

Evaluación de cuatro niveles de macronutrientes (N-P-K) en la producción de dos variedades nuevas de frijol (*Phaseolus vulgaris L*) en dos ambientes diferentes de cultivo

del Departamento de Risaralda

Yulian Andrés Gaviria Hernández

Jesús Andrés Ordoñez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Programa de Agronomía

Dosquebradas, 2019

Evaluación de cuatro niveles de macronutrientes (N-P-K) en la producción de dos variedades nuevas de frijol (*Phaseolus vulgaris L*) en dos ambientes diferentes de cultivo del Departamento de Risaralda

Yulian Andrés Gaviria Hernández

Jesús Andrés Ordoñez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Agrónomo.

Director

Manuel Francisco Polanco Puerta I.A. MSc. PhD.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Programa de Agronomía

Dosquebradas. 2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Dios, a sus respectivas familias y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, quienes con su apoyo y dedicación hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

Contenido

Introducción.....	13
1. Justificación.....	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Hipótesis de Investigación.....	16
2. Objetivos.....	17
2.1. Objetivo general.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. Marco Referencial.....	18
3.1. Generalidades del cultivo – Origen y Distribución.....	18
3.2. Clasificación Taxonómica.....	18
3.3. Clasificación general del frijol.....	19
3.4. Morfología.....	19
3.5. Factores que afectan el cultivo.....	20
3.6. Selección de la variedad.....	20
3.7. Plagas.....	21
3.8. Enfermedades.....	21
3.9. Fertilización del suelo.....	21
3.10. Fertilización en el Frijol.....	22
3.11. Demanda nutricional del frijol.....	23
3.12. Niveles de macronutrientes en los suelos de clima medio en la región andina colombiana.....	24
3.12.1. Fósforo.....	24
3.12.1. Potasio.....	24

3.13. Niveles de macronutrientes en los suelos de clima frío en la región andina colombiana.....	25
4. Materiales y métodos	26
4.1. Localización.....	26
4.1.1. Macro localización	26
4.1.2. Microlocalización	26
4.1.3. Material vegetal	27
4.1.4. Equipos	27
4.2. Diseño experimental.	27
4.2.1. Establecimiento del ensayo.....	28
4.2.2. Tratamientos	28
4.2.3. Evaluaciones morfoagronómicas.....	28
5. Resultados y discusión	30
5.1. Análisis de información	30
5.2. Evaluación de la eficacia de cuatro niveles de fertilización NPK química en la producción de frijol en dos ambientes	30
6. Conclusiones	46
7. Recomendaciones.....	47

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Numero de Granos por Vaina - análisis de promedios por localidad y variedad.	35
<i>Figura 2.</i> Numero de Granos por Planta - análisis de promedios por localidad y variedad.	36
<i>Figura 3.</i> Peso gramos por Planta – análisis de promedios por localidad y variedad.	37
<i>Figura 4.</i> Peso 100 semillas – Análisis de promedios por localidad y variedad.	38
<i>Figura 5.</i> Peso semilla parcela – análisis de promedios por localidad y variedad.	39
<i>Figura 6.</i> Rendimiento – análisis de promedios por localidad y variedad.	40
<i>Figura 7.</i> Evaluación del Rendimiento de las dos variedades de frijol por tratamiento de cada una de las localidades.	41
<i>Figura 8.</i> Evaluación del Rendimiento según tratamiento para cada una de las variedades de frijol	42
<i>Figura 9.</i> Altura Planta – análisis de promedios por localidad y variedad.	43
<i>Figura 10.</i> No Vainas por planta – análisis de promedios por localidad y variedad.	44
<i>Figura 11.</i> Longitud de Vainas– análisis de promedios por localidad y variedad.	45

Lista de tablas

Tabla 1. Tratamientos evaluados de macro nutrientes N-P-K, en dos variedades de frijol arbustivo en dos localidades, municipio de Pereira y de Dosquebradas Risaralda	28
Tabla 2. Varianza de variables morfoagronómicas de niveles de fertilización NPK química en dos ambientes.....	32
Tabla 3. Resultados del análisis de medidas - prueba Tukey a 5% - por localidad.....	33
Tabla 4. Resultados del análisis de medidas - prueba Tukey a 5% - por variedad.....	34
Tabla 5. Rendimiento por localidad	40
Tabla 6. Rendimiento de las variedades de frijol según tratamiento.....	41

Resumen

El cultivo de frijol a nivel nacional e internacional es considerado uno de los más importantes para la seguridad alimentaria por su alto nivel proteico y mineral, además de la capacidad adaptativa de esta leguminosa a diversos ambientes. Y es fundamentalmente en la zona rural de Colombia donde el frijol representa una de las fuentes de ingresos económicos de mayor relevancia para nuestros campesinos, además de ser considerado uno de los productos de pancoger de mayor consumo en las familias campesinas del país.

Tomando en consideración estos importantes aspectos se desarrolla la presente investigación circunscribiéndola a dos sitios geográficos que constituyen dos ambientes diferentes de cultivo y que por tanto permiten evaluar cuatro niveles de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en la producción de dos variedades nuevas de frijol.

El primer sitio geográfico corresponde a un lote de terreno de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD localizado en el municipio de Dosquebradas en Risaralda, y que representa el clima medio; el segundo sitio entretanto corresponde al corregimiento de La Bella en el municipio de Pereira y que representa el clima frío moderado.

Por consiguiente, se evaluaron 4 formulaciones de fertilizante NPK para determinar la opción con los mejores rendimientos de producción de dos nuevas variedades de crecimiento arbustivo de frijol obtenidas por la UNAD, denominadas “Zandú” y “Yari”. Para ello se empleó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos. Las variables de respuesta evaluadas fueron: Altura de la planta, número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 semillas, peso de granos por planta, a fin de identificar la formulación de fertilizante más adecuado para las dos

variedades de frijol que permita obtener su mayor producción y rentabilidad para los productores.

Palabras clave: Fertilización, productividad, rendimiento, seguridad alimentaria, variedades.

Abstract

The cultivation of beans at national and international level is considered one of the most important for food security due to its high protein and mineral level, in addition to the adaptive capacity of this legume to various environments. And it is fundamentally in the rural area of Colombia where beans represent one of the most relevant sources of economic income for our farmers, as well as being considered one of the most widely consumed pancoger products in rural families in the country.

Taking into consideration these important aspects, the present investigation is developed circumscribing it to two geographic sites that constitute two different cultivation environments and that therefore allow evaluating four levels of the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in the production of two new varieties of beans.

The first geographic site corresponds to a plot of land of the Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD located in the municipality of Dosquebradas in Risaralda, and which represents the average climate; the second site, meanwhile, corresponds to the township of La Bella in the municipality of Pereira and which represents the moderate cold climate.

Consequently, 4 NPK fertilizer formulations were evaluated to determine the option with the best production yields of two new varieties of bush growth obtained by UNAD, named “Zandú” and “Yari”. For this, a randomized complete block design with three repetitions and four treatments was used. The response variables evaluated were: Plant height, number of pods per plant, number of grains per pod, weight of 100 seeds, weight of grains per plant, in order to identify the most suitable fertilizer formulation for the two

varieties of beans that allow them to obtain their highest production and profitability for producers.

Key words: Fertilization, productivity, yield, food security, varieties.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris L*) es un producto de gran reconocimiento e importancia en la alimentación humana por su alto contenido de proteína y elementos minerales esenciales, y que se caracteriza por ser uno de los cultivos de ciclo corto más predominante en la economía de muchas regiones de Colombia.

De este modo, Ulloa & Ramírez (2011), afirman que dentro del grupo de las leguminosas que poseen semillas comestibles, "...el frijol común corresponde a una de las más importantes. Actualmente se encuentra distribuido en los cinco continentes y es un componente esencial de la dieta, especialmente en Centroamérica y Sudamérica." (J. A. Ulloa, Rosas Ulloa, et al., 2011)

Dado lo anterior, este proyecto consiste en la evaluación del comportamiento morfoagronómico de dos líneas del programa de mejoramiento de frijol de la UNAD de hábito de crecimiento arbustivo, la primera con grano grande rojo moteado y la segunda con grano grande rojo, y que se han adaptado a las condiciones de clima medio y clima frío moderado con un rendimiento que resulta adecuado.

