



**EVALUACIÓN DE DOS LINEAS DE HABICHUELA (*Phaseolus vulgaris*)
TIPO VOLUBLE CON INOCULACIÓN DE BACTERIAS NITRIFICANTES EN
EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA “GRANJA LA
ESPERANZA” DEL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ.**

**Andrea Carolina Garzón Pulido
Juan Camilo Bello Gaitán**

Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Fusagasugá
2017

**EVALUACIÓN DE DOS LINEAS DE HABICHUELA (*Phaseolus vulgaris*)
TIPO VOLUBLE CON INOCULACIÓN DE BACTERIAS NITRIFICANTES EN
EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA “GRANJA LA
ESPERANZA” DEL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ.**

**Bello Gaitán Juan Camilo
Garzón Pulido Andrea Carolina**

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Agrónomo

Director:

I.A. Msc Cesar Alfonso Ariza

Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias

Fusagasugá

2017

A Dios por fortalecer e iluminar mi camino en cada paso que doy, a mis padres Miguel Garzón y Rosa Pulido por ser el motivante y pilar fundamental de todos mis logros, a mis hermanos por su cariño y paciencia, a Brian por su apoyo incondicional en este largo camino, todos son mi motor en cada nuevo reto que Dios y la vida me conceden.

Andrea Carolina Garzón

Primeramente, agradezco a Dios por darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, por estar conmigo en cada paso que doy. A mi familia por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por ser el pilar fundamental en mi educación tanto profesional como personal. Por sus palabras de aliento en momentos difíciles.

Juan Camilo Bello

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Cundinamarca, recinto que nos acogió como un segundo hogar durante cinco años de nuevos conocimientos, a la facultad de ciencias agropecuarias y a todo el equipo de docentes del programa de ingeniería agronómica, a los ingenieros Álvaro Celis Forero y Laura Rocío Fonseca quienes nos guiaron en el desarrollo de este experimento y de manera muy especial agradecemos al Ingeniero Msc. Cesar Alfonso Ariza por su apoyo fundamental y determinante en el desarrollo y culminación de este proyecto, nos sentimos muy orgullosos de culminar nuestros estudios guiados por un grupo de profesionales integrales y de una institución que nos hacen sentir orgullosos de decir somos INGENIEROS AGRÓNOMOS.

Resumen

En el centro de investigación agropecuaria “Granja La Esperanza” , adscrito a la Universidad de Cundinamarca, se realizó la evaluación agronómica de dos líneas avanzadas de habichuela (LE 140, y LE138) sometidas a diferentes tipos de fertilización nitrogenada por medio de la inoculación con la cepa CIAT 899 (*Rizhobium sp*).

Esta se desarrolló en un diseño factorial 2*3, teniendo como primer factor el genotipo (LE 140 y LE 138) y como segundo factor el tipo de fertilización nitrogenada.

Para verificar la eficacia de la inoculación, se realizaron muestreos destructivos contando el número de nódulos en la raíz por planta y comprobando viabilidad.

La línea LE 140 presento una mayor TCR y una mayor TCC, así como mayor precocidad con respecto a la LE 138. Igualmente la LE 140 presento los promedios más altos en cuanto a longitud de la vaina, peso de diez vainas y grosor de la vaina. El nivel de infestación por perforadores de vaina y el porcentaje de severidad de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) fueron más altos en la LE 138, sin embargo no se presentaron diferencias significativas entre los genotipos evaluados.

Con respecto al tipo de fertilización no se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas. Aún así, el mayor número de nódulos radicales se observó al realizar la fertilización nitrogenada por medio de la inoculación con la cepa CIAT 899 (*Rizhobium sp*).

El análisis de correlación canónica realizado a todas las variables, indicó que el porcentaje de severidad de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) y el porcentaje de infestación por perforadores de vaina impactó de manera negativa el peso seco de las plantas. La nodulación tuvo en cambio una correlación positiva para las variables de rendimiento y biomasa con una mayor acumulación de materia seca en los tejidos.

Palabras clave: Inoculación, *Rhizobium*, Líneas Promisorias, Fertilización, Fenología, Fisiología.

Abstract

Research agricultural "farm La Esperanza" Centre, attached to the University of Cundinamarca, was the agronomic evaluation of two advanced lines of bean (LE 140, and LE138) subjected to different types of nitrogen fertilization.

This is developed in a factorial design 2 * 3, having as first factor the genotype (LE 140 and you 138) and as a second factor the type of nitrogen fertilization.

Sampling destructive counting the number of root nodules per plant and checking feasibility was carried out to verify the effectiveness of the inoculation. LE 140 line presented a higher TCR and a TCC wholesale as well as largest earliness regarding him 138.

Also the LE 140 present higher averages in terms of length of the sheath, weight of ten pods and thickness of the sheath. Pod borer infestation level sp and the percentage of severity of mildew blight (*Erysiphe polygoni*) were higher in the LE 138, however there were no significant differences between the evaluated genotypes.

Regarding the type of fertilization there were significant differences in any of the evaluated variables. Still, the greatest number of nodules radical was observed when the nitrogen fertilization through inoculation with strain CIAT 899 (*Rizhobium sp*).

The canonical correlation analysis to all variables, indicated that the percentage of severity of downy blight (*Erysiphe polygoni*) and the percentage of infestation for pod borer impacted negatively the dry weight of the plants. Nodulation was instead a positive correlation to performance variables and dry biomass with a greater accumulation of matter in the tissues.

Key words: Inoculation, *Rhizobium*, Promising Lines, Fertilization, Phenology, Physiology

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XVI
Lista de tablas	XVIII
Lista de abreviaturas	XIX
Introducción.....	1
1. Marco Referencial	3
1.1 Generalidades de la Habichuela	3
1.1.1 Origen	3
1.1.2 Descripción Taxonómica	3
1.1.3 Descripción Morfológica	3
1.2 Cultivo de Habichuela	4
1.2.1 Temperatura	4
1.2.2 Suelo.....	5
1.2.3 Riego	5
1.2.4 Fertilización.....	5
1.3 Líneas Promisorias Evaluadas	6
1.4 Plagas y Enfermedades en el Cultivo de habichuela	7
1.4.1 Plagas de Importancia Económica en la Habichuela	7
1.4.2 Enfermedades de Importancia Económica	8
1.5 <i>Rhizobium</i>	8
1.5.1 Descripción taxonómica	9
1.5.2 Simbiosis <i>Rhizobium</i> -Leguminosa	9
1.5.3 Rhizobia Capaces de realizar simbiosis con <i>Phaseolus vulgaris</i>	10
1.5.4 Importancia en la Agricultura	10
1.6 Escala de desarrollo	12
1.7 Índices de Crecimiento	13
1.7.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR).....	14
1.7.2 Tasa de crecimiento de Cultivo (TCC)	14
1.7.3 Tasa de Asimilación Neta (TAN)	14
2. Metodología	15
2.1 Ubicación del Experimento.....	15
2.2 Diseño Experimental	15
2.3 Manejo del Cultivo	17
2.3.1 Plan de Fertilización	17

2.4	Variables Evaluadas.....	17
2.4.1	Porcentaje de Emergencia	17
2.4.2	Índices de Crecimiento	18
2.4.3	Fenología.....	18
2.4.4	Sanitarias.....	19
2.4.5	Nodulación.....	20
2.4.6	Componentes de Rendimiento	20
3.	Resultados y Discusión.....	23
3.1	Porcentaje de emergencia	23
3.2	Fenología	24
3.3	Fisiología, Índices de Crecimiento	27
3.3.1	Tasa de Crecimiento Relativo (TCR).....	27
3.3.2	Tasa de Crecimiento del cultivo (TCC).....	30
3.3.3	Tasa de Asimilación Neta (TAN)	33
3.4	Efecto de la inoculación de bacterias nitrificantes en dos líneas promisorias de Habichuela	36
3.5	Componentes de Rendimiento.....	41
3.5.1	Número de racimos por planta	41
3.5.2	Número de vainas por racimo	42
3.5.3	Longitud de vainas	43
3.5.4	Grosor de vainas	43
3.5.5	Peso de 10 vainas	44
3.5.6	Biomasa.....	45
3.6	Comportamiento sanitario de dos líneas de Habichuela.....	46
3.6.1	Comportamiento Mildeo Polvoso.....	46
3.6.2	Nivel de infestación por Perforadores de vaina:.....	49
3.7	Análisis de Correlación Canónica de las variables	51
4.	Conclusiones y recomendaciones	54
4.1	Conclusiones.....	54
4.2	Recomendaciones.....	55
A.	Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks, gráfico de densidad de puntos, de racimos por planta de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.....	57
B.	Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de vainas por racimo de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.....	59
C.	Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de peso de 10 vainas de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización	60
D.	Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de longitud de vainas de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización	61
E.	Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de peso de grosor de vainas de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.	62

F. Anexo: Analisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y grafico de densidad de puntos, de biomasa total de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.....	63
G. Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de numero de nódulos por planta de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.....	64
H. Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de porcentaje de severidad de mildew polvoso(<i>Erysiphe polygoni</i>) de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.	66
I. Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de nivel de infestación de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>), bajo tres ttos de Fertilización.....	67
J. Anexo: Manejo agronómico y actividades realizadas en el cultivo durante el desarrollo del experimento	68
K. Anexo: Recomendación integral plan de fertilización.....	69
Bibliografía.....	71

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Diseño Factorial 2*3 para la evaluación de dos líneas de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasuga.	16
Figura 2. Distribución de tratamientos en terreno. Fuente: Bello & Garzón 2017	16
Figura 3. Porcentaje de emergencia vs línea promisoría	23
Figura 4. TCR vs Días después de siembra, Línea L 138	29
Figura 5. TCR vs Días después de siembra, Línea L 140	29
Figura 6. TCR vs Días después de siembra, Líneas L 138 y L 140	30
Figura 7. TCC vs Días después de siembra, Líneas L 138	32
Figura 8. TCC vs Días después de siembra, Línea L 140	32
Figura 9. TCC vs Días después de siembra, Línea L 138 y L 140	33
Figura 10. TAN vs Días después de siembra, Línea L 138	35
Figura 11. TAN vs Días después de siembra, Línea L 140	35
Figura 12. TAN vs Días después de siembra, Líneas L 138 y L 140	36
Figura 13. Promedio de nódulos por planta vs Primera evaluación, Líneas L 138 y L 140	37
Figura 14. Promedio de nódulos por planta vs segunda evaluación, Líneas L 138 y L 140	38
Figura 15. Numero de nódulos por tratamiento	38
Figura 16. Izq. Corte Nódulo viable Fuente: (Díaz Alcantara, 2010), Der: Nódulo Inviabile Fuente: Bello & Garzón (2017)	40
Figura 17. Biomasa vs Días después de siembra, Líneas L 138 y L 140	46

Figura 18. Porcentaje de severidad mildero polvoso (<i>Erysiphe polygoni</i>) vs Días después de siembra	48
Figura 19. Porcentaje de severidad mildero polvoso (<i>Erysiphe polygoni</i>) vs Días después de siembra	48
Figura 20. Habichuela afectada por Mildero Polvoso (<i>Erysiphe polygoni</i>) Fuente: Bello & Garzón, (2017)	49
Figura 21. Porcentaje severidad mildero polvoso (<i>Erysiphe polygoni</i>) vs DDS, Líneas L 138 y L 140	49
Figura 22. Porcentaje de infestación por perforadores de vaina, Líneas L 138 y L 140	50

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Extracción de nutrientes de un cultivar de habichuela tipo voluble	6
Tabla 2. Especies descritas dentro de los Rhizobia Clásicos. (Morón, 2006)	10
Tabla 3. Escala de desarrollo BBCH, (<i>Phaseolus Vulgaris</i>). (Feller, y otros, 1995)	12
Tabla 4. Plan de fertilización usado en el desarrollo del experimento. (Higueta, J. C. <i>et al.</i> , 1998).	17
Tabla 5. Descripción de los Índice de crecimiento y sus respectivas ecuaciones.	18
Tabla 6. Escala para evaluar el nivel de daño por mildew polvoso (<i>Erysiphe polygoni</i>) (Cardona, 1991)	19
Tabla 7. Fenología de las dos líneas evaluadas	25
Tabla 8. Componentes de Rendimiento Líneas L 138 y L 140	41
Tabla 9. Correlaciones y coeficientes de la combinación lineal.	51
Tabla 10. Matriz de Correlaciones Canónicas.	52

Lista de abreviaturas

LE: Línea Experimental

CIAT: Centro de Investigación de Agricultura Tropical

FBN: Fijación Biológica de Nitrógeno.

TCC: Tasa de Crecimiento de Cultivo.

TCR: Tasa de Crecimiento Relativo.

TAN: Tasa de Asimilación Neta.

SFT: Súper Fosfato Triple

DDS: Días Después de Siembra

°C: Grados Celsius.

Introducción

La habichuela (*Phaseolus vulgaris*.) es originaria de Mesoamérica y la zona Andina donde se encuentran los centros primarios de diversificación. Se consume como una hortaliza verde y se cosecha cuando la vaina y las semillas se encuentran en su etapa inmadura y con bajo contenido de fibra (Vallejo Cabrera & Estrada Salazar, 2004) La clasificación se basa en las características de la vaina y en el tipo de planta (hábito) y la afinidad con el proceso de mecanización de la cosecha. Según las estadísticas agropecuarias del año 2013 (MADR, 2014) se obtuvo una producción total de 58.655 toneladas de habichuela, cosechadas en un área de 6.940 hectáreas. El departamento de Cundinamarca fue el de mayor producción, con 29.636 toneladas, que correspondieron al 50,5% de la producción total nacional; le siguen los departamentos de Santander, Valle del Cauca, Huila y Boyacá.

Cundinamarca se caracteriza por su alta producción de habichuela en el contexto nacional, siendo el departamento con mayor participación en la producción nacional, por esta razón es necesario desarrollar nuevas prácticas que maximicen la producción de esta hortaliza.

El uso de bacterias nitrificantes puede suministrar aproximadamente el 50% de nitrógeno al cultivo (Díaz, 2008), de esta manera es posible reducir el uso de fertilizantes químicos, evitando contaminaciones e intoxicaciones en suelo y en plantas cultivadas.

