

**MANEJO EFICIENTE DE NUTRIENTES
EN EL CULTIVO DE FRIJOL
EN ZONAS PRODUCTORAS DE COLOMBIA**

**DILIA MARINA CORAL ERASO
INGENIERO AGRÓNOMO M. Sc.**

**Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y
Leguminosas FENALCE**

FONDO NACIONAL DE LEGUMINOSAS

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia**

2012

FENALCE

CONTENIDO

Presentación	9
Agradecimientos	11
1. Generalidades de los macro, meso y micronutrientes en la nutrición del cultivo de frijol	13
1.1 Nitrógeno	13
1.2 Fósforo	14
1.3 Potasio	15
1.4 Azufre	16
1.5 Magnesio	16
1.6 Micronutrientes	17
1.6.1 Boro	17
1.6.2 Cobre	17
1.6.3 Hierro	17
1.6.4 Manganeso	17
1.6.5 Zinc	18
1.6.6 Molibdeno	18
1.6.7 Cobalto	18
2. Protocolos de investigación	19
2.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo	19
2.2 Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol	21
2.2.1 Frijol arbustivo	21
2.2.2 Frijol voluble	22
2.3 Efecto de la aplicación de cal en la producción del cultivo del frijol	23
2.3.1 Frijol arbustivo	23
2.3.2 Frijol voluble	24
3. Resultados	25
3.1 Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo en el cultivo de frijol arbustivo - Santander	25

3.1.1	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol	28
3.1.2	Efecto de la aplicación de dosis de cal en la producción del cultivo del frijol	31
3.2	Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo - Huila	32
3.2.1	Aporte de nutrientes en el cultivo de frijol arbustivo	32
3.2.2	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol arbustivo	34
3.2.3	Aporte de nutrientes en el cultivo de frijol voluble Huila	35
3.2.4	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol voluble	37
3.2.5	Efecto de la aplicación de dosis de cal en la producción del cultivo del frijol voluble	40
3.3	Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo en el cultivo de frijol voluble – Tolima	41
3.3.1	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol voluble	43
3.3.2	Efecto de la aplicación de dosis de cal en la producción del cultivo del frijol voluble	44
3.4	Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo en Nariño	46
3.4.1	Aporte de nutrientes en el cultivo de frijol arbustivo	46
3.4.2	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol arbustivo	48
3.4.3	Efecto de la aplicación de dosis de cal en la producción del cultivo del frijol arbustivo	48
3.4.4	Aporte de nutrientes en el cultivo de frijol voluble	48
3.4.5	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol voluble	52
3.4.6	Efecto de la aplicación de dosis de cal en la producción del cultivo del frijol voluble	54
3.5	Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo en Cundinamarca	55
3.5.1	Aporte de nutrientes en el cultivo de frijol arbustivo	55
3.5.2	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol	57
3.5.3	Efecto de la aplicación de dosis de cal en la producción del cultivo del frijol arbustivo	59
3.5.4	Aporte de nutrientes en el cultivo de frijol voluble	59
3.5.5	Efecto de la dosis y fraccionamiento de nitrógeno en la productividad del cultivo de frijol	62
3.5.6	Efecto de la aplicación de cal en la producción del cultivo del frijol voluble	63
	Consideraciones finales	65
	Bibliografía	67

TABLAS

Tabla 1.	Meta de rendimiento de fríjol ton.ha-1 en diferentes regiones productoras.	21
Tabla 2.	Parcelas de omisión y dosis de nutrientes utilizadas en diferentes localidades.	21
Tabla 3.	Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado)..	26
Tabla 4.	Respuesta obtenida (Ton.ha-1) a la adición de nutrientes.. . . .	26
Tabla 5.	Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).	27
Tabla 6.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	27
Tabla 7.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.	28
Tabla 8.	Dosis recomendada por nutriente para dos regiones en Santander. . . .	28
Tabla 9.	Efecto del fraccionamiento y la dosis de nitrógeno. Análisis de Varianza.. . . .	29
Tabla 10.	Efecto de la dosis de cal, Análisis de varianza.	31
Tabla 11.	Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado)..	33
Tabla 12.	Respuesta obtenida (Ton ha-1) a la adición de nutrientes.. . . .	33
Tabla 13.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	33
Tabla 14.	Dosis recomendada por nutriente para dos regiones del Huila.	34
Tabla 15.	Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado)..	36
Tabla 16.	Respuesta obtenida (Ton ha-1) a la adición de nutrientes.. . . .	36
Tabla 17.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	37
Tabla 18.	Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio de frijol voluble.. . . .	37
Tabla 19.	Dosis recomendada por nutriente para El Pital – Huila.	37
Tabla 20.	Efecto del fraccionamiento y la dosis de nitrógeno. Análisis de Varianza.. . . .	38
Tabla 21.	Efecto de la dosis de cal. Análisis de Varianza.. . . .	40
Tabla 22.	Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado)..	42
Tabla 23.	Respuesta obtenida (Ton ha-1) a la adición de nutrientes.. . . .	42
Tabla 24.	Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).	42
Tabla 25.	Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	43

Tabla 26. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Cajamarca.	43
Tabla 27. Dosis recomendada por nutriente para Cajamarca – Tolima.	43
Tabla 28. Efecto del fraccionamiento y la dosis de nitrógeno. Análisis de Varianza.	44
Tabla 29. Eficiencia agronómica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado) y Eficiencia fisiológica de uso (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).	47
Tabla 30. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol	47
Tabla 31. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Guaitarilla.	47
Tabla 32. Dosis recomendada por nutriente para Guaitarilla – Nariño.	47
Tabla 33. Efecto de la dosis de cal. Análisis de Varianza.	49
Tabla 34. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).	51
Tabla 35. Respuesta obtenida (Ton ha-1) a la adición de nutrientes.	51
Tabla 36. Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).	51
Tabla 37. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	52
Tabla 38. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Consacá.	52
Tabla 39. Dosis recomendada por nutriente para Consacá – Nariño.	52
Tabla 40. Eficiencia agronómica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado), Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).	56
Tabla 41. Respuesta obtenida (Ton ha-1) a la adición de nutrientes.	56
Tabla 42. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	56
Tabla 43. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Cota.	57
Tabla 44. Dosis recomendada por nutriente para Cota – Cundinamarca.	57
Tabla 45. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).	60
Tabla 46. Respuesta obtenida (Ton ha-1) a la adición de nutrientes.	60
Tabla 47. Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).	61
Tabla 48. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol. . . .	61
Tabla 49. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio. . .	61
Tabla 50. Dosis recomendada por nutriente para el municipio de Gutiérrez. . . .	62
Tabla 51. Efecto de la dosis de cal. Análisis de Varianza.	64

FIGURAS

Figura 1. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Departamento de Santander.	26
Figura 2. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	29
Figura 3. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	30
Figura 4. Efecto de la dosis de Cal.	31
Figura 5. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión de frijol arbustivo en el Departamento de Huila.	33
Figura 6. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	34
Figura 7. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	35
Figura 8. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión de frijol voluble en el Departamento de Huila.	36
Figura 9. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	38
Figura 10. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	39
Figura 11. Efecto de la dosis de Cal.	40
Figura 12. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Departamento de Tolima.	42
Figura 13. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	44
Figura 14. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	45
Figura 15. Efecto de la dosis de Cal.	45
Figura 16. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión en el Departamento de Nariño.	47
Figura 17. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	49
Figura 18. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	49
Figura 19. Efecto de la dosis de Cal.	50
Figura 20. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión.	50
Figura 21. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	53
Figura 22. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	54
Figura 23. Efecto de la dosis de Cal.	54
Figura 24. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión.	56
Figura 25. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	57
Figura 26. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	58
Figura 27. Efecto de la dosis de Cal.	59
Figura 28. Rendimiento (ton.ha-1) de las parcelas de omisión.	60
Figura 29. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.	62
Figura 30. Efecto de la dosis de Nitrógeno.	63
Figura 31. Efecto de la dosis de Cal.	64

FENALCE



PRESENTACIÓN

El frijol es una leguminosa de gran importancia en la economía de pequeños y medianos agricultores de la región Andina representando un alto porcentaje para la seguridad alimentaria colombiana. Entre los granos básicos, el frijol ocupa el segundo lugar después del maíz, por la cantidad que consume la población, impulsándonos a ser eficientes y efectivos en la generación de tecnologías de producción con el fin de ponerlas a disposición de los agricultores.

En Colombia el frijol se cultiva a nivel nacional variando el área de siembra, los rendimientos y las tecnologías de manejo de una región a otra. El presente documento se basa en resultados de investigaciones de campo realizados en diferentes regiones del país y en diferentes tipos de frijol principalmente el Tipo I de hábito determinado arbustivo y el tipo IV hábito indeterminado trepador.

El desarrollo del proyecto que origina esta publicación pretendió desarrollar una estrategia de manejo de nutrientes con el fin de maximizar la respuesta del cultivo de frijol a la adición externa de fertilizantes mediante el incremento de las eficiencias agronómicas y fisiológicas disminuyendo los riesgos de contaminación ambiental, como consecuencia de la pérdida de nutrientes nitrogenados. Además, permitió ajustar el uso de fertilizantes para suplir el déficit entre la necesidad total de nutrientes para obtener rendimientos altos y el aporte de los nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo, buscando cosechar la mayor cantidad de grano por unidad de fertilizante utilizado.

El uso del sistema de manejo de nutrición por sitio específico (MNSE) adopto la metodología de las parcelas de omisión que permite disminuir algunos errores

originados por la variación espacial natural del suelo y la variación temporal ocasionada por el medio ambiente. Para la calibración del MNSE se definieron los dominios de recomendación, posteriormente se determinó la meta de rendimiento considerando el histórico de producción de cada zona, el último paso fue la calibración de la dosis total y la adopción de prácticas de manejo agronómico que garanticen que la mayor cantidad de esta dosis sea absorbida y metabolizada por las plantas cultivadas.

Las recomendaciones señaladas no se pueden aplicar en la misma forma a nivel nacional o para todos los productores por igual, sin embargo, se espera que estas contribuyan a resolver algunos de los problemas técnicos que se presentan en el manejo de la nutrición del cultivo, y de esta manera lograr incrementar la producción y productividad del frijol en el país.

HENRY VANEGAS ANGARITA
GERENTE GENERAL

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a:

Dr. Henry Vanegas Angarita

Dr. Carlos Ernesto Molina Gómez

A los Ingenieros Agrónomos:

Leilan Bermúdez Macías

Segundo Hernán Coral

Daniel Echavarría

Edison Duarte

Jorge Hernando Sabogal

Luis Hernando Arévalo

quienes desarrollaron el trabajo de investigación en campo.

Al Fondo Nacional de Leguminosas
por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto.

Al personal administrativo de FENALCE.

A quienes aportaron ideas en la realización de este Proyecto.

FENALCE



I. GENERALIDADES DE LOS MACRO, MESO Y MICRONUTRIENTES EN LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE FRIJOL

I.1 NITRÓGENO

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

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

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

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

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

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

1.2 FÓSFORO

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

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

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

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

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

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

Las plantas absorben fósforo principalmente en forma de ion monofosfato (H_2PO_4^-) y del ion difosfato ($\text{HPO}_4^{=}$); también se ha sugerido que este elemento puede ser absorbido en forma de ácidos nucleídos y de fitina, pero estos compuestos no tienen importancia práctica ya que existen en el suelo en pequeñas cantidades y son mineralizadas fácilmente.

1.3 POTASIO

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

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

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

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

1.4 AZUFRE

El azufre es tomado por las plantas en cantidades apreciables. Es indispensable para la formación de ciertos aminoácidos y hace parte de la estructura molecular de las proteínas. Su sintomatología de deficiencia a veces se confunde con la de nitrógeno.

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

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

1.5 MAGNESIO

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

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

1.6 MICRONUTRIENTES

1.6.1 BORO

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

1.6.2 COBRE

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

1.6.3 HIERRO

Actúa como activador enzimático en la síntesis de clorofila; es un factor necesario, pero no forma parte de la molécula. Interviene en la síntesis de proteínas y es componente de algunas metaloflavoproteínas que intervienen en diferentes oxidaciones y reducciones biológicas.

1.6.4 MANGANESO

El Mn funciona principalmente como parte de los sistemas enzimáticos de las plantas. Activa varias reacciones metabólicas y juega un papel directo en la fotosíntesis al ayudar a la planta a sintetizar clorofila. Actúa como activador enzimático en la respiración y en el metabolismo del N, en este último caso,

activando las reductasas. Es el catión predominante en estos procesos, pero puede ser sustituido por Mg, Co, Zn y Fe. También participa en la síntesis proteica y en la formación de ácido ascórbico (vitamina C). Además, es capaz de destruir u oxidar el AI. El Mn acelera la germinación y la maduración de las plantas e incrementa la disponibilidad de P y Ca.

1.6.5 ZINC

El Zn es un micronutriente reconocido como esencial para las plantas. Además, es el micronutriente que con más frecuencia limita los rendimientos de los cultivos. El Zn ayuda a la síntesis de sustancias que permiten el crecimiento de la planta y la síntesis de varios sistemas enzimáticos. Es esencial para promover ciertas reacciones metabólicas y es necesario para la producción de clorofila y carbohidratos

1.6.6 MOLIBDENO

Está relacionado con el metabolismo del N; interviene en la fijación del N gaseoso a nivel de organismos fijadores, en la asimilación de los nitratos y forma parte del sistema de la reductasa del N. Se relaciona con los niveles de ácido ascórbico que sirven para proteger al cloroplasto. También, interviene en el metabolismo del P y se postula su participación en la absorción y transporte de Fe.

1.6.7 COBALTO

Participa en la formación de leghemoglobina, que interviene en la oxigenación del nódulo. Este nutriente es muy importante en el funcionamiento de los nódulos en las leguminosas, es útil para la filtración de oxígeno realizada por el nódulo. Con él se puede ejemplificar el concepto de balanceo de nutrientes: una leguminosa puede estar muy bien dotada de fósforo, nitrógeno, y azufre, pero si no cuenta con cobalto y molibdeno, difícilmente pueda utilizar eficientemente estos nutrientes, o probablemente requiera mayor cantidad de ellos para funcionar.

2. PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

Con el Objetivo de Desarrollar una estrategia de manejo eficiente de nutrientes del cultivo de frijol, que permita maximizar producción pero simultáneamente reduzca los riesgos ambientales originados por sobredosificación de fertilizantes nitrogenados y/o fosforados, se desarrollaron los trabajos de investigación realizados bajo la estrategia para lograr eficiencia en la fertilización del frijol y que dan origen a los resultados de la presente publicación.

- Durante la Fase 1 se determinó la eficiencia agronómica y fisiológica y el suplemento nativo de nutrientes, además los niveles de extracción y el índice de cosecha así como la tasa de extracción de algunos nutrientes.

2.1 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO

El Manejo de nutrición por sitio específico MNSE pretende hacer un uso eficiente 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 determinó 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.

En cada sitio se montó un ensayo que constó de 9 parcelas, una parcela de omisión de cada uno de los siguientes nutrientes N, P, K, S, Mg y por la importancia que

representa en las zonas productoras de frijol se incluyó la aplicación y/o omisión de cal y materia orgánica así como un testigo y la parcela con fertilización completa usada para estimar la eficiencia de recuperación de los nutrientes.

El desarrollo del proyecto de investigación se implementó en tres pasos:

1. Establecimiento de la meta de rendimiento obtenible
2. Determinación del aporte de nutrimentos provenientes del suelo
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.

El trabajo se realizó en los departamentos de Cundinamarca, Huila, Nariño, Santander y Tolima. En cada una de las zonas se seleccionaron 2 dominios de recomendación representativos frijol voluble y/o frijol arbustivo.

1. Establecimiento de la meta de rendimiento obtenible

La meta de rendimiento que es el rendimiento de grano medido posible a través de varias temporadas de un cultivo producido en campos de los agricultores con buenas prácticas de manejo y sin limitación de nutrientes. Sin embargo, el rendimiento puede variar sustancialmente en los campos de los agricultores a pesar de una oferta suficiente de nutrientes y buen manejo del cultivo de i) de campo a campo, debido a la variación a pequeña escala en la humedad del suelo, y ii) de semestre a semestre, debido a las diferencias en las condiciones climáticas.

La meta de rendimiento establecido para el proyecto en el cultivo de frijol se observa en la Tabla 1.

El enfoque manejo de nutrientes por sitio promueve el uso óptimo de los nutrientes disponibles y provenientes del suelo, abonos orgánicos, residuos de cosechas, estiércol y agua de riego.