El programa de mejoramiento de frijol propuesto por la UNAD consiste esencialmente en considerar métodos de mejora sistemática de las variedades con que cuenta, mediante la importación de material genético, dado que este puede otorgar más beneficios que la forma clásica al momento de cultivar, además de que el producto presenta ventajas específicas determinadas genéticamente.

No obstante, es fundamental considerar que para obtener un alto rendimiento se deben cumplir ciertos parámetros de algunos factores generales como el hábito de crecimiento, la madurez y la adaptación local; además de factores específicos como la resistencia a plagas

y enfermedades, el tamaño de la semilla y los diversos gustos de calidad y sabor de las regiones donde se consume el producto final.

1. Justificación

Dado que el frijol es uno de los principales granos del mundo y de la economía nacional, es importante tener en cuenta que realizar investigaciones de este tipo, conciernen al mejoramiento continuo no solo de la economía, sino también de la salud y el bienestar de todos, pues como se es consciente; los métodos tradicionales generan alto impacto ambiental debido a las técnicas que aplican en el cultivo, tanto para la siembra como para el cuidado y la extracción.

Este proyecto se realiza con el fin de determinar de manera objetiva la fertilización más adecuada para dos variedades de frijol desarrolladas por el área de investigación de la UNAD Dosquebradas mediante programas de fitomejoramiento, que permitieron el logro de dos variedades mejoradas. Por lo que con el proyecto se quiere conocer como la fertilización incide directamente sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de estas variedades de frijol. Adicional a ello, la importancia de conocer más a fondo los niveles de demanda nutricional más adecuados, para así lograr mayores producciones. Por la necesidad de conocer qué elementos son más demandantes referentes a concentraciones de N, P, K, esta investigación pretende generar un conocimiento e información sobre las especificaciones nutricionales de los elementos primarios más apropiados para el cultivo de frijol, para lograr altas producciones, que sean rentables y económicas.

1.1. Planteamiento del problema

El frijol ha sido un alimento de alta tradición e importancia en América latina y en general en todo el mundo pues este se cultiva en una gran cantidad de países. En Colombia por ejemplo, este representa uno de los principales cultivos de la economía campesina y

según FENALCE, para el primer semestre de 2015 la producción de frijol en el país ascendió a 62.974 t, de las que el departamento de Boyacá participó con 1.189 t en un área de 820 ha y una producción promedio de 1,5 t * ha⁻¹ frijol seco (Quintana-Blanco et al., 2016).

De esta manera, el cultivo de frijol a nivel nacional e internacional es considerado como uno de los más importantes para la seguridad alimentaria por su alto nivel proteico y mineral, además de la capacidad adaptativa de esta leguminosa a diversos ambientes. Así, en la zona rural de Colombia esta leguminosa comprende una de las fuentes de ingresos económicos de mayor importancia para nuestros campesinos, además de ser considerado uno de los productos de pan coger de mayor consumo en las familias campesinas.

En la zona del eje cafetero esta leguminosa es de gran importancia en la siembra de cultivos asociados, pero una de las grandes dificultades que presenta el frijol es el desconocimiento de las prácticas de fertilización o fertilizantes más adecuados para este tipo de cultivo de acuerdo a las variedades sembradas y los costos de producción para cada variedad; lo que puede llevar a realizar siembras con altos costos por el uso indiscriminado de fertilizantes y un plan de fertilización adecuado.

1.2. Hipótesis de Investigación

¿Es posible generar nuevo conocimiento sobre los niveles adecuados de fertilización NPK para las dos nuevas variedades de frijol con el que se logre su mejor productividad?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los niveles adecuados de fertilización NPK para las dos nuevas variedades de frijol con los que se logre su mejorar su rendimiento en dos condiciones ambientales diferentes.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la eficacia de cuatro niveles de fertilización NPK química en la producción de dos nuevas variedades de frijol en dos ambientes diferentes.
- Determinar el nivel de fertilización más adecuado para el cultivo de las dos variedades de frijol, con el que se obtenga los mejores rendimientos productivos y económicos.

3. Marco Referencial

3.1. Generalidades del cultivo – Origen y Distribución

El frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) es una especie leguminosa es de origen mesoamericano (Miranda, 1967; Hernández et al., 2013) con altos valores proteicos y minerales, motivo por el cual se le ha considerado a esta especie como uno de los cultivos obligatorios en programas de seguridad alimentaria, para el caso de Colombia aproximadamente 120.000 familias cultivan frijol, en los departamentos de Antioquia, Santander, Huila, Boyacá, Cundinamarca y Nariño (Fenalce, 2004). En Colombia el frijol se clasifica según sus hábitos de crecimiento, en variedades volubles y arbustivas, donde el 65 % de la producción es dado por las variedades volubles ((Bautista Zamora et al., 2017)).

3.2. Clasificación Taxonómica

Desde el punto de vista taxonómico, el frijol es el prototipo del género *Phaseolus* y su nombre científico es *Phaseolus vulgaris L.* asignado por Lineo en 1753. Pertenece a la tribu *Phaseolae* de la subfamilia *papilionoidae* dentro del orden *Rosales* y la familia *Leguminoseae* (CIAT, 1984)

Los principales componentes químicos de la fibra en el frijol son:

- Las pectinas
- Pentosas
- Hemicelulosa
- Celulosa
- Lignina.

Además, este lineamiento también es una fuente considerable de calcio, hierro, fosforo, magnesio y Zinc y de las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico.

3.3. Clasificación general del frijol

La planta del frijol se clasifica según sus hábitos de crecimiento los cuales según Fenalce (2013), son de cuatro tipos:

- Tipo I - Hábito de crecimiento determinado arbustivo
- Tipo II - Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo
- Tipo III - Hábito de crecimiento indeterminado postrado
- Tipo IV - Hábito de crecimiento indeterminado trepador

3.4. Morfología

El Centro Internacional de Agricultura Tropical —CIAT— ha establecido una escala para diferenciar las etapas de desarrollo del frijol, basada en la morfología de la planta y en los cambios fisiológicos que se suceden durante el desarrollo. Esta escala permite referir las observaciones y prácticas de manejo, o etapas de desarrollo fisiológico. El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas:

- La fase vegetativa: Brindan a la semilla las condiciones para iniciar la germinación, y termina cuando aparecen los primeros botones florales o los primeros racimos.
- La fase reproductiva: Aparición de los primeros botones florales o racimos y la madurez de cosecha.

3.5. Factores que afectan el cultivo.

Los factores climáticos y fisicoquímicos influyen en el desarrollo y el comportamiento del cultivo de frijol, requiere condiciones de suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franco limosa, aunque también tolera texturas franco arcillosas. Las condiciones físicas y químicas de los suelos donde se cultiva el frijol en Colombia son muy variables. Ello muestra que el frijol tiene la habilidad de adaptarse a una gran cantidad de condiciones de suelo y topografía (Ríos, 2002). Por lo general, se siembra en zonas de montaña y también en los valles interandinos.

Tipos de frijol más común.

- Frijol cargamanto
- Frijol Bola roja
- Frijol mortíño
- Frijol calima

3.6. Selección de la variedad

En la selección de las variedades que se van a sembrar se debe tener en cuenta varias consideraciones: que se adapten bien a las condiciones climáticas de la zona, que tengan un buen potencial de rendimiento por unidad de área y por unidad de semilla sembrada. La variedad escogida, en lo posible, debe tener resistencia comprobada a las enfermedades más limitantes del cultivo en la zona.

3.7. Plagas

Según Tamayo & Londoño, (2001), “En Colombia se han registrado cerca de 85 plagas en frijol: 76 insectos, cinco ácaros, un miriápodo y tres moluscos. De éstos, solamente diez alcanzan el nivel de plaga de importancia económica. (p.23)

3.8. Enfermedades

En las diferentes regiones del país se tiene una presión considerable de enfermedades, debido a la prevalencia de condiciones ambientales favorables para su hábitat, son comunes y muy limitantes, entre otras enfermedades, la antracnosis (*Colletotrychum lindemuthianum*), mancha anillada (*Phoma exigua* var. *Diversispora*), mancha angular (*Paeosiaripsis griseola*), pudriciones radicales (*Fusarium solani* forma *Phaseoli*, *Pytium* sp., *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* forma *Phaseoli*) y virus del mosaico común del frijol.