Una de las bacterias nitrificantes más utilizadas en la agricultura es *Rhizobium*, la cual, es una bacteria benéfica que forma una asociación simbiótica con la raíces de plantas de la familia Papilionacea, y tiene la capacidad de fijar nitrógeno y hacerlo disponible para la planta. A cambio la planta le provee de sus carbohidratos para la nutrición de la bacteria. Esta simbiosis permite que la planta pueda abastecerse de nitrógeno y desarrollarse bien aun cuando su contenido se encuentre bajo en el suelo (Rosas & Reyes, 2002).

La inoculación con bacterias nitrificantes permite que los sistemas productivos requieran menos aplicaciones de fertilizantes de síntesis química, favoreciendo la conservación del

suelo. Esta práctica favorece la actividad microbiana aumentando la diversidad de microorganismos y maximizando la productividad de los cultivos (Urzua,2005)

En este proyecto de investigación se realizó para evaluar la fijación biológica del nitrógeno (FBN), en los genotipos de habichuela LE 138 Y LE 140 cultivadas en el centro de investigación agropecuaria “granja la Esperanza” evaluando el efecto en la producción y los efectos fisiológicos de esta, que posteriormente puedan ser aplicados por agricultores de la zona como una alternativa para los planes de fertilización que incremente la producción por hectárea.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la interacción simbiótica entre dos genotipos de Habichuela (*Phaseolus vulgaris.*) con la cepa CIAT 899 de la bacteria nitrificante *Rhizobium sp.* y el nivel de fertilización nitrogenada sobre el comportamiento agronómico de la habichuela.

1. Marco Referencial

1.1 Generalidades de la Habichuela

1.1.1 Origen

Phaseolus vulgaris como especie cultivada posee dos orígenes: Mesoamérica y los Andes, la habichuela (*P. Vulgaris.*) es una mutación o selección especial del frijol común, por lo que se le denomina frijol verde o judía (Delgado *et al.*, 2006).

1.1.2 Descripción Taxonómica

Taxonómicamente, la habichuela pertenece al reino Planta, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden de las leguminosas, familia Papilionaceae, género *Phaseolus* y especie *vulgaris* (Valladares, 2010).

1.1.3 Descripción Morfológica

La habichuela es una planta herbácea anual, con un periodo vegetativo entre los 50 y 120 días de acuerdo a la altura donde se siembre (Acosta & Santamaria 1999).

El hábito de crecimiento lo definen ciertas características como tipo de desarrollo, grado y tipo de ramificación, longitud de entrenudos entre otros caracteres, teniendo así cuatro tipos diferentes: I, II, III, y IV: el tipo IV es un hábito de crecimiento indeterminado trepador, con características tales como: desarrollo de la doble capacidad de torsión del tallo traducido en su habilidad trepadora que, a su vez, puede alcanzar una altura de más de 2 m, las ramas son muy poco desarrolladas a causa de su dominancia apical y la etapa de floración es significativamente más larga que en los otros hábitos (Arias, *et al.*, 2007).

Como características morfológicas la habichuela presenta una raíz central bien desarrollada que alcanza algunas veces una profundidad de 90 cm (Huerres & Caraballo,

1991). El tallo puede ser erecto o voluble y en cada nudo aparecen las ramas o las hojas. El voluble tiende a crecer alrededor de un soporte. Los tallos pueden ser glabros o pubescentes herbáceo y ligeramente lignificado en su parte inferior (Huerres & Caraballo, 1991). Las hojas son compuestas trifoliadas con folíolos ovado acuminados, los laterales asimétricos, aunque las dos primeras hojas son simples primadas. De peciolo largo con estípulas pequeñas, con o sin pubescencia y estriado por la zona superior y con una notable pulvínula en la base (Arias *et al.*, 2007).

La inflorescencia es un racimo terminal o axial, de pocas flores, los pedicelos son cortos de 5 a 8mm de longitud, la corola puede ser blanca, amarillo – cremosa, rosa o violeta. La habichuela normalmente se auto fertiliza, teniendo lugar la polinización en el momento de la antesis. El fruto es una legumbre denominada vaina, con dos (2) valvas, las cuales provienen del ovario comprimido, tiene dos (2) suturas a lo largo de valvas, una llamada dorsal y la otra ventral, la vaina puede medir de 8 a 50 cm dependiendo del cultivar, y tener un grosor de alrededor uno a uno punto cinco centímetros. El tamaño del grano se determina a través del peso de 100 semillas, y se clasifican en pequeño (hasta 25 gr), mediano (25-40 gr), y grandes (desde 40 gr). La combinación de la forma, tamaño y color de la semilla, dan origen a clases comerciales las cuales son fundamentales en el mercado de frijol común en cada región que es consumido (Voyses, 2000).

1.2 Cultivo de Habichuela

1.2.1 Temperatura

En Colombia las zonas de producción de habichuela están localizadas en altitudes que van desde los 800 hasta los 2.500 metros de altura con temperaturas promedio entre 16 y 25 °C, temperaturas más altas, producen habichuelas con mayor contenido de fibras, que son indeseables en el mercado (Reina, 1998).

Bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que altas lo aceleran; temperaturas extremas disminuyen la floración y ocasionan problemas de esterilidad; temperaturas inferiores de 5 °C o superiores a 40°C pueden provocar daños irreversibles (White, 1985)

En épocas de lluvias fuertes y ambientes muy cálidos la producción de habichuela se ve afectada por la presencia de enfermedades causadas por hongos y la caída de las flores. Así mismo, Los fuertes vientos causan la pérdida de flores y una polinización inadecuada o insuficiente (UNAD, 2016).

1.2.2 Suelo

La habichuela se cultiva en suelos de textura liviana a pesada, con buena fertilidad y subsuelos permeables, debido a que la planta es muy susceptible a los encharcamientos. El pH óptimo oscila entre 6 y 7,0 y fuera de estos límites se constituyen en limitación para la producción de habichuelas (Agudelo, 1972).

1.2.3 Riego

La habichuela tiene un requerimiento hídrico de 250-400 mm durante el ciclo vegetativo. Los cultivares de hábito determinado tienen un requerimiento menor de agua durante su ciclo de 80-85 días que los cultivares de hábito indeterminado, con un ciclo de 85-95 días, las necesidades hídricas del cultivo pueden suplirse mediante el riego, distribuyendo el agua en las diferentes etapas del cultivo y haciendo los ajustes necesarios de acuerdo al régimen de lluvia que se presente en la zona de acuerdo con las necesidades hídricas establecidas por Vallejo y Salazar (2004).

1.2.4 Fertilización

Por ser un cultivo de ciclo corto, la fertilización debe realizarse al comienzo de su desarrollo. En general esta debe realizarse de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la habichuela y el análisis de suelos. En general, se recomiendan aplicaciones de 200-300 kg/ha de un abono completo al momento de la siembra o de la emergencia, aplicado por sitio para un mejor control de la cantidad y una mejor eficiencia del producto. Alrededor de los 15 días se debe aplicar 50 kg de Nitrógeno de la misma forma, a veces es necesario hacer aplicaciones foliares de alguno de los elementos menores como el Boro o el Zinc especialmente en épocas secas (Gutiérrez, 2004).

Los niveles de extracción de nutrientes para un cultivar de habichuela tipo voluble citados por Antonilez & Cárdenas (2010) tomados del CIAT son presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Extracción de nutrientes de un cultivar de habichuela tipo voluble

Elemento	Cantidad (Kg / ha)
Nitrógeno (N)	110 kg/ha
Fósforo (PO)	25 kg/ha
Potasio (KO)	84 kg/ha
Calcio (CaO)	130 kg/h

1.3 Líneas Promisorias Evaluadas

Las líneas LE 138 y LE140 provienen de líneas avanzadas de mejoramiento suministradas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y de las cuales se realizaron selecciones masales e individuales por rendimiento, calidad de vaina, y tolerancia a antracnosis. Por medio de un estudio de la tasa fotosintética se determinó que LE 138 se adapta bien en zonas de alturas inferiores a los 2000 m.s.n.m y LE 140 se adapta a zonas con alturas superiores a los 2000 m.s.n.m (Celis & Fonseca, 2015).

Se han realizado diversos trabajos de investigación encaminados a evaluar las características de estas líneas bajo diferentes ambientes, obteniendo diferentes resultados:

Pombo & Torres, (2009) señalan la importancia de resaltar los genotipos LE-138 y LE-148 pues fueron los que presentaron mayores rendimientos, indicando que la mayor tolerancia a antracnosis (*Colletotrichum lindemuntianum*) incide en un mayor rendimiento, en condiciones agroecológicas del municipio de Arbeláez.

Romero & Sanabria, (2009) evaluando el número de vainas por planta determinaron que la línea LE- 138 obtuvo mayor número de vainas por planta (11.29) que el cultivar comercial Blue Lake, la cual solo produjo 9.71 vainas por planta.

Benavides & Triana, (2011) reportaron que la línea promisoría LE- 138 presentó el segundo mejor rendimiento, superado por la línea LE- 148, apreciando que los genotipos experimentales superaron al testigo Blue Lake debido a su mayor tolerancia a enfermedades y a su mejor adaptación en sus zonas de estudio.

García & Manrique, (2013), reportan que el material LE-138 obtuvo un rendimiento superior a 25.000 Kg/ha bajo condiciones climatológicas del municipio de Arbeláez, y su carga productiva se desarrolla en la totalidad de la planta y de manera uniforme.

Según Buitrago, (2013) el rendimiento por parcela de la línea promisoría LE- 140 mostró uno de los mayores rendimientos en comparación a Blue Lake y otras líneas.

García & Manrique, (2013) reportan que las líneas LE 138 y LE 140 son susceptibles al ataque de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*.) Los cuales tuvieron una incidencia por encima del 25% en la vereda Tiscinse (Arbeláez), contrario a lo reportado por Buitrago, (2013) quien registra poca susceptibilidad al ataque de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) de la línea LE- 140.

Según Romero & Valencia, (2014) para la característica longitud de vainas, el cultivar Blue Lake fue superior demostrando porqué es tan apetecida en el mercado, sin embargo su rendimiento demostró ser bajo. Un cultivar que se acercó a este parámetro de calidad y que probablemente puede competir en términos de rendimiento es la línea LE 140.

1.4 Plagas y Enfermedades en el Cultivo de habichuela

1.4.1 Plagas de Importancia Económica en la Habichuela

Dentro de los insectos plaga con más importancia económica en el cultivo de la habichuela se encuentra la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), posee amplia distribución geográfica en el trópico, subtropical y zonas templadas del mundo, el gran número de especies cultivadas que afecta y un amplio rango de hospederos cultivados y silvestres. Los adultos y ninfas de este insecto succionan la savia del floema. Este es un daño directo que reduce los rendimientos, la producción de secreciones azucaradas por adultos y ninfas afecta indirectamente la producción porque favorece el desarrollo de hongos (fumagina) que interfiere con la fotosíntesis. En cultivos como habichuela *T.vaporariorum* puede causar pérdidas cercanas al 50% (CIAT , 2005).

Las larvas de minador (*Liriomiza spp*) viven todo el estadio en el interior de la hoja realizando las galerías para su alimentación, estas galerías son túneles rectos o circulares secando la parte afectada de la hoja y adquiriendo un color marrón o blanco, si se observa a contra luz una hoja perforada, se suele poder ver las larvas o pupas a un lado de las zonas afectadas (Greenwood & Halstead, 2009).

Los perforadores de la vaina presentan daño en las yemas terminales e induce la emisión de nuevos brotes, y puede ocasionar también daños y abortos en flores. Las yemas afectadas por el insecto se deforman y las vainas se pudren por la acción de organismos secundarios (Rios, 2002). Esta plaga inicia sus ataques en las etapas vegetativas del cultivo, y es más severa en etapas de prefloración y floración. Posteriormente ataca las vainas recién formadas actuando como perforador (Bueno, 2004).

1.4.2 Enfermedades de Importancia Económica

Una de las enfermedades más limitantes en la Habichuela (*Phaseolus vulgaris*) es antracnosis (*Colletotrichum lindemutianum*) pues en estado de plántula, el síntoma se observa en el hipocotilo como pequeñas lesiones de color marrón oscuro, de aspecto acuoso, ligeramente unidas y de forma ovalada. En hojas el hongo avanza por las venas primarias o secundarias en el envés, causando necrosis de los tejidos. En las vainas se evidencia con una o varias lesiones pequeñas redondas, color marrón rojizo, de borde definido, las cuales crecen y presentan su centro unido propagándose rápidamente con el tiempo cálido y húmedo en cultivos densos y poco ventilados. Como consecuencia del ataque a las vainas, el patógeno logra infestar la semilla y causarle decoloración o deformación (León, 2009).

El mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) es un hongo especialmente activo cuando las raíces están secas y tiene mala ventilación alrededor de las hojas, generalmente las lesiones son evidenciadas en el follaje y a veces también en los pecíolos de las hojas y de los tallos, en donde se desarrollan ataques fúngicos harinosos de color blanco. Las hojas afectadas se deforman un poco y se amarillan levemente (Greenwood & Halstead, 2009).

Roya (*Uromyces phaseolivar. typica*) afecta a muchas especies de *Phaseolus*; condiciones ambientales como alta humedad relativa y temperaturas de 17-27°C favorecen la infección. Esta enfermedad se inicia como pequeñas lesiones amarillas en las hojas, de aspecto polvoso. Estos puntos crecen ligeramente en tamaño y se distribuyen uniformemente sobre la superficie de la hoja. Los puntos rojizos (herrumbre) muy raramente se observan en las vainas. En ataques severos el polvo rojizo se adhiere a los dedos cuando se roza la superficie de la hoja (Araya & Hernández, 2006)

1.5 Rhizobium

El término “rhizobia” en el sentido más estricto, se refiere a los miembros del género *Rhizobium*. A lo largo de los años, el término se ha venido utilizando para todas las bacterias que son capaces de nodular nitrógeno en asociación con leguminosas además de pertenecer al género *Rhizobium* o estar estrechamente relacionados con ella (Jordan, 1984).

