

Evaluación agronómica de frijol biofortificado bio102 (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes niveles de nanofertilizante en el Valle de Sibundoy

Hever Jhon Rosales Palacios

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

Pasto Nariño

2022

**Evaluación agronómica de frijol biofortificado bio102 (*Phaseolus vulgaris L.*) con
diferentes niveles de nanofertilizante en el Valle de Sibundoy**

Hever Jhon Rosales Palacios

Trabajo para optar al título de Agrónomo

Director:

Ph. D. Jairo Hernán Mosquera Guerrero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

Pasto Nariño

2022

Página de Aceptación

Ph. D. Jairo Hernán Mosquera Guerrero

Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Esta investigación es producto de la inspiración y apoyo incondicional de mi señora esposa
Ángela Patricia Maya Ortega y mis hijos Daniel Alejandro Rosales Maya y Ferdinand
Emmanuel Rosales Maya, que con su existencia motivaron mi espíritu de superación, generando
en mi la satisfacción de cumplir un reto más en mi vida. gracias Dios por mi amada familia.

Agradecimientos

A Dios, en quien pongo en sus manos todos mis proyectos

Al Dr. Jairo Hernán Mosquera Guerrero, por sus enseñanzas, tiempo y dedicación

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y todos los docentes de esta prestigiosa institución, que me brindaron su apoyo y conocimientos.

Resumen

La variedad de frijol biofortificado Bio102 (*Phaseolus vulgaris* L.) es un genotipo desarrollado con el objetivo de combatir la malnutrición y la inseguridad alimentaria en las familias vulnerables del país, ideal para ser cultivado en zonas de cordillera, comprendidas entre los 1800 y 2200 msnm. La evaluación se realizó en el Municipio de Colon (P), corregimiento de San Pedro, a una altura de 2150 msnm, donde se evaluó el comportamiento agronómico de la variedad de frijol voluble biofortificado Bio102, el cual se sometió a 3 niveles de nanofertilizante de composición NPK + microelementos, con 3 tratamientos T1, T2 y T3; también se utilizó como testigo control a la variedad cargamanto rojo, genotipo con adaptación regional, al cual se le aportó fertilizante convencional, identificado como el tratamiento cero (T0). Se realizó un diseño de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones, las variables que se evaluaron fueron, días a emergencia, altura de la planta, días a floración, número de flores / planta, número de vainas por tratamiento, número de semillas por vaina, días a madurez fisiológica, peso de 100 semillas y rendimiento en kg ha^{-1} . La variedad biofortificada Bio102, demostró diferencias significativas en las variables; días a emergencia (11 días), días a floración (67 días), número de flores por planta (Bio102 con 86 flores vs cargamanto con 15 flores) y días a madurez fisiológica (150 días), las demás variables no presentaron diferencias significativas. El testigo control demostró un rendimiento de 1047 kg ha^{-1} , mientras que Bio102 con el T2 con dosis a razón de $13,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de Triple 20 + $3,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de Micrón.n, demostró un rendimiento de 850 kg ha^{-1} . El T2 tubo mejor comportamiento a pesar de que las precipitaciones y temperatura no favorecieron la expresión del potencial genético de las variedades dado por déficit hídrico. Los datos se sometieron a análisis de varianza con la prueba de Duncan.

Palabras clave: Genotipo, Fertilizante, Potencial genético, Déficit hídrico.

Abstract

The biofortified bean variety Bio102 (*Phaseolus vulgaris* L.) is a genotype developed with the aim of combating malnutrition and food insecurity in vulnerable families in the country, ideal for cultivation in mountain ranges, between 1,800 and 2,200 meters above sea level. The evaluation was carried out in the Municipality of Colon (P), district of San Pedro, at an altitude of 2150 meters above sea level where the agronomic behavior of the biofortified climbing bean variety Bio102 was evaluated, which was subjected to 3 levels of nanofertilizer of NPK composition + microelements, with 3 treatments T1, T2 and T3; The variety Cargamanto Red, a genotype with regional adaptation, was also used as a control, to which conventional fertilizer was added, identified as the zero treatment (T0). A randomized block design with 4 treatments and 3 repetitions was carried out, the variables that were evaluated were, days to emergence, plant height, days to flowering, number of flowers / plant, number of pods per treatment, number of seeds. per pod, days to physiological maturity, weight of 100 seeds and yield in kg ha⁻¹. The biofortified variety Bio102, showed significant differences in the variables; days to emergence (11 days), days to flowering (67 days), number of flowers per plant (Bio102 with 86 flowers vs. cargo with 15 flowers) and days to physiological maturity (150 days), the other variables did not show significant differences. The control witness showed a yield of 1047 kg ha⁻¹, while Bio102 with T2 with a dose of 13.75 kg ha⁻¹ of Triple 20 + 3.75 kg ha⁻¹ of Micron.n, showed a yield of 850 kg ha⁻¹. The T2 had better performance despite the fact that rainfall and temperature did not favor the expression of the genetic potential of the varieties due to water deficit. Data were subjected to analysis of variance with Duncan's test.

Keywords: Genotype, Fertilizer, Genetic potential, Water deficit.

Tabla de Contenido

Introducción	12
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos.....	13
Marco Teórico.....	14
Generalidades del Frijol	14
Clasificación Taxonómica	14
Ciclo Fenológico del Frijol Común	14
Condiciones Edafoclimatológicas del Frijol.....	17
Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE).....	18
La Biofortificación en Colombia	19
Micronutrientes en la Biofortificación.....	20
La Nanotecnología	21
La Nanotecnología en la Agricultura	22
Los Nanofertilizantes	23
Sistema de Entrega Inteligente.....	25
Nanosensores	26
Toxicidad Por el Uso de Nanopartículas	27
Variedad de Estudio	28
Fríjol Voluble Biofortificado Bio102	28
Aspectos Morfológicos de Frijol Voluble Biofortificado Bio102	30
Zonas Agroecológicas.....	30
Manejo Integrado de Malezas	31
Preparación de Suelos	31
Fertilización	31
Requerimientos Hídricos del Fríjol Voluble.....	32
Cosecha y Pos cosecha.....	33
Descripción Variedad Testigo – Cargamanto Rojo	34
Materiales y Métodos.....	35
Localización General del Área de Estudio.....	35

Materiales.....	36
Método	36
Diseño Experimental.....	42
Establecimiento Unidad Experimental	42
VARIABLES EVALUADAS.....	46
Análisis Estadístico.....	47
Discusión de Resultados	48
Variable Días a Emergencia.....	48
Variable Altura de la Planta	50
Variable Días A Floración	52
Variable Número de Flores por Planta.....	54
Variable Número de Vainas por Tratamiento.....	56
Variable Número de Semillas por Vainas.....	58
Variable Días a Madurez Fisiológica.....	60
Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	62
Variable Peso de 100 Semillas.....	64
Gestión del Conocimiento.....	66
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Referencias.....	70
Anexos	78
Registro fotográfico de Agricultores Capacitados	78
Formato de asistencia.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Principales Características de Frijol Biofortificado Bio102	29
Tabla 2. Ciclo Fenológico del Frijol Biofortificado Bio102.....	30
Tabla 3. Requerimiento Nutricional de Frijol Biofortificado Bio102	31
Tabla 4. Datos de Análisis de Suelo	37
Tabla 5. Características Químicas – Triple20®.....	38
Tabla 6. Características Químicas – Micro-n®	39
Tabla 7. Fitocontroladores utilizados en la investigación.....	41
Tabla 8. Diseño de Tratamientos Sometidos a Prueba	43
Tabla 9. Niveles de nanofertilización evaluados en frijol Bio102.....	44
Tabla 10. Tipo y Dosis de Fertilizante Convencional en el Tratamiento Control	45
Tabla 11. Datos Climatológicos Ciclo de Cultivo Año 2020	46
Tabla 12. Variables de Respuesta	47
Tabla 13. Resultados de Evaluación	48
Tabla 14. Andeva Días a Emergencia.....	49
Tabla 15. Andeva Atura de la Planta de Frijol.....	51
Tabla 16. Andeva Días a Floración.....	53
Tabla 17. Andeva Número de Flores por Planta.....	55
Tabla 18. Andeva Vainas por Tratamiento	57
Tabla 19. Andeva Semillas por Vainas.....	59
Tabla 20. Andeva Días a Madurez Fisiológica.....	61
Tabla 21. Andeva Rendimiento (Kg ha ⁻¹).....	63
Tabla 22. Andeva Peso de 100 Semillas.....	64
Tabla 23. Lista de agricultores capacitados	66

Índice de Figuras

Figura 1. Etapas de Desarrollo del Frijol	14
Figura 2. Hábitos de Crecimiento del Frijol	17
Figura 3. Esquema del Desarrollo de Frijol Biofortificado	21
Figura 4. Transporte de Nanopartículas Dentro de la Planta	24
Figura 5. Nanopartículas Encapsuladas	26
Figura 6. Esquema de Fertilizantes Inteligentes en el Sistema Suelo-Planta	27
Figura 7. Semilla de Frijol Biofortificado Bio102.....	28
Figura 8. Requerimiento Hidrológico del Frijol Biofortificado Bio102.....	32
Figura 9. Distancias de Siembra de Frijol Biofortificado	33
Figura 10. Frijol Variedad Cargamanto	34
Figura 11. Departamento del Putumayo y Valle de Sibundoy(P).....	35
Figura 12. Preparación de Terreno – Surcado	36
Figura 13. Nanofertilizante Comercial de Evaluación.....	38
Figura 14. Distribución de Parcelas	42
Figura 15. Unidad Experimental.....	43
Figura 16. Pesaje de Nanofertilizante	45
Figura 17. Emergencia del Frijol	48
Figura 18. Grafica Días a Emergencia.....	50
Figura 19. Grafica Atura de la Planta de Frijol.....	52
Figura 20. Floración Frijol Biofortificado Bio102	52
Figura 21. Grafica Días a Floración.....	54
Figura 22. Grafica Número de Flores por Planta.....	56
Figura 23. Colecta de Vainas por Cada Tratamiento	56
Figura 24. Grafica Vainas por Tratamiento	58
Figura 25. Vainas de Frijol Biofortificado con su Respectiva Semilla.....	58
Figura 26. Grafica Semillas por Vaina	60
Figura 27. Grafica Días a Madurez Fisiológica	61
Figura 28. Sistema de Pesaje del frijol cosechado	62
Figura 29. Grafica Rendimiento (Kg ha ⁻¹).....	64
Figura 30. Grafica Peso de 100 Semillas	65

Introducción

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es la actividad agrícola que mayor desempeño ha tenido en el Valle de Sibundoy, siendo el principal generador de la economía campesina ya que en la región se han adaptado diferentes variedades de esta leguminosa obteniendo buenos rendimientos. Para el año 2018 se registraron 2,51 ton ha⁻¹ en promedio, más sin embargo para el año 2018 se proyectó un rendimiento de 3,6 ton ha⁻¹ en el Departamento del Putumayo, siendo uno de los mayores productores por área a nivel nacional (Minagricultura 2018).

En esta investigación se identificaron las bondades agronómicas de la variedad biofortificada Bio102, genotipo que fue desarrollado y liberado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT y HarvestPlus. Esta variedad conserva 86 ppm de hierro y 36 ppm de zinc, cantidad mayor a la que conserva un frijol común (Ciat 2019), siendo una alternativa alimenticia para suplir las carencias de micronutrientes esenciales en niños, adolescentes y madres gestantes, gracias a que esta leguminosa es un producto de alto consumo, oscila entre 3 y 4 kilos per cápita anual (Minagricultura 2018). Adicionalmente se utilizó la nanofertilización como fuente de minerales de última tecnología, material de dimensión muy pequeña, que oscila entre 1 a 100 nanómetros (nm). Esta tecnología fue creada para enfrentar los desafíos actuales de la agricultura, con el fin de producir alimento eficientemente para una población que aumenta significativamente y donde los recursos naturales son cada vez más limitados. Los nanofertilizantes se diseñaron con un recubrimiento polímero para ser liberados lentamente, logrando mayor eficiencia y disminuyendo pérdidas por lixiviación, esta tecnología está siendo investigada en el desarrollo de plaguicidas, controladores biológicos, promotores de crecimiento, nano herbicidas y otros (Lira, R., et al. 2018).

Objetivos

Objetivo General

Realizar la evaluación agronómica de frijol biofortificado Bio102 (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes niveles de nanofertilizante en el Valle de Sibundoy.

Objetivos Específicos

Evaluar el suministro de diferentes niveles de nanofertilizante, aplicados de acuerdo con la fase fenológica, disponibilidad de nutrientes en el suelo y requerimientos del cultivo.

Evaluar el comportamiento agronómico en base a días a emergencia, a floración, número de flores por planta, altura de la planta, número de vainas por planta, número de semillas por vaina, tiempo a madurez y rendimiento.

El centro internacional de agricultura tropical – CIAT (1985), presenta las siguientes características botánicas y morfológicas la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Raíz

Proveniente de la formación de la radícula, que se genera en el embrión, esta da formación a la raíz primaria de mayor grosor y posteriormente se forman las raíces secundarias, terciarias y pelos absorbentes, la formación de la raíz, tiende a ser fasciculado y pocas veces pivotante, esta leguminosa presenta nódulos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical, de forma poliédrica, que con intervención de bacteria del género *Rhizobium*, fijan nitrógeno atmosférico, para satisfacer requerimientos de este elemento en la planta.

Tallo

El tallo empieza en la inserción con las raíces, formado inicialmente por el hipocótilo, primer órgano formado en la germinación con dirección vertical, de forma semicilíndrica, herbáceo en etapa de crecimiento y semileñoso en estado de madures, siendo el soporte principal de la planta, que contiene nudos y entrenudos que darán origen a hojas y brotes productivos. El tallo puede ser erecto, semipostrado o postrado según la variedad y hábito de crecimiento de la planta.

Flor

En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. El botón floral, bien sea que se origine en las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila. en su estado inicial está envuelto por las bractéolas que tienen forma ovalada o redonda. En su estado final, la corola que aún está cerrada sobresale y las bractéolas cubren sólo el cáliz. Cuando ocurre el fenómeno de antesis la flor se abre. La flor tiene simetría bilateral. La morfología floral de *Phaseolus*

vulgaris L. favorece el mecanismo de autopolinización. En efecto, las anteras están al mismo nivel que el estigma y además ambos órganos están envueltos completamente por la quilla. Cuando se produce la dehiscencia de las anteras (anthesis) el polen cae directamente sobre el estigma.