Como ya se anotó en cada sitio se montó un ensayo que constó de 9 parcelas, una parcela de omisión de cada uno de los siguientes nutrientes N, P, K, S, Mg y por la importancia que representa en las zonas productoras de frijol se incluyó la aplicación y/o omisión de cal y materia orgánica así como un testigo y la parcela con fertilización completa usada para estimar la eficiencia de recuperación de los nutrientes, Tabla 2.

Tabla 1. Meta de rendimiento de frijol ton.ha⁻¹ en diferentes regiones productoras.

Departamento	Municipio	Habito crecimiento	Meta rendimiento ton ha ⁻¹
Cundinamarca	Gutiérrez	Voluble	1,80
		Arbustivo	1,00
Huila	Agrado	Arbustivo	1,40
	Garzón	Arbustivo	1,40
	El Pital	Voluble	1,80
Nariño	Consacá	Voluble	1,50
	La Florida	Arbustivo	1,00
Santander	Barichara	Arbustivo	1,60
	San Gil	Arbustivo	1,60
Tolima	Cajamarca	Voluble	1,60

Tabla 2. Parcelas de omisión y dosis de nutrientes utilizadas en diferentes localidades.

		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	Cal	MO
Omisión N	PKSMgCalMO	0	90	120	31	25	500	800
Omisión P	NKSMgCalMO	90	0	120	31	25	500	800
Omisión K	NPSMgCalMO	90	90	0	31	25	500	800
Omisión S	NPKMgCalMO	90	90	120	0	25	500	800
Omisión Mg	NPKSCalMO	90	90	120	31	0	500	800
Omisión Cal	NPKSMgMO	90	90	120	31	25	0	800
Omisión MO	NPKSMgCal	90	90	120	31	25	500	0
Completa	NPKSMgCalMO	90	90	120	31	25	500	800
Agricultor	NPKCalMO	80	30	30	0	0	1000	1000

2.2 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL

Los ensayos se plantearon para las zonas productoras con el objetivo general de determinar las etapas fisiológicas del frijol arbustivo y voluble óptimas para mejorar el uso del nitrógeno mediante el fraccionamiento.

2.2.1 FRIJOL ARBUSTIVO

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con arreglo en Parcelas Divididas con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 96 m² (20 surcos de 8 metros de largo espaciados a 60 cm).

Los tratamientos principales fueron los fraccionamientos de nitrógeno:

- Fraccionamiento 20-80 Aplicando el 20% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el 80% en la etapa V4 en 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 V4 en forma de banda incorporada
- Fraccionamiento 100 – 0 Aplicando el 100% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada

Los sub tratamientos fueron las dosis de Nitrógeno.

- 0 Kg N ha⁻¹
- 45 Kg N ha⁻¹
- 90 Kg ha⁻¹

El material genético usado fue el de mayor siembra en la zona con una densidad de 133 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 90 Kg P₂O₅ ha⁻¹, magnesio a dosis de 25 Kg MgO ha⁻¹; azufre a dosis de 31 Kg. S ha⁻¹, cal dolomita a dosis de 500 Kg.ha⁻¹ y materia orgánica a dosis de 800 Kg. ha⁻¹. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada. La cosecha final para determinar el rendimiento de grano se realizó 1-2 semanas después de madurez fisiológica.

2.2.2 FRIJOL VOLUBLE

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con arreglo en Parcelas Divididas con tres repeticiones. La unidad experimental tuvo un área de 117.6 m² (12 surcos de 7 metros de largo espaciados a 1.4 m).

Los tratamientos principales fueron los fraccionamientos de nitrógeno:

- Fraccionamiento 40 – 60 Aplicando el 40% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el 60% en etapa V4 en banda incorporada
- Fraccionamiento 40-30-30. Aplicando el 40% de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada, el 30% en etapa V4 y el 30% en R5 en forma de banda incorporada
- Fraccionamiento 20-40-40. Aplicando el 20% de la dosis total en V0, el 40% en etapa V4 y el 40% restante en R5 en forma de banda incorporada

Los sub tratamientos fueron las dosis de Nitrógeno.

- 0 Kg N ha⁻¹
- 45 Kg N ha⁻¹
- 90 Kg ha⁻¹

El material genético sembrado fue el de mayor representatividad en la zona con una densidad de 36 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 90 Kg P₂O₅ ha⁻¹, magnesio a dosis de 25 Kg MgO ha⁻¹; azufre a dosis de 31 kg. S ha⁻¹, cal dolomita a dosis de 500 Kg.ha⁻¹ y materia orgánica a dosis de 800 Kg ha⁻¹. La dosis básica de fósforo, potasio, azufre y magnesio se aplicó al momento de la siembra en forma de banda incorporada. La cosecha final para determinar el rendimiento de grano se realizó 1-2 semanas después de madurez fisiológica.

2.3 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL

Con el fin de Determinar el efecto de diferentes dosis de cal agrícola en el cultivo de frijol se desarrollaron ensayos en seis zonas productoras de Colombia.

2.3.1 FRIJOL ARBUSTIVO

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, el área de la unidad experimental fue de 96 m² (20 surcos de 8 metros de largo espaciados a 0.6 m).

Los tratamientos fueron las dosis de cal:

- 0 Kg Cal agrícola ha⁻¹
- 500 Kg Cal agrícola ha⁻¹
- 1.000 Kg Cal agrícola ha⁻¹
- 1.500 Kg Cal agrícola ha⁻¹

El material genético usado fue el de mejor respuesta en la zona con una densidad de 133 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 60 Kg de Nitrógeno, 60 Kg de P₂O₅ ha⁻¹, 90 Kg de K₂O, 25 Kg MgO ha⁻¹; 31 Kg S ha⁻¹ y 800 Kg ha⁻¹ de materia orgánica. 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 40 – 60% en las etapas fisiológicas V0 y V4. La cosecha final para determinar el rendimiento de grano se realizó 1-2 semanas después de madurez fisiológica.

2.3.2 FRIJOL VOLUBLE

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. El área de la unidad experimental fue de 117.6 m² (12 surcos de 7 metros de largo espaciados a 1,4 m).

Los tratamientos fueron las dosis de cal:

- 0 Kg Cal agrícola ha⁻¹
- 500 Kg Cal agrícola ha⁻¹
- 1.000 Kg Cal agrícola ha⁻¹
- 1.500 Kg Cal agrícola ha⁻¹

El material genético usado fue el de mejor respuesta en la zona con una densidad de 36 mil plantas por hectárea. En todas las parcelas se aplicó una fertilización base de 60 Kg de Nitrógeno, 60 Kg de P₂O₅ ha⁻¹, 90 Kg de K₂O, 25 Kg MgO ha⁻¹; 31 Kg S ha⁻¹ y 800 Kg ha⁻¹ de materia orgánica. 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 40-40-20% en las etapas fisiológicas V0, V4 y R5. La cosecha final para determinar el rendimiento de grano se realizó 1-2 semanas después de madurez fisiológica.

3. RESULTADOS

3.1 DETERMINACIÓN DEL APOORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRIJOL ARBUSTIVO - SANTANDER



En la Figura 1 se aprecia los rendimientos de frijol arbustivo en las parcelas de omisión. En San Gil en el primer semestre de evaluación el nutriente que limitó la producción fue el Magnesio y en el segundo semestre los mayores limitantes fueron la omisión de fósforo y potasio seguidos de nitrógeno. Para Barichara en el primer semestre la omisión de fósforo ocasionó una leve disminución del rendimiento observándose en este suelo un adecuado contenido de nutriente nativo, en el segundo semestre la omisión de nitrógeno ocasionó una drástica reducción en el rendimiento.

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas se calculó la eficiencia agronómica del cultivo Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado, los valores se observan en la Tabla 3.

El rango de la EA para Nitrógeno varía entre 2.0 – 13.39 y la respuesta a la aplicación de este nutriente varía entre 0.18 y 1.20 toneladas de grano por hectárea (Tablas 3 y 4). El promedio en Santander de la eficiencia agronómica para fósforo fue de 4.97 y la respuesta a la aplicación fue en promedio de 0.44 toneladas por hectárea. La eficiencia agronómica del potasio fue en promedio de 3.21 y la respuesta a la

aplicación del nutriente fue de 0.38 toneladas de grano. En magnesio y azufre se observan mayores valores de la EA, 9.33 y 16.20 respectivamente, en tanto que la respuesta a la aplicación del nutriente fue menor a 0.5 toneladas.

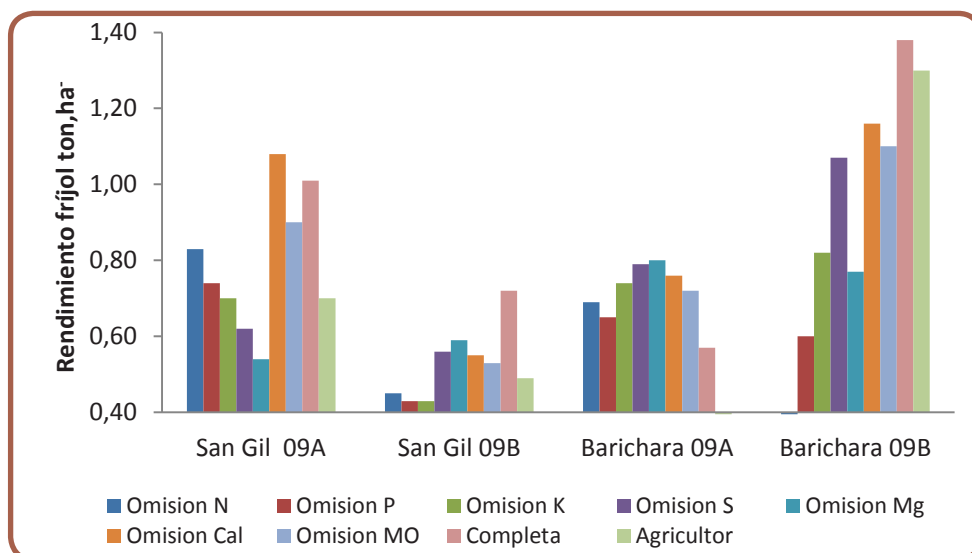


Figura 1. Rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Departamento de Santander.

Tabla 3. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente aplicado				
	N	P	K	S	Mg
San Gil 09A	2,00	2,99	2,56	12,61	18,77
San Gil 09B	2,99	3,29	2,44	5,32	5,36
Barichara 09B	13,49	8,64	4,64	10,07	24,47
Promedio	6,13	4,97	3,21	9,33	16,20

Tabla 4. Respuesta obtenida ($\text{Ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente ($\text{Ton}\cdot\text{ha}^{-1}$)				
	N	P	K	S	Mg
San Gil 09 A	0,18	0,27	0,31	0,39	0,47
San Gil 09 B	0,27	0,29	0,29	0,16	0,13
Barichara 09 A	1,20	0,78	0,56	0,31	0,61
Promedio	0,55	0,44	0,38	0,28	0,40

El 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, esta relación se denomina Eficiencia Fisiológica (EF) de Uso. La EF indica que para Nitrógeno en Santander se producen entre 9.63 y 23.16 Kg de grano por Kg de nitrógeno absorbido. Los mayores valores de eficiencia de uso se observan para Fósforo y Magnesio con un promedio de 182.28 y 112.71 respectivamente, Tabla 5.

Respecto a la extracción de nutrientes definida como la remoción que realizan los diferentes órganos de la planta durante su ciclo productivo. Al observar el nivel de extracción de nutrientes en la Tabla 6, se aprecia que el elemento de mayor extracción es el Nitrógeno, seguido de Potasio y en menor cantidad se observa la extracción de azufre, magnesio y fósforo.

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 7 se observan los valores obtenidos. En promedio el IC total es de 0.27, es decir, que el 73% de la biomasa producida se retiene en los residuos de cosecha, esto implica que debe realizarse un manejo adecuado de residuos a largo plazo contarlos como créditos de nutrientes. Los promedios del IC por nutriente son de 0.56 para Nitrógeno, 0.63 para Fósforo y 0.32 para Potasio.

Tabla 5. Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente absorbido				
	N	P	K	S	Mg
San Gil 09A	9,63	92,27		130,57	24,19
San Gil 09B	23,16	172,00	18,63	67,74	227,74
Barichara 09A	12,67	249,64	43,58		133,10
Barichara 09B	16,24	215,21	23,89	20,18	65,84
Promedio	15,42	182,28	28,70	72,83	112,71

Tabla 6. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. frijol producida ¹				
	N	P	K	S	Mg
San Gil 09A	63,28	5,62	36,73	8,84	34,54
San Gil 09B	54,32	5,96	62,07	32,07	6,72
Barichara 09A	63,11	7,20	33,19	51,06	8,86
Barichara 09B	63,10	5,30	38,57	36,33	10,90
Promedio	60,95	6,02	42,64	32,07	15,25

Tabla 7. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
San Gil 09A	0,26	0,66	0,69	0,19	0,23	0,47
San Gil 09B	0,26	0,56	0,62	0,27	0,55	0,22
Barichara 09A	0,26	0,49	0,63	0,4	0,39	0,19
Barichara 09B	0,31	0,55	0,58	0,44	0,33	0,21
Promedio	0,27	0,56	0,63	0,32	0,37	0,27

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 8. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 8. Dosis recomendada por nutriente para dos regiones en Santander.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
San Gil					
Semestre A	81	7	47	11	44
Semestre B	69	7	79	41	8
Barichara					
Semestre A	80	9	42	65	11
Semestre B	80	6	49	46	13

En general, las dosis se ajustan al requerimiento nutricional de la planta, salvo el caso de fósforo en donde se recomendaría la aplicación de una mayor dosis del nutriente debido al proceso de fijación por ser suelos que varían entre fuerte a extremadamente ácidos.

3.1.1 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL

Al analizar estadísticamente los ensayos en dos localidades de Santander, Barichara y San Gil Tabla 9, se observa que en Barichara 10 A el mayor promedio se obtuvo para el fraccionamiento 20-80% con 1.65 toneladas seguidas por 1.60 y 1.59 ton.ha⁻¹ de frijol, para los tratamientos sin fraccionar y el doble fraccionamiento 50-50%, superando el primero con 49.11 Kg al tratamiento sin fraccionar y con 61 Kg al fraccionamiento 50-50%. Para San Gil 2010 A, se aprecia que el mayor rendimiento promedio (1.69 ton.ha⁻¹) se obtuvo con el tratamiento sin fraccionamiento de Nitrógeno el cual fue superior en rendimiento respecto al

doble fraccionamiento 50-50% con 41.11 Kg.ha⁻¹ y con 90 Kg.ha⁻¹ al doble fraccionamiento 20-80%.

Los resultados encontrados en el semestre B del 2010 se observan en la Figura 2, se mantienen constantes respecto al primer ciclo del cultivo sin presentar diferencias estadísticas en las dos localidades evaluadas al analizar el efecto del fraccionamiento de nitrógeno. Los rendimientos promedio varían entre 1.43 y 1.59 toneladas por hectárea.

En Barichara, al comparar los rendimientos promedio para la dosis de nitrógeno aplicado Figura 3, se presentaron diferencias estadísticas significativas, el mayor rendimiento promedio se obtuvo con la dosis de 90 Kg.ha⁻¹ de nitrógeno (1.74 ton.ha⁻¹) siendo este estadísticamente igual al

Tabla 9. Efecto del fraccionamiento y la dosis de nitrógeno. Análisis de Varianza.

Municipio	CV %	Pr>F Fraccionamiento	Pr>F Dosis N
Barichara 10 A	11,13	0,94	0,02*
Barichara 10 B	10,97	0,46	0,39
San Gil 10 A	10,54	0,65	0,01*
San Gil 10 B	8,28	0,90	0,001**

*Diferencias estadísticas al 95% **Diferencias estadísticas 99%.