Los microorganismos capaces de establecer simbiosis con leguminosas se conocen con el nombre de rhizobia o rizobios y engloban actualmente a una gran variedad de

bacterias. El conocimiento de la existencia de estos microorganismos data de finales del siglo XIX cuando, por primera vez, Frank en 1889 denominó *Rhizobium leguminosarum* a las bacterias aisladas a partir de nódulos de leguminosas. Fue este nombre el que dio origen al genérico de rhizobia para designar a todas las bacterias formadoras de nódulos en leguminosas. No obstante, algunos autores consideran rhizobia a todas aquellas bacterias capaces de nodular (Moulin *et al*, 2001).

1.5.1 Descripción taxonómica

La taxonomía descrita por Frank, (1889), ubica al género *Rhizobium sp.* En el dominio Bacteria, clase Protobacteria alfa, del orden Rhizobiales y Familia Rhizobiaceae.

1.5.2 Simbiosis *Rhizobium*-Leguminosa

La asociación mutualista de rhizobia y leguminosas ha sido desde siempre la más estudiada por la importancia agronómica, económica y social que tiene el cultivo de estas plantas a escala mundial. Ambos partícipes son capaces de vivir independientemente, sin embargo, los dos se benefician de la interacción que se caracteriza por la formación de nódulos fijadores de nitrógeno que, en la mayoría de las leguminosas, se forman en la raíz. Los nódulos son órganos especializados que se desarrollan como resultado de un diálogo molecular por parte de los rhizobia y de las plantas (Gibson, *et al.*, 2008)

El establecimiento de una simbiosis *Rhizobium*-leguminosa eficiente conlleva una serie de etapas que comienzan con un intercambio de señales entre ambos organismos: las raíces de la planta liberan a la rizosfera flavonoides (Spaink, 1998), moléculas de naturaleza fenólica que promueven la expresión en las bacterias de los genes nod, lo cual origina la síntesis y secreción de lipo-oligoquitinas llamadas factores nod (Geurts, 2005). Éstas son percibidas por la raíz de la planta, la cual experimentará diversos cambios dependiendo del tipo de leguminosa (Bauer, 2004).

En las leguminosas en las que la infección se produce a través de pelos radicales se produce una deformación de los mismos que origina un cambio en la dirección del crecimiento, produciéndose en el extremo apical la morfología típica denominada “cayado de pastor”, de modo que algunas de las bacterias quedan recluidas en el interior de la curvatura de la misma. Estas bacterias inducen una degradación local de la pared celular de la planta (Mateos, 2001), la membrana plasmática se invagina y los rhizobia entran en su interior. En el caso de *Phaseolus* la entrada de los *Rhizobium* es mixta, por pelos

radicales y por crack (Entrada directa por los espacios intercelulares que se abren al emerger las raíces laterales).

Rhizobium, una vez invadidas las células de la planta, proliferan y se diferencian a asteroides, responsables de la fijación de nitrógeno, que están rodeados por una membrana peribacteroidea de origen vegetal y constituyen un nuevo órgano denominado simbiosoma. La planta aporta esqueletos carbonados para el metabolismo del bacteroide a través del floema y, por su parte, el bacteroide aporta amonio en forma de diferentes aminoácidos a la planta (Lodwig, 2003).

1.5.3 Rhizobia Capaces de realizar simbiosis con *Phaseolus vulgaris*

El género *Phaseolus* incluye algunas de las leguminosas con más afinidad en lo que se refiere al elevado número de rhizobia con los que son capaces de establecer simbiosis efectiva visible en la tabla 2. Esta capacidad de ser noduladas por una elevada variedad de bacterias se ha relacionado con el espectro de inductores de genes de nodulación que secretan, considerándose *Phaseolus vulgaris* como una de las leguminosas que libera mayor cantidad y variedad de flavonoides, exudados tanto por la raíz como por la semilla (Morón, 2006)

Tabla 2. Especies descritas dentro de los Rhizobia Clásicos (Morón, 2006)

Familia Rhizobiaceae, Genero <i>Rhizobium</i>		
Especie de rhizobia	Hospedador de origen	Referencia
<i>R.etli</i>	<i>Phaseolus</i>	(Segovia <i>et al.</i> , 1993)
<i>R. gallicum</i>	<i>Phaseolus</i>	(Amarger <i>et al.</i> , 1997)
<i>R. giardinii</i>	<i>Phaseolus</i>	(Amarger <i>et al.</i> , 1997)
<i>R. lustranum</i>	<i>Phaseolus</i>	(Valverde <i>et al.</i> , 2003)
<i>R. phaseoli</i>	<i>Phaseolus</i>	(Ramirez-Bahenena <i>et al.</i> , 2008)
<i>R. rhizogenes</i>	<i>Phaseolus</i>	(Young <i>et al.</i> , 2001)
<i>R. tropici</i>	<i>Phaseolus</i>	(Martínez-Romero <i>et al.</i> , 1991)

1.5.4 Importancia en la Agricultura

La fijación simbiótica más común es la simbiosis con plantas leguminosas. Esta fijación se hace mediante bacterias del tipo *Rhizobium* que viven en los nódulos radiculares de las leguminosas, cuando los pelos absorbentes de una raíz entran en contacto con una

de estas bacterias, los pelos se ensortijan y las paredes de la célula se disuelven bajo la influencia de las enzimas formando un nódulo. Una vez dentro del nódulo la bacteria obtiene los nutrientes necesarios (compuestos del carbono) y el oxígeno de la planta; a su vez la planta recibe compuestos nitrogenados producidos por la bacteria a partir del nitrógeno gaseoso de la atmósfera del suelo. Este proceso es llamado fijación simbiótica del nitrógeno. Cuando las raíces de la planta se descomponen los compuestos nitrogenados quedan disponibles para otros microorganismos y plantas (Martínez, 2009). El proceso de establecimiento del nódulo no es sencillo y es necesario que se den unas condiciones muy específicas:

Ciertas deficiencias o excesos de algunos minerales afectan directa o indirectamente a la nodulación. La presencia de molibdeno en cantidad suficiente es necesaria ya que es un constituyente de la nitrogenasa. Otros elementos como el calcio, fósforo, azufre, cobre o zinc tienen efectos en el pH del suelo y afectan directamente en la fijación. Todas las estirpes bacterianas necesitan valores de pH del suelo superiores a 5, a excepción del *Rh lupini* (pH 3,2) y *Rh. japonicum* (pH 4,2). Un exceso de nitrógeno en el suelo impide la simbiosis ya que deja de ser interesante para la planta (Martínez, 2009).

La temperatura ideal para que se establezca la simbiosis está entre 15- 20 °C. Por debajo de 7°C la nodulación es difícil. La temperatura afecta al metabolismo de la planta (respiración, fotosíntesis, transpiración) y con ello a la disponibilidad de carbono para llevar a cabo la simbiosis. La actividad de los nódulos es máxima con temperaturas del suelo cercanas a los 30°C (Johansson, 2004).

La luz afecta a la simbiosis a través de la fotosíntesis controlando la cantidad de carbono que va a estar disponible para el desarrollo y funcionamiento de los nódulos.

La baja disponibilidad de agua por parte de la planta disminuye la fijación de nitrógeno. Por ello también es clave la simbiosis que las leguminosas establecen con las micorrizas para aumentar su disponibilidad de agua entre otras ventajas (Martínez, 2009).

La eficacia de la fijación de nitrógeno es relativamente baja en el caso de los fijadores libres ya que el nitrógeno fijado es posteriormente metabolizado y eliminado por desnitrificación y lavado. La fijación en vida libre sólo aporta al suelo unos cientos de gramos de nitrógeno por hectárea si bien son suficientes en condiciones naturales, están muy lejos de satisfacer las necesidades de los cultivos (Olivares, 2004).

Por otro lado, la fijación en simbiosis es mucho más eficiente, calculándose que sólo la asociación rhizobia-leguminosa puede llegar a aportar más de 300 kilogramos por hectárea y año. Por ello determinados cultivos de leguminosas no requieren fertilización

nitrogenada para que se incremente su contenido en proteínas, contribuyendo además al enriquecimiento del suelo en nitrógeno, que puede ser aprovechado por cultivos asociados o por las plantaciones posteriores en una rotación de cultivos (Urzua, 2005).

1.6 Escala de desarrollo

Para la correcta evaluación fenológica se usó como referencia la escala extendida BBCH que es un sistema la codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de desarrollo BBCH, (*Phaseolus Vulgaris*). (Feller, y otros, 1995)

Estadio principal 0: Germinación	
00	Semilla seca
01	Comienzo de la inhibición de la semilla
03	Imbibición de la semilla, terminada
05	La radícula (raíz embrional) sale de la semilla
07	El hipocotilo, con cotiledones rompiendo el tegumento seminal.
08	El hipocotilo, con cotiledones crecen hacia la superficie del suelo
09	Emergencia: los cotiledones rompen la superficie del suelo
Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas	
10	Cotiledones, desplegados completamente
12	2 hojas enteras (1er par de hojas), desplegadas
13	3ª hoja verdadera (1ª hoja trifoliada), desplegada
1.	Los estadios continúan hasta...
19	9 o más hojas (2 hojas enteras y 7 o más hojas trifoliadas), desplegadas
Estadio principal 2: Formación de brotes laterales	
21	1er brote lateral, visible
22	2º brote lateral, visible
23	3er brote lateral, visible
2.	Los estadios continúan hasta...
29	9 o más brotes laterales, visibles
Estadio principal 5: Aparición del órgano floral	
51	1os. Botones florales, visibles fuera de las hojas
55	1os. Botones florales individuales, visibles fuera de las hojas, pero cerrados todavía
59	1os. Pétalos, visibles; muchos botones florales individuales, cerrados todavía
Estadio principal 6: Floración	
60	Primeras flores abiertas(espóricamente)

61	Comienzo de la floración: 10% de las flores abiertas
62	20% de las flores abiertas
63	20% de las flores abiertas
64	40% de las flores abiertas
65	Plena floración: 50% de las flores abiertas
67	Floración decae: la mayoría de los pétalos, caídos o secos
69	Fin de la floración: primeras vainas, visibles
Estadio principal 7: Formación del fruto	
71	El 10% de las vainas alcanza la longitud típica
72	El 20% de las vainas alcanza la longitud típica
73	El 30% de las vainas alcanza la longitud típica
74	El 40% de las vainas alcanza la longitud típica
75	El 50% de las vainas alcanza la longitud típica
76	El 60% de las vainas alcanza la longitud típica
77	El 70% de las vainas alcanza la longitud típica
78	El 80% de las vainas alcanza la longitud típica
79	Vainas: las judías son fácilmente visibles individualmente
Estadio principal 8: Maduración de frutos y semillas	
81	El 10% de las vainas, maduras
82	El 20% de las vainas, maduras
83	El 30% de las vainas, maduras
84	El 40% de las vainas, maduras
85	El 50% de las vainas, maduras
86	El 60% de las vainas, maduras
87	El 70% de las vainas, maduras
88	El 80% de las vainas, maduras
89	Madurez completa: vainas, maduras
Estadio principal 9: Senescencia	
97	Plantas, muertas
99	Partes cosechadas

1.7 Índices de Crecimiento

Son una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989). El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el tiempo (Gardner *et al.*, 1985).

1.7.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

Es un índice de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de una tasa de incremento en tamaño por unidad de tamaño y tiempo (Pedroza *et al.*, 1997); representa la eficiencia de la planta como productor de nuevo material y depende de la fotosíntesis total y de la respiración (Sivakumar & Shaw, 1978); además se propone como una medida que integra el comportamiento fisiológico de las plantas (Radford, 1967). Es una medida del balance entre la capacidad potencial de fotosíntesis y el costo respiratorio (Archila *et al.*, 1998).

1.7.2 Tasa de crecimiento de Cultivo (TCC)

Mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta. Es aplicable a plantas que crecen juntas en cultivos cerrados (Hunt, 1982). La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para explotar todos los factores ambientales en mayor grado. En ambientes favorables, la máxima TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa, y puede representar el máximo potencial de producción de masa seca y de tasas de conversión en un momento dado (Brown, 1984).

1.7.3 Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Indica la eficiencia fotosintética promedio, individual o en una comunidad de plantas. La capacidad de la planta para incrementar su masa seca en función del área asimilatoria en periodos cortos a lo largo del ciclo de crecimiento depende del área foliar, de la disposición y edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con la demanda de los asimilados (Hunt, 1982). La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta o del canopi de un cultivo (Brown, 1984).

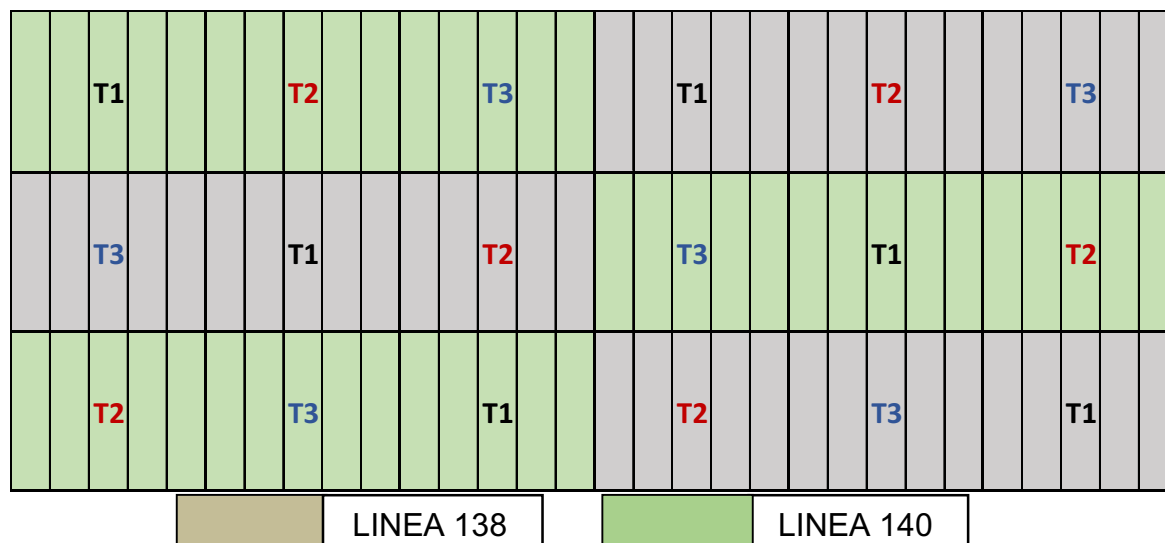
2. Metodología

2.1 Ubicación del Experimento

La evaluación del comportamiento de las dos líneas inoculadas con la cepa CIAT 899 de *Rhizobium sp.* fue realizada en el centro de investigación agropecuaria “Granja la esperanza” adscrito a la Universidad de Cundinamarca en la vereda Guavio Bajo del Municipio de Fusagasugá, presentando las siguientes características agroclimáticas; Altura promedio de 1550 msnm, temperatura media anual de 18 a 24°C, con una precipitación media anual de 1389.4 mm anuales, humedad relativa de 65.6% (Acevedo 2007).