Hojas

Las hojas del frijol son de dos tipos: simples y compuestas, están insertadas en los nudos del tallo y las ramas, en dichos nudos siempre se encuentran estipulas que constituyen un carácter importante en la sistemática de las leguminosas. En la planta de frijol solo hay dos hojas simples: las primarias; que aparecen en el segundo nudo del tallo y se forman en la semilla durante la embriogénesis. Son opuestas, cordiformes, unifoliadas, auriculadas, simples y acuminadas, estas caen antes de que la planta esté completamente desarrollada, las estipulas son bífidas al nivel de las hojas primarias.

En continuidad con las descripciones que realiza el Ciat (1985), también describe los hábitos de crecimiento del frijol de la siguiente manera.

Tipo I: hábito de crecimiento determinado arbustivo

En este hábito de crecimiento, las plantas alcanzan alturas que van desde los 15 cm a 50 cm, la etapa de floración es corta, el crecimiento se detiene cuando llega la floración, la madurez de todas las vainas es uniforme, las plantas conservan un tallo es fuerte.

Tipo II A: hábito de crecimiento indeterminado arbustivo

Plantas con tallo erecto, poco trepadoras, con pocas ramas y cortas con respecto al tallo, presenta alto número de nudos, el crecimiento continúa durante la etapa de floración.

Tipo II B: hábito de crecimiento indeterminado arbustivo

Tallo erecto, con aptitud para trepar, termina en una guía larga, estas continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a un ritmo menor.

Tipo III: hábito de crecimiento indeterminado postrado

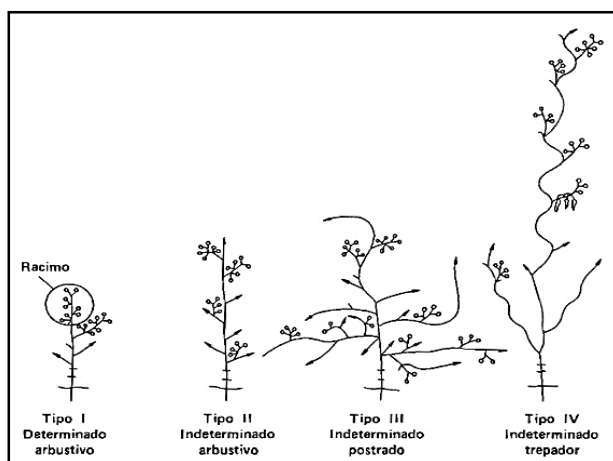
Son plantas postradas o semipostradas con ramificación bien desarrollada, con altura mayor a las plantas de tipo I y II superior a 80 cm y mayor número de nudos del tallo, con actitud trepadora.

Tipo IV: Hábito de crecimiento indeterminado trepador

Son plantas que se asocia frijol – maíz, de habilidad trepadora, algunas ramas poco desarrolladas a por su dominancia apical, puede alcanzar más de dos metros de altura, la etapa de floración es más larga que la de los otros hábitos, en este tipo de crecimiento, la planta puede presentar a un mismo tiempo, estados de floración, formación, llenado y maduración de vainas.

Figura 2

Hábitos de Crecimiento del Frijol



Nota. Esquema de hábitos de crecimiento de frijol. Tomado de Ciat (1985).

Condiciones Edafoclimatológicas del Frijol

Requerimientos edáficos

El cultivo de frijol se desempeña bien en suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica; las texturas del suelo más adecuadas son las medias o moderadamente pesadas, con buena aireación y drenaje ya que es un cultivo que no tolera suelos compactos, poca aireación y acumulación de agua. El pH óptimo fluctúa entre 6.5 y 7.5 dentro de este rango la mayoría de los minerales nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. El frijol tolera pH hasta de 5.5, aunque por debajo de éste presenta generalmente síntomas de toxicidad por aluminio y/o manganeso, afectando su rendimiento (Cabrera, C. & Reyes, H. 2008).

Condiciones climáticas

El cultivo del frijol común se ve favorecido por temperaturas entre los 15 y los 27°C y puede tolerar hasta los 29.5°C. Las temperaturas altas (cercasas o superiores a los 35°C) y el estrés hídrico durante la floración y el establecimiento de las vainas ocasionan el aborto de un gran número de inflorescencias e incluso de otras vainas en etapas tempranas de desarrollo. Las condiciones de cultivo ideales se dan con una pluviosidad entre los 350 y los 500 mm anuales y una humedad relativa baja, entre 60% y 70% para minimizar el riesgo de enfermedades bacterianas y fúngicas (Salcedo, J. 2008).

Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE).

Los agricultores adoptan practicas dinámicas orientadas al monitoreo controlado de sus cultivos, con el objetivo de obtener y proveer un producto limpio e inocuo para el consumidor, verificando la incidencia de plagas y enfermedades y con ello organizar un plan de control para poder mitigar el uso excesivo de insumos agroquímicos en cada unidad productiva. También se debe conocer la dinámica de vida de los hongos e insectos, para racionalizar el uso de un controlador de manera eficiente que impacte positivamente al medio ambiente y que cause un control efectivo dentro del cultivo (Cámara de comercio de Bogotá, 2015).

La Biofortificación

Es el proceso mediante el cual se busca incrementar la concentración de microelementos de importancia en productos agrícolas de consumo básico para la alimentación humana y animal para generar un sistema de flujo de micronutrientes, tomando como base las bondades genotípicas de las variedades vegetales a cruzar. La biofortificación necesita de suelos bien tratados para que los minerales estén disponibles y sean aprovechados por las plantas, además se puede mejorar la concentración de microelementos esenciales con el aporte exógeno de minerales dirigidos al follaje o suelo, también se tiene en cuenta el uso de genotipos con elevada capacidad de absorción y acumulación de nutrientes (Blasco, B. 2021).

De igual manera, Márquez, et al., (2015) cita que en el cultivo de arroz se ha incrementado en un 500% el hierro y en el cultivo de frijol se ha incrementado en 100 % el hierro y zinc, comparado con producto obtenido en cultivo producido de forma convencional.

La Biofortificación en Colombia

En Colombia hacen presencia entidades que desarrollan investigación en biofortificación con el objetivo de desarrollar semillas capaces de retener micronutrientes esenciales, como el hierro (Fe) y el zinc (Zn), con el objetivo de combatir las deficiencias nutricionales principalmente en niños y madres gestantes, además de lograr la seguridad alimentaria de las familias campesinas. Las entidades comprometidas con esta tarea son, HarvestPlus, principal investigador de biofortificación, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat), la Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola (FIDAR) y la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales - Fenalce. En Colombia, el CIAT y colaboradores han liberado semillas biofortificadas como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays*), camote (*Ipomoea batatas*), arroz (*Oryza sativa*) y yuca (*Manihot esculenta*).

Micronutrientes en la Biofortificación

El programa HarvestPlus se enfoca en desarrollar cultivos con mayor contenido de hierro (Fe), zinc (Zn) y vitamina A, siendo los tres micronutrientes que la Organización Mundial de la Salud (OMS) identificó como los más importantes para la salud pública.

Biofortificados de Colombia (2019), define la importancia de estos minerales así:

Hierro

El hierro es un mineral de importancia para el organismo humano ya que participa en la producción de hemoglobina, componente principal de los glóbulos rojos; también contribuye a la formación de las proteínas musculares y a la metabolización de ciertas enzimas del cuerpo.

Zinc

El zinc es importante para el cuerpo de muchas maneras, incluyendo la inmunidad, el crecimiento y división celular, el sueño, el estado de ánimo, los sentidos del gusto y el olfato, para la salud de la piel y de los ojos, para la regulación de insulina y para la función sexual masculina.

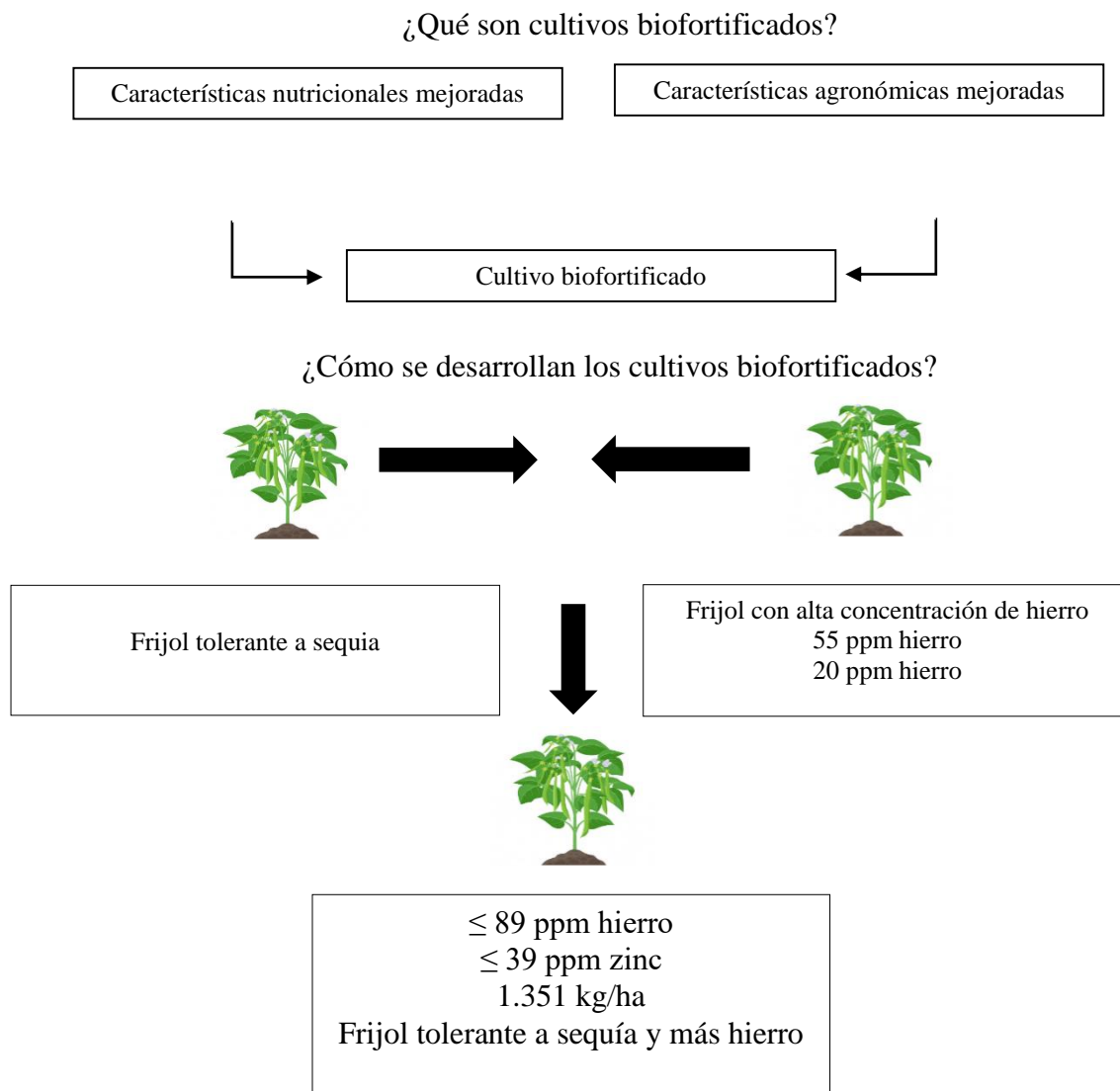
Vitamina A

Actúa a manera de antioxidante, lo que ayuda al sistema inmunológico a protegerse de diversas enfermedades, además, estimula la producción de glóbulos blancos en la sangre, excelente para el cuidado de la piel porque activan la melanina que da el pigmento, también incide en la formación de los huesos. En publicación virtual del periódico de la universidad nacional de Colombia, Bejarano J. (2020) afirma que la biofortificación tiene como objetivo principal el suministro de micro minerales como el Fe, Zn y la vitamina A, a mujeres y niños, para entregarle una dieta eficiente en cantidad y calidad de nutrientes para evitar la desnutrición crónica y alteración en el crecimiento y desarrollo del infante, además, afirma que las

condiciones del estado nutricional impiden una oportuna respuesta inmunológica a las infecciones y hace susceptibles de contraer alguna comorbilidad.

Figura 3

Esquema del Desarrollo de Frijol Biofortificado



Nota. Desarrollo de cultivos biofortificados con cruce convencional. Adaptado de Tofiño, A. et al. (2019).

La Nanotecnología

Himangini, J. et al. (2019), describe que la nanotecnología es el resultado de la integración de distintas ciencias aplicadas como la química, física, biología, medicina e

ingeniería, donde la estructura de la materia se desarrolla en unidad nanométrica para producir materiales con objetivos específicos, entre ellos la liberación lenta de fertilizantes. agrega que la finalidad es la generación de nanopartículas (NP), que pueden ser de origen natural o manufacturado y que poseen un rango de 1 a 100 nm en, el nanómetro es la mil millonésima parte de un metro.

La Nanotecnología en la Agricultura

Yadollahia, K. et al. (2010), menciona que el recurso agrícola alimentario es uno de los más importantes para la humanidad, ya que es el sistema que provee alimentos constantemente, este debe ser sostenible en el tiempo y debe conservar su inocuidad para que las futuras generaciones puedan hacer uso de este recurso, así mismo, Dubey y Mailapalli (2016), afirman que la tierra es un recurso agotable y que la humanidad debe controlar los desafíos para evitar el deterioro del ecosistema, asegurando la alimentación para las poblaciones siguientes.

El desarrollo científico de fertilizantes altamente eficientes utilizando la nanotecnología se orienta a ser una opción muy importante para mejorar la producción agrícola, los nuevos fertilizantes tendrán el desafío de ser estructuralmente amigables con la biodiversidad, deben generar alta productividad y conservar los sistemas agrícolas. (Fellet, G. et al. 2021).

En la actualidad los estudios en nanotecnología (NT) han ido avanzando, lo que prevé un importante crecimiento debido al incremento de su uso en la producción de alimentos, a su vez, se evidencia que la demanda de alimentos a nivel mundial está en aumento, Naciones Unidas (2019) manifiesta que para el año 2050 en mundo tendrá 9.700 millones de personas aproximadamente.

la NT puesta al servicio de la agricultura, coadyuva a la generación de nanoprodutos como nanopesticidas encapsulados para liberación controlada, nanofertilizantes que contienen

macro y micronutrientes y promotores del crecimiento, así como también, permite detectar y controlar la presencia de plagas y enfermedades con nanosensores (Grillo, L. & Fraceto, R. 2016).