3.9. Fertilización del suelo

De acuerdo a Thevenet G, citado por Mas Guillén (2007), la fertilización del suelo está basada, inicialmente en la utilización de residuos orgánicos disponibles, principalmente estiércoles, y fertilizantes inorgánicos de origen natural, lo cual experimentó un cambio drástico a partir de la década de 1950, con el desarrollo de los fertilizantes inorgánicos N-P-K, lo que contribuyó en gran medida a aumentar los rendimientos de los cultivos.

Poey, citado por Mas Guillén (2007), indica que el objetivo de la fertilización es aplicar el fertilizante en el momento oportuno y en el lugar adecuado para que puedan ser aprovechados por la planta de una mejor manera, los fertilizantes deben ser aplicados al

momento de la siembra o a los ocho días después de la siembra, teniendo cuidado que estos no entren en contacto con la semilla, contribuyendo a que las raíces lo absorban oportunamente.

3.10. Fertilización en el Frijol

Según Cooke, citado por Mas Guillén (2007), el frijol por ser una planta leguminosa forma nódulos, producto de la simbiosis de las bacterias del género *Rhizobium* con las raíces de las plantas, lo que permite fijar nitrógeno atmosférico: pero algunas veces el suelo no contiene los microorganismos necesarios para la formación de nódulos y la fijación de nitrógeno requiere una ligera fertilización nitrogenada para cubrir esta necesidad, con el fin de fomentar el rápido desarrollo inicial del cultivo. (Mas Guillén, 2007)

En frijol algunas labores agronómicas como fertilización, contribuyen a un aumento de los costos. Por el uso inadecuado de fertilizantes, lo que lleva a la pérdida de elementos esenciales como el nitrógeno y fósforo, causando daños ambientales (Bautista Zamora et al., 2017), pérdida de la fertilidad y biodiversidad del suelo, afectando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y disminución de la productividad (Hernández et al., 2014). La falta de minerales esenciales que aporta el sustrato durante las etapas de floración, formación y llenado de vainas afecta seriamente la tasa de crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*). La fertilización dentro de los procesos productivos tiene gran importancia para el desarrollo y la buena producción de las plantas.

3.11. Demanda nutricional del frijol

La demanda nutricional en frijol es alta si se toma en cuenta la cantidad de nutrientes que son extraídos en la cosecha. Los requerimientos nutricionales del cultivo para producir 2.5 ton/ha por cosecha en kg/ha/cosecha son del siguiente orden 105 de N, 10 de P₂O₅, 120 de K₂O y 10 de MgO, por lo que anualmente debe restituirse al suelo las cantidades que son extraídas más una cantidad adicional para compensar otras pérdidas en el suelo y la que se utiliza para el crecimiento vegetativo continuo (Pupiales Criollo et al., 1988).

El cultivo de frijol requiere una aplicación de macronutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio. En cuanto al nitrógeno, normalmente tiene un mayor efecto en el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo que cualquier otro nutriente. Pero está claro que su uso excesivo puede ser un derroche económico y dar lugar a problemas. Por tanto, a la hora de realizar la fertilización nitrogenada hay que tener cuenta tres aspectos fundamentales:

1. Los requerimientos de nitrógeno por el cultivo.
2. La cantidad de nitrógeno que el suelo puede suministrar al cultivo.
3. Los costes de los fertilizantes y el valor esperado de la cosecha.

El nitrógeno disponible en el suelo es la cantidad de nitrógeno (kg/ha de N) en el suelo que se encuentra disponible para la asimilación por el cultivo desde el establecimiento hasta el final de la fase de crecimiento, teniendo en cuenta las pérdidas que se pueden dar (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 2000).

En lo que respecta al fósforo y potasio, el cultivo, en este caso el frijol, también los necesita. El fósforo tiene un papel importante en muchos procesos fisiológicos, principalmente durante la germinación y desarrollo de la plántula, desarrollo radicular,

fecundación e inicio de la fructificación. Pero hay que tener particular cuidado para evitar llegar a niveles elevados de fósforo en el suelo, que son innecesarios. Esto supone un coste importante y aumenta la pérdida de fósforo de los suelos, lo que puede causar la contaminación de las aguas superficiales (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 2000).

En cuanto al potasio, su mayor importancia está en el papel que juega como regulador fisiológico en varios procesos: permeabilidad de las membranas celulares, equilibrio ácido-básico intracelular, formación y acúmulo de sustancias de reserva, regulador del estatus hídrico de los cultivos (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 2000).

3.12. Niveles de macronutrientes en los suelos de clima medio en la región andina colombiana

3.12.1. Fósforo

Alrededor del 50% (caña) y el 76% (plátano) de los suelos que se cultivan en el clima medio colombiano presentan bajos valores de fósforo y únicamente alrededor del 10% (piña) al 28% (caña) presentan concentraciones altas de este elemento. En general hay una importante deficiencia de fósforo para los cultivos de clima medio, especialmente en el plátano (76%), yuca y piña (70%), cacao (71%) y pastos (70%). (Guerrero Riascos, 1995)

3.12.1. Potasio

Con respecto a los niveles de potasio en el clima medio de Colombia no hay una tendencia definida, puesto que hay un predominio de valores de baja disponibilidad en los suelos cultivados con piña (69%), plátano (63%), cacao (55%) y caña (53%). Mientras que la proporción de suelos con alta disponibilidad de potasio fluctúa entre el 11% (plátano) y el 45% (frijol). De esta manera, los cultivos de piña, plátano, caña y cacao ofrecen mayores

posibilidades de exponer a deficiencias de potasio y demandan mayor fertilización de este elemento. (Guerrero Riascos, 1995)

3.13. Niveles de macronutrientes en los suelos de clima frío en la región andina colombiana

Los suelos de clima frío donde se cultiva el frijol tienden a ser de baja fertilidad, con muy bajo contenido de nutrimentos y con muchos desbalances nutricionales, además de un pH entre fuertemente a moderadamente ácido (entre 4,6 y 5,5). Respecto al aluminio intercambiable por lo general este es menor de 3,0 cmol/kg de suelo. (FAO, s. f.)

4. Materiales y métodos

4.1. Localización

4.1.1. Macrolocalización

El Departamento de Risaralda (Colombia) está situado en el centro occidente de la región andina; localizado entre los 05°30'00'' y 04°41'36'' de latitud norte, y entre los 75°23'49'' y 76°18'27'' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 4.140 km² lo que representa el 0.36 % del territorio nacional. Limita por el Norte con los departamentos de Antioquia y Caldas, por el Este con Caldas y Tolima, por el Sur con los departamentos de Quindío y Valle y por el Oeste con el departamento de Chocó. (Gobernación de Risaralda, 2013)

Cabe resaltar que las cabeceras de los Municipios se encuentran entre identificados por 4 pisos térmicos determinados, así: cálido (8.9%), medio (51%), frío (31%) y páramo (8.9%). La temperatura promedio de la región oscila entre 18 y 21 °C.

4.1.2. Microlocalización

La investigación se llevó a cabo en dos localidades. El primero en la finca “La Cachucha” ubicada en la Vereda La Bella del Municipio de Pereira, Risaralda, el cual corresponde a clima frío moderado, y según la clasificación Holdrigge pertenece a bosque muy húmedo premontano bajo (bm-PB), a una altura de 1800 m.s.n.m., con temperatura promedio de 17 grados. La segunda localidad corresponde a un lote de la UNAD ubicada en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, a una altura de 1465 m.s.n.m. y una

temperatura promedio de 22 grados correspondiente a clima medio y dentro de la clasificación Holdrigge pertenece a bosque húmedo premontano (bh-PM). (Holdrigge, 19)

El corregimiento de La Bella se caracteriza por ser la quinta zona productora de cebolla larga en Colombia con más de 260 hectáreas, al igual es productora de muchos productos hortícolas de la canasta familiar, abasteciendo los mercados de grandes centros poblados como la ciudad de Pereira, Armenia, Manizales y Norte del Valle.

4.1.3. Material vegetal

Dos nuevas variedades en proceso de Registro de obtento ante el ICA denominadas UNAD-DOS ZANDU Y UNAD-DOS-YARI.