2.2 Diseño Experimental

Para el desarrollo del experimento, establecido en un terreno de 450m², con un diseño experimental factorial 2*3, siendo el factor A las dos líneas y el factor B los tres tratamientos, en tres bloques, en el que se evaluaron las dos líneas promisorias de habichuela de la Universidad de Cundinamarca L 138 y L 140, con un marco de plantación de 15 cm entre plantas y 1 metro entre surcos, para un total de 990 Plantas. (Figura 1).



Tratamientos

T1: Fertilización Nitrogenada convencional,

según datos de extracción,

T2: Inoculo *Rhizobium sp.* 50%

Fertilización convencional 50%

T3: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 2. . Diseño Factorial 2*3 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

En la figura 1 se observa la distribución en el terreno (450m²) según el diseño experimental descrito anteriormente, se realizaron 30 surcos de 1 m de ancho por 15 m de largo (figura 2) donde cada uno de los tratamientos se distribuyó aleatoriamente en cada uno de los tres bloques por línea seis en total.



Figura 2. Distribución de tratamientos en terreno. Fuente: Bello & Garzón (2017).

2.3 Manejo del Cultivo

El cultivo se estableció en el terreno el día 14 de octubre del año 2015, fecha de siembra de las semillas, a partir de este día se realizaron una serie de actividades propias del cultivo (Anexo 30), tales como los muestreos destructivos para índices de crecimiento, conteos para establecer la etapa fenológica en la que se encontraba, aplicación de controles químicos y de la fertilización edáfica para cada uno de los tratamientos.

2.3.1 Plan de Fertilización

El plan de fertilización establecido para el manejo del cultivo (tabla 4), se dividió en tres fases de aplicación edáfica, en cada uno de los tratamientos según requerimientos del cultivo.

Tabla 4. Plan de fertilización usado en el desarrollo del experimento. (Higuira, J. C. *et al.*, 2000).

	Tratamiento 1 (Convencional)	Tratamiento 2 (Convencional 50%- Inoculo 50%)	Tratamiento 3 (Inoculo 100%)
Primera Fertilización (21 DDS)	1200 gr SFT	1200 gr SFT	1200 gr SFT
	2250 gr Urea	1125 gr Urea	
	650 gr KCL	650 gr KCL	650 gr KCL
Segunda Fertilización (43 DDS)	2250 gr Urea	1125 gr Urea	
	650 gr KCL	650 gr KCL	650 gr KCL
Tercera Fertilización (58 DDS)	1300 gr KCL	1300 gr KCL	1300 gr KCL

2.4 Variables Evaluadas

2.4.1 Porcentaje de Emergencia

Se determinó el porcentaje de emergencia para las dos líneas de Habichuela a los 8 días después de siembra (DDS), contando número de plantas que emergieron sobre el número total de plantas sembradas

2.4.2 Índices de Crecimiento

Para la obtención de los datos necesarios para establecer las tasas de crecimiento se realizaron muestreos destructivos semanales a partir de los 14 días después de siembra (DDS), pesando las muestras en fresco, tomando área foliar y peso seco con la utilización de la estufa de secado.

La toma de datos de peso fresco y seco se realizaba cada siete días, ingresando y extrayendo las muestras para su posterior registro en tablas de Excel, con los datos de peso seco y área foliar se aplicaron las ecuaciones de las tasas de crecimiento expuestas a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Descripción de los Índice de crecimiento y sus respectivas ecuaciones.

Tasa de crecimiento relativo (TCR)	Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	Tasa de Asimilación neta (TAN)
La TCR expresa el incremento en peso seco (W) en un intervalo de tiempo (T) con relación a un peso inicial. La TCR promedia se calcula con base en medidas de peso seco tomadas en T1 Y T2. (Evans, 1972) (Hunt, 1978) (Radford, 1967)	Presenta la productividad total de materia seca de la comunidad de plantas por unidad de área de terreno. (Leopold & Kriedemann, 1975)	Es una medida de eficiencia de una planta o de una población como sistema asimilatorio. Es decir, la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. (Evans, 1972) (Hunt, Plant Growth Analysis, 1978)
ECUACIONES		
$TCR = \frac{\ln W2 - \ln W1}{T2 - T1}$	$TCC = \frac{1}{AS} * \frac{W2 - W1}{T2 - T1}$	$TAN = \frac{W2 - W1}{T2 - T1} * \frac{\ln Af2 - \ln Af1}{Af2 - Af1}$

2.4.3 Fenología

Las etapas fenológicas evaluadas según la escala BBCH, fueron desarrollo de brotes laterales, aparición del órgano floral, días a floración, días a formación de la vaina y maduración de frutos y semillas, estos datos tomados al total de plantas haciendo conteo semanal. El cambio de fase fenológica se registró cuando el 51% de la población presentaba dicho estadio, esto se estandarizó para todos los tratamientos en cada una de las repeticiones.

2.4.4 Sanitarias

▪ Porcentaje de Severidad

Se marcaron 5 plantas por unidad experimental para un total de 90 plantas en el experimento, estas se eligieron aleatoriamente al inicio del cultivo para su monitoreo cada 7 días, usando la escala visual 1-9 (CIAT) (Tabla 6). Donde 1 corresponde a plantas sin síntomas visibles de la enfermedad y 9 a plantas con necrosis severa evidente en el 25% o más del tejido de la planta como resultado de lesiones en hojas, pecíolos, tallo, ramas e incluso en el punto de crecimiento. Posteriormente se calculó el porcentaje de severidad de acuerdo con la ecuación 1.

$$\%Severidad = \frac{\sum \# Plantas\ enfermas * Grado\ de\ escala}{\sum \# Total\ de\ plantas * Grado\ mayor\ de\ escala} * 100 \quad Ecuación\ 1$$

Tabla 6. Escala para evaluar el nivel de daño por mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) (Cardona, 1991).

Nivel	Observaciones
1	0% de infección
2	Apenas comenzando, lesiones muy pequeñas; < 1% de infección
3	Muy poca enfermedad, lesiones pequeñas en tejido vegetal; 2-3% de infección
4	Lesiones ya formadas generalmente mediana, tendencia a pequeña; 6-8% tejido infectado
5	Lesiones medianas pero causando poco daño económico; 10-12% tejido infectado
6-7	Bastante lesiones grandes en toda la planta, afectando la mitad, o los dos tercios
8	Daño económico visible, lesiones grandes y abundantes
9	Muerte de la planta, defoliación severa

▪ Nivel de Infestación de Perforadores de vaina.

Se evaluó el daño por perforadores de vaina en las vainas después de la cosecha, contando cantidad de vainas afectadas sobre el total de vainas cosechadas por unidad

experimental posterior a esto se determinó el porcentaje de infestación de acuerdo a la ecuación número 2.

$$\%Infestacion = \frac{\# Vainas afectadas}{\# Vainas evaluadas} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

2.4.5 Nodulación

Para evaluar el porcentaje de nodulación se hicieron dos evaluaciones: a los 45 y a los 52 DDS tomando en cada evaluación una planta por unidad experimental al azar, para un total de 18 plantas por evaluación con análisis destructivo, contando cantidad de nódulos por raíz, evaluando la viabilidad a través de corte transversal de nódulos y visualización al estereoscopio para la evaluación de nodulación viable de las muestras contando total de nódulos. El porcentaje de nodulación se calculó por medio de la ecuación 3.

$$\%Nodulación viable = \frac{\# Nódulos viables}{\# Total de Nódulos} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

2.4.6 Componentes de Rendimiento

Para evaluar los componentes de rendimiento: Número de racimos por planta y número de vainas por racimo se marcaron cinco plantas por unidad experimental para un total de 90 puntos de muestreo aleatorios. Los componentes de rendimiento evaluados durante el experimento fueron:

- **Número de racimos por planta**

El número de racimos por planta se observó en las plantas marcadas en cada una de las cuatro cosechas.

- **Número de vainas por racimo**

El número de vainas por racimo se obtuvo después de tomar el número de racimos por planta en el momento de la cosecha a las plantas marcadas.

- **Peso de 10 vainas, Longitud de la vaina, Grosor de la vaina**

Después de realizada la cosecha se tomaron por unidad experimental 10 vainas al azar tomando los datos de: peso en gramos, longitud en centímetros y grosor en milímetros (usando pie de rey).

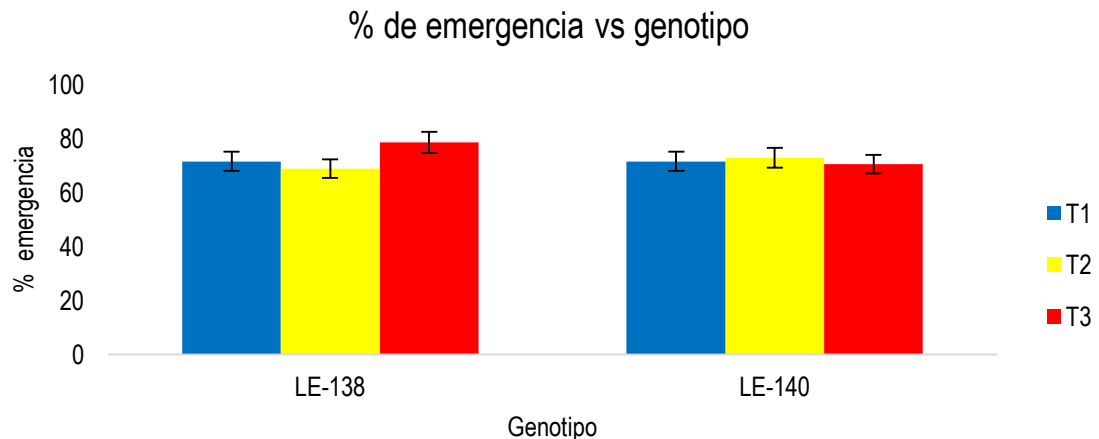
- **Análisis estadístico**

El análisis estadístico del experimento se realizó mediante la aplicación de análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey con el fin de establecer si existieron diferencias en el comportamiento sanitario y productivo de los genotipos evaluados debidas al tipo de fertilización nitrogenada utilizada. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación canónica con el fin de establecer la relación existente entre los componentes de rendimiento con la nodulación observada y el comportamiento sanitario del cultivo. Todo el análisis de datos se hizo utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Versión 1.0 Universidad de Córdoba, Argentina, 2001).

3.Resultados y Discusión

3.1 Porcentaje de emergencia

En la figura 3 se presenta el porcentaje de emergencia tomado en el experimento, observando que hay homogeneidad en los valores por tratamiento; es decir que los tratamientos empleados no influyeron en la emergencia para ninguno de los dos cultivares evaluados. De igual forma no se evidenció diferencia de emergencia entre genotipos lo que indico que los diferentes tratamientos de fertilización no influyeron en los cultivares evaluados teniendo en cuenta que no se presentaron picos marcados de diferencias entre ellos. Por lo tanto, no se realizó pruebas de comparación de promedios



***T1**: Fertilización Nitrogenada convencional **T2**: Inóculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3**: Inoculo *Rhizobium sp.*100%

Figura 3. Porcentaje de emergencia vs línea promisorio de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

3.2 Fenología

La fenología de las plantas de habichuela según codificación BBCH de los estados fenológicos de desarrollo de frijol, (Feller, y otros, 1995), expresada en días después de siembra en la tabla 7, muestra que para el estadio principal 1 hubo homogeneidad para todos los tratamientos de fertilización y los dos genotipos oscilando entre 23 y 30 DDS, el estadio principal 2, desarrollo de brotes laterales hubo mayor precocidad en el total de tratamientos del genotipo L-140, con 37 DDS diferente al genotipo L-138 que desarrolló brotes laterales pasados los 41 DDS, la aparición del órgano floral ocurrió a los 41 DDS para el genotipo L-140 y a los 46 DDS para L-138, los días a floración ocurridos en el estadio 6 fueron menores para el genotipo L-140 con 46 DDS y un aumento de 8 días más para el genotipo L-138 a los 53 DDS, el estadio 7 con la formación del fruto se presentó para el genotipo L-140 y L-138 a los 53 y los 57 DDS respectivamente, para el estadio principal 8 el genotipo L-140 alcanzó maduración de frutos a los 57 DDS, difiriendo del genotipo L-138 que le tomo 63 DDS llegar a maduración de frutos.

Los resultados presentados indicaron que ninguno de los tratamientos de fertilización influyo en la fenología de las dos líneas evaluadas, aunque se presentó precocidad de la línea 140, lo anterior no concuerda con los resultados planteados por Jiménez & Moreno, (2014) donde la línea 138 presento precocidad ya que el cultivar 138 logró la etapa fenológica aparición de botón floral a los 44 DDS, difiriendo del cultivar 140 el cual logro la aparición de botón floral a los 50 DDS según las condiciones climáticas de la vereda San Miguel en el municipio de San Bernardo, Cundinamarca. Lo anterior puede indicar que la línea 140 presento una mejor capacidad de adaptación a las condiciones climáticas de Guavio Bajo o que el cultivar 140 presento precocidad debido al déficit hídrico, ya que Elton & Kunming (2000) indicaron que los cultivos de leguminosas eluden la sequía madurando antes de que se desarrolle una deficiencia sustancial en la humedad del suelo.

Tabla 7. Fenología de las dos líneas evaluadas. Fuente: Bello & Garzón (2017).