En cuanto a productos agroquímicos (pesticidas, fertilizantes, hormonas de crecimiento, etc.), la nanotecnología en el proceso de nanoencapsulación pueden aumentar la eficiencia de los agroquímicos, generando un sistema de entrega "inteligente" suministrando de una manera controlada, también permite aplicar la cantidad correcta de nutrientes garantizando la seguridad del medio ambiente y una mayor eficiencia en el uso de insumos agrícolas (Nuruzzaman, M., et al. 2016). En este contexto, se han desarrollado nuevos nanomateriales basados en el uso de NPs metálicas, poliméricas, inorgánicas, etc., las cuales permiten aumentar la productividad y buscan encontrar aplicaciones para el perfeccionamiento de nanosistemas inteligentes para la captura e inmovilización de nutrientes y su gradual liberación en el suelo para acrecentar la eficiencia de los fertilizantes. (Kottegoda, N. et al 2011.).

Las NPs al ser aplicadas al follaje o sistema radical, se movilizan por los sistemas de floema o xilema, las cuales se absorben y son traslocados hasta las ramas, el follaje o donde la planta lo esté necesitando. Cuando las nanopartículas se aplican al follaje, estas entran por medio de las estomas, luego ingresan a la célula por medio de los poros celulares y son aprovechadas o reservadas para cumplir funciones vitales. (Lira, R., et al. 2018).

Los Nanofertilizantes

Son fertilizantes sintetizados o modificados a partir del uso de la nanotecnología y sus dimensiones, con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo, la productividad y la calidad de productos agrícolas, tienen el potencial de reemplazar los fertilizantes químicos, además de mejorar la seguridad alimentaria. (Tarafdar, J. 2021).

El nanofertilizante es ecológicamente seguro, protegido con una capa de suministro lento, que disminuye efectos tóxicos por aplicación excesiva de fertilizantes, por su tamaño nanométrico abarca mayor área de superficie, liberando los nutrientes en un tiempo prolongado en lugares exactos y con mayor eficiencia (Yuvaraj, M., & Sevathapandian, K. 2020).

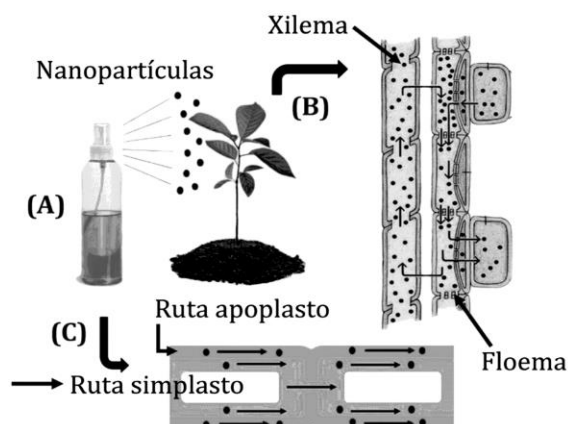
Mikkelsen, R. (2018), describe que se han propuesto tres clases de nanofertilizantes:

1. Fertilizantes a nanoescala (nanopartículas que contienen nutrientes).
2. Aditivos a nanoescala (fertilizantes tradicionales con aditivos a nanoescala), y
3. Recubrimiento a nanoescala (fertilizantes tradicionales recubiertos o cargado con nanopartículas).

La nanotecnología agrícola, pretende la encapsulación de microorganismos benéficos, mejoradores de la salud de las raíces de las plantas, donde se utilizan bacterias y hongos que mejoran la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en la zona de la raíz.

Figura 4

Transporte de Nanopartículas Dentro de la Planta



Nota. (A) Esquema que ilustra la aplicación de nanopartículas al follaje de las plantas. (B) Cuando penetran a través de las estomas se translocan o transportan vía floema. (C) Cuando se aplican a la zona radicular, su translocación a larga distancia es principalmente por el apoplasto del tejido conductivo del xilema. (Lira R. et al., 2018).

Sistema de Entrega Inteligente

Los nanofertilizantes se encuentran recubiertos de capas de polímeros o retenedores de nutrientes para poder ser suministrados de manera controlada para que las plantas lo tomen según su necesidad, además de disminuir las pérdidas de nutrientes por lixiviación o eutrofización. Algunas moléculas de revestimiento utilizadas son el quitosano, que se utiliza en la producción de nanofertilizantes NPK, al igual que la zeolita para la disponibilidad de zinc (Zn) y nitrógeno (N) entre otros. (Yuvaraj, M. & Sevathapandian, K. 2020).

Mikkelsen, R. (2018), describe que los minerales nanoencapsulados entregan los nutrientes de las siguientes formas.

Liberación Lenta

Entrega lenta de nutrientes, sincronizando la asimilación y limitando la lixiviación.

Liberación Rápida

Sucede al entrar en contacto con la superficie de una hoja.

Liberación Específica

Se produce a través de un mecanismo de reconocimiento entre un receptor (molécula o grupo funcional) unido a la cáscara y una molécula.

Liberación de Humedad

La cáscara se descompone y libera nutrientes en presencia de agua.

Liberación de pH

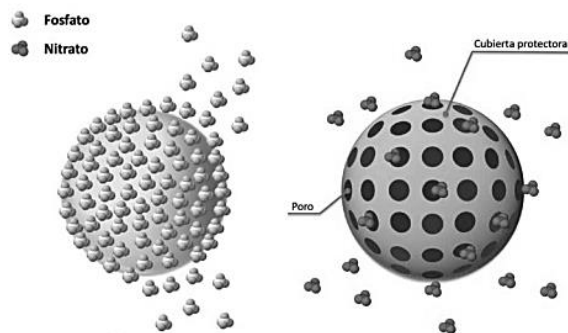
la cáscara se rompe solo en un ambiente alcalino / ácido específico (por ejemplo, dentro de los tejidos vegetales o dentro de una célula).

Pulsos Magnéticos / Ultrasónicos

la carcasa se abre en respuesta a un pulso magnético o ultrasónico emitido por un sistema controlado por el hombre (agricultura de precisión).

Figura 5

Nanopartículas Encapsuladas



Nota. A) Nanopartícula en forma de nutriente. B) Nanopartícula con nutrientes en su interior. Tomado de Miguel, C., & Perez, A. (2020).

Nanosensores

Son herramientas para detectar deficiencias de nutrientes, toxicidad, enfermedades de plantas y animales, también controlan la salud de las plantas y la calidad de los alimentos, ayuda a mejorar la producción agrícola con una eficiencia creciente de insumos, como una pérdida mínima de insumos como riego, fertilizantes y pesticidas. En la agricultura se utilizan principalmente dos tipos de nanosensores: (i) bio-nanosensores y (ii) nanosensores electrónicos. Las nanopartículas de plata, cobre y oro se utilizan como bionanosensores y nanosensores electrónicos para detectar un posible problema de patógenos en alimentos vegetales y de poscosecha. (Dubey, A. & Mailapalli, R. 2016).

Los nanosensores son muy útiles para examinar una amplia variedad de efectos como el de los fertilizantes, herbicidas, fungicidas, insecticidas, la humedad y el pH del suelo, entre otras variables. Esos nanosensores pueden ser estacionarios, los cuales se colocan en puntos estratégicos del área de siembra o pueden ser móviles e instalarlos en drones. La NT ha

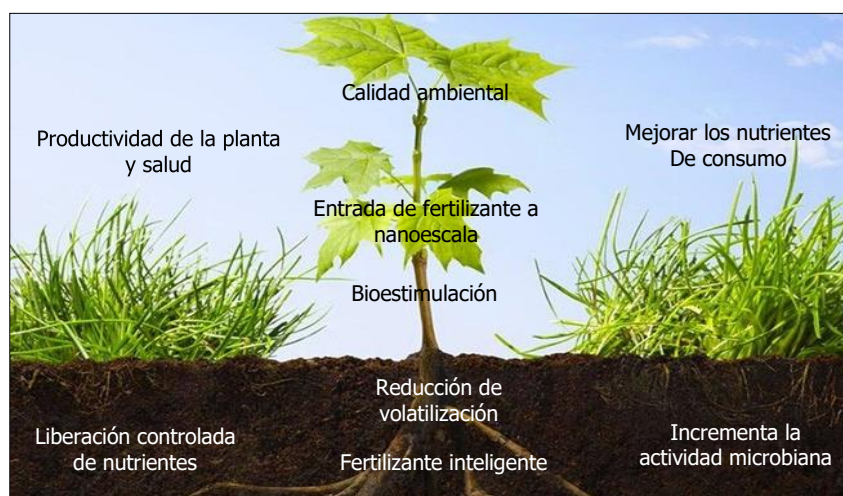
permitido el desarrollo de empaques inteligentes de alimentos con sensores que pueden revelar el desarrollo bacteriano o fúngico al estar envasados. (Lira, R., Vera, I. & Villarreal, G. 2021)

Toxicidad Por el Uso de Nanopartículas

Los nanofertilizantes podrían causar toxicidad química o física en las plantas dependiendo de su tamaño, composición química, energía superficial y especies, por lo tanto, los desafíos para futuras investigaciones son la ciencia de absorción y el mecanismo de interacción dentro de las células, y también la cantidad adecuada que las plantas pueden tomar sin mostrar ningún signo de estrés. (Aslani, F. et al. 2014).

Figura 6

Esquema de Fertilizantes Inteligentes en el Sistema Suelo-Planta



Nota. Sistema de fertilizantes inteligentes para una agricultura sostenible. Adaptado de Calabi, M., et al. (2018).

Variedad de Estudio

Fríjol Voluble Biofortificado Bio102

El genotipo Bio102 fue desarrollado por el Centro Internacional De Agricultura Tropical CIAT, Fenalce y HarvestPlus, entidades de investigación presentes en el país, quienes en el año 2019 liberaron la primera semilla de fríjol voluble biofortificado en Colombia, semilla apta para sembrar en zona de cordillera (1.800 a 2.200 msnm). El lanzamiento de la semilla se realizó en la finca *El Diamante*, ubicada en el corregimiento Anaime, Municipio de Cajamarca Tolima, con el principal propósito combatir la malnutrición de las comunidades vulnerables.

Figura 7

Semilla de Frijol Biofortificado Bio102



Nota. Presentación de la semilla obtenida en esta investigación. Autoría propia.

Se estima que la variedad biofortificada aportaría hasta el doble de minerales en comparación de un fríjol no biofortificado, es decir se estaría supliendo alrededor del 29% del hierro y el 14% del zinc que el cuerpo necesita diariamente, este genotipo se caracteriza también por su buen comportamiento agronómico y productivo, con mayor tolerancia a plagas y enfermedades en comparación a otras variedades que se cultivan actualmente, además de las bondades alimenticias que genera la biofortificación. Bio102 también se convierte en una alternativa para el fortalecimiento de la economía campesina, donde pequeños y medianos

agricultores comercializan parte de las cosechas, beneficiándose con los ingresos de venta de este alimento.

Tabla 1

Principales Características de Frijol Biofortificado Bio102

Características Generales	
Contenido de hierro (Fe) (ppm)	86 ± 11
Contenido de hierro (Fe) (mg/100 g)	8.6 ± 1.1
Contenido de zinc (Zn) (ppm)	36 ± 3
Contenido de zinc (Zn) (mg/100 g)	3.6 ± 0.3
Cantidad de semilla por hectárea (kg/ha)	40
Peso promedio de 100 semillas (g)	62.2
Volumen de 100 granos (mL)*	47
Capacidad de absorción de agua (CAA%)	105
Tiempo de cocción (min)	60 - 70
Color del grano	Rojo moteado
Forma del grano	Arriñonado
Altura promedio de planta (cm)	252
Hábito de crecimiento	Tipo IV-A
Floración (días)*	45
Color de flor	Blanca
Número de vainas por planta*	35
Número de semillas por vaina*	5
Uniformidad de secado (%)*	80
Días a cosecha* días	150
Rendimiento Potencial (ton/ hec) **	1,9
Antracnosis (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>)	Tolerante
Mancha Angular (<i>Phaeoisariopsis griseola</i>)	Tolerante
Roya (<i>Uromyces appendiculatus</i>)	Tolerante
Osochyta (<i>Phoma exigua</i>)	Tolerante
Oidio (<i>Erysiphe polygoni</i>)	Tolerante

*Valores promedio.

**Valores correspondientes a evaluaciones realizadas por FENALCE y FIDAR en 8 localidades (2016 – 2017).

Fuente: www.biofortificados.com

Aspectos Morfológicos de Frijol Voluble Biofortificado Bio102

Arcos, J. y Rojas, C. (2020), describen los requerimientos edafoclimáticos y agronómicos de este genotipo de la siguiente manera:

La variedad de estudio de frijol voluble Bio102, tiene hábito de crecimiento indeterminado Tipo IV, con distribución de las vainas a partir del tallo principal desde los primeros 20 cm de su base, se desarrollan en un ciclo de entre 110 y 150 días, el rango de color de la flor puede variar entre los colores blanco, morado o rosa/lila, la forma del grano puede ser redondo, alargado o arriñonado, con granos rojos moteado, blanco moteado y rojo oscuro; en cuanto al tamaño, se encuentran granos pequeños, medianos y grandes.

Tabla 2

Ciclo Fenológico del Frijol Biofortificado Bio102

Etapa	Fase Vegetativa				Fase Reproductiva			Cosecha
	0	V1/V2	V3	V4/V5	R5/R6	R7/R8	R9	
Días	0	6/7	11	20/30	35/45	51/60	98	136
Fases de desarrollo	Siembra	Germinación Hojas primarias	Primera hoja trifoliada	Tercer y cuarta Hoja trifoliada	Formación de Botón floral	Formación y llenado de vainas	Maduración de Vainas	Vainas Secas

Nota. Ciclo fenológico de frijol biofortificado Bio102. Adaptado de www.biofortificados.com (2020).

Zonas Agroecológicas

Bio102 presenta adaptación a la zona andina, con altitudes comprendidas entre 1.800 y 2.200 msnm; la siembra en zonas planas o de ladera no mayor a 30%, facilitan el establecimiento del cultivo, el tutorado y labores de manejo; se debe sembrar según la intensidad de las precipitaciones para no afectar los períodos de germinación, floración y cuaje.

Manejo Integrado de Malezas

El manejo de las malezas durante los primeros 60 días es necesario para que las plantas de frijol no tengan competencia por nutrientes, humedad o por hospedaje de plagas y enfermedades, por tal razón es fundamental un manejo integrado.

Preparación de Suelos

La preparación del terreno se hace con anticipación para asegurar una buena cama a la semilla para obtener una germinación uniforme en la época de siembra, buscando que la etapa vegetativa del cultivo coincida con periodos climáticos adecuados, a fin de evitar pérdidas de rendimiento por el exceso o déficit hídrico, se recomienda sembrar en parcelas con pendientes hasta del 30%, en laderas no tan pronunciadas y lotes uniformes, bien drenados y de fácil acceso para realizar las labores requeridas para el manejo del cultivo.