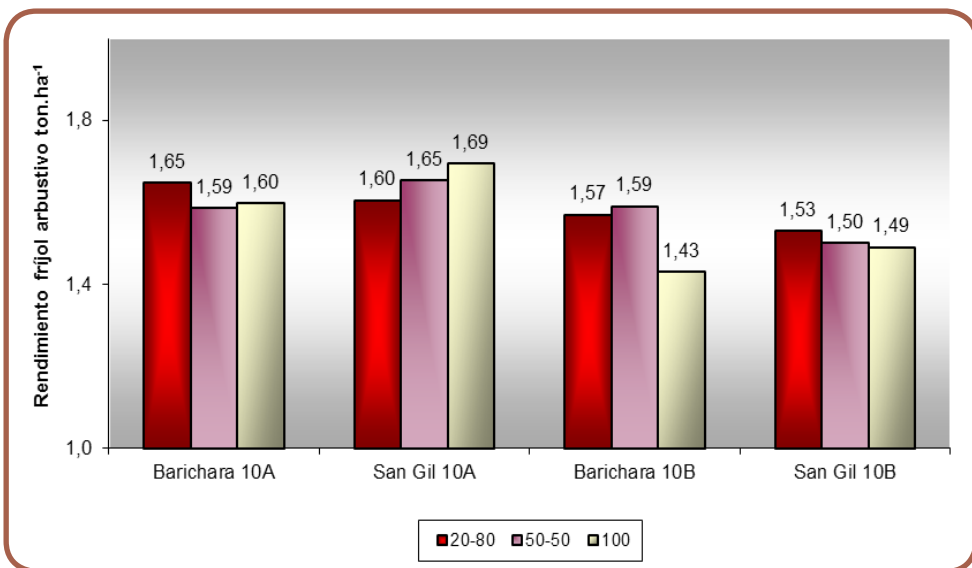


Figura 2. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

rendimiento promedio ($1.62 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la dosis $45 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno y diferente al tratamiento con omisión de nitrógeno ($1.48 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$).

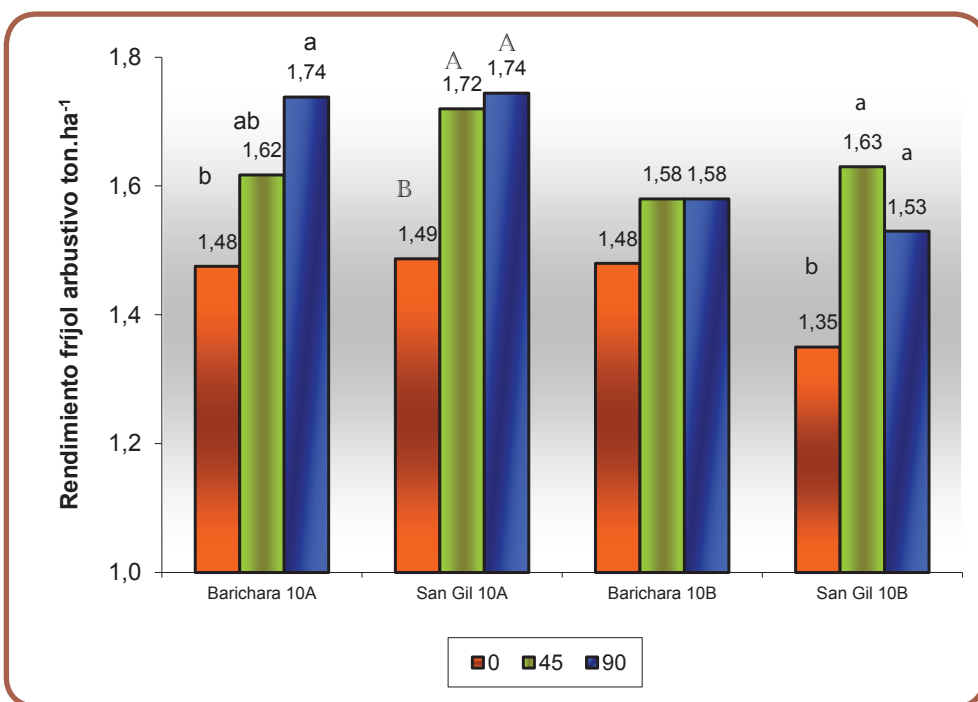


Figura 3. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

Los resultados en San Gil muestran diferencias estadísticas significativas entre dosis de nitrógeno aplicadas. Al comparar las medias de rendimiento se observa que el mayor promedio $1.74 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ se obtuvo con la dosis $90 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno siendo estadísticamente igual que el rendimiento promedio $1.72 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtenido con la dosis de $45 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno y estos dos tratamientos estadísticamente diferentes del tratamiento con 0 nitrógeno con el menor rendimiento promedio ($1.49 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$). En el semestre B se puede observar que los resultados son consistentes con los encontrados en el primer ciclo de la evaluación de dosis de nitrógeno.

En general en Santander los mayores rendimientos promedio se obtuvieron con la dosis de 45 y $90 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, seguido por la parcela sin aplicación del nutriente, sin existir diferencias estadísticas entre dosis. Los rendimientos promedio fueron de para Barichara de 1.58 para las dos dosis y de 1.48 para la omisión de N. En San Gil, el rendimiento de la parcela con la aplicación de 45

Kg.ha⁻¹ N de (1.63 ton.ha⁻¹) fue superior a las otras dos dosis de evaluación con promedios de 1.53 y 1.35 ton.ha⁻¹ respectivamente.

3.1.2 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL

Al analizar estadísticamente los ensayos de dosis de cal en Santander no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos en el primer semestre en las dos localidades, Tabla 10.

Tabla 10. Efecto de la dosis de cal, Análisis de varianza.

Municipio	Pr>F	CV %	DMS Kg
San Gil	0,23	17,52	
Barichara	0,40	26,78	
Barichara 11B	<0,01**	7,80	222,67

** Diferencias estadísticas al 99%

En la Figura 4 se aprecian los resultados promedio de rendimiento de las dosis de cal en dos localidades de Santander, en el semestre 11 A para el tratamiento 0 Kg de cal por hectárea el promedio varía entre 2.26 y 2.62 toneladas de grano,

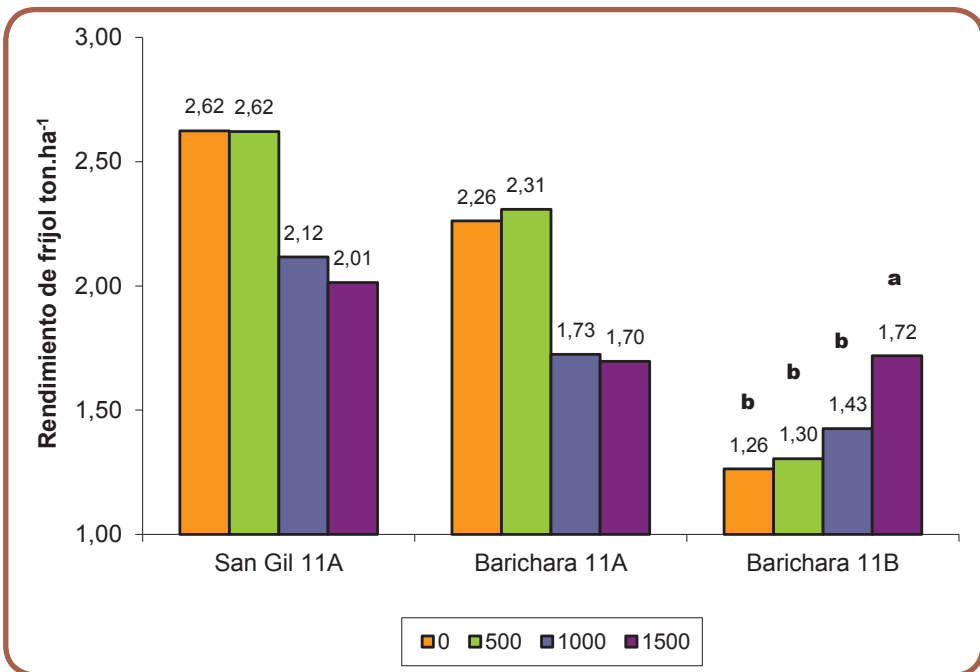


Figura 4. Efecto de la dosis de Cal. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

los menores rendimientos promedio se obtuvieron al aplicar las dosis de 1.000 y 1.500 Kg de cal por hectárea. Estos resultados pueden atribuirse a la continua aplicación de cal que recibieron los suelos durante dos años consecutivos, ya que los ensayos se realizaron en el mismo sitio.

En Barichara en el semestre B se observa que el mayor rendimiento promedio se presentó con la aplicación de 1.500 Kg de cal por hectárea (1.72 toneladas por hectárea) el cual fue estadísticamente diferente a los otros tratamientos.

3.2 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO - HUILA



3.2.1 APORTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL ARBUSTIVO

En la Figura 5 se aprecia los rendimientos de frijol arbustivo en las parcelas de omisión en frijol arbustivo. En el Agrado se observa la disminución del rendimiento cuando se omitió la aplicación de la materia orgánica, seguido de la omisión de nitrógeno y cal. En Gigante se observa que el principal limitante en el rendimiento fue la omisión de fósforo y potasio siendo superior a la de nitrógeno.

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas se calculó la eficiencia agronómica del cultivo Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado, los valores se observan en la Tabla 11.

Los mayores valores de EA se obtuvieron para Magnesio y Azufre con valores de 24.54 y 22.33. El rango de la EA para Nitrógeno varía entre 8.30 – 11.94 y la respuesta a la aplicación de este nutriente fue en promedio de 0.91 toneladas de grano por hectárea (Tablas 11 y 12). El promedio en Huila de la eficiencia agronómica para fósforo fue de 10.35 y la respuesta a la aplicación fue en promedio de 0.93 toneladas por hectárea.

La extracción de nutrientes es la remoción que realizan los diferentes órganos de la planta durante su ciclo productivo. Al observar el nivel de extracción de nutrientes en la Tabla 13, se aprecia que el elemento de mayor extracción es el

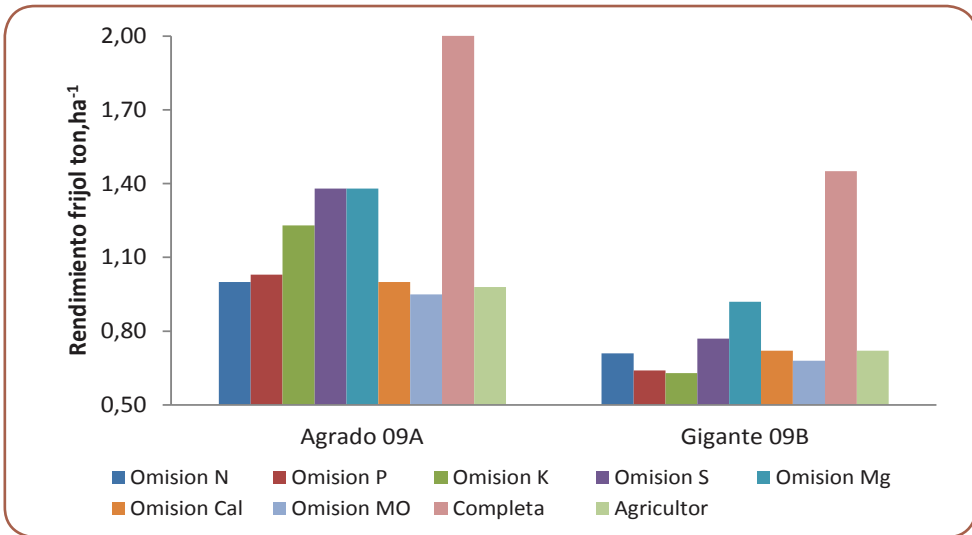


Figura 5. Rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) de las parcelas de omisión de frijol arbustivo en el Departamento de Huila.

Tabla 11. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente aplicado				
	N	P	K	S	Mg
Agrado 09A	11,94	11,64	7,04	22,58	27,83
Gigante 09B	8,30	9,05	6,86	22,07	21,25
Promedio	10,12	10,35	6,95	22,33	24,54

Tabla 12. Respuesta obtenida (Ton ha^{-1}) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha^{-1})				
	N	P	K	S	Mg
Agrado 09A	1,08	1,05	0,85	0,70	0,70
Gigante 09B	0,74	0,81	0,82	0,68	0,53
Promedio	0,91	0,93	0,84	0,69	0,62

Tabla 13. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. frijol producida ⁻¹				
	N	P	K	S	Mg
Agrado 09A	30,85	5,43	18,49	14,83	1,33
Gigante 09B	28,85	3,87	14,76	11,82	1,55
Promedio	29,85	4,65	16,62	13,32	1,44

Nitrógeno, seguido de Potasio y en menor cantidad se observa la extracción de azufre, fósforo y magnesio.

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 14. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 14. Dosis recomendada por nutriente para dos regiones del Huila.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutriente por hectárea				
Agrado A	43	8	26	21	2
Gigante B	40	5	21	17	2

3.2.2 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL ARBUSTIVO

En el municipio de Garzón – Huila, el efecto del fraccionamiento no fue estadísticamente diferente (P=0.26). Al comparar los promedios de producción en esta variable se observa que la aplicación de nitrógeno sin fraccionar fue superior en 24.5 Kg respecto al fraccionamiento 50-50% y en 163.3 Kg al compararlo con el fraccionamiento 20-80%, Figura 6.

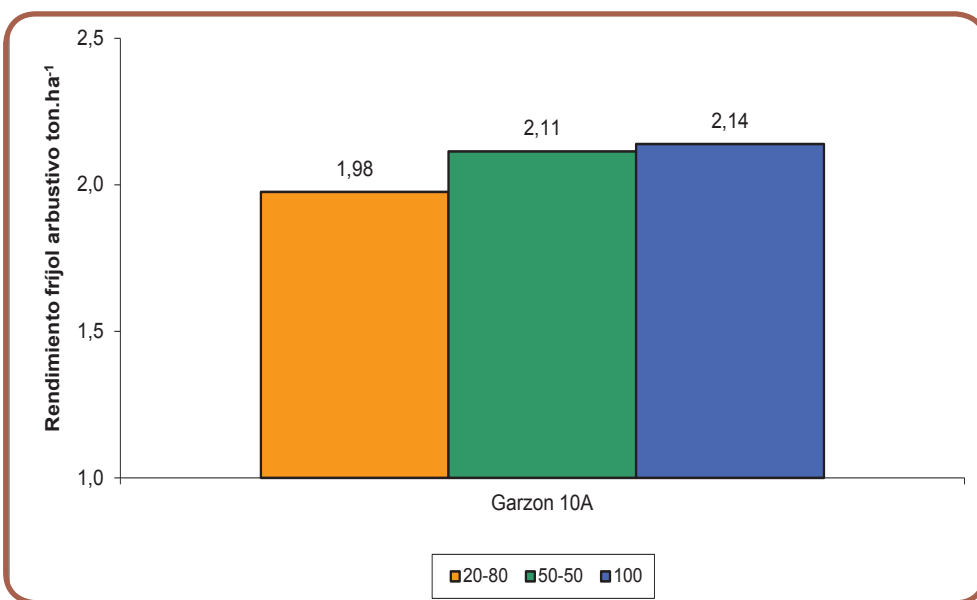


Figura 6. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre dosis de Nitrógeno aplicado ($P=0.02$), Figura 7, los rendimientos promedios de las dosis de 45 (2.21 ton.ha^{-1}) y 90 Kg.ha^{-1} de nitrógeno (2.14 ton.ha^{-1}) son estadísticamente iguales entre si y diferentes al rendimiento promedio de la dosis de 0 Kg.ha^{-1} de nitrógeno aplicado.

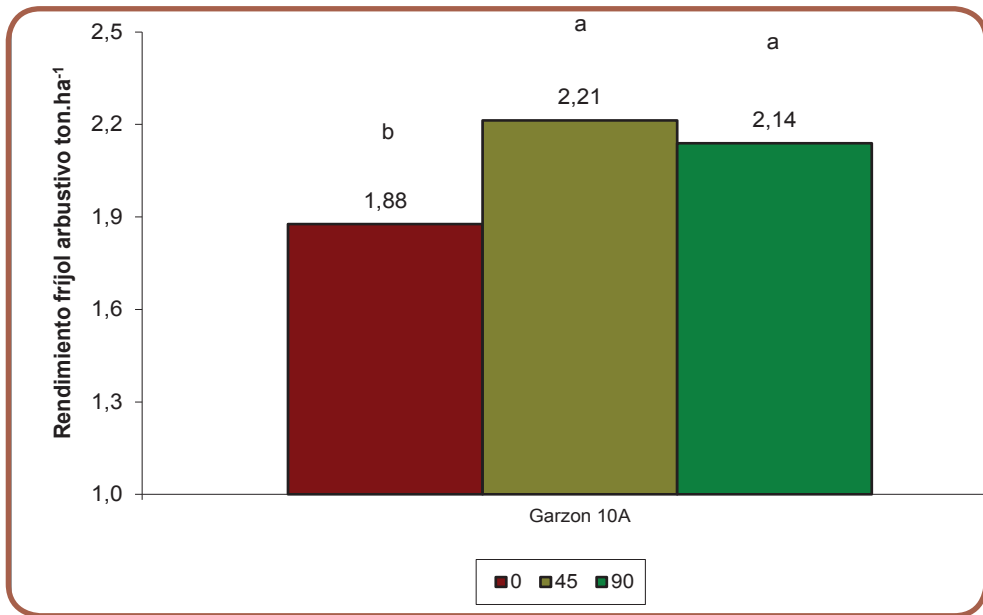


Figura 7. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

3.2.3 APORTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE HUILA

En la Figura 8 se aprecia los rendimientos de frijol en las parcelas de omisión en frijol voluble. En El Pital en el primer semestre de evaluación la omisión de materia orgánica y cal disminuyen los rendimientos seguidos de nitrógeno. Para el segundo semestre la omisión de Azufre seguido de la omisión de fósforo, potasio, materia orgánica y cal limitan el rendimiento del cultivo.