Estadio	Tratamiento	DDS	Registro fotográfico
Estadio Principal 1: Desarrollo de hojas Descripción: 4 Hojas (2 hojas enteras y 2 hojas trifoliadas), desplegadas	T1-138	23	
	T2-138	23	
	T3-138	23	
	T1-140	23	
	T2-140	23	
	T3-140	23	
Estadio Principal 1: Desarrollo de hojas Descripción: 5 Hojas (2 hojas enteras y 3 hojas trifoliadas), desplegadas	T1-138	30	
	T2-138	30	
	T3-138	30	
	T1-140	30	
	T2-140	30	
	T3-140	30	
Estadio Principal 2: Desarrollo de brotes laterales	T1-138	41	
	T2-138	41	
	T3-138	41	
	T1-140	37	
	T2-140	37	
	T3-140	37	
Estadio principal 5: Aparición del órgano floral	T1-138	46	
	T2-138	46	
	T3-138	46	
	T1-140	41	
	T2-140	41	
	T3-140	41	

Tabla 7. Fenología de las dos líneas evaluadas. Fuente: Bello & Garzón (2017),
continuación.

Estadio principal 6: Floración	T1-138	53	
	T2-138	53	
	T3-138	53	
	T1-140	46	
	T2-140	46	
	T3-140	46	
Estadio principal 7: Formación del Fruto	T1-138	57	
	T2-138	57	
	T3-138	57	
	T1-140	53	
	T2-140	53	
	T3-140	53	
Estadio principal 8: Maduración de frutos y semillas	T1-138	63	
	T2-138	63	
	T3-138	63	
	T1-140	57	
	T2-140	57	
	T3-140	57	

3.3 Fisiología, Índices de Crecimiento

3.3.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

La TCR expresa la velocidad de producción de biomasa por unidad de material vegetal preexistente, su unidad es $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$. (Casierra-Posada *et al.*, 2007).

En general para los tres tratamientos de fertilización se presentaron valores de TCR muy similares tanto para la línea 138 como para la línea 140, como se puede evidenciar en la figura 4 y en la figura 5, se observa que los dos genotipos presentaron un fuerte incremento de la TCR para los tres tipos de fertilización entre los 21 y 28 DDS; los 42 y 49 DDS y los 56 y 63 DDS., estas fluctuaciones pueden ser expresadas según Cardona, (2004) en términos de suministro y demanda, por la forma en que las sustancias para el crecimiento son translocadas, a partir de los 21 días después de siembra se evidenció una acumulación marcada de materia seca, debido a las lluvias presentadas.

Además, se observó que en los primeros estadios la TCR es alta, por ende, hay un aumento en la respiración de crecimiento, que refleja los costes de carbono asociados a la producción de energía metabólica, y la respiración de mantenimiento es baja. A partir del día 28 en adelante la tasa de crecimiento disminuye porque su crecimiento cesa y empieza su etapa productiva, con ello aumenta la respiración de mantenimiento que refleja los gastos de energía que se intervienen en procesos que no determinan una ganancia neta de biomasa orgánica y la respiración de crecimiento es baja (Ribas-Carbó *et al.*, 1995)

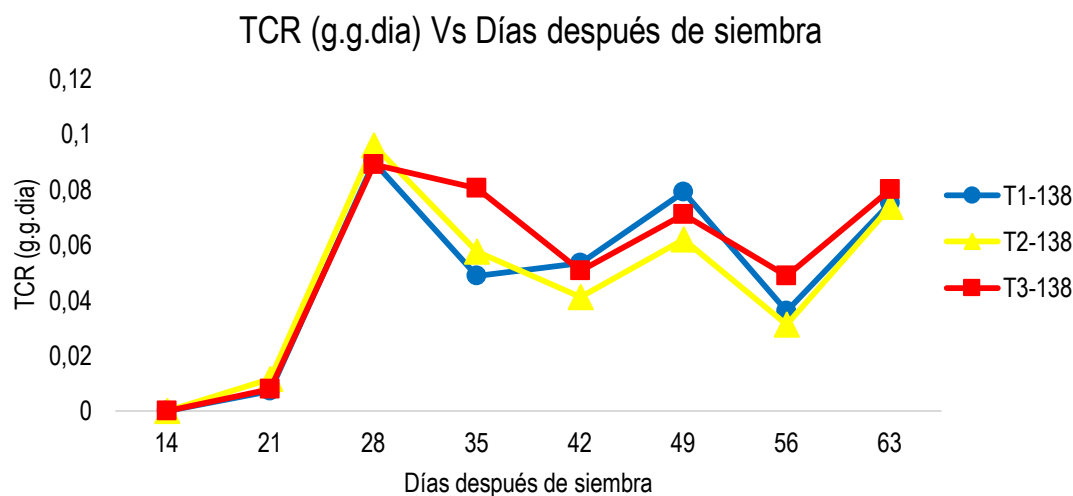
Entre los 35 y 42 días después de siembra se presentó un tiempo de sequía en el desarrollo del experimento lo que podría indicar los valores bajos de TCR para los tres tratamientos, Según Jaleel *et al.*, (2009), determinaron que una de las estrategias de las plantas frente al déficit hídrico es el cierre estomático y la reducción del área foliar, lo que conlleva a una reducción en la biomasa de la planta. Pasados los 42 días después de siembra aumentaron los valores de TCR para los tres tratamientos por aplicación de riego.

Para los 56 días después de siembra se presentó una disminución en la tasa debido a que la especie se encontraba en etapa de floración (Barranza, 2000), en un estudio realizado en pimentón (*Capsicum annuum.*) explica que, en dicho estado fenológico, *“las hojas inferiores del cánopi entraron en senescencia y no fueron ganando peso en vista de que se convirtieron en fuentes que atendían la demanda de fotoasimilados que requieran las flores para su amarre y posterior cuajado de frutos”* ahora bien exponiéndolo a este caso dichos asimilados serían translocadas para la formación de semillas, lo que explica un aumento de materia seca a los 63 días después de siembra para todos los tratamientos.

Al momento de comparar los comportamientos entre líneas se observa que la TCR observada en la figura 6 muestra que el genotipo L140 presentó mayor incremento de materia seca con respecto al genotipo L-138, estos resultados permiten deducir que:

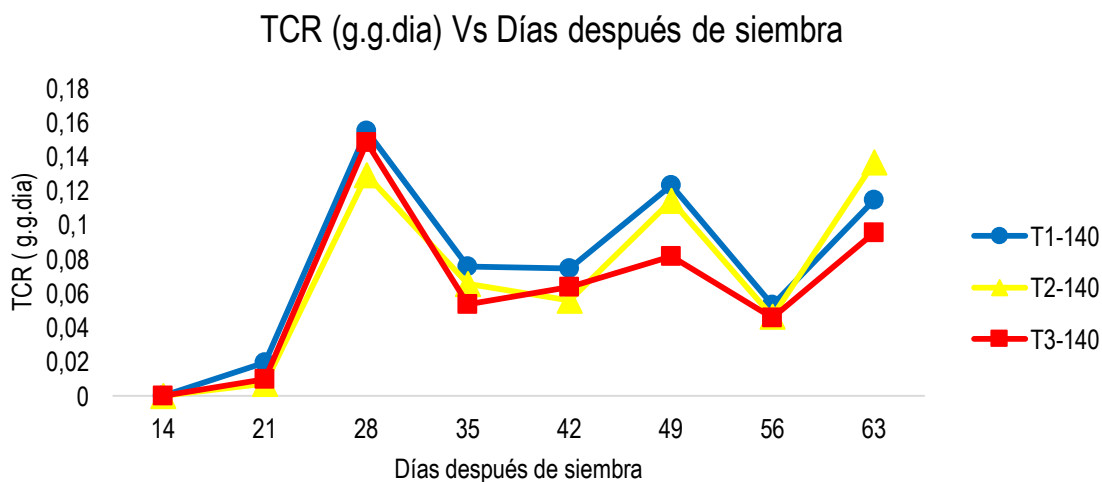
El genotipo L-140 presentó un mayor incremento de materia seca por unidad de tiempo, lo que se explica por la precocidad de la línea experimental (Tabla 7) frente al genotipo L-138 evaluado en esta investigación. A su vez, este incremento deduce un mejor comportamiento agronómico bajo condiciones ambientales de Guavio Bajo.

El genotipo L-140 logró una mayor eficiencia en la elaboración de nuevo material a diferencia del genotipo L-138, esperando así mejores rendimientos en producción, de igual manera la línea 140 presentó un mayor potencial de fotosíntesis a un bajo costo respiratorio a diferencia del genotipo L-138.



*T1: Fertilización Nitrogenada convencional T2: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% T3: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 4. TCR vs Días después de siembra para la línea L 138 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.



*T1: Fertilización Nitrogenada convencional T2: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% T3: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 5. TCR vs Días después de siembra, Línea L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

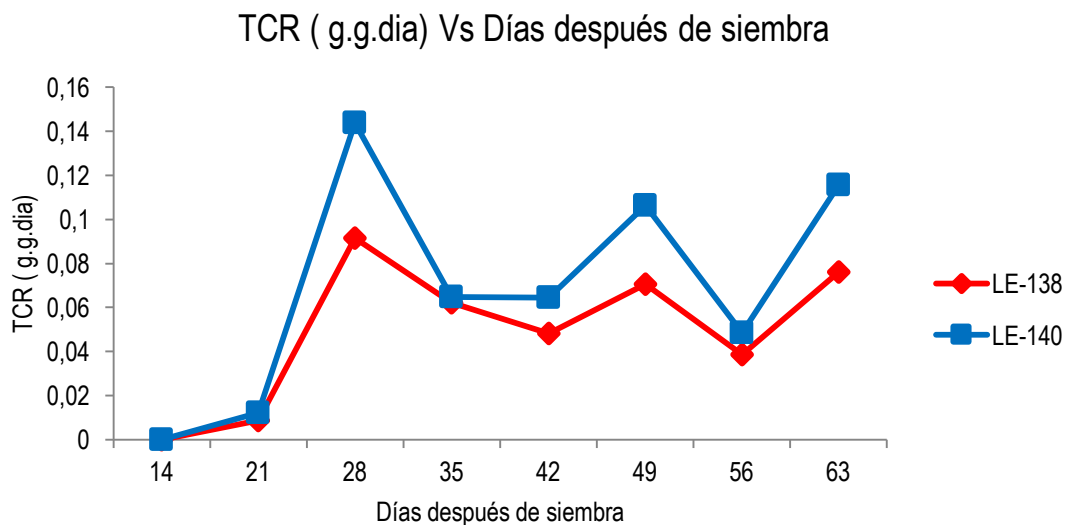


Figura 6. TCR vs Días después de siembra, Líneas L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

3.3.2 Tasa de Crecimiento del cultivo (TCC)

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) corresponde a la tasa de producción de biomasa por unidad de terreno y por unidad de tiempo, donde W representa el cambio de peso y T el tiempo transcurrido entre dos muestreos sucesivos. Su unidad es masa por tiempo $g\ m^{-2}\ d^{-1}$, (Hunt, 2003).

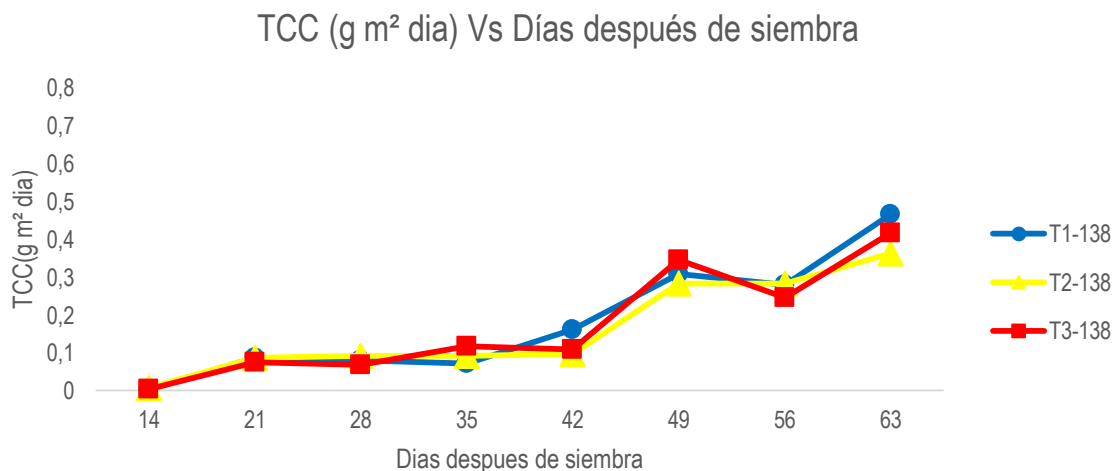
En la figura 7 y 8 se observa que en general los tres tratamientos de fertilización presentaron el mismo comportamiento de la TCC en los dos genotipos evaluados en este experimento. Para los dos genotipos evaluados se observó un crecimiento moderado entre los 14 días después de siembra hasta los 42 días después de siembra, pasados 42 días después de siembra los dos genotipos bajo los tres tipos de fertilización presentaron un incremento observándose el pico más alto a los 63 días después de siembra, con una TCC de $0,56\ g\cdot m^{-2}\cdot día^{-1}$ para la línea 138 y $0,70\ g\cdot m^{-2}\cdot día^{-1}$ para la línea 140. Como índice que representa la productividad del cultivo, la TCC indica la eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Hunt, 1978). La línea con mayor eficiencia productiva de biomasa durante el ciclo de cultivo fue LE140.

Los valores obtenidos en las dos líneas son muy bajos comparados con estudios realizados en frijol arbustivo por Criollo & López, (2015) donde los valores máximos de la TCC fueron $5,69 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$, a los 69 DDS, aunque cabe recalcar que el frijol arbustivo presenta mayor precocidad por ende manifiesta una mayor acumulación de materia por unidad de terreno y por unidad de tiempo en comparación a las dos líneas de habichuela evaluadas. Además el experimento presentó un déficit hídrico en gran parte del ciclo de cultivo de las líneas de habichuela cultivadas y esto como lo exponen las TCC reportados por Archila *et al.*, (1998) ($4,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) y De Oliveira *et al.*, (2000) ($1,75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) la TCC es menor cuando los cultivos presentan déficit hídrico durante su ciclo.