4.1.4. Equipos

Para la recolección de datos se utilizaron los siguientes equipos de medición:

Balanza Científica: Para determinar el peso de los granos de frijol se utilizó una balanza electrónica Standart con cabina de vidrio, referencia BAS 32.

Cinta métrica: Con la ayuda del metro se evaluó y midió el tamaño (altura) de las plantas en campo.

Pie de rey o Micrómetro electrónico: Para mediciones de diámetro del tallo y de longitud y diámetro de los granos.

4.2. Diseño experimental.

Los tratamientos se distribuirán en un diseño de bloques completos al azar (BCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones.

4.2.1. Establecimiento del ensayo

La aplicación del fertilizante se realizó de la siguiente manera: Una sola fertilización a los 15 días después de la emergencia de las plantas con la aplicación de la totalidad de la formulación de los nutrientes mayores en mezcla de cada uno de los tratamientos y aplicados e incorporados al suelo a dos centímetros, y retirados del cuello de la raíz de la planta.

4.2.2. Tratamientos

En la siguiente tabla se presenta la descripción de los tratamientos a evaluar en las dos localidades con las dos variedades de frijol.

Tabla 1. *Tratamientos evaluados de macro nutrientes N-P-K, en dos variedades de frijol arbustivo en dos localidades, municipio de Pereira y de Dosquebradas Risaralda*

Tratamientos	Cantidad de Nutrientes a aplicar Kg/ha		
	N	P	K
T1	50	30	50
T2	50	60	50
T3	100	60	50
T4	130	60	100

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Evaluaciones morfoagronómicas

Las evaluaciones morfoagronómicas se harán en la emergencia, en la floración y en la cosecha.

Rendimiento de grano (kg/ha) RG: Luego del desgrane de las vainas y limpieza del grano de cada parcela neta, se procedió a pesar el mismo; este dato se proyectará a kg/ha.

Peso de 100 semillas (gr) PCS: En cada tratamiento se tomaron al azar 100 granos y se determina su peso en gramos de los mismos.

Número de Vainas por planta NVP: Se procederá al conteo de las vainas de las 10 plantas tomadas al azar por cada tratamiento.

Número Granos por vaina NGV: Previo a la cosecha se procede a cortar 50 vainas tomadas al azar de cada tratamiento, luego se procede al conteo de grano obteniendo dividido por las 50 vainas para obtener el promedio respectivo.

Altura de la planta AP: se midieron 10 plantas al azar por tratamiento y por repetición con cita métrica desde el cuello de la raíz al punto de crecimiento determinado de la planta al momento de la floración.

5. Resultados y discusión

5.1. Análisis de información

Se realizó análisis descriptivo para cada uno de los caracteres cuantitativos; los cuales fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) presentando diferencias mínimas significativas entre ellas, se realizó prueba de medias con Tukey a nivel de significancia de ($p \leq 0,05$) y finalmente un análisis económico de cada uno de los tratamientos con el fin de determinar la viabilidad de uso de los productos a evaluar por parte de los productores. Estos productos comerciales fueron la urea, el DAP y el KCl.

5.2. Evaluación de la eficacia de cuatro niveles de fertilización NPK química en la producción de frijol en dos ambientes

Al realizar el análisis de varianza de la evaluación de en cada una de localidades se encontró diferencias entre estas, por lo tanto se realizó la prueba de Tukey para encontrar la línea con mejor comportamiento en la localidad.

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis de varianza de las variables morfoagronómicas utilizados para evaluar el comportamiento de los tratamientos realizados en el corregimiento de La Bella, sitio que corresponde al clima frío moderado y en el que se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos para Número de Vainas por Planta (NVP), Longitud de la Vaina (LV), Número de Granos por Vaina (NGV), Número de Granos por Planta (NGP), Peso de Granos por Planta (PGP), Diámetro Grano (DG), Peso de Cien Semillas (PCS) y Longitud del Grano (LG). Las variables Peso Semilla

(PS) y Rendimiento (RE) presentaron diferencia significativa por encima del nivel de significancia. ($P > 0.05$).

Tabla 2. *Varianza de variables morfoagronómicas de niveles de fertilización NPK química en dos ambientes*

Fuente de Variación	G	Altura Planta (cm)		Longitud Vaina (cm)		Largo Vaina (cm)		No. Granos/Vaina		No. Granos/Planta		Peso Granos/Planta		Diámetro Grano (cm)		Largo Grano (cm)		Peso 100 Semillas (g)		Peso Semilla (g/parcela)		Rendimiento (kg/ha)	
		CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F
Localidad	1	52,1 42	0,21 8	55,1 04	0,02 4	2,5 35	0,05 7	1,8 96	0,04 3	1099, 39	0,01 2	131, 76	0,02 0	0,0 05	0,02 6	0,0 60	0,01 1	564, 33	0,00 0	584766 ,8	0,32 0	192961 2,0	0,17 2
Variedad	1	32,7 57	0,08 3	0,71 9	0,39 8	0,3 73	0,16 7	0,0 00	0,93 4	0,55 0	0,88 0	0,05 4	0,89 4	0,0 18	<.00 01	0,0 07	0,14 9	41,2 8	0,03 9	137092 8,0	0,00 4	146523 ,0	0,34 1
Localidad x Variedad	1	0,98 0	0,75 7	2,10 3	0,15 4	0,0 91	0,49 0	0,0 30	0,41 2	31,73 0	0,26 0	11,8 3	0,05 3	0,0 02	0,04 8	0,0 01	0,66 1	17,1 4	0,17 3	464920 ,3	0,07 5	113898 4,1	0,01 2
Fertilidad	3	8,92 3	0,45 9	0,24 4	0,86 0	0,0 96	0,67 3	0,0 39	0,44 5	16,86 8	0,55 8	3,64 4	0,30 02	0,0 3	0,02 05	0,0 7	0,22 7	18,9 6	0,11 7	545116 ,8	0,01 7	140440 5,0	0,00 0
Localidad x Fertilidad	3	7,84 8	0,51 4	2,51 9	0,07 6	0,0 97	0,66 7	0,0 73	0,19 0	18,81 3	0,51 3	6,16 9	0,11 00	0,0 8	0,57 01	0,0 8	0,77 8	4,91 4	0,64 4	421945 ,1	0,04 3	595735 ,7	0,02 1
Variedad x Fertilidad	3	8,81 8	0,46 4	0,26 1	0,84 7	0,0 21	0,95 1	0,0 33	0,52 1	10,75 9	0,71 9	0,49 4	0,91 01	0,0 9	0,30 01	0,0 2	0,92 2	7,67 4	0,46 4	183195 ,5	0,28 0	520782 ,0	0,03 4
Localidad x Variedad x Fertilidad	3	0,52 0	0,98 4	0,17 8	0,90 7	0,0 91	0,69 0	0,0 03	0,97 9	11,16 8	0,70 8	0,47 4	0,91 8	0,0 00	0,61 2	0,0 02	0,58 5	1,48 6	0,91 6	423121 ,9	0,04 3	541334 ,3	0,03 0
Promedio		34,23		6,01		10,23		2,95		18,80		8,98		0,85		1,47		48,76		1489,29		1729,96	
CV (%)		9,23		16,40		4,20		7,00		25,99		18,78		2,41		3,89		6,05		24,79		22,86	

Nota: Significativo a 0.05% FV = Fuentes de variación; Gl = Grados de Libertad; CV = coeficiente de variación; CM = cuadrado medio.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al coeficiente de variación se observa que los datos tienen una variación porcentual dentro de cada uno de las líneas relativamente bajo (25%), lo que indica que posiblemente la variación si se deba al tratamiento y no a un factor externo; a excepción de la variable Numero de Granos por Planta (NGP) cuyo coeficiente de variación es de 25,99%.