Los valores de eficiencia agronómica del cultivo $\text{Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado}$, se observan en la Tabla 15. Los mayores valores se obtuvieron para Azufre y Magnesio con valores de 33.61 y 14.08. El rango de la EA para Nitrógeno varía entre 2.75 – 20.17 y la respuesta a la aplicación de este nutriente fue en promedio de 1.03 toneladas de grano por hectárea (Tablas 15 y 16). El promedio en frijol voluble de la eficiencia agronómica para fósforo

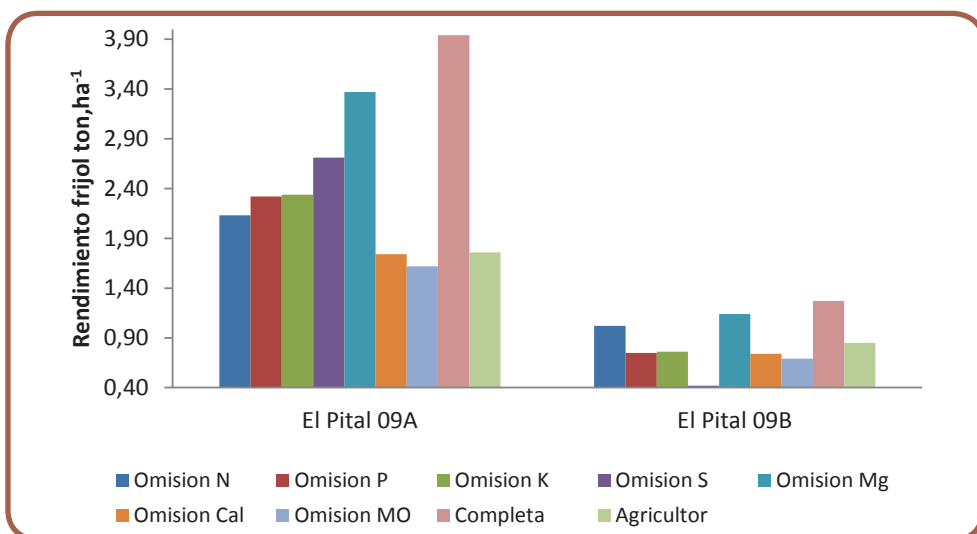


Figura 8. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión de frijol voluble en el Departamento de Huila.

Tabla 15. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente aplicado				
	N	P	K	S	Mg
El Pital 09 A	20,17	18,03	13,64	39,79	22,94
El Pital 09 B	2,75	5,74	4,23	27,43	5,22
Promedio	11,46	11,89	8,94	33,61	14,08

Tabla 16. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
El Pital 09 A	1,81	1,62	1,60	1,23	0,57
El Pital 09 B	0,25	0,52	0,51	0,85	0,13
Promedio	1,03	1,07	1,06	1,04	0,35

fue de 11.89 y la respuesta a la aplicación fue en promedio de 1.07 toneladas por hectárea.

La extracción de nutrientes es la remoción que realizan los diferentes órganos de la planta durante su ciclo productivo. Al observar el nivel de extracción de nutrientes en la Tabla 17, se aprecia que el elemento de mayor extracción es el

Nitrógeno (29.12), seguido de Potasio (23.16) y en menor cantidad se observa la extracción de azufre (17.50).

Tabla 17. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. frijol producida ¹				
	N	P	K	S	Mg
El Pital 09 A	22,1	2,69	20,6	15,15	3,61
El Pital 09 B	36,13	4,02	25,71	19,84	3,77
Promedio	29,12	3,36	23,16	17,50	3,69

El Índice de Cosecha (IC) se observa en la Tabla 18, en promedio el IC total es de 0.58, es decir, que el 42% de la biomasa producida se retiene en los residuos de cosecha. Los promedios del IC por nutriente son de 0.83 para Nitrógeno, 0.86 para Fósforo y 0.62 para Potasio, 0.72 para Azufre y 0.46 para Magnesio.

Tabla 18. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio de frijol voluble.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
El Pital 09 A	0,61	0,86	0,89	0,68	0,76	0,46
El Pital 09 B	0,54	0,79	0,83	0,55	0,68	0,46
Promedio	0,58	0,83	0,86	0,62	0,72	0,46

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 19. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 19. Dosis recomendada por nutriente para El Pital – Huila.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
El Pital					
Semestre A	60	5	37	27	6
Semestre B	65	7	46	36	7

3.2.4 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE

En el municipio de El Pital los rendimientos promedio obtenidos al analizar el efecto del fraccionamiento de nitrógeno muestran que no existen diferencias estadísticas

entre tratamientos, Tabla 20. El mayor rendimiento promedio 2.20 ton.ha⁻¹ se obtuvo con el doble fraccionamiento 40-60% seguido de los triples fraccionamientos 40-30-30% y 20-40-40% con promedios de 1.97 y 1.88 ton.ha⁻¹, Figura 9.

Para La Plata se encontraron diferencias estadísticas significativas entre fraccionamientos de nitrógeno, se observa que el triple fraccionamiento 20-40-40% fue estadísticamente superior a los otros dos fraccionamientos. Este fraccionamiento supera en rendimiento en 0.32 ton ha⁻¹ al fraccionamiento 40-30-30% y en 0.49 ton.ha⁻¹ al doble fraccionamiento 40-60%, estos dos últimos tratamientos son estadísticamente iguales entre sí.

Tabla 20. Efecto del fraccionamiento y la dosis de nitrógeno. Análisis de Varianza.

Municipio	CV %	Pr>F Fraccionamiento	Pr>F Dosis N
El Pital 10 A	36,54	0,55	0,42
La Plata 10 B	15,72	0,04*	< 0,0001**
El Pital 10 B	3,89	0,62	< 0,0001**

**Diferencias estadísticas 99%.

Para el semestre B en el Municipio de El Pital al analizar estadísticamente el ensayo no existen diferencias estadísticas entre fraccionamientos de nitrógeno. El mayor rendimiento promedio 2.15 ton.ha⁻¹ se obtuvo con el fraccionamiento 40-30-30%.

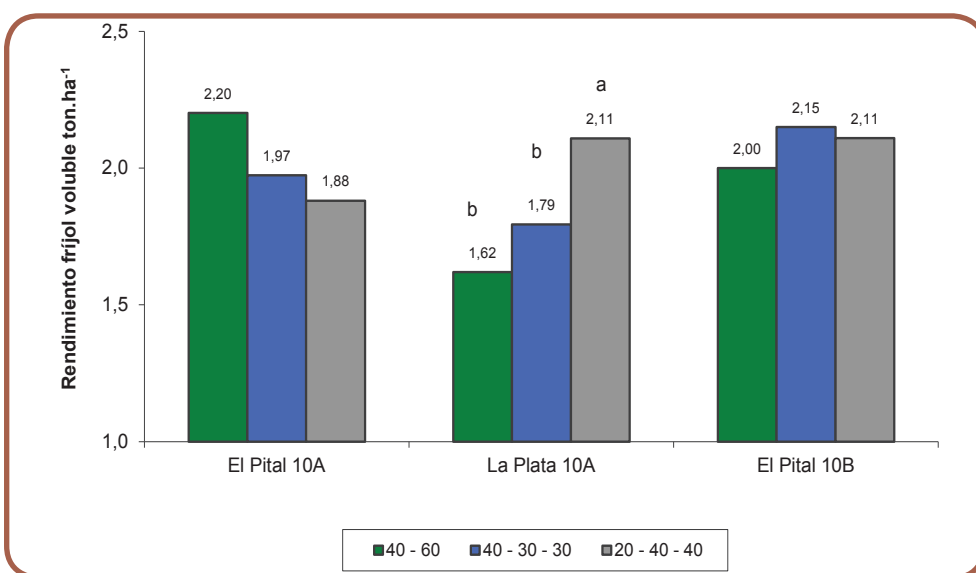


Figura 9. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

Respecto a la dosis de nitrógeno en el primer semestre en El Pital no se encontraron diferencias estadísticas ($P=0.42$), encontrando mayor rendimiento con la dosis de 45 Kg de nitrógeno aplicado. En el segundo semestre las diferencias estadísticas entre dosis de nitrógeno aplicado son altamente significativas, ($P<0.0001$) Figura 10, incrementando el rendimiento a medida que se aumenta la cantidad del nutriente, el mayor rendimiento promedio se obtuvo con la dosis de 90 Kg.ha⁻¹ de nitrógeno con 2.24 toneladas de grano.

Al analizar los resultados en el Municipio de La Plata se encuentran diferencias altamente significativas al comparar los rendimientos promedio ($P<0.0001$). No existen diferencias estadísticas entre las dosis 45 y 90 Kg.ha⁻¹ de nitrógeno, con rendimiento promedio de 2.15 y 2.10 ton.ha⁻¹, pero estos dos tratamientos son estadísticamente diferentes al rendimiento obtenido en la parcela sin aplicación de nitrógeno 1.26 ton.ha⁻¹. Al comparar las medias se observa que el rendimiento de las parcelas donde se aplicaron 90 y 45 Kg de nitrógeno es superior en 0.89 y 0.84 ton.ha⁻¹ de frijol con respecto al obtenido en la parcela testigo (cero nitrógeno).

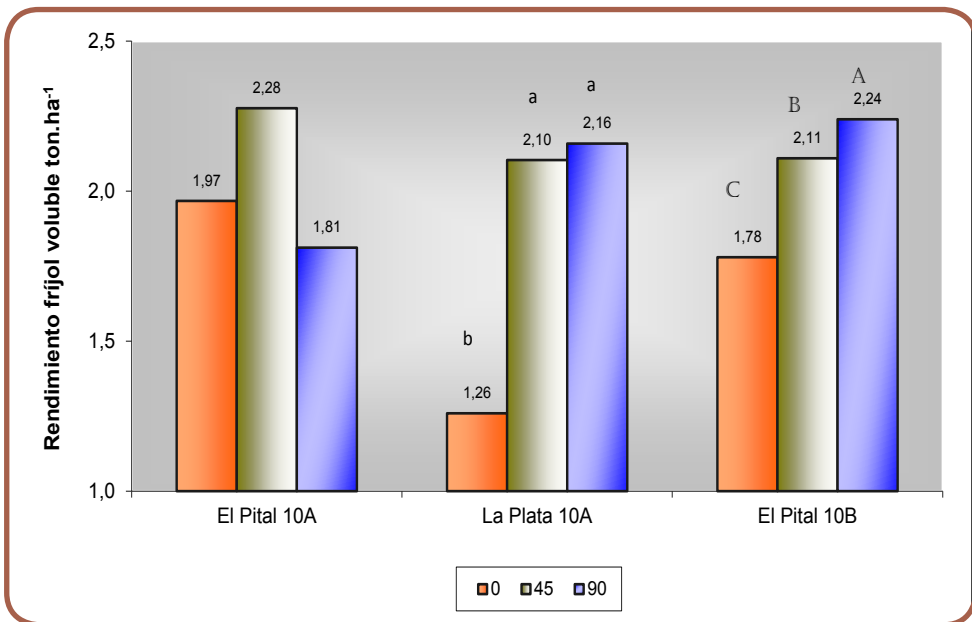


Figura 10. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

3.2.5 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL VOLUBLE

En las dos localidades del Huila durante los dos semestres evaluados se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre las dosis de cal evaluadas Tabla 21 y Figura 11.

En general, se aprecia que la dosis con mayor rendimiento promedio fue la aplicación de 1.000 Kg por hectárea de cal. En El Pital en el semestre 11 A, el rendimiento fue de 2.64 toneladas de grano seguido de la dosis de 1.500 Kg de cal con un promedio de 2.42 toneladas, en el semestre 11 B existen diferencias estadísticas entre los tratamientos con la aplicación de la enmienda y el testigo.

Tabla 21. Efecto de la dosis de cal. Análisis de Varianza.

Municipio	Pr>F	CV %	DMS Kg
El Pital 11A	<0,01**	4,58	203,57
La Plata 11A	<0,01**	4,22	169,01
El Pital 11 B	0,003**	4,50	171,31
La Plata 11 B	0,01**	5,93	239,38

**Diferencias estadísticas 99%.

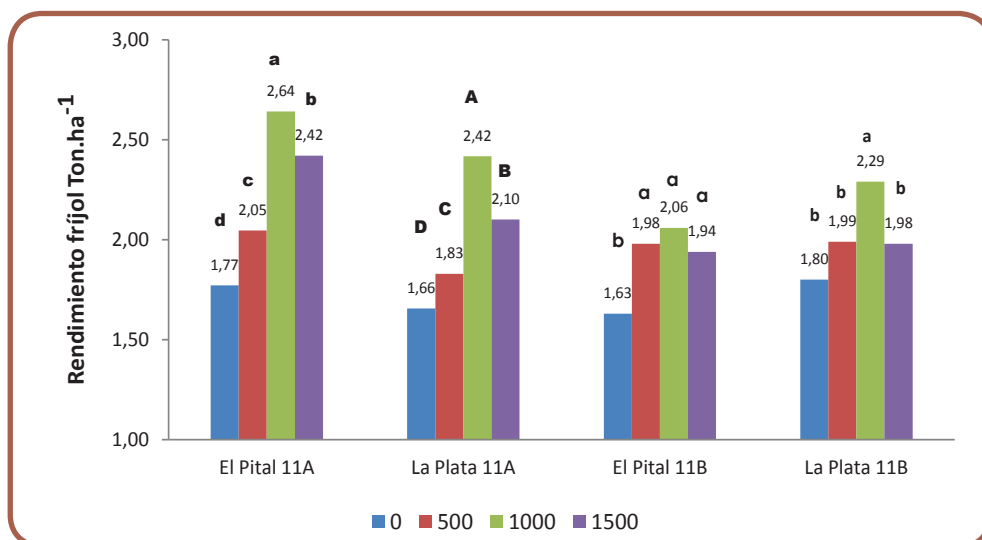


Figura 11. Efecto de la dosis de Cal. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

En el Municipio de La Plata en el semestre A se observa el mayor rendimiento promedio 2.42 toneladas de frijol con la aplicación de la dosis de 1.000 Kg de cal y diferencias estadísticas con los otros tratamientos (Figura 11), el rendimiento promedio fue seguido de la dosis de 1.500 Kg de cal (2.10 Toneladas), 500 Kg de cal (1.83 toneladas) y el tratamiento testigo 1.66 toneladas. En el semestre B se observó diferencias entre la aplicación de 1.000 Kg con rendimiento promedio de 2.29 toneladas de grano y los otros tratamientos siendo éstos estadísticamente similares.

3.3 DETERMINACIÓN DEL APOORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE – TOLIMA



En la Figura 12 se aprecia los rendimientos de frijol voluble en las parcelas de omisión. En el primer semestre de evaluación se observó que la omisión de nitrógeno disminuyó drásticamente el rendimiento del cultivo, seguido por la omisión de azufre y fósforo. En el segundo semestre se aprecia que la omisión de nitrógeno, potasio, cal y materia orgánica son los principales limitantes en la producción.

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas se calculó la eficiencia agronómica del cultivo Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado, los valores se observan en la Tabla 22.

El promedio de la EA para Nitrógeno fue de 6.71 y la respuesta a la aplicación de este nutriente varía entre 0.39 y 0.82 toneladas de grano por hectárea (Tablas 22 y 23). El promedio en Cajamarca de la eficiencia agronómica para fósforo fue de 4.15 y la respuesta a la aplicación fue en promedio de 0.75 toneladas por hectárea. La eficiencia agronómica del potasio fue en promedio de 1.67 y la respuesta a la aplicación del nutriente fue de 0.40 toneladas de grano.