Fertilización

Se debe realizar un análisis químico de suelo para determinar el contenido nutricional del mismo y así programar adecuadamente un plan nutricional para obtener mayor eficiencia y productividad, la tabla 3 indica la cantidad de nutrientes recomendados para la variedad Bio102.

Tabla 3

Requerimiento Nutricional de Frijol Biofortificado Bio102

		Requerimiento Nutricional Kg ha ⁻¹				
Minerales	N	P	K	CA	MG	S
Cantidad	136	18	114	54	18	25

Nota. Requerimiento nutricional en kg-ha del cultivo de frijol. (Arcos, J. y Rojas, C. 2020).

Harvestplus (2019), recomienda el siguiente plan de fertilización si se carece de análisis de suelo y su interpretación.

Primera Fertilización - Durante la siembra:

50 kg/ha de urea (N) + 50 kg/ha de DAP (P) + 50 kg de KCI (K) + Elementos menores granulados según la recomendación del fabricante.

Segunda Fertilización - 30 días después de siembra (30 DDS).

50 kg/ha de urea (N) + Elementos menores mediante aplicaciones foliares, según la recomendación del fabricante.

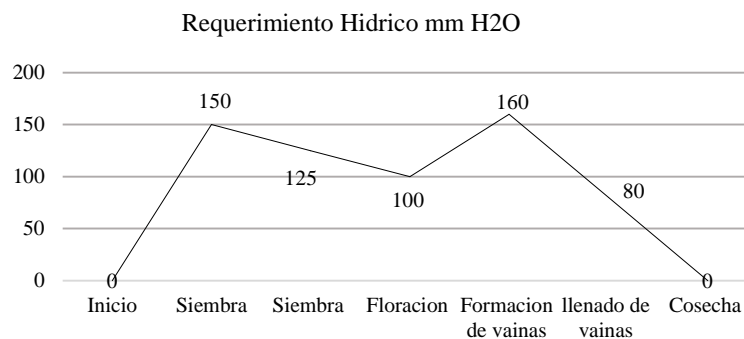
Dependiendo de las condiciones de pH del suelo, en algunas regiones se recomienda utilizar entre 500-800 kg/ha de cal dolomita e incorporarla 30 días antes de la siembra.

Requerimientos Hídricos del Fríjol Voluble

La variedad en estudio requiere entre 440 mm y 540 mm agua en su ciclo productivo, distribuidos de la siguiente manera:

Figura 8

Requerimiento Hidrológico del Frijol Biofortificado Bio102



Nota. Adaptado de Arcos, J. y Rojas, C. (2020).

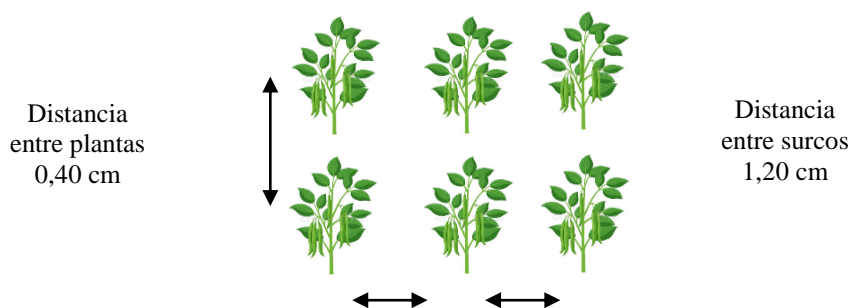
Sistema de Siembra y Cantidad de Semilla

Las variedades de fríjol voluble biofortificado se pueden sembrar en diferentes tipos de sistemas, puede ser bajo un sistema de monocultivo que puede requerir entre 30 y 50 kg/ha, dependiendo de la variedad que se quiera sembrar, también se puede sembrar en asocio con otros cultivos, así se requiere menos cantidad de semilla. Las distancias de siembra recomendadas para

el manejo de un monocultivo son de entre 120 cm y 140 cm entre surcos y de 40 cm a 50 cm entre plantas. Es recomendable utilizar de dos a tres semillas por sitio con una profundidad de 3 centímetros con buena humedad del suelo para obtener una población promedio de 50.000 a 85.000 plantas por hectárea.

Figura 9

Distancias de Siembra de Frijol Biofortificado



Nota. Esquema de siembra de frijol biofortificado Bio102. Adaptado de Harvestplus (2019).

Cosecha y Pos cosecha

Cosecha: se hace cuando el grano tenga entre el 21% y 30% de humedad. Posteriormente, se procede a desgranado mediante mecanización o manual, cuando la humedad del grano esté entre un 16 y 18%.

Secado: Cuando el contenido de humedad de las semillas es muy alto, se debe proceder a realizar un secado. Para esta tarea, se puede apoyar en el uso de secado por corrientes de aire y libre exposición al sol, tratando en lo posible de evitar el contacto directo de las plantas con el suelo.

Trilla: Consiste en aporrear las plantas de frijol secas utilizando diferentes medios para extraer el grano de las vainas, entre ellos el más utilizado es el método manual y el método mecanizado como trilladoras.

Limpieza de semilla: esta operación consiste en eliminar el alto porcentaje de impurezas como fragmentos vegetales, semilla de maleza, insectos muertos, etc, utilizando zaranda o ventiladores.

Secado de semilla: el secado final del grano tiene como objetivo disminuir el porcentaje (%) de humedad a un valor menor al 14%. Se puede realizar utilizando diferentes técnicas, como exposición al sol sobre lonas evitando el contacto directo de la semilla con el suelo, maquinas secadoras o invernaderos para secado de grano.

Descripción Variedad Testigo – Cargamanto Rojo

Fenalce (2011), indica las siguientes características del frijol cargamanto.

Adaptación: 1.700 a 2.400 m.s.n.m.

Clima: Medio – frío.

Color de grano: Rojo oscuro con blanco – rojo pintado.

Tipo: Voluble o enredadera, requiere tutorado.

Ciclo de cultivo: 160 a 170 dds.

Rendimiento: 2 a 2.5 ton. /ha.

Cantidad de semilla x ha: 50 a 60 Kg.

Siembra: En surcos.

pH: 5.5 a 6.

Semilla por sitio: 2 a 3 semillas por sitio.

Tutorado: Asocio con maíz.

Figura 10

Frijol Variedad Cargamanto



Nota. Representación de Semilla de frijol cargamanto rojo obtenido en esta investigación. Autoría propia

Materiales y Métodos

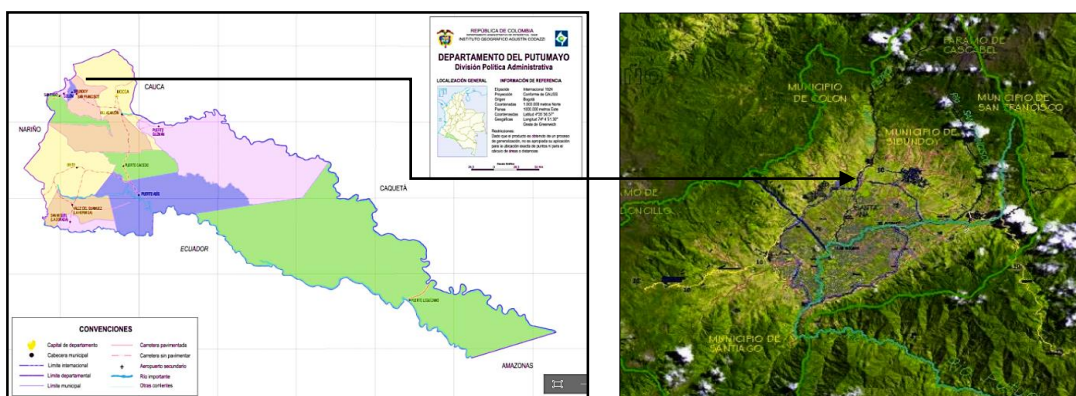
Localización General del Área de Estudio

La presente investigación, se realizó en el Valle de Sibundoy, territorio conformado por 44.100 hectáreas de zonas de ladera y montaña y 8.500 hectáreas de zonas planas, donde habitan comunidades indígenas, además de 3.500 familias campesinas que hacen uso del suelo para actividades agropecuarias en general, está conformado por los Municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco, se encuentra sobre los 2.000 msnm. en su parte plana y los 3.300 msnm. en la parte más alta, (PMA de los humedales V. S. 2006). Caracterizado por una temporada climática de baja pluviosidad en los meses de agosto a noviembre y época de alta pluviosidad generalmente durante los meses de abril a julio, (*Weatherspark 2021*).

Se registra una humedad relativa de 88%, con temperatura promedio de 13.7 °C, con precipitaciones promedios de 2969 mm. (*climate-data.org*). La unidad experimental se ubicó en el corregimiento de San pedro, Municipio de Colon, finca San José, a una altitud de 2150 msnm, con coordenadas Latitud: 1.21314 Longitud: -76.9427.

Figura 11

Departamento del Putumayo y Valle de Sibundoy(P)



Departamento del Putumayo, tomado de PMA de los humedales Valle de Sibundoy (2006).

Valle de Sibundoy Putumayo, tomado de IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020).

Materiales

Para llevar a cabo la realización de la investigación, se utilizaron los siguientes recursos.

Herramientas de campo: Azadón, pala, fumigadora, recipientes plásticos.

Tutor en caña de maíz: utilizados como tutor de las guías del frijol voluble.

Semilla de frijol Bio102: Semilla de evaluación agronómica.

Semilla de frijol cargamanto: Testigo regional.

Fertilizantes: Granulado convencional y nanofertilizantes.

Cinta métrica.

Pesa digital.

Libreta de apuntes.

Computador y software estadístico infostat 2018.

Método

Selección y Preparación del Terreno

Figura 12

Preparación de Terreno – Surcado



Nota. Preparación de terreno para siembra. Elaboración propia.

Se eligió un terreno de uso agrícola, utilizado anteriormente en diferentes cultivos, suelo con profundidad fértil de 40cm, de textura suelta, con topografía ligeramente inclinada y buen drenaje, ahí se realizó el respectivo análisis de suelo, se adecuó el terreno para la investigación levantando surcos con medidas de 12 m de largo y 70 cm de ancho distanciados a 3 m cada uno,

se conforman las parcelas para los tratamientos y se procede a la siembra, de ahí en adelante se prosigue con las labores de agronómicas para el cultivo como el aporque de surcos, desmalezado post siembra de tipo selectivo, aplicación de tratamientos y manejo fitosanitario.

Análisis de Suelo

Antes de empezar con las labores de cultivo se realizó el análisis de suelo con el objetivo de conocer las características fisicoquímicas del mismo, datos que se utilizaron para saber con qué tipo de suelo contamos para la instalación del cultivo, además de orientar la nanofertilización en la variedad biofortificada Bio102. La tabla 4 indica datos relevantes en el resultado del análisis.

Tabla 4

Datos de Análisis de Suelo

Nutriente	Unidad	Disponibilidad	Nivel
Materia Orgánica/ NA	%	9,89	Alto
pH/NA	Unid. de pH	6,2	Liger. ácido
Nitrógeno Total/N	%	0,46	Bajo
Fosforo	mg/Kg	2,9	Bajo
Potasio/K ⁺	mg/Kg	38	Bajo
Cloruro/Cl ⁻	mg/Kg	20	Bajo
Hierro/ Fe ⁺³	mg/Kg	1,0	Bajo
Cobre/ Cu ⁺²	mg/Kg	2,0	Bajo
Manganeso/ Mn ⁺²	mg/Kg	0,0	Bajo
Azufre	mg/Kg	5,0	Bajo
Boro	mg/Kg	0,5	Medio
Textura	13 % Arena; 44 % Limo; 43 % Arcilla		FrArL

Nota. Minerales del suelo disponibles, tomado de análisis de suelo, código de muestra MS – 01, elaborado por Serviagronomica (2020).

El análisis de suelo realizado al terreno de la unidad investigativa, demostró baja disponibilidad de nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K) y microelementos, por consiguiente, para la elección de los productos a evaluar en el cultivo de frijol, tuvo como partida las carencias

del suelo y los requerimientos del cultivo. Se optó llevar a evaluación dos grados de nanofertilizantes denominados comercialmente como *Triple 20n* (NPK), y *Micro – n* (elementos menores), productos importados y distribuidos en Colombia por la empresa *Eurotrading*, los cuales se describen a continuación (tabla 5 y 6).

Figura 13

Nanofertilizante Comercial de Evaluación



Nota. Presentación comercial de nanofertilizantes triple 20 y micrón-n. Autoría propia.

Tabla 5

Características Químicas – Triple20®

Ficha Técnica - Triple 20 N-P-K (21-20-23) Registro de Venta Ica No: 11023	
Nitrógeno Total	21.5%
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄)	1%
Nitrógeno Orgánico (N-NH ₂)	20.5%
Fósforo Asimilable (P ₂ O ₅)	20%
Potasio Soluble en Agua (K ₂ O)	23.5%
pH (Sol. 10%)	7.18
Conductividad Eléctrica 1:100	5.0 dS/m
Humedad	0.3%
Solubilidad Máxima	1.0g/100mL

Nota. Composición química comercial – Triple20®. Tomado de <https://improagro.com/>

El producto se disuelve por completo al ser aplicado al suelo directamente o en agua, sin dejar residuos sólidos por su tamaño nano (1-100nm), vienen en forma de ion puro, no en sales u

óxidos, es soluble en suspensión con el agua para aplicación foliar o en drench edáfico, no es toxico, altamente estable por sus contenidos orgánicos; carbono y nitrógeno, Uso en suelo con rangos de pH de 3 a 11. Lo anterior se ha comprobado y verificado en un laboratorio independiente, externo y en campo.

Tabla 6

Características Químicas – Micro-n®

Ficha Técnica – Micro-n (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) Registro De Venta Ica No: 11027	
Nitrógeno Total	2.5%
Nitrógeno Orgánico (N-Org).	2.5%
Azufre Total (S-SO4).	8%
Hierro Total (Fe).	7%
Manganeso Total (Mn).	1.5%
Cobre Total (Cu).	0.5%
Zinc Total (Zn).	1.7%
Boro Total (B).	0.3%
Molibdeno Total (Mo).	0.7%
Carbono Orgánico Oxidable.	10%
pH (Sol. 10%).	4
Conductividad Eléctrica.	6.4 dS/m
Humedad.	1.7%
Solubilidad Máxima.	1.0g/100 ml

Nota. Composición química comercial – Triple20®. Tomado de <https://improagro.com/>

El producto se disuelve por completo al ser aplicado al suelo directamente o en agua, sin dejar residuos sólidos por su tamaño nano (1-100nm), vienen en forma de ion puro, no en sales u óxidos, es soluble en suspensión con el agua para aplicación foliar o en drench edáfico, no reacciona con componentes NPK + menores de la misma naturaleza, no es toxico, altamente estable por sus contenidos orgánicos; C y N, Uso en suelo con rangos de pH de 3 a 11.

