,58	0,48
Montenegro	0,58	0,83	0,71	0,30	0,48	0,59
Promedio	0,56	0,79	0,75	0,33	0,53	0,53

Basándose en los resultados encontrados se pueden recomendar las dosis de nutrientes que se aprecian en la Tabla 37, para las tres localidades evaluadas. Se observa que la cantidad de Nitrógeno es superior a los otros nutrientes, es necesario definir el plan de nutrición considerando las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, así como del momento y tecnología de aplicación para satisfacer las necesidades del cultivo.

Tabla 37. Dosis recomendada por nutriente para diferentes regiones.

Municipio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg. ha ¹				
Montenegro	130	81	65	28	55
Concordia	100	56	47	Rs	Rs
La Palestina	94	35	70	26	70
Rs ^{II} = Dosis de Reposición basado en los niveles de extracción y el suplemento nativo					

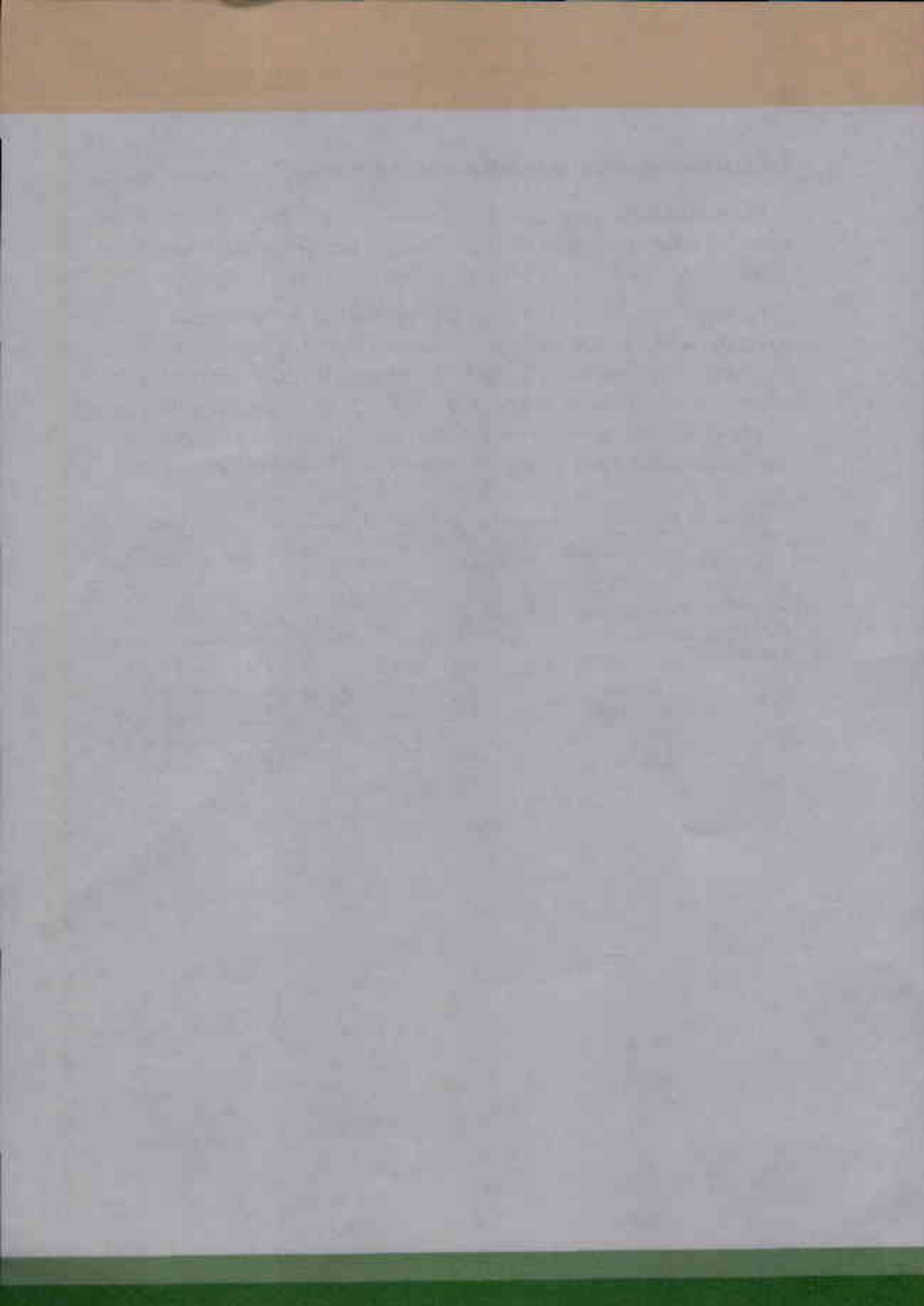
4.6.2 Determinación de brechas de rendimiento