Tabla 3. Resultados del análisis de medidas - prueba Tukey a 5% - por localidad

Localidad	Altura Planta (cm)		No. Vainas/Planta		Longitud Vaina (cm)		No. Grano s/ Vaina		No. Granos/Planta		Peso Granos/Planta		Diámetro Grano (cm)		Longitud Grano (cm)		Peso 100 Semillas (g)		Peso Semilla (g/parcela)		Rendimiento (kg/ha)	
	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G
D/das	35,4 64	a	7,1	a	10,0	b	3,2	a	23,6	a	10,6	a	0,84 4	b	1,42 8	b	45, 3	b	1599, 7	a	1529,5	a
La Bella	32,7 53	a	4,8	b	10,5	a	2,7	b	13,0	b	7,0	b	0,86 5	a	1,51 7	a	52, 9	a	1378, 9	a	1930,5	a

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual promedio no difieren estadísticamente ($P > 0.05$)

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis de medidas o prueba de promedios por localidad. Según se evidencia en los resultados obtenidos respecto del comportamiento de las variables de análisis para cada localidad, se observa que la variable Altura Planta (AP) no presenta diferencia significativa entre las dos localidades, lo que se explica en el hecho de que esta variable está determinada genéticamente por pocos genes, además estos son poco influenciados por el ambiente (Vallejo, et al.), lo que se corresponde con el comportamiento de las demás variables estudiadas, a excepción del Peso Semilla (PS) y el Rendimiento, que presentaron diferencias significativas entre ambas locaciones geográficas.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos del análisis de medidas o prueba de promedios por variedad de frijol; Yari y Zandú.

Tabla 4. Resultados del análisis de medidas - prueba Tukey a 5% - por variedad

Variedad	Altura Planta (cm)		No. Vainas/Planta		Longitud Vaina (cm)		No. Grano s/ Vaina		No. Granos/Planta		Peso Granos/Planta		Diámetro Grano (cm)		Longitud Grano (cm)		Peso 100 Semillas (g)		Peso Semilla (g/parcela)		Rendimiento (kg/ha)	
	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G
Yarí	33,0 43	b	6,0	a	10,1	a	3,0	a	19,3	a	9,3	a	0,87 7	a	1,45 3	a	49,5	a	1320,3	b	1785,2	a
Zandú	35,2 22	a	6,0	a	10,4	a	2,9	a	18,4	a	8,7	a	0,83 4	b	1,48 2	a	48,1	a	1658,3	a	1674,7	a

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual promedio no difieren estadísticamente ($P > 0.05$)

Fuente: Elaboración propia.

Obsérvese que la mayoría de las variables no difieren estadísticamente en sus resultados. Cuando se comparan los valores de estas para ambas localidades se reconocen comportamientos muy similares. Aun así se encuentran algunas diferencias significativas en unas pocas variables como altura de la planta, el diámetro del grano y el peso de la semilla por parcela, siendo más altas las plantas de la variedad Zandú y con mayor producción pero de menor diámetro de grano.

Para el caso de la variable Número de Granos por Vaina (NGV) se producen variaciones significativas, siendo la localidad de Dosquebradas en ambas variedades la que arroja el mejor valor numérico en este parámetro con una lectura para ambas de 3,2 granos por vaina para la variedad Yari y 3,1 para la variedad Zandú, frente a 2,7 en la localidad de La Bella. En consecuencia, se resalta que los tipos de genes que posee la planta y los macronutrientes agregados pueden tener influencia significativa en sus variaciones, incidiendo de manera positiva en el rendimiento de la planta, tal como se observa en la Figura 1.

De esta manera, al analizar el comportamiento de las dos variedades en cada una de las dos localidades se encontró un mejor comportamiento en las variables de producción en la localidad de Dosquebradas al aumentar el número de granos por planta y la producción por parcela, pese a que el tamaño de los granos fue menor.

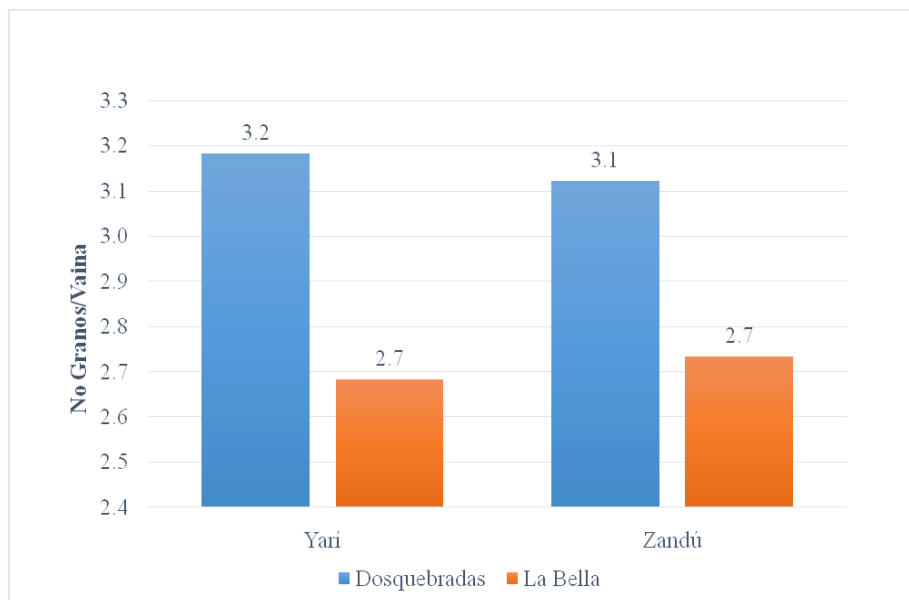


Figura 1. Numero de Granos por Vaina - análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al Número de Granos por Planta se logra identificar una gran diferencia en cuanto a las localidades, pues en Dosquebradas ambas variedades presentaron mejores resultados, el tipo Yari obtuvo 12,5 granos por planta más que en La Bella con un total de 24,4 granos frente a 11,9. Por su parte el tipo Zandú obtuvo 8,9 granos más en esta localidad. También cabe resaltar que se obtuvo un mayor número de granos de tipo Yari que Zandú en Dosquebradas, mientras que en La Bella la planta de frijol de variedad Zandú obtuvo más granos que la de Yari, tal como se evidencia en la Figura 2.

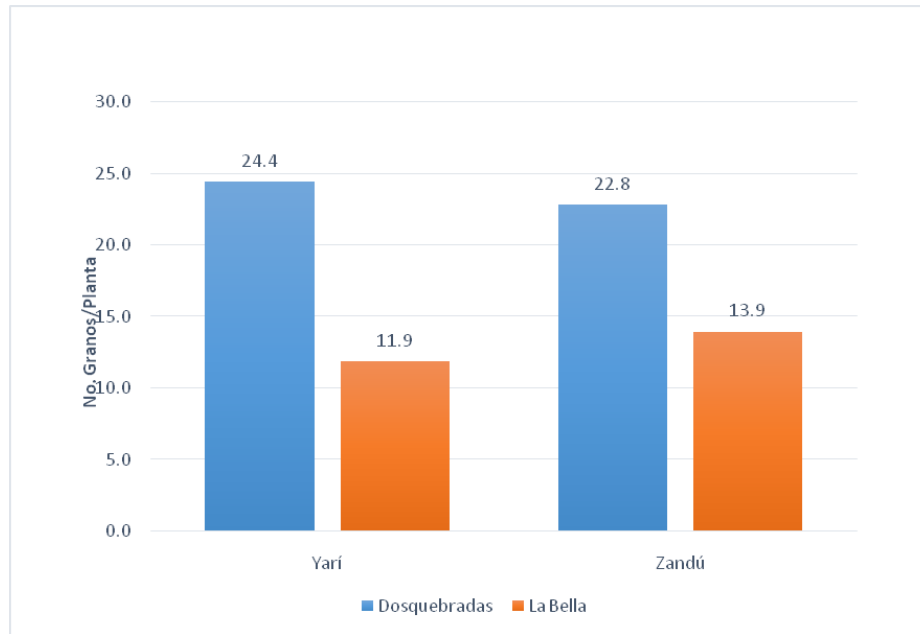


Figura 2. Numero de Granos por Planta - Análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia

Con relación al Peso de Grano por Planta (PGP) se observa que la localidad de Dosquebradas nuevamente presenta un mejor comportamiento, dado que el peso del grano de ambas variedades fue mayor que en La Bella, presentándose una situación similar a la variable analizada anteriormente (NGP) en la cual el frijol de la variedad Yari presentó mayor producción en Dosquebradas sobre el de variedad Zandú, que dio más en la otra localidad. Específicamente el tipo Yari presentó una diferencia de 4.8 gr más por cada grano que en La Bella, mientras que el tipo Zandú obtuvo un total de 10 gr en la localidad de Dosquebradas, 2,6 más que en La Bella. Esta relación se evidencia gráficamente en la Figura 3.