La Eficiencia Fisiológica (EF) de Uso indica que para Nitrógeno en Cajamarca se producen 10.47 Kg de grano por Kg de nitrógeno absorbido. Los mayores valores de eficiencia de uso se observan para Fósforo y Magnesio con un promedio de 112.23 y 61.86 Kilogramos respectivamente, Tabla 24.

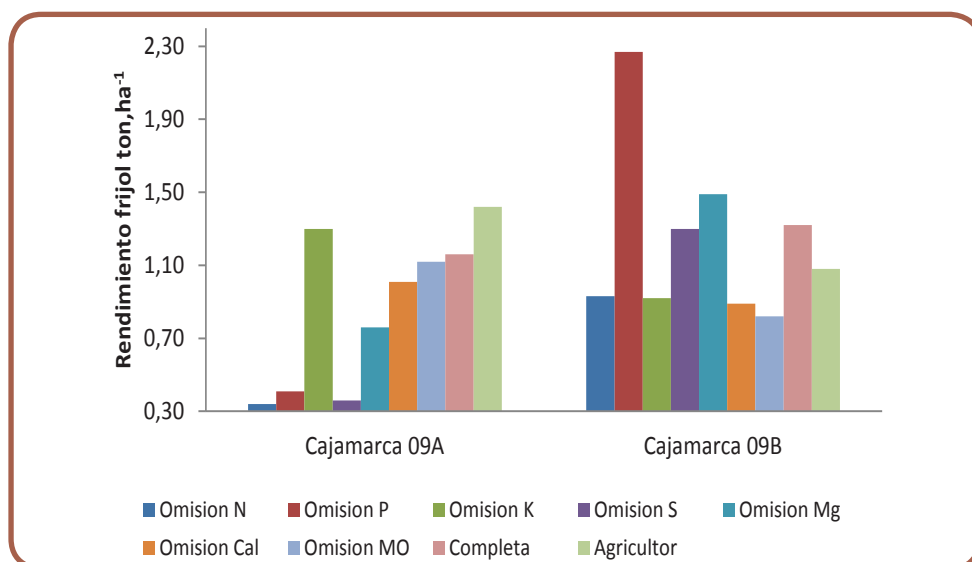


Figura 12. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión de ensayos establecidos en el Departamento de Tolima.

Tabla 22. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente aplicado				
	N	P	K	S	Mg
Cajamarca 09 A	9,09	8,29			15,88
Cajamarca 09 B	4,33		3,34	0,68	
Promedio	6,71	4,15	1,67	0,34	7,94

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

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Cajamarca 09 A	0,82	0,75		0,80	0,40
Cajamarca 09 B	0,39		0,40	0,02	
Promedio	0,61	0,75	0,40	0,41	0,40

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

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente absorbido			
	N	P	S	Mg
Cajamarca 09 A	10,47	84,46	21,37	99,32
Cajamarca 09 B		139,99		24,40
Promedio	10,47	112,23	21,37	61,86

En la Tabla 25 se aprecia que el nivel de extracción de nutrientes, el elemento de mayor extracción fue nitrógeno, seguido de Potasio y en menor cantidad se observa la extracción de azufre, magnesio y fósforo.

Tabla 25. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. Frijol producida ¹				
	N	P	K	S	Mg
Cajamarca 09 A	36,04	12,67	20,44	14,61	9,84
Cajamarca 09 B	43,18	4,68	34,92	26,10	7,05
Promedio	39,61	8,67	27,68	20,35	8,44

El Índice de Cosecha (IC) se observa en la Tabla 26. En promedio el IC total fue de 0.23. Los promedios del IC por nutriente son de 0.32 para Nitrógeno, 0.49 para Fósforo y 0.29 para Potasio.

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

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Cajamarca 09 A	0,21	0,27	0,4	0,33	0,26	0,17
Cajamarca 09 B	0,24	0,37	0,58	0,24	0,33	0,14
Promedio	0,23	0,32	0,49	0,29	0,30	0,16

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 27. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 27. Dosis recomendada por nutriente para Cajamarca – Tolima.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
Cajamarca					
Semestre A	68	16	34	21	10
Semestre B	55	6	45	33	9

3.3.1 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE

Estadísticamente la aplicación de nitrógeno en diferentes fraccionamientos del nutriente y la interacción fraccionamiento por dosis en el Municipio de Cajamarca no presenta diferencias estadísticas Tabla 28.

Tabla 28. Efecto del fraccionamiento y la dosis de nitrógeno. Análisis de Varianza.

Municipio	CV %	Pr>F Fraccionamiento	Pr>F Dosis N
Cajamarca 10 A	3,31	0,96	0,76
Cajamarca 10 B	4,14	0,14	0,04*

*Diferencias estadísticas al 95%.

Este comportamiento se observa en la Figura 13, la variación de los rendimientos promedios encontrados es baja en las dos localidades evaluadas.

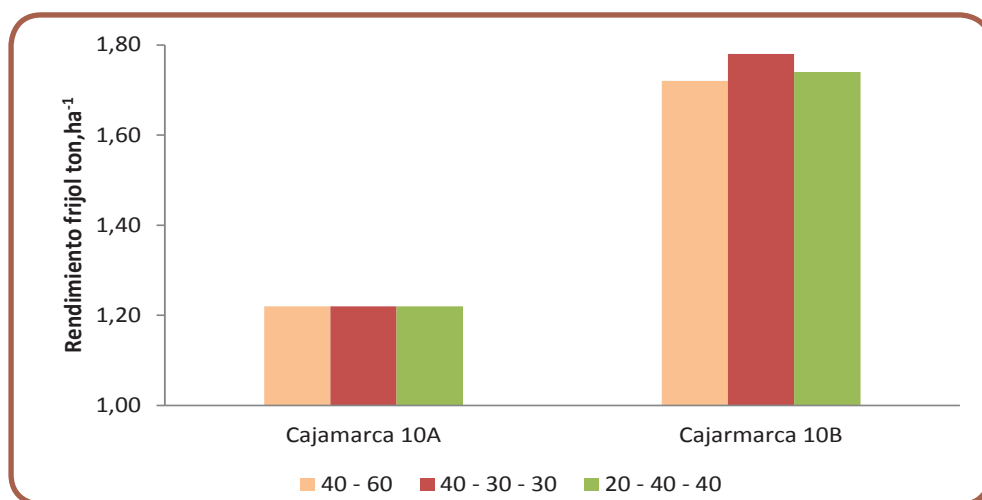


Figura 13. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

La aplicación de diferentes dosis de nitrógeno y la interacción fraccionamiento por dosis en Cajamarca no presento diferencias obteniendo resultados similares entre los tratamientos con 0 y 90 kilogramos de nitrógeno por hectárea en el semestre 10 A, para el semestre 10 B el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 90 kg de nitrógeno, seguido por la dosis de 45 Kg del nutriente, Figura 14.

3.3.2 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL VOLUBLE

Al evaluar la aplicación de diferentes dosis de cal no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P=0.67$), cabe destacar que las condiciones climáticas en la zona no fueron favorables para el desarrollo del cultivo, debido a esto los bajos rendimientos observados en el ensayo a pesar de que el coeficiente de variación (6.6%) indica que los resultados pueden asumirse con confiabilidad, Figura 15.

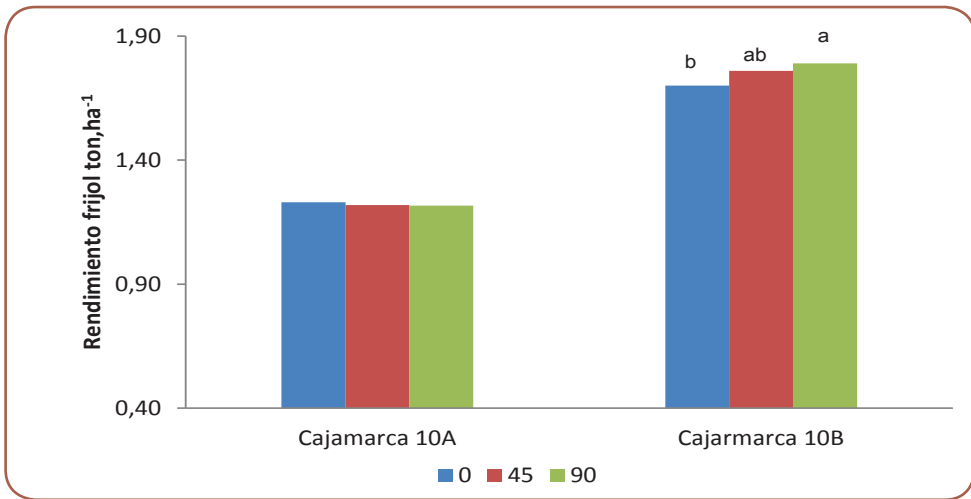


Figura 14. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

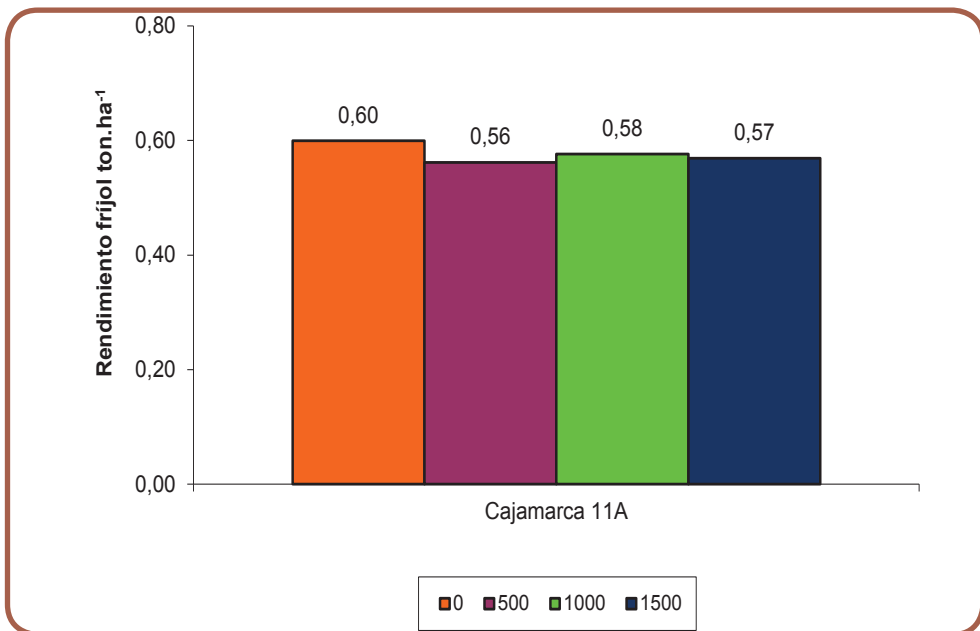


Figura 15. Efecto de la dosis de Cal.

3.4 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO EN NARIÑO



3.4.1 APORTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL ARBUSTIVO

En la Figura 16 se observa los rendimientos de frijol arbustivo en las parcelas de omisión. Al omitir la aplicación de nitrógeno (0.34 ton) la producción se redujo sin llegar a ser limitante respecto a las omisiones en otras parcelas como omisión de cal (0.37 ton) y materia orgánica (0.37 ton).

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas se calculó la eficiencia agronómica y fisiológica de uso del cultivo, los valores se observan en la Tabla 29.

La eficiencia agronómica para Nitrógeno fue de 0.64 y la eficiencia fisiológica de 11.79. La respuesta a la aplicación del nutriente para Nitrógeno fue de 0.09 toneladas por hectárea.

La extracción de nutrientes en Guaitarilla se aprecia en la Tabla 30, el elemento de mayor extracción es el Nitrógeno (50.26 Kg), seguido de Azufre (39.2 Kg) y Potasio (38.13 Kg) y en menor cantidad se observa la extracción de magnesio y fósforo.

En promedio el IC total es de 0.43, es decir, que el 57% de la biomasa producida se retiene en los residuos de cosecha, esto implica que al manejar adecuadamente los residuos con el tiempo se pueden contar como créditos de nutrientes, los valores se observan en la Tabla 31.

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 32. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

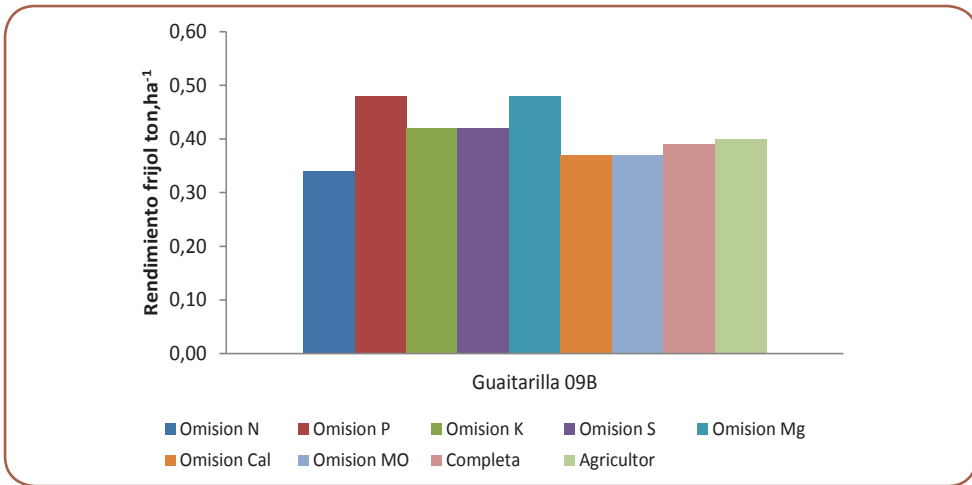


Figura 16. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión en el Departamento de Nariño.

Tabla 29. Eficiencia agronómica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado) y Eficiencia fisiológica de uso (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio		N
Guaitarilla 09 B	Eficiencia Agronómica	0,64
Guaitarilla 09 B	Eficiencia Fisiológica	11,79

Tabla 30. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol

Municipio	Kg. nutriente ton. Frijol arbustivo producida ⁻¹				
	N	P	K	S	Mg
Guaitarilla 09 B	50,26	5,21	38,13	39,2	6,85

Tabla 31. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Guaitarilla.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Guaitarilla 09 B	0,43	0,65	0,82	0,41	0,49	0,39

Tabla 32. Dosis recomendada por nutriente para Guaitarilla – Nariño.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
Guaitarilla					
Semestre B	50	5	38	39	7

3.4.2 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL ARBUSTIVO

En Guaitarilla los rendimientos se vieron afectados por las condiciones climáticas de las zonas de estudio, el exceso agua al inicio del cultivo pudo ocasionar lavado de nutrientes y las condiciones de verano afectaron la floración y el llenado de vainas. No se presentaron diferencias estadísticas entre fraccionamientos de nitrógeno ($P=0.59$) Figura 17.

En la Figura 18 se observa que al analizar las dosis de nitrógeno aplicadas, el mayor rendimiento promedio (0.42 ton.ha^{-1}) se obtuvo con la aplicación de 45 Kilos por hectárea de nitrógeno, estadísticamente diferente a los otros tratamientos ($P<0.0001$), seguido por los rendimientos obtenidos con la dosis de 90 y 0 Kg por hectárea del nutriente (0.38 y 0.30 ton.ha^{-1} respectivamente).

3.4.3 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL ARBUSTIVO

En Consacá durante dos semestres se evaluó el efecto de la dosis de cal en el cultivo de frijol, como se aprecia en la Figura 19 en el primer semestre de evaluación se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos (Tabla 33), los rendimientos promedio de las parcelas con aplicación de cal fueron 1.35; 1.34 y 1.33 toneladas de frijol para los tratamientos con aplicación de 1.000, 500 y 1.500 Kg de Cal por hectárea.

En el segundo semestre de evaluación los rendimientos promedio fueron mayores y al analizarlo estadísticamente no se presentaron diferencias. Los mayores rendimientos se obtuvieron con la aplicación de 500 y 1.000 Kg.ha^{-1} de cal. El mayor rendimiento promedio se obtuvo con la dosis de 500 Kg de cal seguido por el tratamiento testigo como se aprecia en la Figura 19.

3.4.4 APORTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE

En el Municipio de Consacá, como se observa en la Figura 20, los rendimientos promedios fueron bajos si se comparan con otras localidades a nivel nacional. En las parcelas de omisión de nutrientes se aprecia los menores rendimientos al omitir la aplicación de Nitrógeno (0.32 ton) en el semestre A y Fósforo (0.37 ton) y Nitrógeno (0.39 ton) en el semestre B.