El rendimiento potencial en la zona varía entre 9.000 y 10.000 Kg.ha⁻¹. La **Be** varió entre las regiones, es superior en Montenegro con promedio de 390 Kg.ha⁻¹ y menor en Concordia con 202 Kg.ha⁻¹.

La respuesta del rendimiento a la aplicación de Nitrógeno fue en promedio de 4.226 Kg. de grano variando entre las diferentes localidades como se observa en la Tabla 38. La **Bt** para los otros nutrientes disminuye, en promedio se obtuvieron 1.560 y 2.339 Kilogramos de grano para la aplicación de Fósforo y Potasio respectivamente, se aprecia además, que la brecha por magnesio es superior a la de Azufre.

Tabla 38. Brecha ecológica y tecnológica en diferentes localidades de la Zona Cafetera.

Municipio	Rendimiento potencial	Ecológica	Tecnológica				
			N	P	K	S	Mg
Concordia Antioquia	10.000	202	2.851	511	1.124	980	643
Montenegro Quindío	10.000	390	5.643	2.882	2.671	2.824	4.182
La Palestina Caldas	9.000		4.304	1.289	3.222	2.116	4.370
Promedio		296	4.266	1.560	2.339	1.973	3.065



5. CONCLUSIONES GENERALES

- La nutrición del cultivo debe manejarse en función de la información existente y asociarse con otras prácticas de manejo de suelos y cultivos que preservan y mejoran la sustentabilidad y calidad del recurso suelo. Los desbalances nutricionales llevan a la degradación de la fertilidad nativa, demostrada en zonas debido a las marcadas disminuciones de materia orgánica y las caídas en la productividad de los cultivos.
- La evaluación de sistemas de fertilización balanceada, que incluyan nutrientes como K, S, Mg y micronutrientes, requiere de planes de investigación específicos bajo situaciones diversas en cuanto a tipo de suelo, historia del lote y condiciones climáticas, con distintas formas y momentos de aplicación de estos elementos.
- Los rendimientos de maíz no han experimentado incrementos proporcionales, en muchas zonas están por debajo de los rendimientos potenciales. El adecuado manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición del cultivo permitirá reducir la brecha existente entre los rendimientos promedio y los potenciales zonales. Algunas de las estrategias que podrían establecerse para disminuir la brecha son: uso eficiente de agua y suelo, manejo agronómico y fitosanitario del cultivo, selección de genotipo, densidad de siembra y arreglo poblacional, eficiencia en cosecha y poscosecha. Todo lo anterior con miras a transformar la agricultura conociendo la oferta ambiental y tecnológica y reduciendo la distancia existente entre el conocimiento y la aplicación.
- Nitrógeno y Fósforo son los nutrientes a los que se debe prestar mayor atención, pero se han observado respuestas a otros nutrientes en cultivos y áreas específicas, tales como Magnesio, Azufre y microelementos. Estos deben considerarse en los planes de nutrición teniendo en cuenta además, los requerimientos del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- AMEZQUITA, E., SILVA, A., y GONZALEZ, E. 1987. Estado de fertilidad actual de los suelos del norte del estado Guarico en los llanos centrales venezolanos. *Revista Suelos Ecuatoriales*. Vol. XVII No. 1 pp. 25 – 33.
- ARIAS, B.A Y CANTILLO, S.J. 1983. Efecto del tamaño del gránulo sobre la eficiencia y la persistencia del efecto fertilizante de fuentes hidrosolubles. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo. Bogotá. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional. 86 p.
- BAANATE, C.A.: BUMB, B.L. y THOMPSON, T.P. 1989. The Benefits of Fertilizer use in Developing Countries. Muscle Shoals, Alabama. USA International Fertilizer Development Center 10 p.
- BERGERSEN, F.J. (Ed.) (1980). Methods for evaluating biological nitrogen fixation. John Wiley and sons. Chichester, N. York, Brisbane, Toronto. 702p.
- BEATON, J., HAVLIN, J., TISDALE, S., y NELSON, W. 1993. Soil fertility and fertilizar. Columbus USA, Mac Millan Publishing. 429 p.