Una de las explicaciones por las cuales se presentaron valores bajos de TCC para las dos líneas evaluadas fue por la falta de agua entre los 35 y 43 DDS, de igual manera Kramer (1993) afirma que los periodos de sequía de diferente duración e intensidad, afectan el crecimiento, desarrollo del cultivo y en consecuencia el rendimiento. Uno de los primeros efectos discernibles de la sequía en la planta es la expansión de sus diferentes órganos, lo cual se refleja en hojas más pequeñas, en menor interceptación de luz y consecuentemente en una menor producción de materia seca y grano y por lo tanto bajas TCC

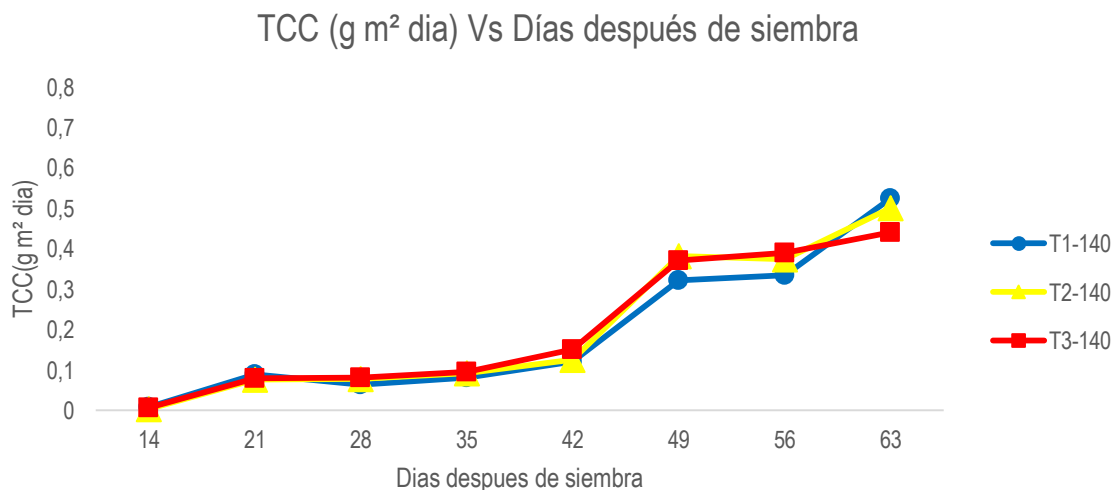
En la figura 9 se puede observar el comportamiento de la TCC entre las líneas evaluadas en este experimento donde se evidenció una mayor tasa de crecimiento del cultivo para el genotipo L 140 lo que demuestra que la mayor tasa alcanzada por esta línea evidencia una mayor eficiencia productiva de biomasa (Rodríguez, 2003), esperando así mayores rendimientos en producción.

La línea L 140 presentó a partir de los 42 DDS un aumento significativo de la TCC causado por una precoz aparición del órgano floral, (Tabla 8), La mayor TCC alcanzada por el genotipo L-140 indica una mayor eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y está en concordancia con lo reportado por (Hunt, 1990) refiriéndose a que la TCC es un índice de productividad agrícola cuyos valores más altos se reflejan en mayor producción de los órganos de interés para la cosecha, contribuyendo a un mayor rendimiento.



***T1**: Fertilización Nitrogenada convencional **T2**: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3**: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 7. TCC vs Días después de siembra, Líneas L 138 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.



***T1**: Fertilización Nitrogenada convencional **T2**: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3**: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 8. TCC vs Días después de siembra, Línea L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

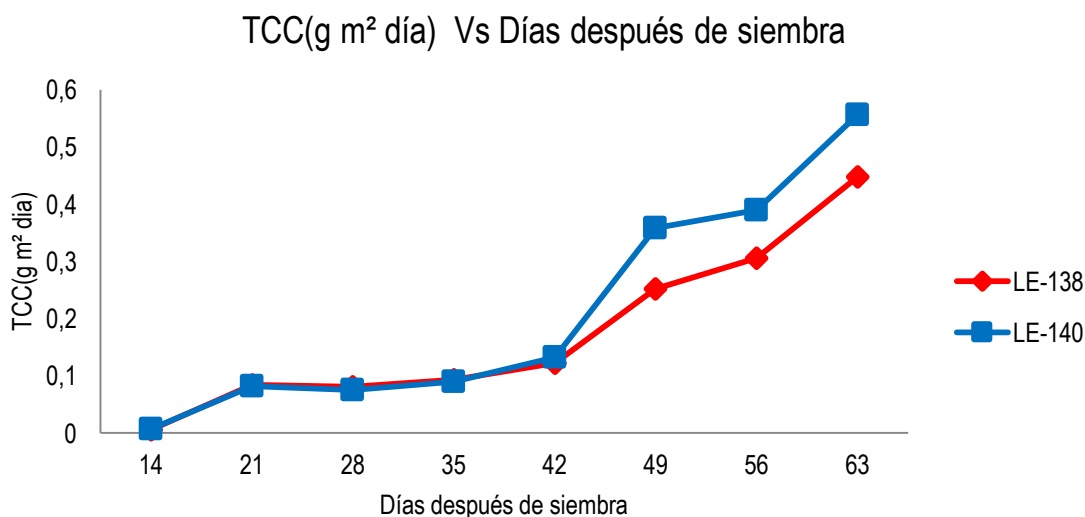


Figura 9. TCC vs Días después de siembra, Línea L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

3.3.3 Tasa de Asimilación Neta (TAN)

La TAN explica el comportamiento de la acumulación de materia seca por unidad de área fotosintética por unidad de tiempo, (Hunt, 1978) (Evans, 1972)

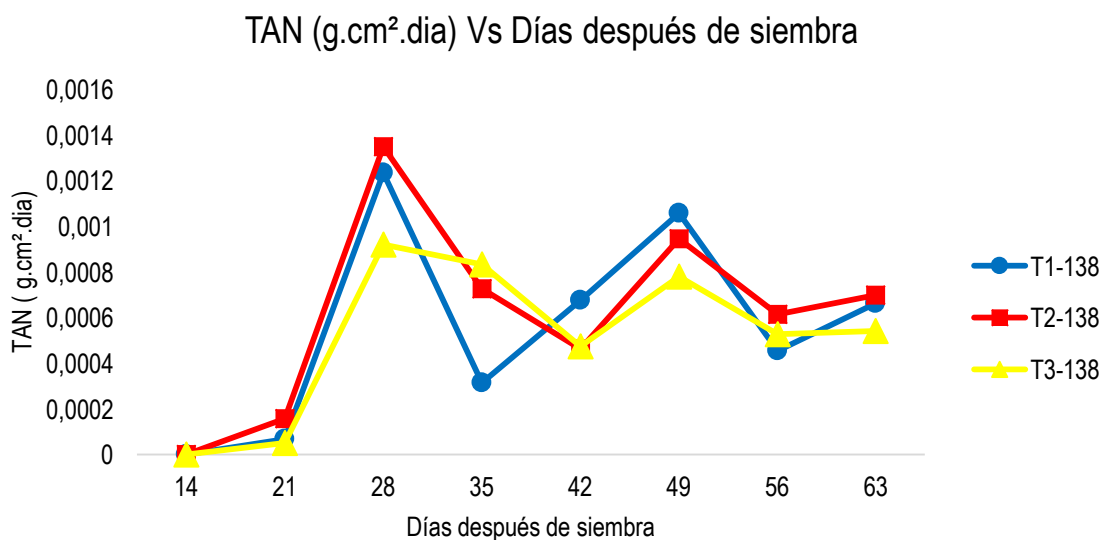
En general para los tres tratamientos de fertilización se presentaron valores de TAN muy similares tanto para la línea 138 como para la línea 140, como se puede evidenciar en la figura 10 y en la figura 11, para las dos líneas evaluadas se presentó un incremento en los valores de TAN hasta los 28 días de siembra debido que las plantas se encontraban en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas (Segura *et al.*, 2006) Pasados los 28 días después de siembra, los dos genotipos presentaron valores bajos de TAN debido a que el experimento sufrió un alto déficit hídrico debido al intenso tiempo seco, ya que cuando el déficit hídrico desarrolla en las plantas respuestas en el crecimiento de la planta como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007) como consecuencia se obtiene una menor área fotosintética y por ende una menor asimilación.

Pasados los 42 DDS los valores aumentan debido a que se realizó aplicación de riego, la disponibilidad de agua fue un factor determinante en el crecimiento de las plantas, ya que cuando el suelo pierde agua gradualmente, el primer órgano que disminuye su crecimiento es la hoja, teniendo así una menor disponibilidad de captación de luz, reflejando una disminución de fotoasimilados que finalmente se traducen en biomasa (Boyer, 1970).

Núñez *et al.*, (1998) evaluaron el impacto del estrés hídrico en el crecimiento del *Phaseolus vulgaris*, encontraron una disminución rápida en el área foliar, presentando una reducción en el inicio de la floración que fue menor en un 65% en comparación al testigo (plantas en condiciones óptimas, sin estrés hídrico) así mismo, la conductancia estomática y la fotosíntesis se redujeron bajo estrés hídrico, estudios realizados por Babalola, (2000) encontró que el estrés hídrico presentó efectos negativos sobre tres cultivares de frijol debido a que redujo significativamente el crecimiento y el rendimiento (34 y 64%) de los cultivares cuando el estrés hídrico se presentó en la etapa de floración y fructificación. Kohashi *et al.*, (2002) reportaron que el estrés hídrico inhibió en diferente grado la acumulación de materia seca, así como el área foliar de acuerdo a la posición de la planta y las etapas de desarrollo, presentando una reducción en el área foliar y en el peso seco.

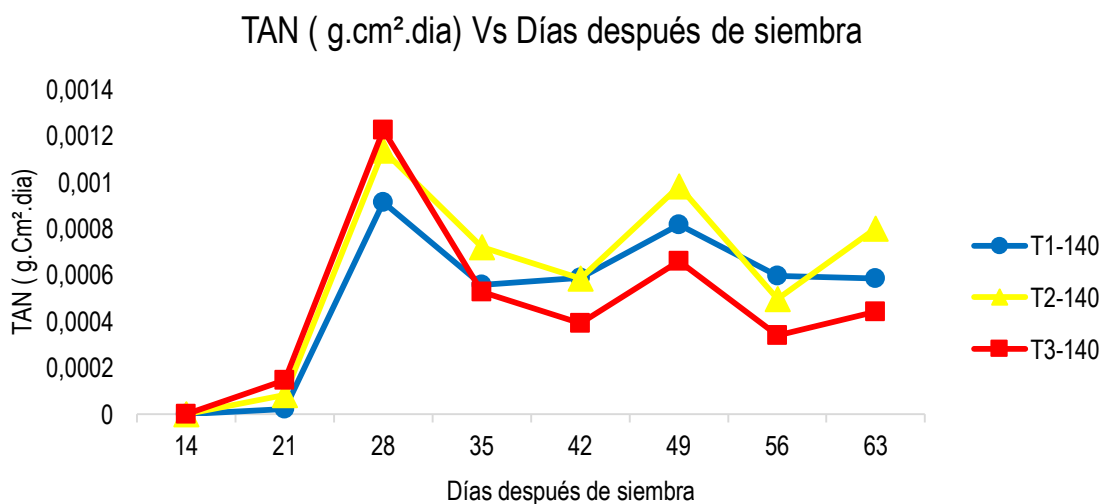
A partir de los 49 días después de siembra los dos genotipos presentaron una disminución de TAN, según Hunt, (1978) Evans, (1972) la disminución en la velocidad de asimilación neta de fotoasimilados, es un reflejo que en la medida en que se producen más hojas, las inferiores van quedando sombreadas y sus tasas fotosintéticas disminuyen en relación directa a la disponibilidad de luz, lo que demuestra un decrecimiento con la edad de la planta.

En la figura 12 se puede observar que el genotipo L 138 y L 140 presentaron valores de TAN similares durante el ciclo de cultivo, lo que indica que estas dos líneas presentaron la misma asimilación, aunque la línea 140 presentó superior comportamiento en la TCR y TCC, lo anterior indica que la línea 140 presentó una mayor eficiencia fotosintética esperando así una mayor producción al final del ciclo (Santos-Castellanos *et al.*, 2010).



*T1: Fertilización Nitrogenada convencional T2: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% T3: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 10. TAN vs Días después de siembra, Línea L 138 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.