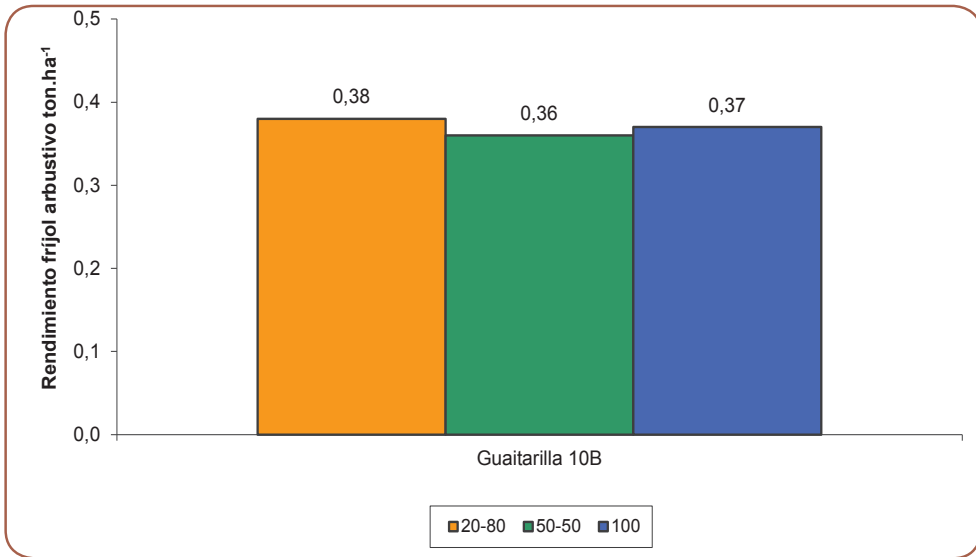


Figura 17. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

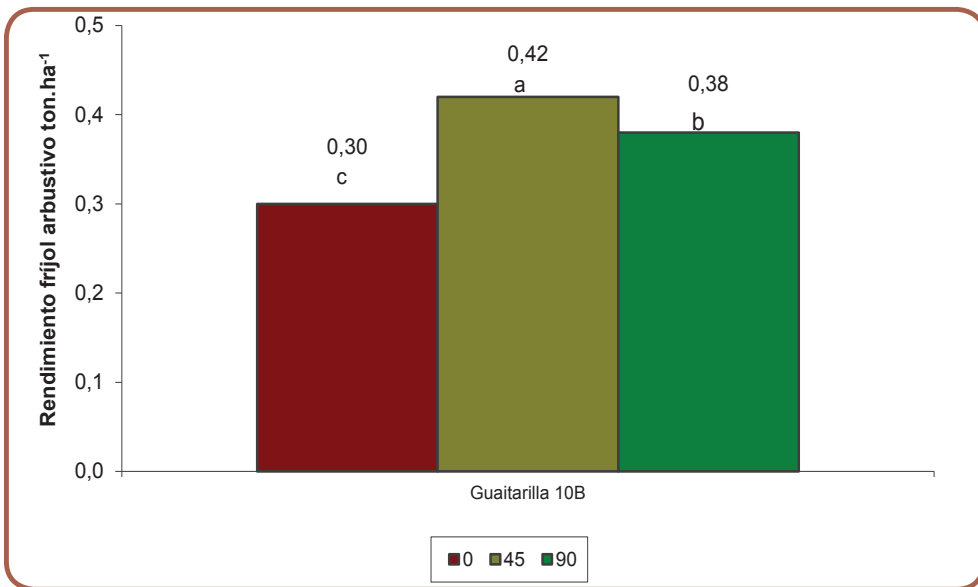


Figura 18. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

Tabla 33. Efecto de la dosis de cal. Análisis de Varianza.

Municipio	Pr>F	CV %	DMS Kg
Consacá 11 A	<0,01**	2,72	67,57
Consacá 11 B	0,57	20,00	

**Diferencias estadísticas al 99%.

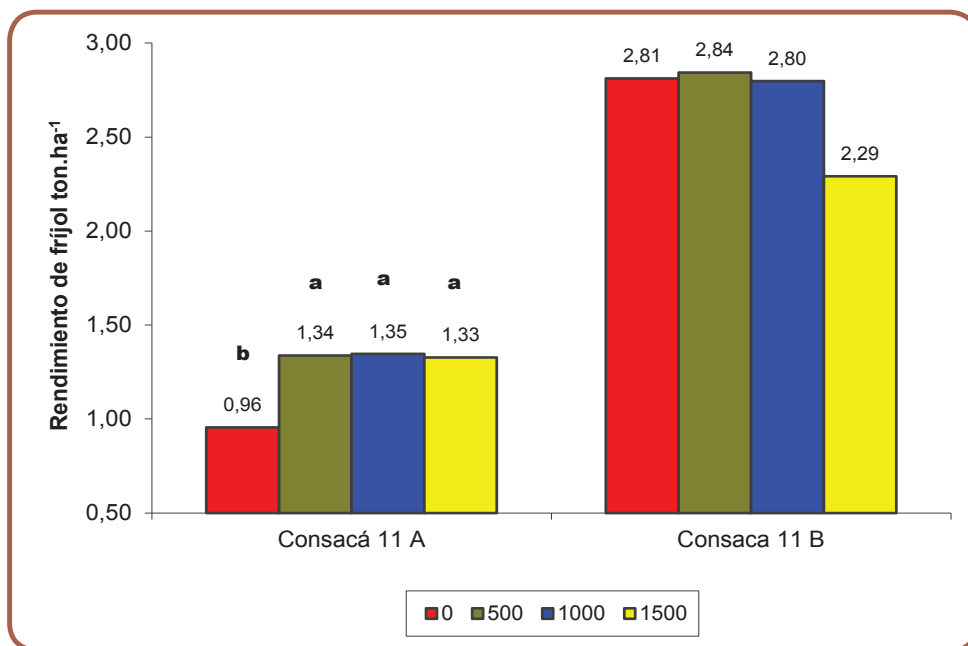


Figura 19. Efecto de la dosis de Cal. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

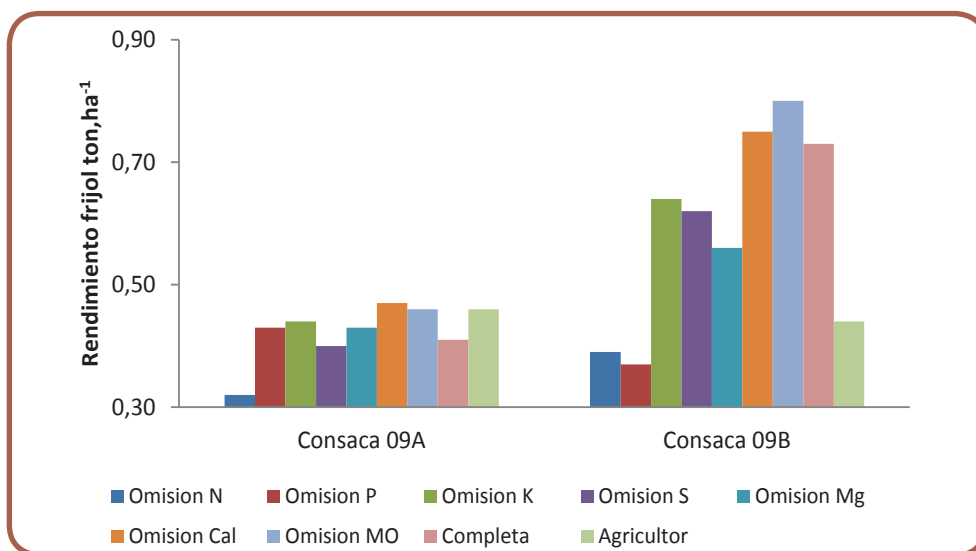


Figura 20. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión.

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas se calculó la eficiencia agronómica del cultivo Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado, los valores se observan en la Tabla 34.

Tabla 34. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente aplicado				
	N	P	K	S	Mg
Consacá 09A	1,05			0,52	
Consacá 09B	3,85	4,06	0,75	3,62	6,80

La EA de Nitrógeno varía entre 1.05 – 3.85 y la respuesta a la aplicación de este nutriente vario entre 0.09 y 0.34 toneladas de grano por hectárea (Tablas 34 y 35). La EA para Fósforo fue de 4.06 y para Potasio de 0.75 y la respuesta a la aplicación de estos nutrientes fue de 0.36 y 0.09 respectivamente en el segundo semestre de evaluación.

Tabla 35. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Consacá 09A	0,09				0,01
Consacá 09B	0,34	0,36	0,09	0,11	0,17

Los valores de la Eficiencia Fisiológica (EF) de Uso se aprecian en la Tabla 36. La EF indica que para Nitrógeno en Consacá, se producen entre 13.1 y 29.69 Kg de grano por Kg de nitrógeno absorbido. Los mayores valores de eficiencia de uso se observan para Fósforo con 182.95 y el menor valor se observa para Magnesio con valores entre 6.73 y 7.26.

Tabla 36. Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente absorbido				
	N	P	K	S	Mg
Consacá 09A	13,10		17,20	7,54	6,73
Consacá 09B	29,69	182,95		31,08	7,26

Respecto a la extracción de nutrientes en la Tabla 37, se observa que el elemento de mayor extracción es el Nitrógeno 53.34 Kilogramos en promedio, seguido de Potasio (31.65 Kg) y en menor cantidad en promedio se observa la extracción de azufre (7.00 Kg) y Fósforo (6.86 Kg).

El Índice de Cosecha (IC) se observa en la Tabla 38, en promedio el IC total es de 0.38, indicando la necesidad de manejar los residuos de cosecha ya que un

Tabla 37. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. frijol producida ¹				
	N	P	K	S	Mg
Consacá 09A	60,42	8,35	31,84	29,30	6,73
Consacá 09B	46,26	5,36	31,45	31,08	7,26
Promedio	53,34	6,86	31,65	30,19	7,00

62% queda retenido en estos, El IC para cada nutriente e observa en la Tabla 38 indicando que los nutrientes que se acumulan en el grano son principalmente Nitrógeno y Fósforo.

Tabla 38. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Consacá.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Consacá 09A	0,44	0,64	0,76	0,39	0,41	0,49
Consacá 09B	0,31	0,57	0,76	0,35	0,45	0,21
Promedio	0,38	0,61	0,76	0,37	0,43	0,35

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 39. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores todos los anteriores relacionados con las condiciones climáticas predominantes de la zona.

Tabla 39. Dosis recomendada por nutriente para Consacá – Nariño.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
Consacá					
Semestre A	63	10	38	35	8
Semestre B	56	6	38	37	9

3.4.5 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE

En el Municipio de Consacá, como se observa en la Figura 21, los rendimientos promedios son bajos, estos resultados se atribuyen a la alta precipitación registrada en la zona, que ocasiono inicialmente encharcamiento del suelo incrementando el ataque de Fusarium y la pudrición radicular progresiva, luego se presento un alto porcentaje de aborto floral, resultando en bajos promedios de producción, este efecto fue

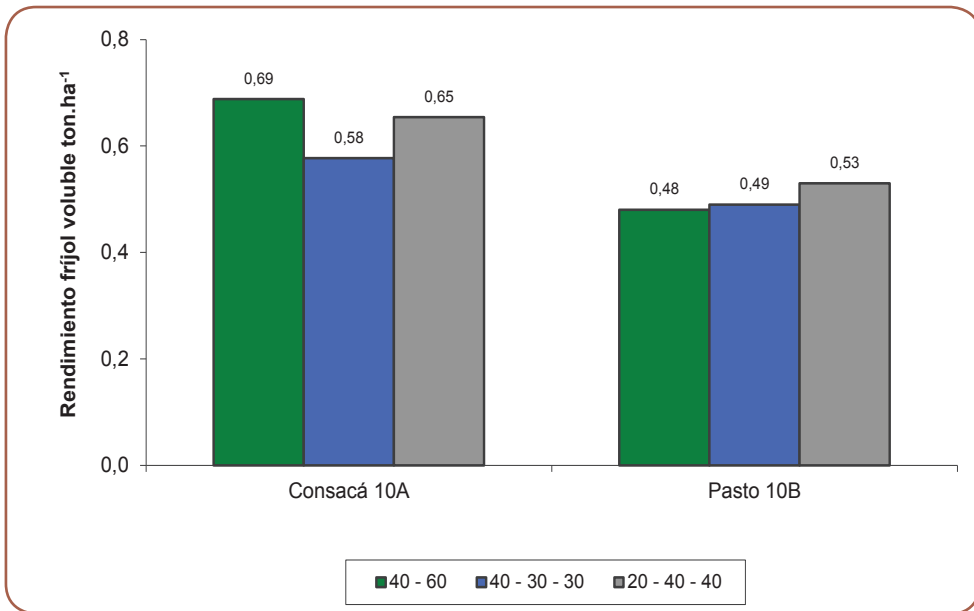


Figura 21. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

generalizado en la zona donde se realizó el ensayo, al analizar estadísticamente el ensayo no se presentaron diferencias entre los tratamientos ($P=0.86$).

En el segundo ciclo de evaluación del ensayo en Pasto, se observa que existe mayor respuesta al triple fraccionamiento 20-40-40%, con rendimiento promedio de 0.53 toneladas de grano, aunque estadísticamente no existen diferencias ($P=0.82$).

En el primer semestre de evaluación no se aprecian diferencias estadísticas entre las dosis de nitrógeno evaluadas ($P=0.51$), el mayor rendimiento se obtuvo con 45 Kg por hectárea del nutriente seguido por la aplicación de 90 Kg de Nitrógeno, Figura 22.

En Pasto se aprecian diferencias estadísticas entre las dosis de nitrógeno ($P<0.01$) a medida que se reduce la dosis de aplicación del nutriente, reduce el rendimiento de frijol. El mayor rendimiento promedio 0.64 toneladas de grano se presentó con la aplicación de 90 Kg de Nitrógeno siendo este tratamiento estadísticamente diferente a los otros dos.

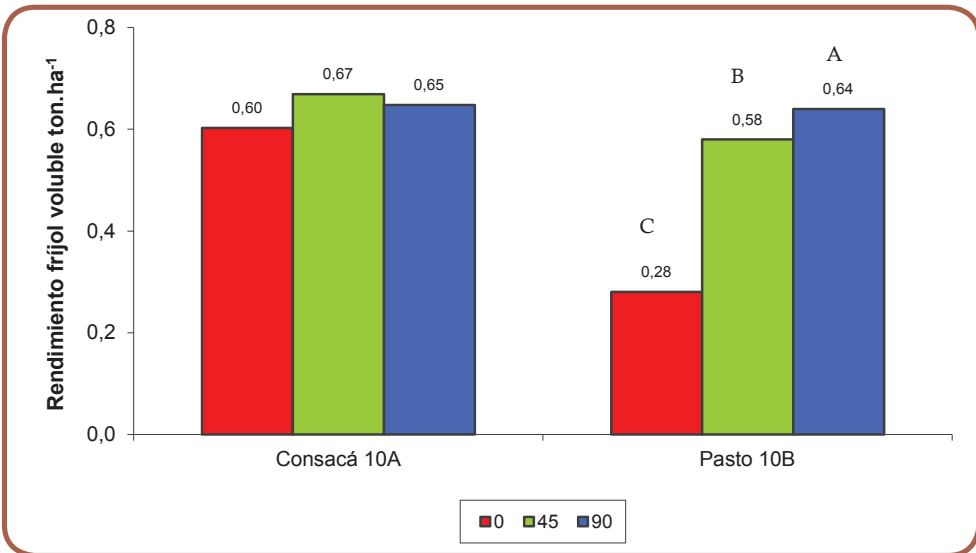


Figura 22. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

3.4.6 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL VOLUBLE

El efecto de la aplicación de cal se observa en la Figura 23. En El Tambo en el primer semestre de evaluación el mayor rendimiento promedio 1.28 ton.ha⁻¹

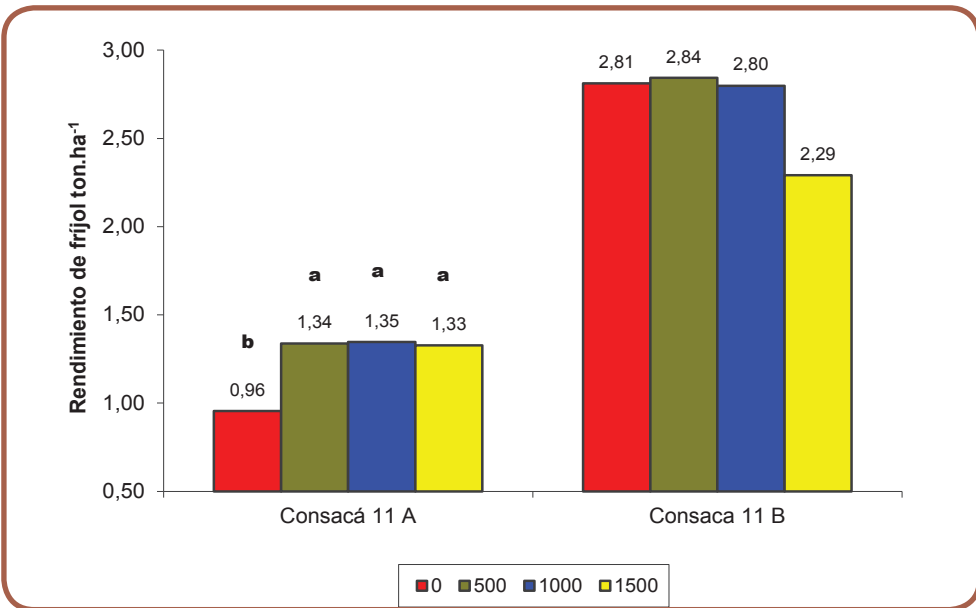


Figura 23. Efecto de la dosis de Cal.

se obtuvo con la aplicación de 1.500 Kg de cal, no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.16$), se aprecia que a medida que disminuye la dosis de cal, disminuyen los rendimientos del cultivo.