El análisis de suelo también demostró un pH de 6,2, (*ligeramente acido*), siendo un rango aceptable para realizar la siembra del frijol (Ciat 1980).

Eliminación de Arvenses

Esta actividad se la realizó 8 días antes de la siembra, con el objetivo de despejar el terreno y hacer que el frijol no tuviera competencia por minerales, espacio y luz con arvenses presentes y así mejorar la emergencia y desarrollo vegetativo; el control se hizo con la aplicación de un herbicida no selectivo comercial (*Glifosato*®), a razón de 150 cc por bomba de 20 litros.

Desinfección de Semilla

La semilla de la variedad Bio102 se entrega en empaque de papel rotulado y ficha técnica, la semilla viene impregnada con desinfectante fungicida en polvo (*Vitabax*®), que garantiza la sanidad de la misma.

La variedad testigo tipo cargamanto, es una semilla que fue extraída de un cultivo al azar, con manejo sin especificaciones técnicas y sin selección en campo, siendo la forma tradicional en que regularmente el agricultor de la zona obtiene sus semillas para ser sembradas año por año.

Fecha de Siembra

La siembra de las dos variedades en evaluación se realizó en el 15 de agosto de 2020, mes que coincide con el inicio de la temporada de verano; una vez realizada la siembra, se hizo la aplicación de un fungicida de carácter químico, para la prevención de enfermedades radiculares que afectan los cultivos en la región, aplicando un fungicida comercial con ingrediente activo *Benomyl*® a razón de 20 gramos por cada 20 litros de agua.

Control Fitosanitario

En todo el ciclo del cultivo se realizaron 6 aplicaciones de productos sintéticos para el control de plagas y enfermedades de mayor incidencia, El Valle de Sibundoy se caracteriza por ser una zona bastante húmeda, con humedad relativa superior al 80%, lo que eleva la incidencia de enfermedades de impacto económico, entre las enfermedades más frecuentes en la zona e

identificadas encontramos: antracnosis (*Colletotrychum lindemuthianum*), mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*) Botrytis (*Botrytis cinerea*), phytium (*phytium sp*), fusarium (*fusarium solani*), Rhizoctonia (*rizoectonia solani*). Entre las plagas de mayor importancia en el cultivo de frijol de la zona encontramos: gusano cogollero (*Epinotia eporema*), minador de la hoja (*liriomyza sp*), trips (*trips palmi*). La tabla 7, indica los ingredientes activos utilizados y su objetivo biológico.

Tabla 7

Fitocontroladores utilizados en la investigación

Producto comercial	Ingrediente activo	Característica	Blanco biológico	Dosis/20 litros de agua	Categoría toxicológica
Bioplant	Aril polietoxietanol 170 g/L Poliglucósido etoxilado 107 g/L Aditivos reguladores de pH 126 g/L Antiespumante 6 g/L	Coadyuvante	Mejorador de mezclas	20 cc	III – LP
Carbencal	Carbendazim	Fungicida	Botrytis (<i>Botrytis cinerea</i>)	15	III – LP
Difecol	Difenoconazole	Fungicida	Antracnosis (<i>Glomerella lindemuthianum</i> Shear)	10	III – LP
Fungitox 720 SC	Clorotalonil	Fungicida	Complejo fungoso	20	III – LP
Profenocron	Profenofos	Insecticida	Minador de la hoja (<i>Liriomyza quadrata</i>)	10	II – MP
Clorpiricol 4 EC	Clorpirifos	Insecticida	Minador de la hoja (<i>Liriomyza quadrata</i>) Mosca Blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	10 cc/2° lt	II – MP

Nota. Datos tomados de la ficha técnica de cada producto comercial.

Sistema de Tutorado

Se utilizó la caña de maíz como tutor ya que en el Valle de Sibundoy se siembra el maíz con 6 meses de anticipación, principalmente en el mes de enero, así la caña estará disponible desde el mes de julio; se cosecha la mazorca tierna (choclo), realizando un corte a una altura mínima de 2 metros, quedando disponible la caña para que se pueda sembrar el frijol y proseguir

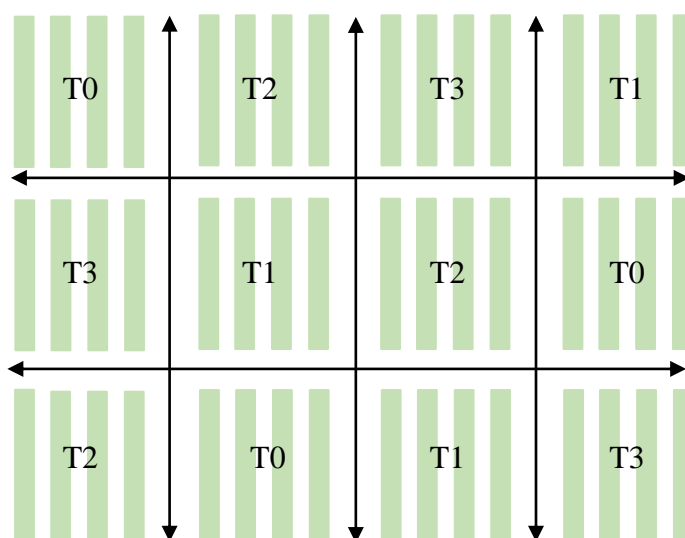
con el ciclo del cultivo, siendo el mes de agosto el más indicado para la siembra de frijol, ya que es cuando empieza la disminución de las precipitaciones.

Diseño Experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con 4 bloques, 4 tratamientos y 3 repeticiones como indica la figura 14.

Figura 14

Distribución de Parcelas



Nota. Diseño aleatorio de parcelas de investigación. Elaboración propia

Establecimiento Unidad Experimental

Se estableció la unidad de investigación en un terreno de 450 m², distribuido en 12 parcelas, cada una con 32 sitios de siembra o 96 plantas (tres semillas por sitio), sembradas en surcos de 12 metros de largo con una separación cada 3 metros, la distancia de siembra entre sitios fue de 40 centímetros entre plantas, del mismo modo se utilizó la variedad *cargamanto rojo* como testigo. Con esta distancia de siembra en condiciones normales, se obtendría un total

de 20750 sitios de siembra con tres semillas por sitio, para un total de 62250 plantas por hectárea.

Figura 15

Unidad Experimental



Nota. Frijol de unidad experimental – San Pedro Putumayo. Autoría propia.

Tratamientos

Se diseñaron 3 tratamientos para la evaluación del frijol biofortificado Bio102 con 2 productos comerciales de nanofertilizante y un tratamiento con fertilización convencional, aplicado a la variedad testigo, como se indica la tabla 8.

Tabla 8

Diseño de Tratamientos Sometidos a Prueba

Tratamientos	Tipo y Nivel de Fertilización	Variedad Utilizada
TO	Fertilización convencional	Cargamanto Tto. Control
T1	Nanofertilizante 100%	Biofortificado Bio102
T2	Nanofertilizante 125%	Biofortificado Bio102
T3	Nanofertilizante - 50%	Biofortificado Bio102

Nota. Programación de niveles de fertilización. Elaboración propia.

El diseño y aplicación de los niveles de nanofertilizantes, se basó a partir de un protocolo comercial diseñado para cultivos de leguminosas establecido por la empresa importadora del

producto (Improagro), en la tabla 9 se indica las dosis utilizadas en las parcelas demostrativas, donde se realizaron 3 aplicaciones en 3 estados fenológicos y en 3 niveles diferentes, la primera aplicación se realizó a los 15 días después de la siembra vía foliar y edáfica, la segunda aplicación se hizo a los 45 dds, vía foliar y edáfica y la tercera aplicación se hizo a los 90 días dds, vía foliar.

Tabla 9

Niveles de nanofertilización evaluados en frijol Bio102

Niveles de Nanofertilizante Evaluados					
Estado fenológico	Fórmula de Nanofertilizante	Dosis aplicada			Tipo de aplicación
		T1*	T2**	T3***	
Primera aplicación Periodo vegetativo 15 días dds.	Triple 20	23 g	29 g	11,5 g	Foliar Drench
	Micrón - n	4,60 g	5,76 g	2,30 g	
Segunda aplicación Floración 45 días dds.	Triple 20	13,82 g	17,28 g	6,90 g	Foliar Drench
	Micrón - n	4,60 g	5,76 g	2,30 g	
Tercera aplicación Formación y engrose de vainas 90 días dds.	Triple 20	13,82 g	17,28 g	6,90 g	Foliar
	Micrón - n	4,60 g	5,76 g	2,30 g	
Total gramos		64,44	80,84	32,2	

* $(Triple\ 20 - 11\ kg\ ha^{-1}) + (Micrón.n - 3\ kg\ ha^{-1})$

** $(Triple\ 20 - 13,75\ kg\ ha^{-1}) + (Micrón.n - 3,75\ kg\ ha^{-1})$

*** $(Triple\ 20 - 5,5\ kg\ ha^{-1}) + (Micrón.n - 1,5\ kg\ ha^{-1})$

Elaboración propia

El protocolo de nanofertilización recomendado por el importador, se basó en el requerimiento nutricional de una hectárea de cultivo, para efectos de prueba, se programaron las dosis con respecto a el área y número de plantas de las parcelas de investigación y sus tratamientos, para ello se midió con una balanza electrónica la cantidad exacta de producto, para aplicar a cada tratamiento, como se observa en la figura 16.

Figura 16

Pesaje de Nanofertilizante



Nota. Balanza electrónica de pesaje de dosis a usar. Elaboración propia.

Para el tratamiento control, se tomó una combinación de fertilizantes convencionales que se utilizan habitualmente en la zona, son mezclas que se recomiendan de manera comercial e improvisada, ya que la mayoría de los agricultores de la región no realizan análisis de suelo antes del ciclo de siembra, en la tabla 10 se observa la mezcla química que se utilizó en esta investigación.

Tabla 10

Tipo y Dosis de Fertilizante Convencional en el Tratamiento Control

Fertilización Convencional				
Estado fenológico	Fertilizante utilizado	Componente Principal	Gramos	Tipo de aplicación
<i>Primera aplicación</i> Vegetativo 15 días dds	DAP 18-46-0	Fosfato diamónico	1152	Radicular
	10 - 30 - 10	N. P. K	1152	
<i>Segunda aplicación</i> Prefloración 45 días dds.	Nitrabor	N. Ca. B	230,5	Radicular
	Magnesil	Mg. Si.	230,5	
	Elementos <	Elementos <	230,5	
	Total		2995,5	

Nota. Mezcla de fertilizantes convencionales. Elaboración propia

Influencia del Clima Frente al Cultivo

La introducción de una nueva semilla o variedad a la zona de estudio, dio a conocer que los efectos climáticos influyeron notablemente sobre el desarrollo del cultivo, en la tabla 11 se observa las diferentes fluctuaciones climáticas sucedidas en el ciclo de investigación, entre los cambios más importantes encontramos la temperatura, precipitación y evaporación, sucedida principalmente en los meses de octubre y noviembre, generando déficit hídrico que probablemente influyó en el sostenimiento de la flor y por ende la producción final.

Tabla 11

Datos Climatológicos Ciclo de Cultivo Año 2020

Variable Climatológica	Mes					
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Temperatura (C°)	19,9	19,74	20,61	22,64	21,46	20,84
Humedad relativa (%)	86,3	86,7	85,4	83,8	85,4	84,9
Evaporación (mm)	1,7	1,8	2	2,7	2,3	1,8
Precipitación (mm)	103,7	143,9	77,7	79,6	123,1	140,3
Velocidad del viento kg/h	9,36	7,7	5,8	5,0	5,0	5,4
Brillo solar	1,45	1,50	2,50	3,85	3,18	1,80

Nota. Datos extraídos de www.ideam.gov.co

Variables Evaluadas

Se tomaron en cuenta nueve (9) variables de importancia en la investigación, como lo indica la tabla 12, estas variables se fueron registrando durante el periodo productivo de las dos variedades evaluadas, resultado de la aplicación de los distintos métodos de fertilización y adaptación de la semilla biofortificada la cual se comparó con la variedad regional cargamanto rojo.

Tabla 12*Variables de Respuesta*

Variable	Forma De Medición
Días a emergencia	Se registró desde la siembra efectiva hasta el día en que el 50% de las semillas sembradas emitan el cotiledón a nivel de suelo. *
Altura de la planta	Se seleccionó y se midió 10 plantas al azar por cada tratamiento, se utilizó cinta métrica y se mide desde el nivel de la base de la planta hasta la yema apical, se tomó registro a los 45 días después de la siembra efectiva.
Días a floración	Se seleccionó 10 plantas al azar por cada tratamiento, se tomó registro cuando el 50% de las plantas tuvieron la primera flor abierta, con observación a partir del día 45.*
Número de flores por planta	Se seleccionó 10 plantas al azar por cada tratamiento, con un solo conteo a flores completamente abiertas, se tomó registro a los 70 días después de siembra efectiva.
Número de vainas	Se seleccionó 10 plantas al azar por cada tratamiento, realizando el conteo in situ antes de cosecha.
Número de semillas por vaina	Se seleccionó 10 plantas al azar por cada tratamiento, se cosecha, se desgrana y se cuenta el número de semillas por cada vaina.
Días a madurez fisiológica	Se tomó el dato desde que hubo cambio de color en más del 50% de las plantas y vainas, (del verde al amarillo uniforme o pigmentado), de tal modo que este a puto de cosecha.*
Peso de 100 semillas	Se tomó 100 semillas por cada tratamiento, se pesa en balanza electrónica y se registra en sabana de datos para análisis estadístico.
Rendimiento kg ha^{-1}	Se realizó la cosecha de cada tratamiento, se desgranó mediante trillado manual y se procede a pesar, tomando en cuenta 62250 plantas por hectárea

*Métodos vasados en Fernández, F. et al. (1986).

Análisis Estadístico

Se utilizó el software infostat statistical package versión 2018. Los resultados se sometieron a análisis estadístico de varianza (ANDEVA), a cada uno de los tratamientos, se utilizó la prueba de comparación por *Duncan* para conocer el mejor promedio entre tratamientos.