*T1: Fertilización Nitrogenada convencional T2: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% T3: Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 11. TAN vs Días después de siembra, Línea L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

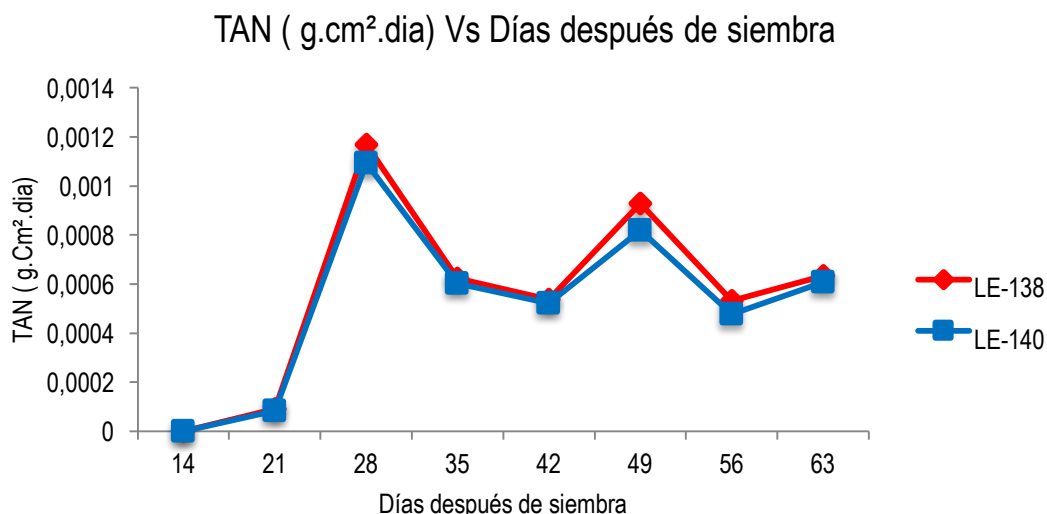


Figura 12. TAN vs Días después de siembra, Líneas L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

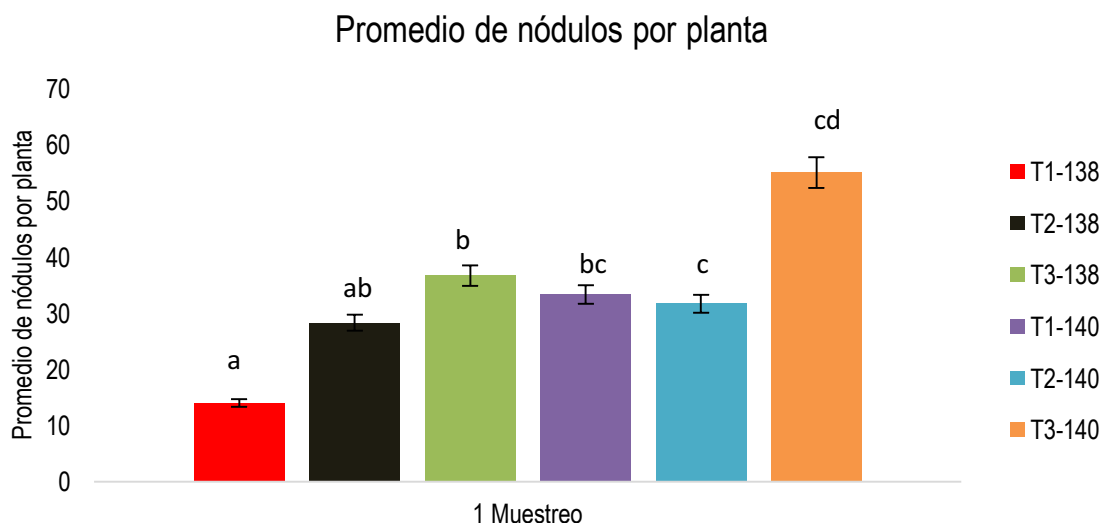
3.4 Efecto de la inoculación de bacterias nitrificantes en dos líneas promisorias de Habichuela

Para observar el efecto de la inoculación en las líneas de habichuela, se realizaron dos evaluaciones, a los 45 días después de siembra y a los 52 días después de siembra, para estas evaluaciones se realizó un análisis de varianza (Anexo G) donde no se presentaron diferencias significativas entre líneas ($P=0,08$), sin embargo, entre tratamientos si difirieron ($P=0,032$).

Como se puede observar en la figura 13 y 14 para los dos muestreos realizados el tratamiento con mayor cantidad de nódulos por planta fue el tratamiento 3 (Inóculo *Rhizobium sp.*100%) presentando un promedio de 55 nódulos/planta para la línea 140 (primer muestreo) y 52 nódulos/planta para la línea 140 (segundo muestreo), a diferencia del tratamiento 1 (Fertilización Nitrogenada convencional) presentando un promedio de 14 nódulos/planta para la línea 138 (primer muestreo) y 14 nódulos/planta para la línea 138 (segundo muestreo). Una de las posibles causas por las cuales el tratamiento 1 (Fertilización Nitrogenada convencional) presentó el menor promedio de nódulos se debe a que altas concentraciones de nitratos inhiben el proceso de infección, el desarrollo de los nódulos y la expresión de la actividad de la nitrogenasa, la presencia de formas

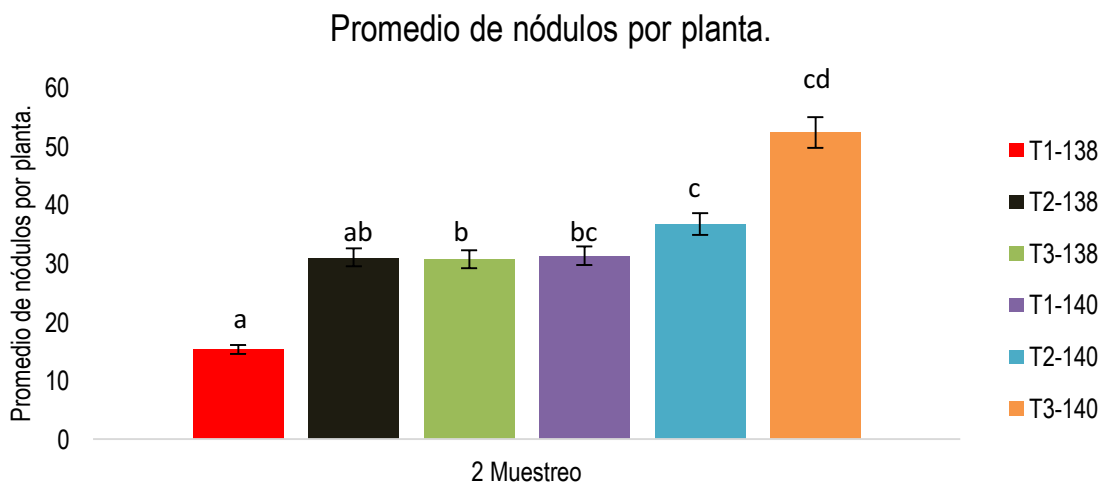
combinadas de nitrógeno limita la fijación biológica de nitrógeno. Los suelos fértiles con moderada o alta disponibilidad de formas inorgánicas de N en el momento de la siembra, y/o importantes tasas de mineralización durante el ciclo del cultivo, afectan al establecimiento de la simbiosis ya que retardan el inicio de la nodulación y/o inhiben el funcionamiento del sistema fijador. A mayor presencia de N en el suelo, menores posibilidades hay para la FBN y, a la inversa, a menor presencia de N del suelo, hay más N de la FBN (Paredes, 2013) Lo anterior se corrobora en la figura 15 donde se evidenció un mayor número de nódulos en el tratamiento 3 (Inóculo *Rhizobium sp.*100%) a diferencia del tratamiento T1 (Fertilización Nitrogenada convencional) y el T2: (Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50%).

Teniendo en cuenta los resultados presentados en la figura 13 y 14 se evidenció que la línea 140 presento el mayor promedio de nódulos por planta durante los dos muestreos lo que indica que esta línea presento un mejor comportamiento a la fijación biológica de nitrógeno con la cepa de *Rhizobium* CIAT 899, aunque los nódulos presentes no presentaron viabilidad (figura 16)



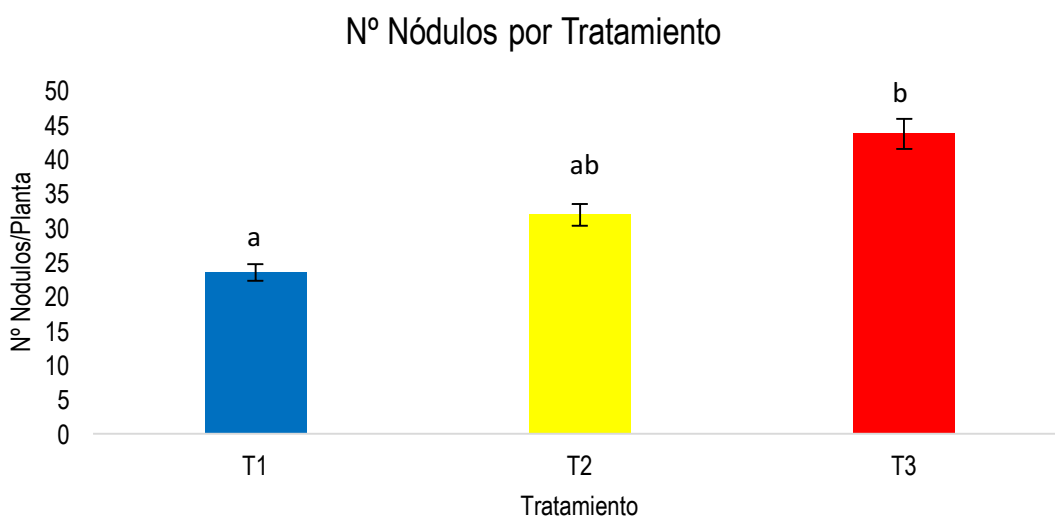
***T1:** Fertilización Nitrogenada convencional **T2:** Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3:** Inoculo *Rhizobium sp.*100%. / Promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias a nivel estadístico.

Figura 13. Promedio de nódulos por planta vs Primera evaluación, Líneas L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria "Granja La Esperanza" del municipio de Fusagasugá.



***T1**: Fertilización Nitrogenada convencional **T2**: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3**: Inoculo *Rhizobium sp.*100% / Promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias a nivel estadístico.

Figura 14. Promedio de nódulos por planta vs segunda evaluación, Líneas L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.



***T1**: Fertilización Nitrogenada convencional **T2**: Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3**: Inoculo *Rhizobium sp.*100% / Promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias a nivel estadístico.

Figura 15. Numero de nódulos por tratamiento para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

Para corroborar que los nódulos presentes en las raíces de habichuela se presentaran activos se realizó un corte transversal de los nódulos para las dos líneas de habichuela; como resultado se observó la ausencia de la coloración rojiza la cual es característica de un nódulo efectivo debido a la presencia de leghemoglobina, cuya función es la de mantener bajas las tensiones parciales de oxígeno, lo que crea un ambiente microanaeróbico que permite a su vez la actividad de la enzima nitrogenasa del bacteroide y la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (Quinto, 2007). Es decir que al no presentarse esta coloración rojiza posiblemente el nódulo no es efectivo, la imagen de un nódulo viable presentado por Díaz Alcantara, (2010), al lado de un nódulo tomado de una de las plantas del experimento muestra que la inoculación no fue efectiva en la viabilidad de la nodulación (Figura 16).

Según Paredes (2013), una de las posibles causas por las cuales la fijación biológica de nitrógeno no presentó éxito fue debida a la época de sequía que se presentó durante los 35 y 42 días después de siembra, el estrés hídrico determina una caída en la FBN, cuyo impacto sobre el rendimiento depende de la intensidad y momento de ocurrencia. En casos extremos este tipo de estrés puede llegar a anular la FBN. Las siembras en condiciones secas provocan la mortandad de bacterias y disminuyen la posibilidad de lograr una nodulación apropiada. Además, la falta de agua en etapas tempranas, retrasa la aparición de los nódulos y la falta de agua en etapas reproductivas limita la FBN restringiendo el rendimiento. De igual manera lo expone Serraj *et al.*, (1999) Indicando que el proceso de FBN es altamente sensible al estrés hídrico, comprometiéndose cuando la humedad del suelo es menor al 50% del agua útil.

Otro factor que pudo afectar la FBN es la acidez del suelo presentado valores de pH de 4,19 (Anexo K) (Zheng, 2010), el pH del suelo afectó directamente en la fijación debido a que todas las estirpes bacterianas necesitan valores de pH del suelo superiores a 5, a excepción del *Rh lupini* (pH 3,2) y *Rh. japonicum* (pH 4,2) (Martínez, 2009), en suelos con pH inferior a 5, el aluminio es disuelto a formas iónicas, lo que provoca otro estrés por toxicidad que a su vez, causa inhibición en la elongación de la raíz y afecta el flujo de agua y nutrientes a través de este órgano (Horst, 2010). De igual manera Marín, (2010) afirma que las condiciones de acidez en el suelo afectan la fijación biológica del nitrógeno (FBN) porque limita la sobrevivencia de las bacterias y reduce la nodulación.

Por otro lado, los niveles altos de aluminio (Al) y manganeso (Mn) registrados en el suelo (Anexo K) pudieron afectar gravemente a la división celular de las bacterias y la división de las células de las raíces, disminuyendo la iniciación de los nódulos. La deficiencia de calcio presente en el suelo retardo considerablemente la producción de nódulos, generando nódulos poco firmes e ineficientes reduciendo la actividad específica de los nódulos y por consiguiente la FBN. De igual manera la textura arenosa afectó la sobrevivencia de las bacterias fijadoras ya que las bacterias sobreviven mejor en suelos franco arenosos, franco limosos o franco arcillo limosos viéndose afecta la FBN (Paredes, 2013).

Al no presentarse la fijación biológica de nitrógeno, como consecuencia se puede ver afectado el rendimiento para las líneas debido a que las plantas que se encontraban bajo este tratamiento la inoculación de bacterias nitrificantes era la única fuente de nitrógeno, según Flor (1994), la planta de habichuela demanda más nitrógeno que otros nutrientes, ya que el mismo interviene en la formación de las proteínas que contiene la semilla (20 a 22%), además los requerimientos del nitrógeno se aumentan durante las fases de formación y llenado de vainas.



Figura 16. Izq. Corte Nódulo viable Fuente: (Diaz Alcantara, 2010), Der: Nódulo Inviable Fuente: Bello & Garzón (2017)

3.5 Componentes de Rendimiento

Tabla 8. Componentes de Rendimiento Líneas L 138 y L 140

	RACIMOS POR PLANTA		VAINAS POR RACIMO		PESO DE 10 VAINAS (g)		LONGITUD (cm)		GROSOR (cm)	
T1 138	6	a	20	a	52	a	10	a	0,7	a
T2 L138	3	a	13	a	56	a	10	a	0,7	a
T3 L138	5	a	16	a	61	a	11	a	0,8	a
T1 140	8	a	19	a	91	a	15	b	0,9	b
T2 140	10	a	21	a	94	a	15	b	1	b
T3 140	7	a	20	a	91	a	15	b	1	b

**Promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias a nivel estadístico.*

3.5.1 Número de racimos por planta

El análisis de varianza (Anexo A) para el componente de rendimiento de racimos por planta no presentó diferencias significativas, teniendo para tratamientos (P. valor = 0,541) y para líneas (P. valor = 0,107), lo que indica que los tratamientos de fertilización no influyeron sobre el número de racimos por planta para las dos líneas evaluadas en este experimento.