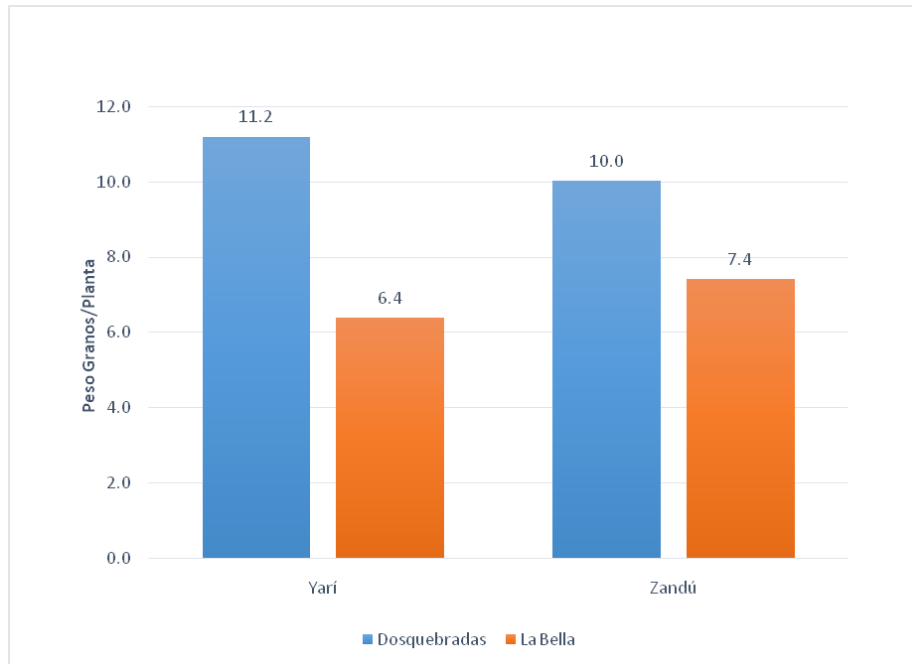


Figura 3. Peso gramos por Planta – Análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia.

Para la variable Peso de Cien Semillas (PCS) la localidad de La Bella produjo mejores resultados, con un promedio de 53,4 gr y 52,6 gr para la variedad Yari y Zandú respectivamente, lo que representa una diferencia de 6,3 gr más para la variedad de frijol Yari, y de 9,0 gr más para el frijol Zandú que la localidad de Dosquebradas, tal como se evidencia en la Figura 4. Es posible que la diferencia entre estas variables en ambas localidades se deba a que este carácter está determinado genéticamente por muchos genes y que los efectos ambientales afectan considerablemente su expresión.

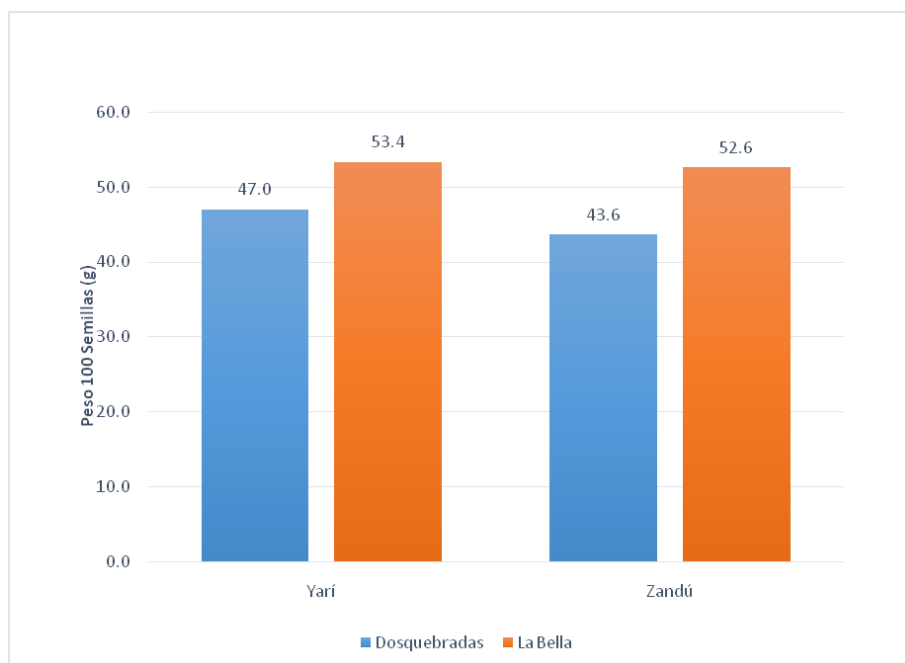


Figura 4. Peso 100 semillas – Análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al factor Peso de Semillas Parcela (PSP) es posible evidenciar que en la localidad de Dosquebradas la variedad Yari presentó un comportamiento muy similar, con pocos cambios. La diferencia presentada fue de 23 gr en el peso con respecto a la variedad en la localidad de La Bella. Por su parte el peso de la parcela de la variedad Zandú fue de 1867,1 gr/parcela en Dosquebradas mientras que en La Bella el peso fue de 1449,5 gr/parcela, es decir 417,6 gr/parcela por debajo del peso en la otra localidad. En la Figura 5 se ilustran estos resultados.

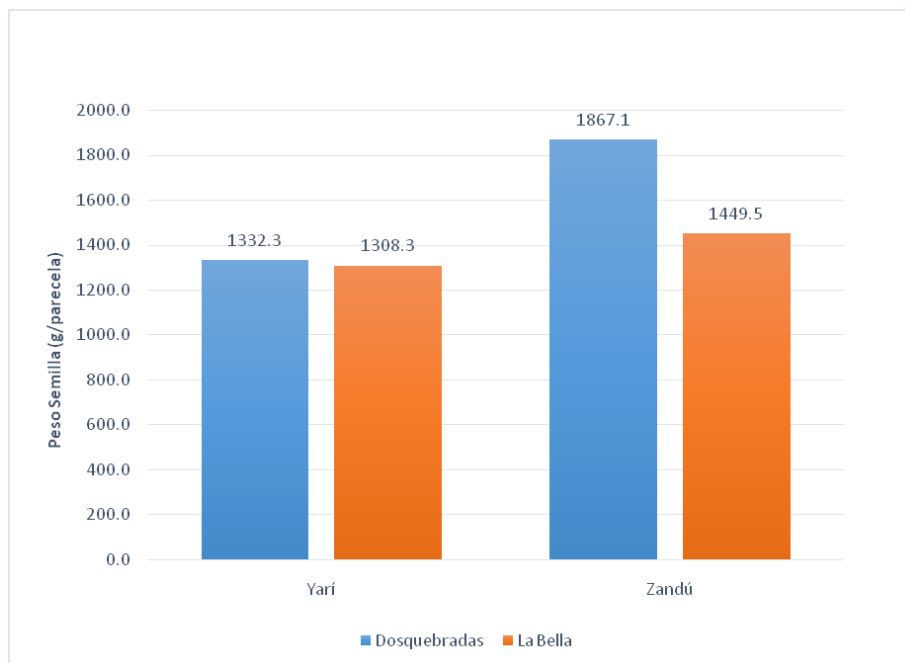


Figura 5. Peso semilla parcela – análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se procede a realizar un análisis del Rendimiento de la cantidad de Kg por hectárea de cultivo, en el que se observa un mayor rendimiento en la localidad de La Bella para ambas variedades de frijol, alcanzando un total de 92,9 kg/ha para el frijol Yari y 709,1 kg/ha para el tipo de frijol Zandú con respecto a los resultados de cada localidad, tal como se observa en la Figura 6.