El p-valor (probabilidad) para los tratamientos, indica que; para que exista significancia, este valor debe ser menor al 0.05 y así poder rechazar la hipótesis nula, contrario a esto, se infiere que no habría diferencias significativas las variables evaluadas.

Discusión de Resultados

En la tabla 13 se consolidan los resultados obtenidos durante la investigación, donde se hizo observación y toma de registros en tiempos adecuados concernientes a la evolución de las variedades bajo los diferentes tipos de fertilización.

Tabla 13

Resultados de Evaluación

Tratamiento	*Días a emergencia	*Altura	*Días a floración	*No. de flores/planta	No. de vainas /tratamiento	No. de semillas /vaina	*Días a madurez fisiológica	Rendimiento Kgg/ha	Peso/100 semillas/grs
T0	12,33	1,60	75,00	15	358,00	5,0	165,00	1047,33	87,47
T1	11,00	1,43	67,67	91	266,33	4,9	150,33	778,67	88,27
T2	10,67	1,43	67,67	80,33	269,00	5,1	150,00	850,00	89,67
T3	11,33	1,38	67,33	89	242,33	4,9	150,00	687,67	91,40

Nota. Datos tomados en el proceso de investigación. Autoría propia

* Datos con diferencias significativas.

A continuación, se describen los resultados obtenidos en las variables evaluadas.

Variable Días a Emergencia

Figura 17

Emergencia del Frijol



Nota. Emergencia de frijol biofortificado Bio102. Autoría propia.

De acuerdo al análisis estadístico, se observa que, si hubo diferencias significativas entre las variedades, evidenciando que los tratamientos T1, T2, y T3 de la variedad Bio102, tuvieron mayor vigor germinativo con respecto al testigo (tabla 14), este resultado obedece a que Bio102 es un material producto de investigación, el testigo no cuenta con un antecedente que acredite su calidad, por lo tanto se infiere que la semilla mejorada demuestra tener características genéticas deseables para esta etapa, lo que se podría traducir en una planta de mejores características en su desarrollo.

Tabla 14

Andeva Días a Emergencia

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Días a emergencia	12	0,67	0,40	6,06		
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		5,83	5	1,17	2,47	0,1508
Tratamiento		4,67	3	1,56	3,29	0,0997
Repetición		1,17	2	0,58	1,24	0,3554
Error		2,83	6	0,47		
Total		8,67	11			

Test: Duncan Alfa = 0,05

Error: 0,4722 gl: 6

Tratamiento	Medidas	n	E. E.		
T2	10,67	3	0,40	A	
T1	11,00	3	0,40	A	B
T3	11,33	3	0,40	A	B
T0	12,33	3	0,40		B

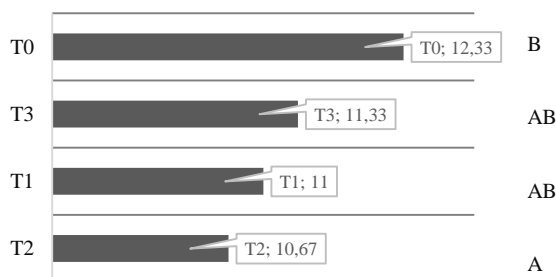
Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

Fernández, F. et al. (1986) al respecto menciona que la fase de germinación (V0) y emergencia (V1), como fases de inicio vegetativo del cultivo de frijol, se ven afectadas por diferentes factores que condicionan su viabilidad; entre ellos, el hábito de crecimiento (Tipo I, II, III, y IV), El clima, (temperatura, fotoperiodo, etc.), El suelo (fertilidad, condiciones físicas, etc.), El genotipo (aun dentro del mismo hábito de crecimiento).

Ciat (2019) señaló que en la variedad biofortificada Bio102, completa la fase de emergencia en 7 días. En el valle de Sibundoy y según análisis estadístico, la variedad biofortificada completó esta etapa entre los días 10 (T2) y 11 (T1), (T3) respectivamente, como lo indica la figura 18, anotando que la siembra se realizó al mismo tiempo, a la misma profundidad para las dos variedades.

Figura 18

Grafica Días a Emergencia



Nota. La variedad biofortificada uso menos días a emergencia. datos adaptados de infostat.

La variedad regional *Cargamanto rojo*, mostró emergencia a los 12,33 días, (T0), evidenciando una pequeña diferencia con respecto a Bio102, que podría estar condicionada por factores de calidad del material genético, indicando que la variedad mejorada tuvo mayor precocidad.

Variable Altura de la Planta

Se efectuó el registró de altura a los 45 días después de la siembra, donde la planta de frijol aun prosigue su crecimiento y se prepara a floración. Estadísticamente la variable presentó diferencias significativas, (tabla 15) donde el tratamiento control (T0) obtuvo mayor altura, que por su aclimatación pudo desarrollarse mejor en el ambiente de siembra (Fernández, F., et, al. 1986). Las diferencias estuvieron dadas entre T0 con una media de 1,60 cm de altura, sometido a fertilización convencional y T3 con una media de 1,38 cm de altura, el cual tuvo una reducción

del 50% en la dosis programada de nanofertilizantes, demostrando que se deben ajustar las dosis para obtener mejor desarrollo en esta variedad, al respecto, Lira, R., et al. (2018), consideran que se debe tener en cuenta cuales son las dosis óptimas y frecuencia de aplicación en los cultivos ya que diversas NPs, pueden afectar su rendimiento o provocar fitotoxicidad. También se tuvo en cuenta que la variedad Bio102 es un genotipo que no estuvo aclimatada en la región, lo que pudo causar deficiencias en su desarrollo.

Tabla 15

Andeva Atura de la Planta de Frijol

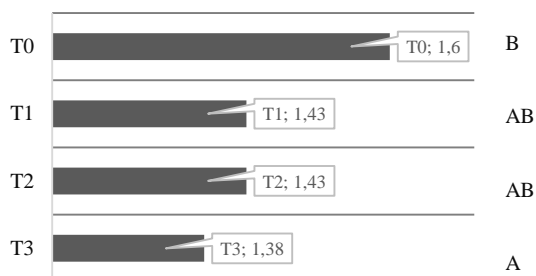
Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Altura	12	0,69	0,43	7,29		
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		0,15	5	0,03	2,67	0,1316
Tratamiento		0,09	3	0,03	2,59	0,1483
Repetición		0,06	2	0,03	2,80	0,1385
Error		0,07	6	0,01		
Total		0,22	11			
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 0,0113 gl: 6						
Tratamiento		Medidas	n	E. E.		
T3		1,38	3	0,06	A	
T2		1,43	3	0,06	A	B
T1		1,43	3	0,06	A	B
T0		1,60	3	0,06		B

Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

Los tratamientos con la variedad biofortificada mas nanofertilización (T1 - T2 - T3), demostraron alturas cercanas entre sí, más, sin embargo, esta variedad, no logró superar al testigo, indicado en la figura 19. Transcurridos 70 días dds, por su hábito de crecimiento de tipo IV, las dos variedades alcanzaron altura similar.

Figura 19

Grafica Atura de la Planta de Frijol



Nota. T0 obtuvo mayor altura.

Variable Días A Floración

Los días a floración iniciaron cuando brotaron los primeros botones florales, los datos se registraron cuando el 50% de las plantas seleccionadas del cultivo tuvieron la primera flor abierta o más. (Fernández, F., et, al. 1986). La etapa de floración, en plantas de frijol tipo IV, de crecimiento indeterminado trepador, es significativamente más larga que la de otros hábitos, de tal manera que en la planta se presentan a un mismo tiempo las etapas de floración, formación, llenado y maduración de vainas. (Ventura, R. et al. 2018).

Figura 20

Floración Frijol Biofortificado Bio102



Nota. Frijol en floración. Autoría propia

El andeva (tabla 16), indicó que se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, la diferencia está dada por los días en que tomo la variedad testigo T0 en llegar a fase de floración (R6) correspondiente a 75 días con fertilización convencional, a diferencia de

T1, T2 y T3 correspondiente a la variedad biofortificada que en promedio tomo 67 días y que se fertilizaron con nanofertilizante NPK y microelementos, evidenciando mayor precocidad.

Tabla 16

Andeva Días a Floración

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
Días a floración	12	0,96	0,93		1,29	
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F. V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		126,08	5	25,22	31,30	0,0003
Tratamiento		124,92	3	41,64	51,69	0,0001
Repetición		1,17	2	0,58	0,72	0,5227
Error		4,83	6	0,81		
Total		130,92	11			
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 0,8056 gl: 6						
Tratamiento		Medidas	n	E. E.		
T3		67,33	3	0,52	A	
T2		67,67	3	0,52	A	
T1		67,67	3	0,52	A	
T0		75,00	3	0,52		B

Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

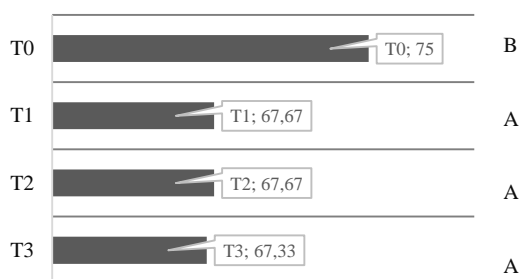
Harvestplus (2019), señaló que la variedad biofortificada Bio102, inicia el periodo de floración a partir de los 45 días después de siembra, más, sin embargo, los resultados de esta investigación, mostraron que la variedad Bio102, necesitó 67 días en llegar a la fase de floración, dato que puede estar relacionado con factores climáticos y de adaptabilidad.

Probablemente la aplicación de nanofertilizante influyo en la floración, disminuyendo el número de días en comparación con el tratamiento control, Al respecto, Kumar, A. et al. (2018), mencionan en su investigación sobre el uso de nanopartículas de carbono y su influencia en la fotomorfogénesis de la floración en *Arabidopsis thaliana*, dando a conocer que el uso de nanopartículas de carbono indujo la floración temprana tanto en días largos como en días cortos dependientemente a la dosis usada.

Por otra parte, el tratamiento control tardo más tiempo en llegar a floración (fig.21), probablemente este resultado está influenciado por la calidad genética desconocida de esta semilla, además, puede tener un efecto negativo el aplicar fertilizante sin tener en cuenta parámetros técnicos de requerimiento nutricional del cultivo.

Figura 21

Grafica Días a Floración



Nota. T0 necesito mayor número de días a floración.

Variable Número de Flores por Planta

Se tomó el registro a los 70 días después de siembra, el *andeva* mostró diferencias significativas para esta variable, donde los tratamientos aplicados a la variedad biofortificada presentaron el mayor promedio de flores por planta (tabla 17), demostrando tener mayor vigor con respecto al testigo. Las medias para número de flores para Bio102 fueron; T1 (91,33), T2 (80,33), T3 (89), datos que indican que la variedad mejorada muestra superioridad genotípica en la fase de floración, además, se pudo evidenciar la eficiencia de los nanofertilizantes con formulación NPK y microelementos como son los productos, triple 20® y Micrón-n®, que con dosis de $11 \text{ kg ha}^{-1} + 3 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, se logró obtener el mayor promedio en número de flores entre la misma variedad en el T1.

Caso contrario mostró el tratamiento control, que obtuvo una media de 15 flores por planta, resultado que se obtuvo, probablemente por la baja eficiencia del fertilizante

convencional, el cual se aplicó sin tener en cuenta un análisis químico de suelo, pudiendo incurrir en un desbalance nutricional por el suministro en exceso o deficiente de minerales esenciales, afectando el adecuado desarrollo fenológico de las plantas. (Novoa, M. et al. 2018).

Tabla 17

Andeva Número de Flores por Planta

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
Numero de flores	12	0,85	0,72		29,48	
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		13814,25	5	2762,85	6,69	0,0192
Tratamiento		11829,58	3	3943,19	9,55	0,0106
Repetición		1984,67	2	992,33	2,40	0,1711
Error		2476,67	6	412,78		
Total		16290,92	11			
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 412,7778 gl: 6						
Tratamiento		Medidas	n	E. E.		
T0		15,00	3	11,73	A	
T2		80,33	3	11,73		B
T3		89,00	3	11,73		B
T1		91,33	3	11,73		B

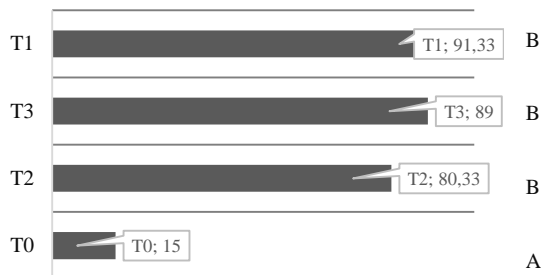
Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

En esta investigación, se observó que Bio102 presentó un alto número de flores en comparación a la variedad regional, superando significativamente al testigo (figura 22).

Lira, R. et al. (2018), afirman que los nanofertilizantes que contienen Fe, P y K, incrementan la actividad fisiológica y metabólica celular, con efectos positivos en la floración, mejorando de manera sustentable el rendimiento de cultivos agrícolas.

Figura 22

Grafica Número de Flores por Planta



Nota. T0 presento menor número de flores.

Variable Número de Vainas por Tratamiento

Figura 23

Colecta de Vainas por Cada Tratamiento



Nota. Frijol colectado en cada tratamiento. Autoría propia

El análisis de varianza indica que no se presentaron diferencias significativas, la prueba de comparación de medias para esta variable, muestra que los tratamientos se comportaron estadísticamente igual, más sin embargo, la variedad Bio102, obtuvo los promedios más bajos en comparación con la variedad regional (tabla 18), posiblemente existió un efecto negativo con respecto a la tolerancia a estrés hídrico, causando el aborto de flores y vainas debido a que en los

meses de octubre y noviembre de 2020 se presentó escasas de lluvias y altas temperaturas, elevando los niveles de evaporación de agua. Al respecto, Reyes, J. et al. (2014), afirman que, el frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor, principalmente en las etapas fenológicas reproductiva disminuyendo el rendimiento, disminución de grano y número de vainas por planta.