- BERTSCH, F. Organización y reutilización de información sobre fertilidad de suelos en Costa Rica. *Revista Suelos Ecuatoriales*. Vol XVII No. 1 pp. 16 – 24.
- BRADY, N., WEIL, R. R. 1996. The nature and propierties of soils. 11th. ed. New Jersey, Prentice Hall. 740 p.
- BRUSSAARD, L. y FERRERA-CERRATO, R. 1997. Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. New York, Lewis Publishers. 168p.
- BOHN, H., L., McNEAL, B.L., y O'CONNOR, G.A. 1993. Química del suelo. Limusa, México. 370 p.
- BURNS, R.C., HAROY, R.W.F. (1975). Nitrogen fixation in bacteria and higher plants. Springer Verlag, Berlin, Heilderberg, N. York. 189 p.
- DORAN, J.W., SARRANTONIO, M., LIEBIG, M.A. 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56: 1-54
- ENGELSTAD. O.P. Y RUSSEL. DA 1975. Fertilizers for use under tropical conditions. *Advances in Agronomy* 27: 175-208.
- ENGELSTAD. O.P. y TERMAN. G.L 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In Dinauer. R.C.. Ed. The Role of Phosphorus in Agriculture. Madison. Wis. American Society of Agronomy. pp: 311-332.
- ESPINOSA, J. Y GARCÍA, F. Memorias del simposio uso eficiente de nutrientes. IPNI. San José de Costa Rica. 2009.
- FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
- FASSBENDER. H.W. 1968. Efectividad de fertilizantes fosfóricos en suelos con diferente capacidad de fijación de fosfatos. *Fitotecnia Latinoameri cana* 9 (2): 230-241.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) OF THE UNITED NATIONS. 1987. *Agriculture: Toward 2000*. Economic and Social Development Series. Roma: Italy.
- 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.
- GUERRERO, R.R. 1983. Los fertilizantes químicos: propiedades y comportamiento agronómico. Serie Punto Verde No. 4. Bogotá. Monómeros Colombo Venezolanos. SA 54 p.
- GUERRERO, R. 2000. Eficiencia de la Fertilización en la Agricultura de Colombia. In: García, A. y Valenzuela, I., Eds. *Manejo Productivo de Suelos para Cultivos de Alto Rendimiento*. Cali, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité del Valle del Cauca. pp: 129-135.
- HAVLIN, J.L., et. al. 1999. *Soil fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Sixth Edition. New Jersey, U.S.A. Prentice Hall. 499p.
- IFDC / UNIDO (International Fertilizer Development Center and United Nations Industrial Development Organization). 1979. *Fertilizer Manual IFDC. Reference Manual R-1*. International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
- INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER 1979. *Fertilizer Manual*. Muscle Shoals. Alabama. IFDC. 353 p.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1997. *Manual internacional de fertilidad de suelos*. INPOFOS. p. irr.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1997. *Potasa su necesidad y uso en la agricultura moderna*. INPOFOS. 44 p.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI IGAC. 1995. *Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. IGAC, Subdirección Agrológica, Bogotá, D. C., Colombia. 632 p.
- JARAMILLO, D., J. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 613 p.
- MACKA V. AD. y SVERS. J.K. 1986. Effect of phosphate calcium and pH on the dissolution of phosphate rock in soil. *Fertilizer Research* 10 (2): 175-184.
- MILLER, M.H., et. al. 1970. Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation at the soil-root interface. *Agronomy Journal* 62 (4): 524-527.
- MINCHIN, F.R., WITTY, J.F., SHEEHY, J.E., and MULLER, M. (1983). A major error in the acetylene reduction assay: decreases in nodular nitrogenase activity under assay conditions. *J. Exp. Bot.* 34: 641-649.
- NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 1988. *Manual de fertilizantes*. Editorial Limusa, México. 292
- NOMMIK. AH. 1974. Effect of granulated urea on ammonia volatilization. *Indian Journal of Soil Science* 10 (2): 240-245.