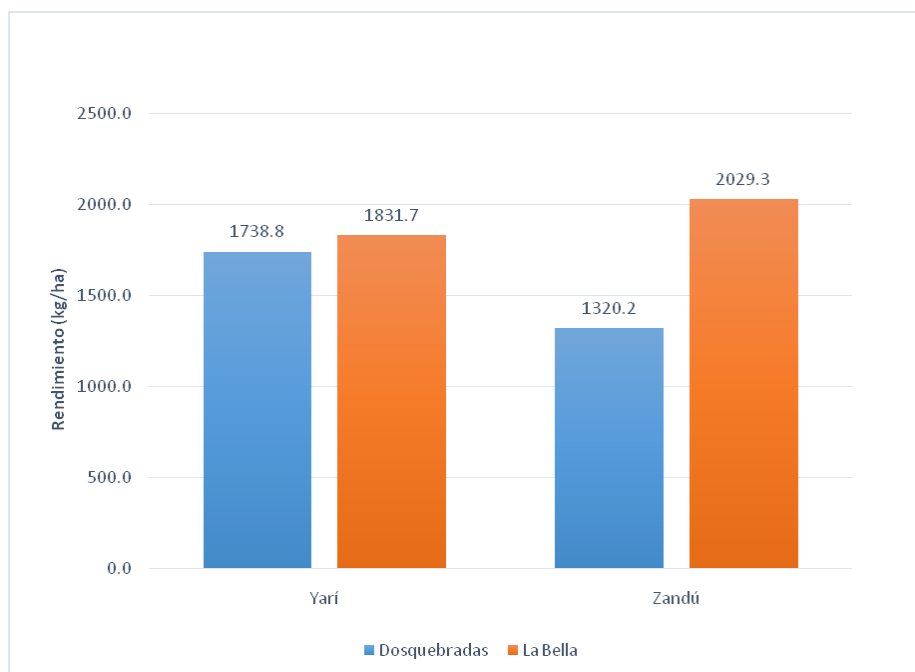


Figura 6. Rendimiento – análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se presenta el rendimiento con los niveles de fertilidad para cada variedad y cada una de las localidades de estudio.

Tabla 5. Rendimiento por localidad

Localidad	Fertilidad	Rendimiento promedio (kg/ha)
Dosquebradas	0-293-200	1864,7
La Bella	0-293-200	2154,5
Dosquebradas	103-293-100	1423,0
La Bella	103-293-100	2397,8
Dosquebradas	150-150-100	1291,3
La Bella	150-150-100	1189,8
Dosquebradas	168-293-201	1538,8
La Bella	168-293-201	1979,7

Fuente: Elaboración propia

En la localidad de La Bella se observa un mejor rendimiento en cuanto a la producción de frijol dado en kg/ha en todos los niveles de fertilización, excepto en el tratamiento (T3), el cual contiene una mezcla de N, P y K de 150-150-100 respectivamente, proporcionando mayor productividad a la localidad de Dosquebradas, tal como se presenta en la Figura 7.

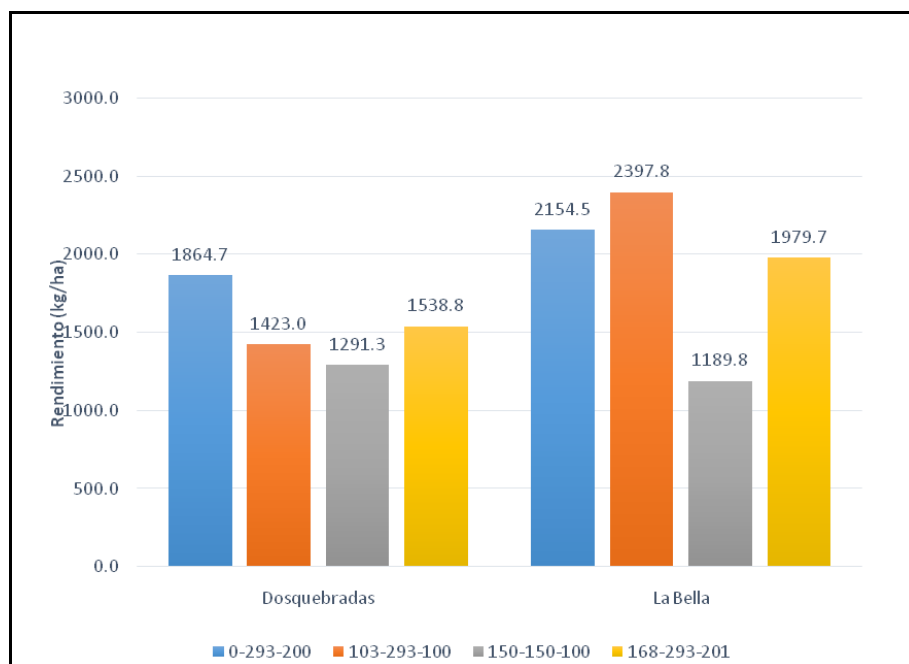


Figura 7. Evaluación del Rendimiento de las dos variedades de frijol por tratamiento de cada una de las localidades.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se presenta el impacto generado por el uso de fertilizantes en cada variedad de frijol, Yari y Zandú.

Tabla 6. Rendimiento de las variedades de frijol según tratamiento

Variedad	Fertilidad	Rendimiento (kg/ha)
Yarí	0-293-200	2286,3
Zandú	0-293-200	1732,8
Yarí	103-293-100	1916,0

Zandú	103-293-100	1904,8
Yarí	150-150-100	1031,2
Zandú	150-150-100	1450,0
Yarí	168-293-201	1907,3
Zandú	168-293-201	1611,2

Fuente: Elaboración propia

Con relación a los resultados obtenidos es posible afirmar que la variedad Yari genera un mayor rendimiento en 3 de los 4 tratamientos realizados, mientras que el tratamiento (T3) genera un mayor rendimiento en la variedad Zandú. En la Figura 8 entre tanto se observa el rendimiento y el análisis de fertilidad por variedad de frijol.

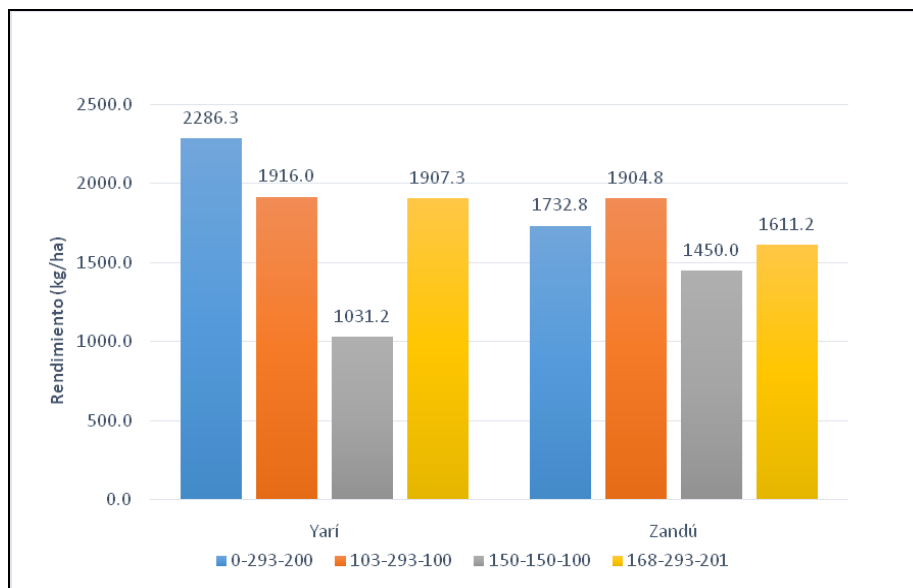


Figura 8. Evaluación del Rendimiento según tratamiento para cada una de las variedades de frijol

Fuente: Elaboración propia

La variable Altura de la Planta (AP) obtuvo una mayor altura para Dosquebradas en ambas variedades de Frijol, pero debido a su similitud, esta no es tan relevante para el análisis dado que se obtuvo una diferencia promedio de 2,3 cm para ambas localidades y variedades. Con relación al análisis de esta variable por localidad se identifica que en

Dosquebradas las plantas alcanzan una altura promedio de 35,5 cm y 33,1 para la localidad de La Bella. En la Figura 9 es posible evidenciar graficamente estos resultados.