Tabla 18

Andeva Vainas por Tratamiento

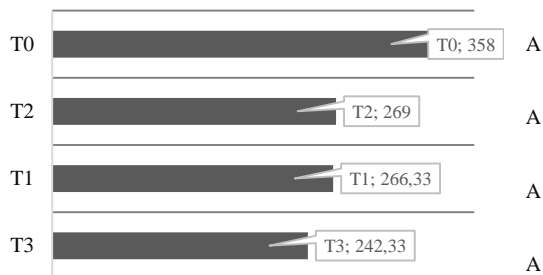
Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
Vainas/tratamiento	12	0,49	0,06		23,90	
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		26495,75	5	5299,15	1,15	0,4271
Tratamiento		23247,58	3	7749,19	1,68	0,2686
Repetición		3248,17	2	1624,08	0,35	0,7164
Error		27623,17	6	4603,86		
Total		54118,92	11			
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 4603,8611 gl: 6						
Tratamiento		Medidas	n	E. E.		
T3		242,33	3	39,17	A	
T1		266,33	3	39,17	A	
T2		269,00	3	39,17	A	
T0		358,00	3	39,17	A	

Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

Con respecto a la variedad biofortificada, el T2, con dosis de $13,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de Triple 20 + $3,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de Micrón.n, fue el tratamiento que mejor se comportó, pero no logró superar al testigo. La variedad *cargamanto*, genotipo con adaptación regional (T0), presentó la mayor media en número de vainas, (figura 24), que, por su aclimatación, toleró mejor los efectos ambientales.

Figura 24

Grafica Vainas por Tratamiento



Nota. El T0 con semilla regional obtuvo mayor número de vainas.

Variable Número de Semillas por Vainas

Figura 25

Vainas de Frijol Biofortificado con su Respectiva Semilla



Nota. Numero de semillas por vainas. Autoría propia.

De acuerdo con el análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas, la comparación de medias para esta variable, indican que los resultados se muestran estadísticamente similares bajo la prueba de *Duncan*, como se observa en la tabla 19, más sin embargo, el T2, con semilla biofortificada, logro superar numéricamente al genotipo regional, con una diferencia mínima, el cual obtuvo una media de 5,10 semillas por vaina, a diferencia de tratamiento control que demostró una media de 5,0 semillas por vaina.

Tabla 19*Andeva Semillas por Vainas*

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
Semillas por vaina	12	0,91	0,84		2,66	
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		1,08	5	0,22	12,31	0,0041
Tratamiento		0,08	3	0,03	1,57	0,2914
Repetición		1,00	2	0,50	28,43	0,0009
Error		0,11	6	0,02		
Total		1,18	11			
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 0,0175 gl: 6						
Tratamiento	Medidas	n	E. E.			
T3	4,90	3	0,08	A		
T1	4,90	3	0,08	A		
T0	5,00	3	0,08	A		
T2	5,10	3	0,08	A		

Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

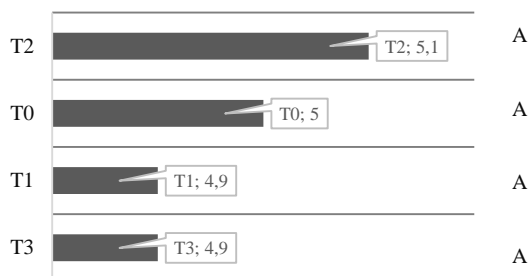
Harvestplus (2019), indica que la variedad Bio102, mediante 8 evaluaciones realizadas en diferentes regiones de Colombia, obtuvo en promedio 5 semillas por vaina, dato semejante al obtenido en esta investigación.

Cabe mencionar, que se cosecharon vainas con 4 semillas hasta 7 semillas, es decir hubo cierta desuniformidad en el tamaño y número de semillas por vaina. Al respecto, Madriz, I., & Luciani, M. (2004), mencionan que existe influencia de la época de siembra e incidencia climática favorable para que los cultivares mostrasen su potencial de producción de semillas y rendimientos, es decir, se demuestra una clara interacción entre genotipo y ambiente, por consiguiente, para esta variable, los dos genotipos bajo las mismas condiciones ambientales y con los respectivos niveles de fertilizante, tuvieron un resultado aproximado.

En la figura 26, se observa los datos encontrados para número de semillas por vaina.

Figura 26

Grafica Semillas por Vaina



Nota. Variable sin diferencias significativas, con promedio de 5 semillas por vaina.

Variable Días a Madurez Fisiológica

Vargas, B. (2013), afirma que el ciclo del cultivo de frijol, depende de la constitución genética y por influencias de la variabilidad climática, del mismo modo, Arias, J. et al. 2007, afirma que, se debe cosechar el frijol, cuando más del 75% de las vainas están secas, o cuando los granos conserven humedad, no mayor al 20%.

Se observó en el análisis estadístico que, si hay diferencias significativas con respecto a esta variable, demostrando que la variedad biofortificada Bio102 necesito de 150 días para llegar a esta fase (tabla 20), los datos obtenidos en esta investigación, coinciden con los datos obtenidos por Harvesplus (2019), entidad que desarrolló la semilla Bio102, y señala que la variedad biofortificada puede alcanzar la madures fisiológica a los 150 días dds.

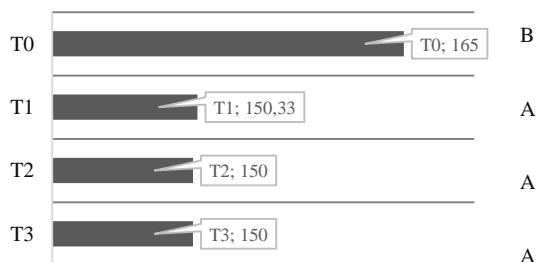
Estas diferencias determinan precocidad en la variedad mejorada, siendo un indicativo que favorece el objetivo para la cual se desarrolló, como mejorador de la alimentación familiar, acortando los tiempos de cosecha.

Tabla 20*Andeva Días a Madurez Fisiológica*

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
Días/M. fisiológica	12	0,98	0,97	0,82		
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p – valor	
Modelo	500,17	5	100,03	63,18	<0,0001	
Tratamiento	499,00	3	166,33	105,05	<0,0001	
Repetición	1,17	2	0,58	0,37	0,7065	
Error	9,50	6	1,58			
Total	509,67	11				
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 1,5833 gl: 6						
Tratamiento	Medidas	n	E. E.			
T3	150,00	3	0,73	A		
T2	150,00	3	0,73	A		
T1	150,33	3	0,73	A		
T0	165,00	3	0,73	B		

Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
Datos adaptados de infostat.

El tratamiento control (T0), que correspondió a la variedad regional, necesitó 165 días para completar su ciclo, coincidiendo con Fenalce (2021), donde menciona que esta variedad normalmente necesita entre 160 a 170 días hasta la cosecha. Los tratamientos con la variedad biofortificada, (T1, T2, T3) conservaron igual número de días para llegar a madurez fisiológica, superando significativamente a la variedad regional (fig. 27).

Figura 27*Grafica Días a Madurez Fisiológica*

Nota. Bio102 presenta mayor precocidad con respecto a frijol cargamanto.

Rendimiento (Kg ha⁻¹)

Figura 28

Sistema de Pesaje del frijol cosechado



A) Balanza en cero

B) Peso de frijol cargamanto

C) Peso de frijol biofortificado

El andeva indica que no hay diferencias significativas en esta variable, mas, sin embargo, la variedad regional (T0), obtuvo la mayor media en rendimiento, con 1.047 Kg ha⁻¹, como la indica la tabla 21. Fenalce (2011) menciona que el frijol cargamanto tiene rangos productivos que van de 1.000 a 1.400 kilogramos de grano seco por hectárea registrados en diferentes regiones del país.

La variedad biofortificada obtuvo un rendimiento de 850 kg ha⁻¹, resultado obtenido con el T2, con dosis de nanofertilizante a razón de 13,75 kg ha⁻¹ de Triple 20 + 3,75 kg ha⁻¹ de Micrón.n, indicando que la variedad biofortificada no superó al testigo (figura 24). Tofiño et al. (2016), encontraron resultados similares, con rendimientos desde 850 kg ha⁻¹, hasta 1400 kg ha⁻¹ con semillas de frijol biofortificado.

Se debe tener en cuenta que la semilla del testigo, fue seleccionada sin condiciones técnicas, semejándose a la práctica que se realizada tradicionalmente en la región, donde el agricultor prefiere una semilla con buen aspecto, pero sin tener en cuenta su procedencia.

Tabla 21*Andeva Rendimiento (Kg ha⁻¹)*

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
Rendimiento/Kg	12	0,54	0,16		22,57	
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p – valor	
Modelo	253575,08	5	50715,02	1,41	0,3413	
Tratamiento	210152,92	3	70050,97	1,94	0,2239	
Repetición	43422,17	2	21711,08	0,60	0,5775	
Error	216193,83	6	36032,31			
Total	469768	11				

Test: Duncan Alfa = 0,05

Error: 36032,3056 gl: 6

Tratamiento	Medidas	n	E. E.	
T3	687,67	3	109,59	A
T1	778,67	3	109,59	A
T2	850,00	3	109,59	A
T0	1047,33	3	109,59	A

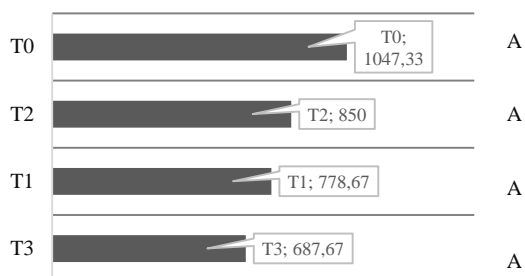
Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).
 Datos adaptados de infostat.

Ciat (2019) menciona que Bio102 alcanzó rendimientos de 1,9 ton ha⁻¹ en sus investigaciones, en áreas agroecológicamente ideales, al analizar con los resultados obtenidos en esta investigación (figura 29), al respecto Salcedo, M. (2008), argumenta que el déficit hídrico ocasiona el aborto de inflorescencias y vainas, afectando en el rendimiento.

Bio102, al ser un genotipo no aclimatado a la zona de investigación, pudo sufrir afectaciones por las condiciones climáticas no favorables presentadas en los meses de octubre y noviembre, como fue los escasos de lluvias, alta temperatura y evaporación, por lo que se asume que estas variables climáticas pudieron influir directamente sobre los procesos fisiológicos y reproductivos que se vieron representados en una cosecha relativamente baja, aunque la variedad biofortificada es un material vegetal desarrollado esencialmente para combatir la desnutrición de las personas y menos direccionado para el incremento de las cosechas debido a que no todas las zonas del país pueden ser favorables para el normal desarrollo de esta variedad.

Figura 29

Grafica Rendimiento (Kg ha⁻¹)



Nota. Variedad regional cargamanto presento mayor rendimiento.

Variable Peso de 100 Semillas

Los resultados evidenciaron que no hay diferencias significativas entre tratamientos, indicando que las medias conservan valores aproximados, más, sin embargo, la variedad Bio102, en los 3 tratamientos evaluados, demostró obtener mayor peso que la variedad regional, con un máximo de 91,40 gramos en el T3, aunque estadísticamente no hubo significancia (tabla 22).

Tabla 22

Andeva Peso de 100 Semillas

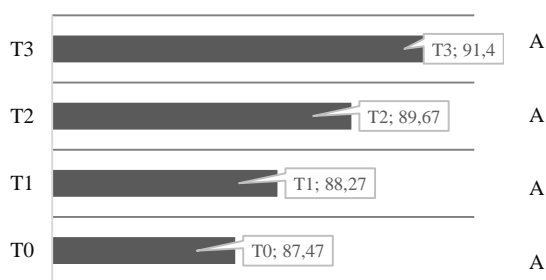
Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Peso de 100 semillas	12	0,47	0,03	4,07		
Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.		SC	gl	CM	F	p – valor
Modelo		70,72	5	14,14	1,07	0,4583
Tratamiento		26,80	3	8,93	0,68	0,5970
Repetición		43,92	2	21,96	1,67	0,2659
Error		79,12	6	13,19		
Total		149,84	11			
Test: Duncan Alfa = 0,05						
Error: 13,1867 gl: 6						
Tratamiento		Medidas	n	E. E.		
T0		87,47	3	2,10	A	
T1		88,27	3	2,10	A	
T2		89,67	3	2,10	A	
T3		91,40	3	2,10	A	

Nota. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Datos adaptados de infostat.

La variedad Bio102 obtuvo mayor peso en comparación al obtenido por el Ciat (2019) en sus campos de investigación, donde obtuvieron un peso promedio de 62,2 gramos de 100 semillas, en esta investigación se lograron los siguientes pesos (fugura 30), 88,27 gramos (T1), 89,67 (T2), y 91,40 (T3), demostrando que la aplicación de nanopartículas de NPK y microelementos, presentan alta eficiencia en términos de ganancia de peso, al respecto, Drostkar, E. et al. (2016), encontró en una investigación, que el rendimiento y peso de 100 semillas de garbanzo, sometido a nanofertilización, tuvo efectos significativos con la aplicación de NPK y Fe + Zn, con incremento en el rendimiento entre un 23% a 34%. En esta investigación, los respectivos incrementos fueron del 42% al 47% con respecto a el peso obtenido por el Ciat.

Figura 30

Grafica Peso de 100 Semillas



Nota. T3 obtuvo mayor ganancia de peso en 100 semillas.

Gestión del Conocimiento

Se llevó a cabo la transferencia de conocimiento adquirido durante la ejecución de la investigación y los resultados obtenidos en la misma. Se seleccionó a siete (7) cultivadores de frijol voluble representativos en la vereda Alto San Pedro en el Valle de Sibundoy, lugar donde se realizó la investigación. Para la entrega de la información, se optó por realizar una visita de campo a cada agricultor, con el objetivo de entregar la información de manera personalizada y detallada, mediante un dialogo explicativo, al mismo tiempo que se optó por evitar riesgos por pandemia *covid 19*. En la socialización del proyecto, se dio a conocer la metodología aplicada, los resultados obtenidos y recomendaciones generales. Los participantes se relacionan en la siguiente tabla (23).

Tabla 23

Lista de agricultores capacitados

No.	Nombre y Apellido	Cedula	Teléfono	Vereda
1	Francisco Zamora	5.270.659	3504034662	Alto san pedro
2	Orbes Arango	5.348.985	3209749923	Alto san pedro
3	Fernando Arango	18.195.167	3173248279	Alto san pedro
4	Luis Carlos Arango	18.195.009	3173248279	Alto san pedro
5	David Delgado	97.472.507	3209054009	Alto san pedro
6	Rosemberg Gómez	1.124.312.341	3207756300	Alto san pedro
7	Marco A. Riascos	97.481.072	3144494702	Alto san pedro

Nota. Datos de identificación de los agricultores de la vereda Alto San Pedro

Se realizó un formato de transferencia de conocimiento recibido, donde los agricultores aportaron sus datos de reconocimiento y firman la asistencia, también se hizo un registro fotográfico, los cuales se adjunta en los anexos del documento. Cabe recordar que el objetivo general de la investigación, fue evaluar el comportamiento de la semilla biofortificada y el uso de

nanofertilizantes, por lo tanto, se dejaron las siguientes recomendaciones a los agricultores que se visitaron.