- OROZCO, F.H. 1999. Biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Medellín, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias. 231 p.
- ORTEGA, D. Sistema de evaluación de la fertilidad del suelo. 1987. Revista Suelos Ecuatoriales. Vol XVII No. 2 pp. 281 - 285.
- PARTON, W. J.; P. L. Woomer; A. Martin. 1994. Modelling Soil Organic Matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. Ed. P. L. Woomer and M. J. Swift. Wiley - Sayce Publ. p. 171 - 188.
- PRASAD, R. y POWER, J. 2000. Nitrification Inhibitors for Agricultura, Health, and the Environment. *Advances in Agronomy*, Vol 45: 367- 401.
- POLO. Z. 1980. Propiedades físicas y químicas de los fertilizantes. In *Curso sobre Investigación en la Eficiencia de fertilizantes en los trópicos*. Cali. CIAT/IFDC. 7 p.
- 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.
- SAMPLE. E.O.: SOPER, R.J. y RACZ. U.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In *Dinauer. R.e.. ed. The role of phosphorus in agriculture*. Madison. Wis.. American Society of Agronomy. pp: 263-310.
- SUAREZ. F.O. 1971. Efecto del tamaño de gránulo sobre la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo. Tesis de grado de M.Sc. Turrialba. Costa Rica. IICA/OEA CTEL. 89 p.
- SULLIVAN. L.Z. 1978. Mono-ammonium phosphate (MAP) versus other sources. Tulsa. *Agrico Chemical Company*. 4 p.
- SWIFT, M.J. 1997. Biological management of soil fertility as a component of sustainable agriculture: perspectives and prospects with particular reference to tropical regions. In *Brussaard, L. and Ferrera-Cerrato, R., eds. Soil ecology in sustainable agricultural systems*. Boca Raton, Lewis publishers. pp. 137-159.
- TISDALE, S., L., y NELSON, W., L. 1977. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Montaner y Simon S.A., Barcelona, España. 760 p.
- VLEK. P.L. Y CRASWELL. E.T. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from rice-soil systems. *Soil Science Society America Journal*. 43 (2): 352-358.
- VLEK. P.L. Y CRASWELL. E.T. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fertilizer Research* 2: 227-245.
- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Trad. del inglés por P. Urbano y C. Rojo. Madrid, Mundi-Prensa. 10045 p.

Biblioteca Agropecuaria
de Colombia - BAC



010100030824

Se terminó de imprimir en los talleres gráficos de
CIMAZ INDUSTRIA DE IMPRESOS,
Carrera 2 No. 17-39 Bogotá D.C., Colombia
2011

Dilia Marina Coral Eraso

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Nariño y Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Se ha desempeñado como investigadora sobre evaluación integral de la calidad del recurso del suelo, docente universitario y profesional independiente en proyectos sobre validación, ajuste y transferencia de *tecnología en manejo sostenible de suelos*.

Ha dirigido tesis de pregrado y posgrado. Tiene publicaciones en la revista suelos ecuatoriales de la SCCS, boletines técnicos y manuales de trabajo para agricultores.

Actualmente se desempeña como líder de proyectos relacionados con manejo de suelos y nutrición de cultivos representados por FENALCE.



Kilómetro 1, Via Cota Siberia
Vereda El Abra, Cota (Cundinamarca)
PBX: (571) 592 10 92 - Fax: 592 10 98
Colombia
www.fenalce.org