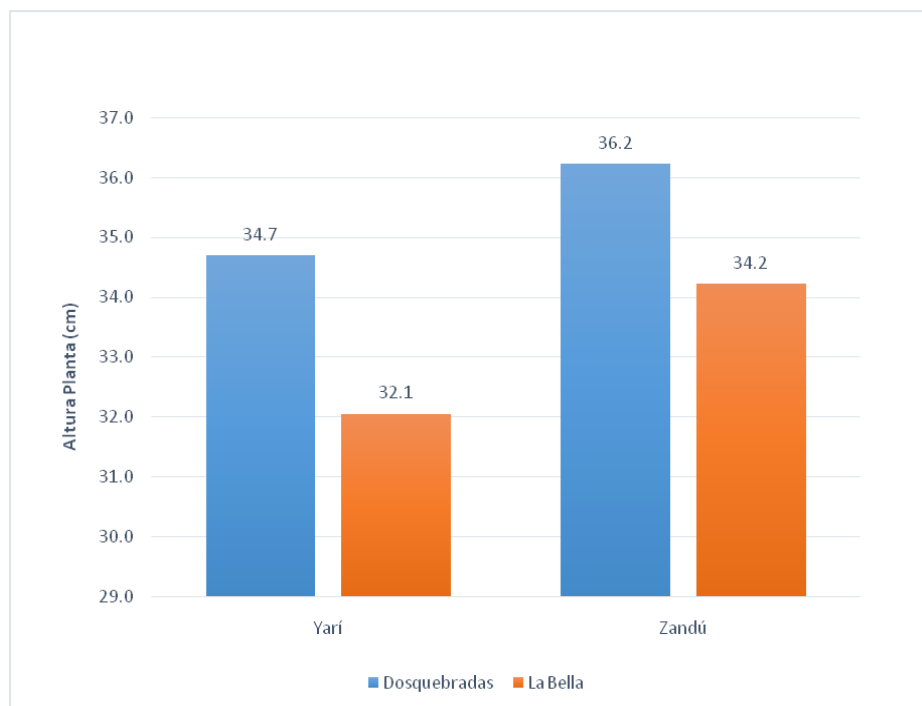


Figura 9. Altura Planta – análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al Número de Vainas por Planta (NVP) se destaca que Dosquebradas nuevamente presenta mejores resultados, obteniendo un promedio de 7,2 en la variedad de frijol Yari y 7,1 en el frijol Zandú, lo cual genera una diferencia de 2,9 vainas y 1,9 vainas por planta menos que en la localidad de La Bella, tal como se hace evidente en la Figura 10.

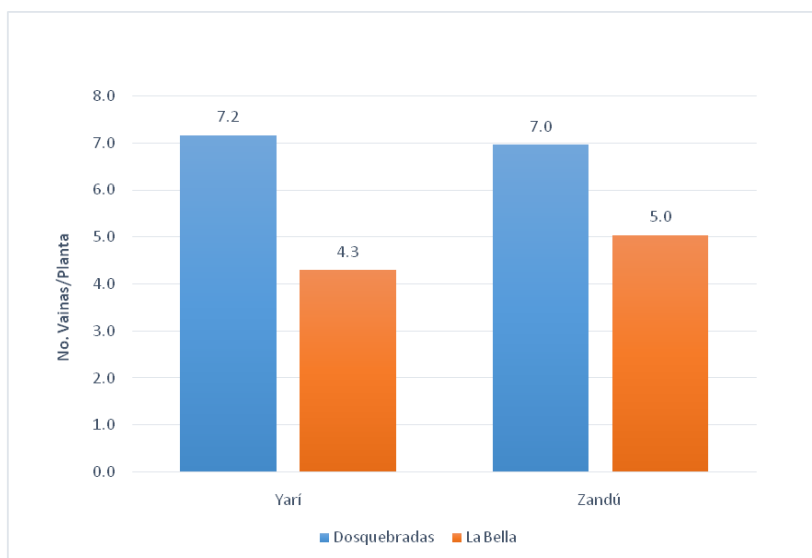


Figura 10. No Vainas por planta – análisis de promedios por localidad y variedad

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en el análisis de la longitud de la vaina se observa que esta variable mantuvo un comportamiento muy similar en ambas localidades y para cada variedad de frijol. Lo anterior se corresponde con la teoría con respecto a este factor, que afirma que al ser este un carácter fijo depende fundamentalmente de características genéticas heredables, por lo que es poco influenciado por el ambiente (véase Figura 11).

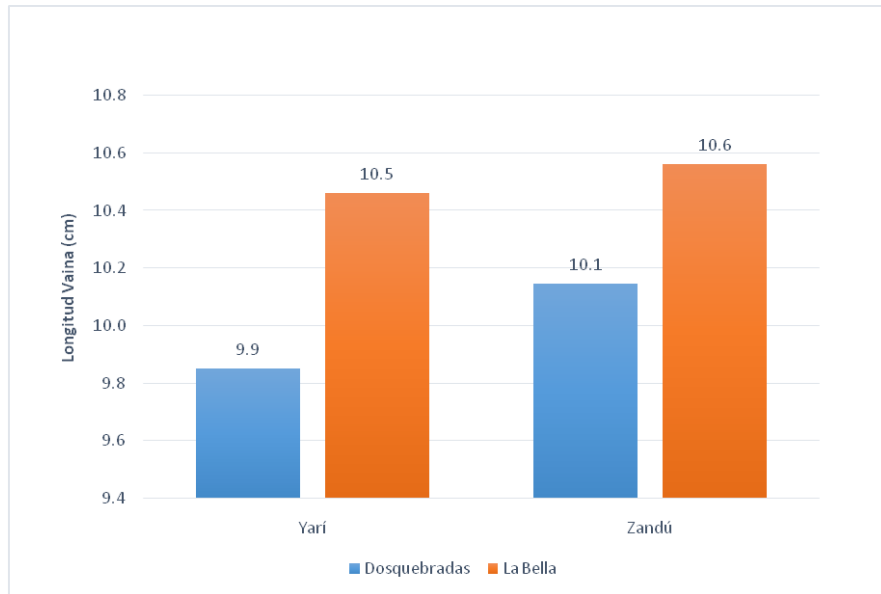


Figura 11. Longitud de Vainas– análisis de promedios por localidad y variedad.

Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

- La mejor formulación para la fertilización de las dos variedades de frijol en las condiciones de clima medio representado por la localidad de La Bella con la que se obtiene el mayor rendimiento de frijol es el tratamiento T2.
- La variedad Yari obtiene su mayor rendimiento en un clima medio (Dosquebradas) con el tratamiento T1 mientras que la variedad de Frijol Zandú es más productiva en clima moderado frío (La Bella) con la aplicación del tratamiento T2.

7. Recomendaciones

- Se recomienda que el programa de la UNAD pueda promover el uso e intensificación de los fertilizantes a base de macronutrientes en sus cultivos con el ánimo de aumentar el nivel de competitividad de los productores locales.
- Se recomienda que los programas de mejoramiento de las demás universidades como el de la UNAD puedan generar espacios para interactuar y realizar procesos de retroalimentación respecto de las investigaciones y necesidades de la comunidad en general.

Referencias

- Bautista Zamora, D. M., Chavarro Rodriguez, C. L., Cáceres-Zambrano, J., & Buitrago-Mora, S. (2017). Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* cv. ICA Cerinza. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 122-132. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5496>
- FAO. (s. f.). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble* (pp. 49-82). Recuperado 10 de mayo de 2020, de <http://www.fao.org/3/a1359s/a1359s03.pdf>
- Guerrero Riascos, R. (1995). *Fertilización de cultivos en clima medio* (2.^a ed.). Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (E.M.A.). <http://www.monomeros.com/descargas/dpmanualmedio.pdf>
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J.-L., & García, C. (2014). Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 196, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.006>
- Mas Guillén, F. de M. (2007). *Estudio exploratorio sobre densidades de siembra y el sitio de aplicación de diferentes niveles de nitrógeno y fósforo en el rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad icta ligero en el parcelamiento Cuyuta, Masagua, escuintla* [Universidad San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1812.pdf
- Pupiales Criollo, H. A., Pupiales Criollo, J. A., & Silva Parra, A. (1988). Respuesta del frijol lima (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de abono orgánico a base de

residuos sólidos de fique, Tambo, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 10(1, 2), 16.

Quintana-Blanco, W. A., Pinzón-Sandoval, E. H., & Torres, D. F. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) CV ICA Cerinza, bajo estrés salino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 87-95.

Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): Su importancia nutricional. *Revista Fuente*, 3(8), 5.