Realizar análisis de suelo cada 2 años y fertilizar de acuerdo a los resultados y recomendación del laboratorio.

Montar parcela de ensayo en cada una de las unidades productivas para la aplicación de nanofertilizantes, previo acompañamiento de un agrónomo.

Montar parcela de seguridad alimentaria con frijol biofortificado y dejar semilla de la misma para posterior siembra.

Conclusiones

El suministro de niveles de nanopartículas de NPK + microelementos, influyó positivamente el desarrollo fenológico y rendimiento para la variedad biofortificada Bio102, demostrando que este tipo de fertilizante es eficiente en el cultivo de frijol biofortificado.

El genotipo biofortificado mostro mayor precocidad a la floración (67 días dds) y mayor número de flores (91 flores) con la aplicación del T1, con dosis de *Triple 20 – 11 kg ha⁻¹ + Micrón.n – 3 kg ha⁻¹*. Así mismo, el peso de 100 semillas no tuvo significancia entre las variedades, más, sin embargo, la semilla biofortificada con el tratamiento T3, obtuvo 91,40 gramos de peso de 100 semillas, superando al peso de la semilla regional y superando al obtenido por el Ciat.

El tratamiento 2, correspondiente a *13,75 kg ha⁻¹ de Triple 20 + 3,75 kg ha⁻¹ de Micrón.n*, mostró los mejores resultados diferenciales en las variables de numero de vainas por tratamiento con un máximo de 269 vainas y un rendimiento de 850 kg ha⁻¹, teniendo en cuenta la influencia de las condiciones ambientales no favorables presentadas en la zona.

Recomendaciones

Se recomienda realizar evaluaciones con nanofertilizantes aplicados a las variedades de frijol con adaptación regional.

Gestionar parcelas ensayo en unidades productoras para que los agricultores conozcan los resultados y puedan hacer transición de fertilizantes convencionales a nanofertilizantes.

Evaluar la respuesta que tiene el frijol biofortificado sometido a fertilización convencional bajo resultados de análisis físico químico de suelo.

Continuar el proceso de aclimatación del frijol fortificado Bio102.

Referencias

- Arcos, J., y Rojas, C. (2020). *Recomendaciones para la producción de grano de frijol biofortificado en Colombia*.
http://lac.harvestplus.org/wpcontent/uploads/2020/04/manual_produccion_siembra_frijol_biofortificado.pdf
- Arias, J., Rengifo, T., y Jaramillo, M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas BPA, en el cultivo de frijol voluble*.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12691/43121_50542.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aslani, F., Bagheri, S., Muhd N., Shukor, A., Sadat, F., y Baghdadi, A. (2014). *Effects of Engineered Nanomaterials on Plants Growth: An Overview*.
https://www.researchgate.net/publication/265516097_Effects_of_Engineered_Nanomaterials_on_Plants_Growth_An_Overview
- Bejarano, J. (2020). *Muerte por desnutrición en Colombia, otro virus crónico sin aparente solución*.
- Biofortificados. (2020). *Infografía biofortificado Bio102*. https://biofortificados.com/wp-content/uploads/2020/09/folleto_frijol_bio102_colombia_rev_2020.pdf
- Biofortificados. (2020). *La biofortificación*.
- Blasco, B. (2021). *La biofortificación*. <https://aefa-agronutrientes.org/la-biofortificacion>
- Cabrera, C., y Reyes, H. (2008). *Guía técnica para el manejo de variedades de frijol*.
<http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>

- Calabi, M., Medina, J., Rumpel, C., Condrón, L., Hernández, M., Dumont, M., y De la Luz, M. (2018). *Smart Fertilizers as a Strategy for Sustainable Agriculture*.
https://www.researchgate.net/publication/321165134_Smart_Fertilizers_as_a_Strategy_for_Sustainable_Agriculture
- Cámara de comercio de Bogotá (2015), *Manual de frijol*.
<https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14313/Frijol.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro internacional de agricultura tropical - CIAT (1980). *Informe Anual del Programa de Fríjol*. http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2015/14304.pdf
- Centro internacional de agricultura tropical – CIAT (1985). *Frijol, investigación y producción*
<https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81884/morfologia7eba331e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro internacional de agricultura tropical – CIAT (1986) – Fernández, F., Gepts, P., y López, M. - *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común bajo las condiciones del Ciat en la ciudad de Palmira Valle*. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/ciat/28093.pdf
- Centro internacional de agricultura tropical – CIAT (2019). *Lanzan al mercado de Colombia primer fríjol voluble biofortificado, apto para sembrar en zona de cordillera*.
<https://blog.ciat.cgiar.org/es/lanzan-al-mercado-de-colombia-primer-frijol-voluble-biofortificado-aptopara-sembrar-en-zona-de-cordillera/>
- Climatedata. (2021). *Sibundoy Clima (Colombia)*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/putumayo/sibundoy-49635/>
- Drostkar, E., Talebi, R., y Kanouni, H. (2016). *Foliar application of Fe, Zn and NPK nano-fertilizers on seed yield and morphological traits in chickpea under rainfed condition*.

https://www.researchgate.net/publication/310846080_Foliar_application_of_Fe_Zn_and_NPK_nanofertilizers_on_seed_yield_and_morphological_traits_in_chickpea_under_rainfed_condition

Dubey, A. & Mailapalli, R. (2016). *Nanofertilisers, Nanopesticides, Nanosensors of Pest and Nanotoxicity in Agriculture*.

https://www.researchgate.net/publication/314093416_Nanofertilisers_Nanopesticides_Nanosensors_of_Pest_and_Nanotoxicity_in_Agriculture

Federación nacional de cultivadores de cereales, leguminosas y soya - FENALCE (2011). *Situación actual y perspectivas del cultivo de frijol*.

https://www.fenalce.org/archivos/Coyuntura_Frijol.pptx.pdf

Federación nacional de cultivadores de cereales, leguminosas y soya - FENALCE (2021). Frijol Cargamanto Rojo. <https://www.fenalce.co/semillas/frijol/frijol-cargamanto-rojo>

Fellet, G., Pilotto, L., Marchiol, L., y Braidot, E. (2021). *Tools for Nano-Enabled Agriculture: Fertilizers Based on Calcium Phosphate, Silicon, and Chitosan Nanostructures*.

https://www.researchgate.net/publication/352532635_Tools_for_Nano-Enabled_Agriculture_Fertilizers_Based_on_Calcium_Phosphate_Silicon_and_Chitosan_Nanostructures

Gonzales, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*.

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf

Grillo, R. y Fraceto, L. (2016). *Nanotechnology Applied to Bio-Encapsulation of*

Pesticides. https://www.researchgate.net/publication/291020150_Nanotechnology_Applied_to_Bio-Encapsulation_of_Pesticides

HarvestPlus (2019). *Fríjol voluble biofortificado, apto para sembrar en zona de cordillera.*

<https://blog.ciat.cgiar.org/es/lanzan-al-mercado-de-colombia-primer-frijol-voluble-biofortificado-apto-para-sembrar-en-zona-de-cordillera/>

Himangini, J., Somdutt, B., Piyush, C., y Mundra, S. (2019). *Future prospects of nanotechnology in agricultura.*

https://www.researchgate.net/publication/341150238_Future_prospects_of_nanotechnology_in_agriculture

<https://biofortificados.com/biofortificacion-alimentos-nutritivos/>

<https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/muerte-por-desnutricion-en-colombia-otro-virus-cronico-sin-aparente-solucion/>

Improagro (2021). *Productos nanofertilizantes.* <https://improagro.com/productos/nanofertilizantes1/>

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM (2020). *Datos hidrometeorológicos.* www.ideam.gov.co

Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2020). *Estudio de suelos del Distrito de Drenaje de Sibundoy está en su recta final.* <https://igac.gov.co/es/noticias/estudio-de-suelos-del-distrito-de-drenaje-de-sibundoy-esta-en-su-recta-final>

Kottegoda, N., Munaweera, I., Madusanka, N., y Karunaratne, V. (2011). *A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood.* *Current Science.* <http://environmentportal.in/files/wood.pdf>

Kumar, A., Singh, A., Panigrahy, M., Kumar, P., y Panigrahi, K. (2018). *Carbon nanoparticles influence photomorphogenesis and flowering time in Arabidopsis thaliana.*

- https://www.researchgate.net/publication/323755045_Carbon_nanoparticles_influence_photomorphogenesis_and_flowering_time_in_Arabidopsis_thaliana
- Lira, R., Méndez, A., De Los Santos, G., y Vera, I. (2018). *Potencial de la nanotecnología en la agricultura*. <https://www.redalyc.org/journal/416/41655593002/41655593002.pdf>
- Lira, R., Méndez, B., Vera, I., y Villarreal, G. (2018). *Agro nanotecnología una nueva herramienta para la agricultura moderna*. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3067/2219>
- Lira, R., Vera, I., & Villarreal, G. (2021). *Agro nanotecnología para sistemas modernos de producción alimentaria*. <https://www.ciqa.mx/Agronanotecnologia.aspx>
- Madriz, I., y Luciani, M. (2004). *Caracterización agronómica de 20 cultivares de frijol mungo, Vigna radiata (L.) Wilczek, en tres épocas de siembra, en Maracay, estado Aragua, Venezuela*. *Revista de la Facultad de Agronomía*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182004000100003&lng=es&tlng=es
- Márquez, C., Guillén, M., De la Cruz, E., Castañón, G., Sánchez, E., Moreno, A., Latournerie, L., y López, S. (2015). *La biofortificación de cultivos: una alternativa que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional*. https://www.researchgate.net/publication/293651973_La_biofortificacion_de_cultivos_una_alternativa_que_contribuye_a_la_seguridad_alimentaria_y_nutricional
- Miguel, C., y Perez, A. (2020). *Nanofertilizantes para cereales: situación actual y perspectivas futuras*. https://www.researchgate.net/publication/352284221_Nanofertilizantes_para_cereales_situacion_actual_y_perspectivas_futuras

Mikkelsen R. (2018). *Nanofertilizer and Nanotechnology: A quick look*.

https://www.researchgate.net/publication/327708151_Nanofertilizer_and_Nanotechnology_A_quick_look

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Frijol, indicadores septiembre de 2018*.

<https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2018-09-30%20Cifras%20Sectoriales%20Fr%C3%ADjol.pdf>

Naciones unidas - ONU (2019). *Una población en crecimiento*. <https://www.un.org/es/global-issues/population>

Novoa, M., Miranda, D., y Melgarejo, L. (2018). *Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (Persea americana, cv. Hass)*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v12n2/2011-2173-rcch-12-02-293.pdf>

Nuruzzaman, M., Mahmudur, M., Liu, y Naidu, R. (2016). *Nanoencapsulation, Nano-guard for Pesticides: A New Window for Safe Application*.

https://www.researchgate.net/publication/289489013_Nanoencapsulation_Nano-Guard_for_Pesticides_A_New_Window_for_Safe_Application

Plan medio ambiental - PMA (2016). *Humedales Valle de Sibundoy*.

https://www.corpoamazonia.gov.co/images/Publicaciones/30%202006_PMA_Humedales_Valle_Sibundoy/2006_PMA_humedales_Valle_de_sibundoy.pdf

Reyes, j., Martínez, D., Rueda, R., y Rodríguez, T. (2014). *Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones de invernadero*.

<http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200132.pdf>

Salcedo, J. (2008). *Guías para la regeneración de germoplasma: frijol común*.

https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/other_crops/Beans_SP.pdf

Tarafdar, J. (2021). *Nanofertilizers: Challenges and Prospects*.

https://www.researchgate.net/publication/349521275_Nanofertilizer_Challenges_and_Prospects

Tofiño, A., Cordero, C., Rozo, Y. y Tamayo, P. (2019). *Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39: proceso de obtención varietal y sistema productivo para el Caribe seco en Mosquera Colombia*: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia.

<http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/33/29/521-1?inline=1>

Tofiño, R., Pastrana, V., Melo, R., y Beebe, S. (2016). *Rendimiento, estabilidad fenotípica y contenido de micronutrientes de genotipos de frijol biofortificado en el Caribe seco colombiano*. <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/511/407>.

Vargas, B. (2013). *Manual del cultivo de frejol en Bolivia*.

<http://jubovar.blogspot.com/2013/01/manual-de-manejo-del-cultivo-del-frejol.html>

Ventura, R., Clara, A., Bruno, O., & Ramón, J. (2018). *Cultivo De Frijol (Phaseolus Vulgaris L.)*. http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Frijol%202019.pdf

Weatherspark (2021). *El clima promedio en Sibundoy*.

<https://es.weatherspark.com/y/21462/Clima-promedio-en-Sibundoy-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Yadollahia, K., Arzani, H., y Khoshghalb, H. (2010). *The Role of Nanotechnology in Horticultural Crops Postharvest Management*.

https://www.researchgate.net/publication/260417532_The_role_of_nanotechnology_in_horticultural_crops_postharvest_management

Yuvaraj, M., & Sevathapandian, K. (2020). *Novel slow release nanocomposite fertilizers*.

<https://www.intechopen.com/chapters/72865>

Anexos

Registro fotográfico de Agricultores Capacitados



Formato de asistencia

UNAD Universidad Nacional Abierta y a Distancia		REGISTRO DE ASISTENCIA				
NOMBRE DEL EVENTO		Socialización sobre uso de nanofertilizantes y frijol biofortificado			FECHA DEL EVENTO	8/01/2022
LUGAR		Vereda Alto San Pedro			ORGANIZADOR	HEVER JHON ROSALES
N°	DOCUMENTO DE IDENTIDAD	NOMBRE Y APELLIDO	VEREDA	OCUPACION	TELEFONO	FIRMA
1	5.270.659	Francisco Zamora	San Pedro	Agricultor	3509059662	Francisco Zamora C
2	5396953	Orlando Mayo	San Pedro	Agente de	3209999723	Orlando Mayo
3	16195.167	Fernando Arango	San Pedro	Agricultor	3173298279	Fernando Arango
4	18.195009	José Carlos Arango	San Pedro	Agricultor	3173298279	Luis P. Arango R.
5	97.472.507	David Delgado	San Pedro	Agricultor	3209059009	David Delgado
6	1.129.712.711	Rosember Gómez	San Pedro	Agricultor	370 778,300	Rosember Gómez
7	91.464012	Yorio Antonio Arango	San Pedro	Agricultor	3194999102	Yorio Antonio Arango
OBSERVACIONES						