Al analizar los resultados del segundo semestre en el Municipio de La Florida se aprecia que el rendimiento promedio ($2.48 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) fue mayor con la dosis de 500 Kg de cal por hectárea, se aprecian diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.14$).

3.5 DETERMINACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES PROVENIENTES DEL SUELO EN CUNDINAMARCA



3.5.1 APORTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL ARBUSTIVO

Los rendimientos de frijol arbustivo en las parcelas de omisión se observan en la Figura 24. En el semestre 09 A en la parcela con omisión de Magnesio se obtuvieron los menores rendimientos (0.90 toneladas de grano), seguido de la parcela con omisión de materia orgánica y nitrógeno con rendimientos de 1.13 y 1.16 toneladas por hectárea. En el semestre 10 A, los rendimientos se incrementaron en todas las parcelas de evaluación, notándose una leve disminución en la omisión de potasio y nitrógeno respecto a las otras parcelas.

Las eficiencias agronómica y fisiológica del cultivo se observan en la Tabla 40, fueron mayores para Nitrógeno con valor de 14.93 y 259.67 respectivamente.

La respuesta a la aplicación de los nutrientes Tabla 41, fue mayor para nitrógeno y potasio con una respuesta de 0.96 y 0.93 toneladas por hectárea y la menor respuesta se encontró a la aplicación de azufre (0.11).

Respecto a la extracción de nutrientes en la Tabla 42, se aprecia que el elemento de mayor extracción fue el nitrógeno, seguido de potasio y azufre y en menor cantidad se observa la extracción de fósforo y magnesio.

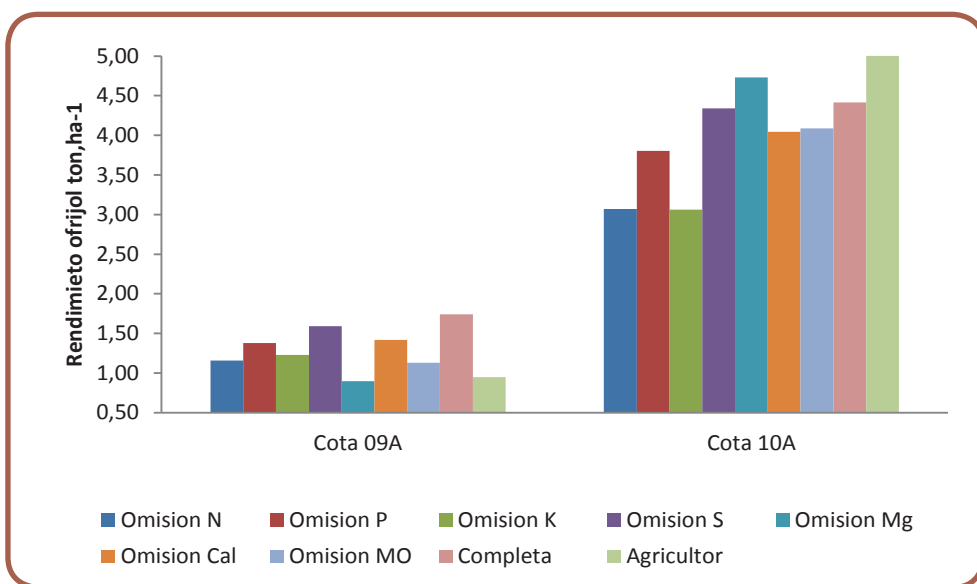


Figura 24. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión.

Tabla 40. Eficiencia agronómica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado), Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).

Cota	N	P	K	S	Mg
Eficiencia agronómica	14,93	6,78	11,27	2,35	
Eficiencia fisiológica	259,67	5,92	27,79	20,19	3,39

Tabla 41. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Cota 09 A	0,58	0,36	0,51	0,15	0,84
Cota 10 A	1,34	0,61	1,35	0,07	
Promedio	0,96	0,49	0,93	0,11	0,84

Tabla 42. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. Frijol producida ⁻¹				
	N	P	K	S	Mg
Cota 09 A	37,57	5,92	27,79	20,19	3,39

El Índice de Cosecha (IC) total fue de 0.62 y los mayores índices de cosecha para los nutrientes fueron 0.74 para nitrógeno y 0.58 para magnesio, Tabla 43.

Tabla 43. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio en Cota.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Cota 09 A	0,62	0,74	0,55	0,57	0,34	0,58

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por zona y semestre, Tabla 44. Se pueden obtener respuestas variables por las interacciones entre dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 44. Dosis recomendada por nutriente para Cota – Cundinamarca.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
Cota					
Semestre A	38	6	28	20	3
Semestre B	30	10	13	7	12

3.5.2 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL

Como se aprecia en la Figura 25, en el Rosal se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre fraccionamientos de nitrógeno ($P=0.002$), el

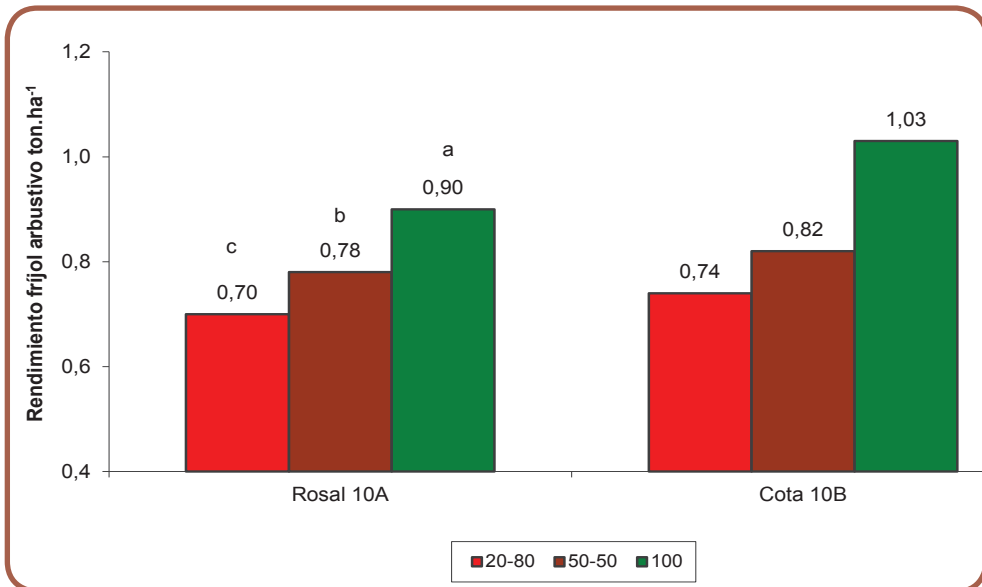


Figura 25. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

mayor rendimiento promedio (0.90 ton.ha⁻¹) se obtuvo al aplicar la dosis total del nutriente sin realizar fraccionamiento siendo estadísticamente diferente a los dobles fraccionamientos evaluados.

Similares resultados se encontraron en Cota donde el mayor rendimiento promedio se obtuvo se obtuvo la aplicación de nitrógeno 100% en V0 con 1.03 ton.ha⁻¹, seguido de los dobles fraccionamientos 50-50% y del 20-80% con rendimientos promedios de 0.82 y 0.74 ton.ha⁻¹, en esta localidad no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos (P=0.07).

Respecto a la evaluación de las dosis (Figura 26) en el Rosal se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas (P=0.0002) obteniendo el mayor rendimiento promedio con la aplicación de 45 Kg del nutriente por hectárea.

En Cota al realizar el análisis se aprecia que a medida que disminuye la dosis de aplicación de Nitrógeno (90 – 45 – 0 Kg.ha⁻¹), reduce el rendimiento promedio de las parcelas de evaluación 0.92; 0.87 y 0.83 ton.ha⁻¹ de frijol respectivamente, sin apreciarse diferencias estadísticas entre la aplicación del nitrógeno fraccionado y 100% aplicado al momento de la siembra (P=0.66).

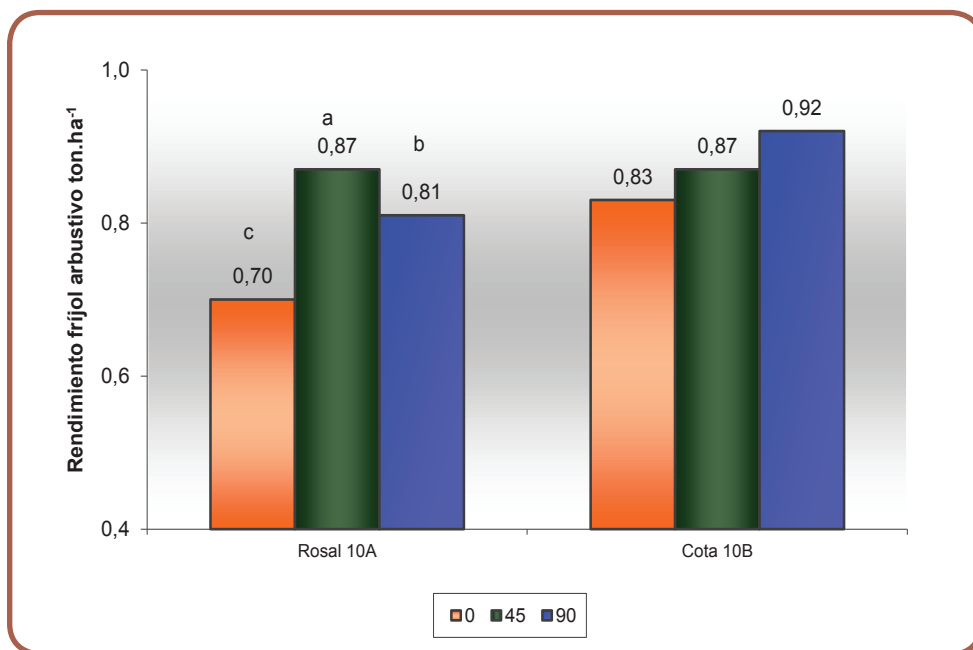


Figura 26. Efecto de la dosis de Nitrógeno. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

3.5.3 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL ARBUSTIVO

En la Figura 27 se observa que al analizar el ensayo la aplicación de diferentes dosis de cal en Cota no presenta diferencias estadísticas entre tratamientos ($P=0.28$). El mayor rendimiento promedio se presentó con la dosis de 1.000 Kg de cal por hectárea (0.97 ton.ha^{-1}) seguido de la aplicación de 1.500 Kg de la enmienda con un promedio de 0.84 toneladas de grano.

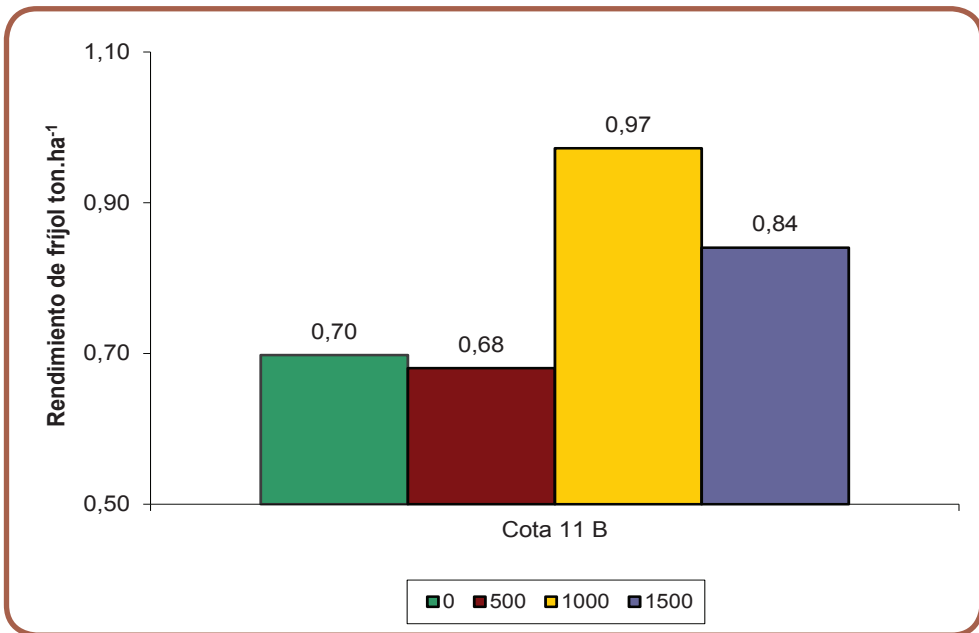


Figura 27. Efecto de la dosis de Cal.

3.5.4 APORTE DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL VOLUBLE

En la Figura 28 se aprecia los rendimientos de frijol voluble en las parcelas de omisión. En Gutiérrez las parcelas con fertilización completa y omisión de nitrógeno presentaron menor rendimiento (0.91 ton ha^{-1}) al compararlas con las parcelas de omisión de potasio y cal (1.65 y 1.36 ton ha^{-1}) destacándose la capacidad del suelo para suplir al cultivo con nutrientes. En el segundo semestre de evaluación la parcela con omisión de cal obtuvo el mayor rendimiento 2.02 toneladas y se observa una marcada disminución en la parcela con omisión de nitrógeno (0.58 toneladas).

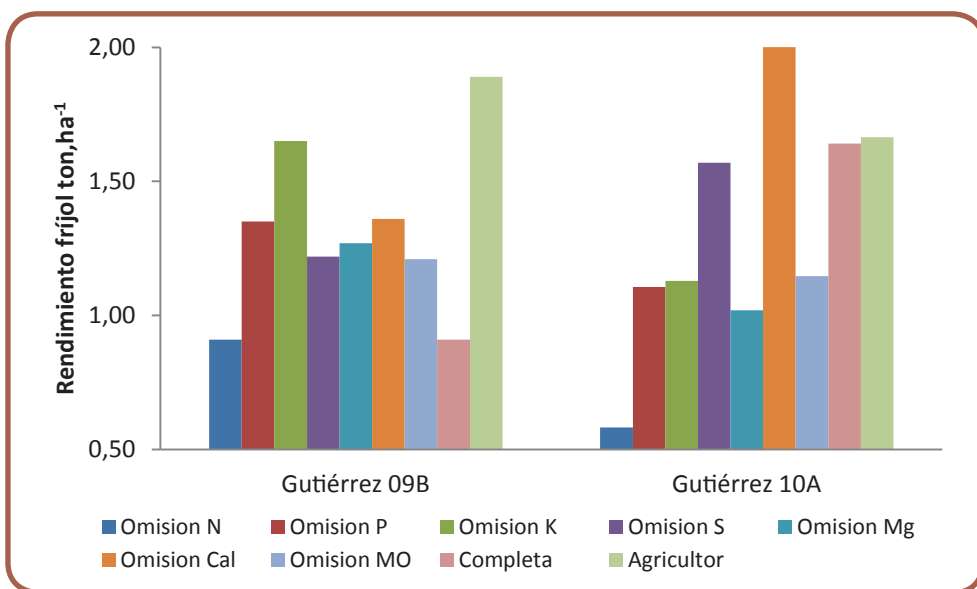


Figura 28. Rendimiento (ton.ha⁻¹) de las parcelas de omisión.

Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas se calculó la eficiencia agronómica del cultivo Kg. de grano producido por Kg. de nutriente aplicado, los valores se observan en la Tabla 45.

Tabla 45. Eficiencia agronómica EA (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente aplicado).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente aplicado				
	N	P	K	S	Mg
Gutiérrez 10 A	11,70	5,94	4,26	20,00	2,72

El rango de la EA para Nitrógeno fue de 11.7 y la respuesta a la aplicación de este nutriente fue de 1.06 toneladas de grano por hectárea. La eficiencia agronómica para fósforo fue de 5.94 y la respuesta a la aplicación fue de 0.54 toneladas por hectárea, en las Tablas 45 y 46 se observan los resultados para los otros nutrientes.

Tabla 46. Respuesta obtenida (Ton ha⁻¹) a la adición de nutrientes.

Municipio	Respuesta al nutriente (Ton ha ⁻¹)				
	N	P	K	S	Mg
Gutiérrez 10 A	1,06	0,54	0,51	0,62	0,07

El análisis de eficiencia de uso de nutrientes (Tabla 47), indica que para Nitrógeno en promedio se producen 15.16 Kg de grano por Kg de nitrógeno absorbido. El mayor valor de eficiencia de uso se observan para Fósforo con promedio de 189.69, indicando alto contenido del nutriente en el suelo.

Tabla 47. Eficiencia fisiológica (Kilogramos de grano producido por Kilogramos de nutriente absorbido).

Municipio	Kg. grano producido*Kg nutriente absorbido				
	N	P	K	S	Mg
Gutiérrez 09 B	0,50	189,74	14,71	14,49	17,25
Gutiérrez 10 A	29,81	207,64	37,76	150,49	
Promedio	15,16	198,69	26,24	82,49	17,25

Al observar el nivel de extracción de nutrientes en la Tabla 48, se aprecia que el nutriente de mayor extracción es el Nitrógeno, seguido de Potasio y en menor cantidad se observa la extracción de azufre, fósforo y magnesio.

Tabla 48. Nivel de extracción de nutrientes por tonelada de grano de frijol.

Municipio	Kg. nutriente ton. Frijol producida ⁻¹				
	N	P	K	S	Mg
Gutiérrez 09 B	46,81	6,36	45,24	32,49	6,90
Gutiérrez 10 A	33,80	4,65	25,73	19,84	3,27
Promedio	40,31	5,51	35,49	26,17	5,09

El Índice de Cosecha (IC) se observa en la Tabla 49, en promedio el IC total fue de 0.47, indicando la conveniencia del manejo de residuos de cosecha, los índices de cosecha por nutriente fueron mayores para nitrógeno y fósforo y menores en potasio y magnesio.

Tabla 49. Índices de cosecha para nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

Municipio	Índice de cosecha					
	Total	N	P	K	S	Mg
Gutiérrez 09 B	0,36	0,67	0,62	0,24	0,37	0,29
Gutiérrez 10 A	0,57	0,8	0,82	0,52	0,55	0,40
Promedio	0,47	0,74	0,72	0,38	0,46	0,35

Con la información anterior es posible acercarse a la dosis de nutrientes por semestre, Tabla 50. La respuesta varía según las interacciones entre tipo de suelo, clima, dosis, forma de aplicación, fuente de nutriente, entre otros factores.

Tabla 50. Dosis recomendada por nutriente para el municipio de Gutiérrez.

Municipio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
	Kg nutrientes por hectárea				
Gutiérrez					
Semestre A	44	6	26	17	8
Semestre B	54	10	56	25	7

3.5.5 EFECTO DE LA DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE FRIJOL

En el Municipio de Gutiérrez no se presentaron diferencias estadísticas entre fraccionamientos de nitrógeno ($P=0.07$) y entre la aplicación de dosis del nutriente ($P=0.23$). Como se aprecia en la Figura 29, el mayor rendimiento promedio se obtuvo cuando se fracciona el nitrógeno en proporciones 20-40-40% en las etapas fisiológicas V0, V4 y R5 con 2.13 ton ha⁻¹ seguido del doble fraccionamiento 40 – 60.

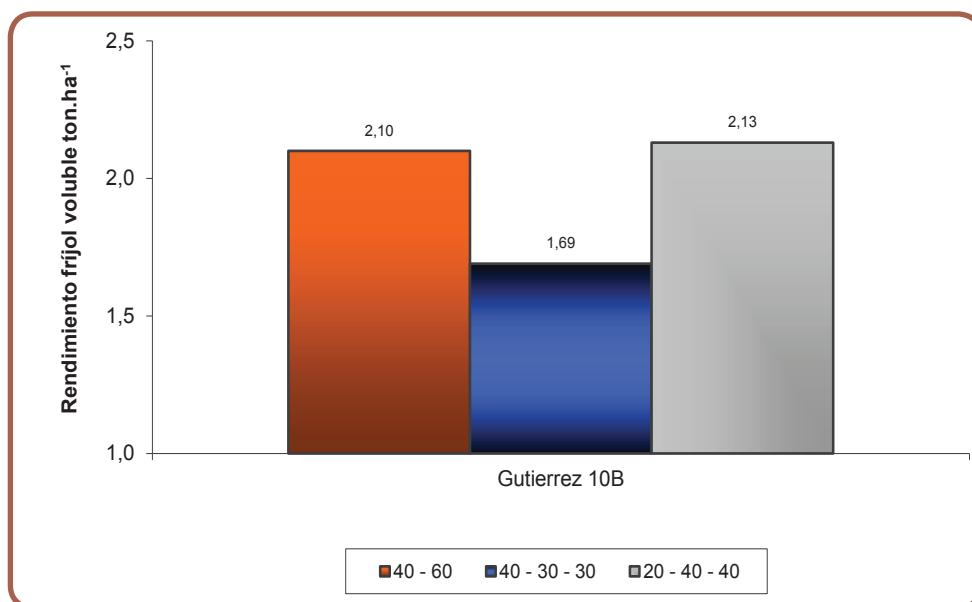


Figura 29. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno.

El mayor rendimiento promedio 2.21 toneladas de grano se obtuvo cuando se aplicaron 90 Kg por hectárea de nitrógeno, en la Figura 30 se observa que a medida que se reduce la dosis del nutriente, se reduce el rendimiento promedio del grano.

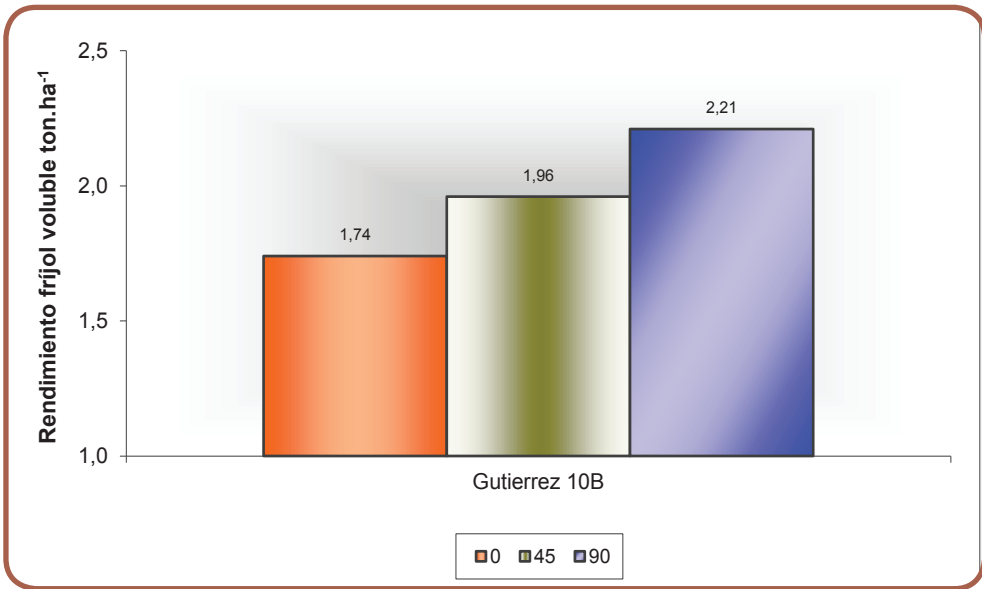


Figura 30. Efecto de la dosis de Nitrógeno.

3.5.6 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DEL FRIJOL VOLUBLE

En la Tabla 51 se aprecia el análisis estadístico de la aplicación de diferentes dosis de cal, en Gutiérrez en el primer semestre de evaluación se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El mayor rendimiento promedio (2.24 ton.ha⁻¹) se obtuvo con la aplicación de 1.500 Kg de cal, el cual es estadísticamente diferente al tratamiento testigo (sin aplicación de cal) con rendimiento de 1.54 ton.ha⁻¹ de grano (Figura 31).

En Guayabetal al realizar el análisis no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. En esta localidad el mayor rendimiento promedio 2.75 ton.ha⁻¹ se observa con la dosis de 500 Kg de cal seguido de la dosis de 1.000 Kg de cal (2.41 ton.ha⁻¹).

En el segundo semestre de evaluación en Gutiérrez los promedios de producción más altos 1.94 y 1.92 ton.ha⁻¹ se presentaron con las dosis de 1.000 y 1.500 Kg de aplicación de la enmienda (Figura 31).

Tabla 51. Efecto de la dosis de cal. Análisis de Varianza.

Municipio	Pr>F	CV %	DMS Kg
Gutiérrez 11 A	0,03*	10,79	405,89
Guayabetal 11A	0,56	17,09	
Gutiérrez 11 B	0,18	15,03	

*Diferencias estadísticas al 95%.

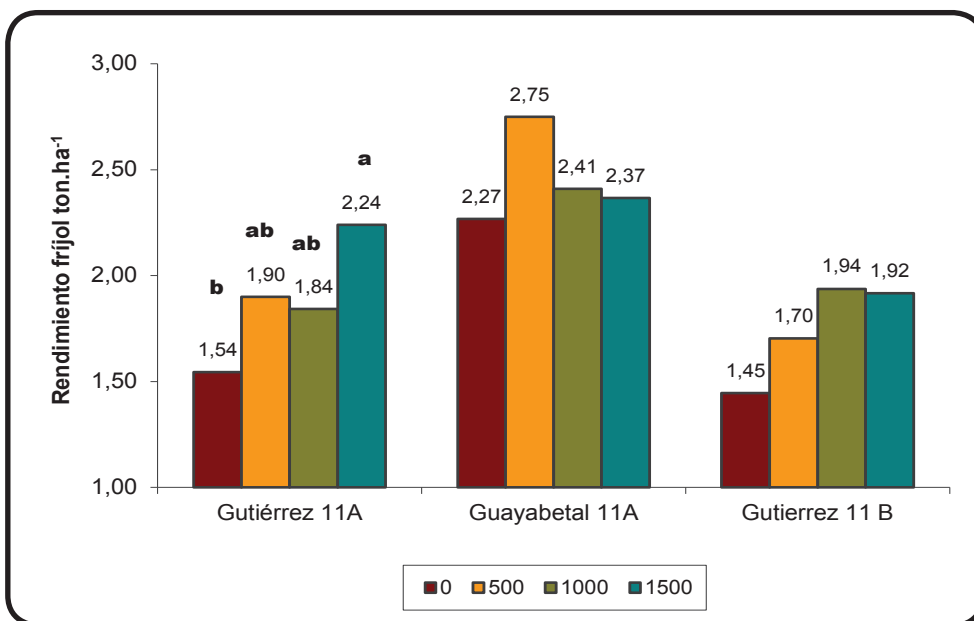


Figura 31. Efecto de la dosis de Cal. Letras desiguales indican diferencias estadísticas.

CONSIDERACIONES FINALES

La omisión de nitrógeno permitió que la asociación simbiótica Leguminosa - Rhizobium exprese su eficiencia, al comparar los resultados de rendimiento de las parcelas de omisión con aquellas parcelas fertilizadas con el nutriente.

Debido a las condiciones adversas de clima en la mayoría de las localidades durante los semestres 2009 B y 2010 A, en el suelo se presentan cambios notables se podría mencionar que en condiciones extremas de temperatura la asimilación de nutrientes disminuye y se inhibe la actividad radicular, reduciendo también la movilidad de los iones, contrariamente las lluvias intensas y persistentes causan lixiviación, influyendo tanto en el desarrollo vegetativo como reproductivo de las plantas afectando los componentes del rendimiento final.

La siembra continua del cultivo incremento la incidencia de plagas y enfermedades disminuyendo el rendimiento en las últimas fases del proyecto.

Las dosis de fertilización consignadas son una referencia para cada una de las zonas, cabe anotar que se debe seleccionar la fuente, la época de aplicación considerando la fenología del cultivo, la forma de aplicación y las condiciones edáficas y climáticas entre otros factores para obtener la respuesta esperada en la meta de rendimiento.

Cabe recalcar la importancia que tiene el mantenimiento de la fertilidad del suelo en las diferentes zonas de producción, además de la importancia del adecuado manejo de la materia orgánica por los múltiples beneficios en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

En los ensayos relacionados con el Efecto de la dosis y fraccionamiento de Nitrógeno, los resultados encontrados en los ensayos de la interacción fraccionamiento y la dosis de nitrógeno los cuales no fueron concluyentes a nivel de las diferentes localidades podrían atribuirse posiblemente al contenido de nutriente nativo en el suelo y la aplicación continua del nutriente. Se debe considerar también los efectos del clima y la presencia de organismos simbióticos que interactúan en el sistema y la fisiología de la planta.

Respecto a los resultados encontrados en el efecto de la aplicación de cal en la producción del cultivo del frijol, en términos generales, tanto para frijol arbustivo como voluble se aprecia que la aplicación de cal como enmienda es una práctica que incrementa el rendimiento del cultivo. La dosis adecuada depende principalmente del nivel de aluminio intercambiable presente en el suelo y el pH del mismo, factores que en últimas afectan el crecimiento radicular de las plantas y la disponibilidad de nutrientes. En general, la dosis de mejor respuesta fue de 1.000 Kg de cal agrícola por hectárea, considerándose en una alternativa de manejo para el cultivo.

Para incrementar la eficiencia de los nutrientes se deben adoptar prácticas que como el fraccionamiento de nutrientes, el uso de fertilizantes de lenta liberación, la siembra de variedades capaces de usar con mayor eficiencia los nutrientes, y el conjunto de prácticas de manejo y tecnologías que impliquen una reducción de las pérdidas y un incremento en la absorción, lo cual repercute proporcionalmente en el retorno económico.

BIBLIOGRAFÍA

BURGES, A., y RAW, F. 1971. Biología del suelo. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 597 p.

CORAL ERASO, D.M. 2011. Avances en el manejo eficiente de nutrientes en las principales zonas productoras de Maíz. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, FENALCE – Fondo Nacional Cerealista. Bogotá, CIMAZ impresos. 125 p.

ESPINOSA, J. Y GARCÍA, F. 2009. Memorias del simposio uso eficiente de nutrientes. IPNI. San José de Costa Rica.

FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.

GARCIA MONTEALEGRE, J. P. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de maíz en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cereales y Leguminosas FENALCE, 2008. Bogotá. 127 p.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1993. Manual de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 2da. Edición. Bogotá. pp. 115 - 119.

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. P.irr. Quito Ecuador.

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1997. Potasa: su Necesidad y Uso en agricultura moderna. Canadá. 44 p.

MICROFERTISA S.A. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Produmedios, Bogotá, D.C., Colombia. 112 p.

OROZCO, F. 1999 La biología del nitrógeno: conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Universidad nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias. 231p.

RAMIREZ, G.M. 2003. Biofertilizantes y Nutrición de Plantas. In. Triana, M.P., et. al. Eds. Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité de Cundinamarca y Boyacá. Pp: 153-163.

RIOS BETANCOUR, M.J. y QUIROS DAVILA, J. R. 2002. El frijol (*Phaseolus vulgaris* L): Cultivo, beneficio y variedades. FENALCE, SENA, SAC Y FONADE. Produmedios, Bogotá. 193 p.

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

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

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

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

Thompson, L.H. y Troeh F.R. Los suelos y la fertilidad. Cuarta edición, Editorial Reverté. España, 1988. 409 – 438 pp.

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

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



FENALCE