Una de las razones por las cuales no se presentó diferencias significativas fue debido a que la fijación biológica de nitrógeno con la cepa de *Rhizobium* CIAT 899 no fue eficiente en las condiciones ambientales de Guavio Bajo y como consecuencia las líneas evaluadas no lograron expresarse de la mejor manera lo que significó una ausencia de nitrógeno durante el desarrollo del experimento, los requerimientos del nitrógeno se aumentan durante las fases de formación y llenado de vainas (Flor, 1994) sumado esto al déficit hídrico ya que cuando este se presenta antes de la floración se reduce el número de racimos (Bascur y Fritsch, 1975).

Además, Miranda y Belmar, (2001) realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) donde encontraron que hubo un efecto representativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de racimos por planta debido

al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano.

Al no existir diferencias significativas entre los tratamientos para el número de racimos por planta se puede decir que existe uniformidad en el número de racimos por planta para las dos líneas.

3.5.2 Número de vainas por racimo

El análisis de varianza (Anexo B) no presentó diferencias significativas, (P. valor = 0,109) en cuanto a número de vainas por racimo, por cada tratamiento evaluado. Asimismo, no se presentaron diferencias (P. valor = 0,788) entre líneas de habichuela.

Los resultados expuestos en este experimento concuerdan con Antolinez & Cardenas, (2010) y Garcia & Manrique, (2013), donde el genotipo LE-140 no presenta diferencias significativas con el genotipo LE-138 bajo condiciones climáticas similares, esto indica que la línea 138 y 140 presentaron la misma adaptabilidad en la zona de Guavio Bajo.

Aunque, estudios realizados por Buitrago (2013), reporta que el genotipo LE-140 presento una mayor cantidad de vainas por racimo, comparada con el genotipo LE-138 bajo condiciones ambientales del municipio de Arbeláez, lo anterior indica que la línea 140 presento mejor adaptabilidad a las condiciones ambientales de Arbeláez, a diferencia de la zona de Guavio Bajo.

Estudios realizados por Jiménez & Moreno (2014), en el Municipio de Guavio Bajo (Cund.), bajo condiciones controladas de invernadero, se obtuvo diferencia significativa a nivel estadístico arrojando como resultado un promedio de 76 vainas/planta para LE-138 y 72 vainas/ planta con el Testigo comercial Blue Lake. De lo anterior se infiere que la variedad LE-138 presenta un comportamiento mejorado en unas condiciones de humedad relativa, temperatura, CO₂, radiación solar, sistema de riego, y demás factores que se pueden controlar en un invernadero para el aprovechamiento del potencial genético.

Los resultados indican que los tratamientos de fertilización no interfieren en el número de vainas por racimo, de igual manera no se presentan diferencias en el número de vainas por racimo entre las líneas de habichuela evaluadas.

3.5.3 Longitud de vainas

El análisis de varianza (Anexo D) no muestra diferencias significativas, (P. valor = 0,475) en la variable longitud de vaina, para cada tratamiento evaluado sin embargo, se presentaron diferencias significativas (P. valor = 0,008) entre líneas, el Test de Tukey señala estas diferencias con medias de 15 para L 140 y 10,31 para L 138, mostrando mayor longitud de vaina para la línea L 140, esto concuerda con Valencia & Romero, (2014) los cuales exponen que la línea L 140 presentó mayor longitud de la vaina. Por otro lado, los resultados obtenidos en este experimento no concuerdan con lo planteado por García & Manrique, (2013), quienes afirman que en su evaluación esta línea no tuvo diferencias con respecto a esta variable.

Los resultados obtenidos exponen que los tratamientos de fertilización no influyeron en la longitud de vaina, aunque entre líneas se presentó una diferencia significativa, donde la línea 140 presentó una mayor longitud esperando así un mejor rendimiento ya que a mayor longitud de vainas estas pueden contener mayor número, tamaño o peso de semillas, traduciéndose en mayores rendimientos (Scavo, 2000) una de las causas por las cuales la línea 140 presentó mayor longitud que la línea 138 fue debido a que la línea 138 presentó mayor porcentaje de severidad por mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*), ya que esta enfermedad puede reducir el tamaño de vainas y granos, disminuir la altura de la planta y el número de nudos, causar decoloración de granos y producir pérdidas en el rendimiento de hasta el 50% (Koike *et al.*, 2007)

3.5.4 Grosor de vainas

El análisis de varianza (Anexo E) no presentó diferencias significativas, (P. valor = 0,263) en la variable grosor de la vaina, para cada tratamiento evaluado, aunque se presentaron diferencias significativas (P. valor = 0,019) entre líneas, para evaluar estas diferencias se realizó el Test de Tukey (anexo E), que arrojó medias de 1 para L 140 y 0,77 para L 138. Lo anterior indica que los tratamientos de fertilización no influyeron sobre el grosor de la vaina, aunque se presentaron diferencias entre líneas donde la línea 140 presenta un mayor grosor, es importante resaltar que esta característica es un componente muy importante del rendimiento debido a que esta variable depende de factores directos e indirectos, entre los factores directos los de mayor peso son el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el grosor del grano (Quevedo, 1998).

Los resultados presentados para la variable grosor presentan un mayor grosor para la línea 140, la razón por la cual este cultivar presentó mayor grosor es debido a que presentó un menor porcentaje de severidad por mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) ya que esta enfermedad puede reducir la biomasa total en el número de vainas y granos (Rubiales, 2012).

3.5.5 Peso de 10 vainas

El análisis de varianza (Anexo C) no se presentaron diferencias significativas, (P. valor = 0,701) en cuanto a peso de 10 vainas en cada tratamiento evaluado. Sin embargo, entre líneas se presentaron diferencias significativas (P. valor = 0,005) donde L 140 presentó mayor peso de 10 vainas. Esto concuerda con lo reportado por Triana y Benavides, (2011) donde el genotipo LE-140 presentó un mejor comportamiento para esta variable bajo condiciones ambientales de Pasca, Cundinamarca, estos resultados difieren de lo reportado por Antolinez & Cardenas, (2010) y Valencia & Romero, (2014) quienes afirmaron que entre estas líneas no se presentaron diferencias significativas en el componente de rendimiento de peso de 10 vainas.

Al no existir diferencias significativas entre los tratamientos para el peso de 10 vainas se puede decir que la fertilización no interfirió en el peso de 10 vainas, aunque se presentó diferencias significativas entre líneas, siendo la línea 140 la que presentó mayor peso de 10 vainas (Tabla 8) esperando una mayor productividad puesto que los componentes de rendimiento como el peso de vainas por planta y peso de 100 semillas son componentes clave en la productividad (Silva, 2015).

Los pesos de 10 vainas obtenidos en las dos líneas son muy bajos comparados con estudios realizados por Valencia & Romero (2014) los cuales exponen un peso de 10 vainas de 125 g para la línea LE140 y 110 g para la línea 138, la razón por la cual las dos líneas experimentales presentaron valores bajos fue debido a que *Phaseolus vulgaris* es extremadamente sensible al estrés hídrico en las etapas fenológicas de la planta como el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano, este tipo de estrés abiótico disminuye el rendimiento y calidad de la producción (Rainey, 2005).

Además, cuando se presenta déficit hídrico en la etapa reproductiva se presenta una mayor susceptibilidad debido a que en ella ocurre la máxima demanda de asimilados, lo que causa una reducción en el rendimiento de los granos (Muñoz-Perea *et al.*, 2006).

3.5.6 Biomasa

Uno de los factores que más llama la atención en términos productivos de una especie cultivada es la producción de materia seca por unidad de área (Tique *et al.*, 2009).

La figura 17 muestra la biomasa total presentada a lo largo del experimento por cada una de las líneas, observando a través del análisis estadístico mostrado en el anexo F, que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre líneas ($P=0,648$), con un leve mejor comportamiento de L 140, a su vez entre tratamientos se realizó el test comparativo de Tukey (anexo F), mostrando la ausencia de diferencias estadísticas significativas. Se observa que a partir de los 49 DDS se incrementó los valores de biomasa para la línea 140 lo que indicó un posible mejor comportamiento al déficit hídrico.

Los valores obtenidos de biomasa para las dos líneas son muy bajos comparados con estudios realizados por Morales (2004), donde presento valores de biomasa de 300g, la razón por la cual se presentaron estos valores bajos fue debido al estrés hídrico que inhibió en diferente grado la acumulación de materia seca, así como el área foliar de acuerdo a la posición de la planta y las etapas de desarrollo, presentando una reducción en el área foliar y en el peso seco (Kohashi *et al.*, 2002).

Peña & Muñoz (1998), encontraron que un estrés hídrico reduce severamente el índice de área foliar, peso seco, número de granos y el rendimiento de frijol.

Guzmán (2010), evaluó bajo condiciones controladas el estrés hídrico al crecimiento de frijol, encontrando que el peso seco total de follaje bajo riego presentó un mayor peso foliar que con estrés hídrico. Además, estudios realizados en maíz corroboran que bajo estrés hídrico en la etapa vegetativa y reproductiva se obtuvo reducciones en la biomasa de 28 a 32% (Cakir, 2004).

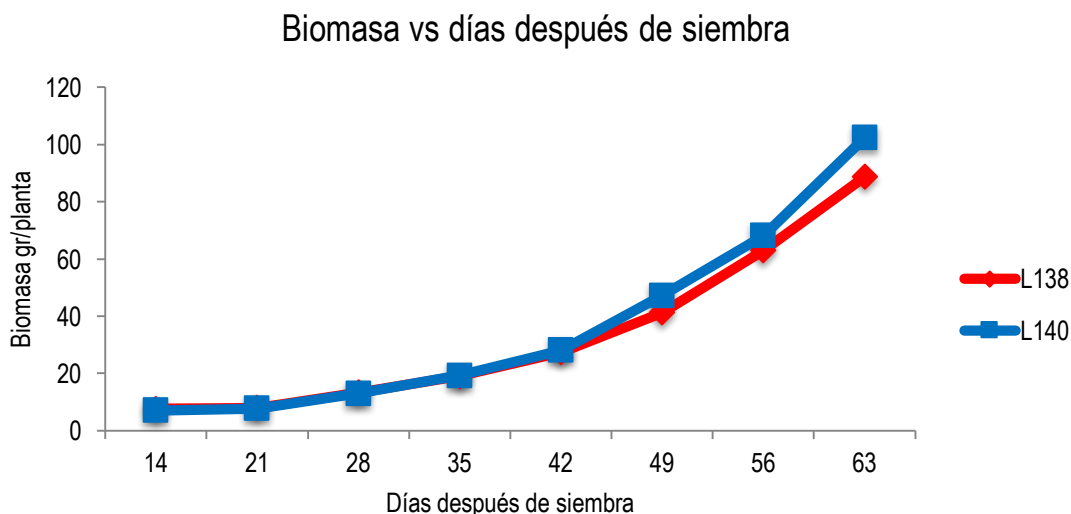


Figura 17. Biomasa vs Días después de siembra, Líneas L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

3.6 Comportamiento sanitario de dos líneas de Habichuela

3.6.1 Comportamiento Mildew Polvoso

Al momento de evaluar la presencia de enfermedades en las dos líneas promisorias de habichuela, se observó la presencia de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*), fluctuando el crecimiento de la enfermedad en las dos líneas.

La enfermedad Antracnosis (*Colletotricum lindemuthianum*) no se presentó durante el desarrollo del experimento debido a que estudios realizados por Valencia & Romero (2014) afirman que las líneas experimentales de habichuela 138 y 140 presentaron resistencia de campo a Antracnosis (*Colletotricum lindemuthianum*) en la zona de Guavio Bajo. Además, Jiménez & Moreno (2014) exponen de igual manera que las líneas 138 y 140 de habichuela presentaron resistencia de campo a Antracnosis (*Colletotricum lindemuthianum*) bajo condiciones ambientales de San Bernardo, Cundinamarca.

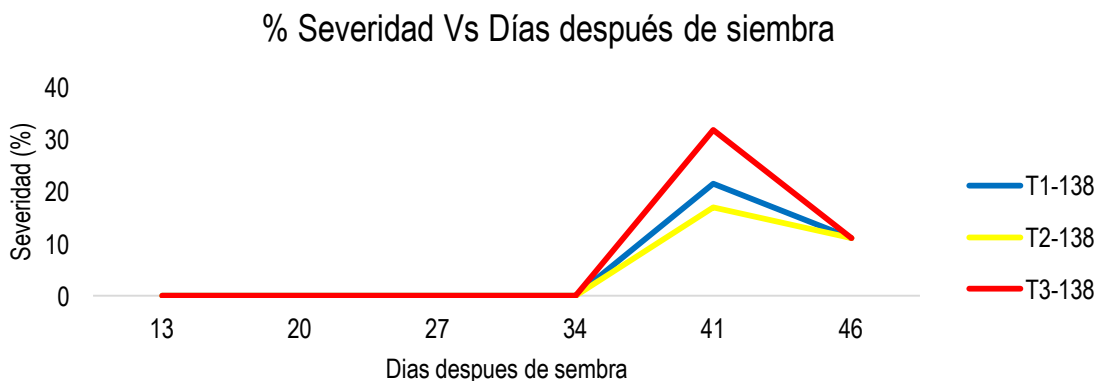
La severidad de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*), observable en la figura 18 muestra que a partir de los 34 días después de siembra se obtuvo un aumento considerable del grado de la enfermedad para la línea L 138 bajo tratamiento 3 (inóculo *Rhizobium*

sp.100%) con un valor del 30 %, para los demás tratamientos se observó una severidad similar obteniendo un promedio de 19%. Para el genotipo L-140, la severidad de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*), se muestra en la figura 19 donde es posible observar que a partir de los 41 días después de siembra, se obtuvo una severidad similar para los 3 tratamientos, con un promedio de 21%, A los 46 días después de siembra disminuyeron los valores de severidad para los tres tratamientos en las dos líneas de habichuela evaluadas debido al desarrollo de hojas nuevas sin signos de mildew polvoso.

De acuerdo a esto el CIAT, (2010) expone que la germinación del mildew polvoso ocurre cuando es principalmente es favorecido por temperaturas cálidas (20-24°C), baja humedad relativa, sombra e inclusive en ausencia de agua, lo que puede explicar la existencia de mildew en polvoso (*Erysiphe polygoni*) durante la época de sequía que se presentó en el desarrollo del experimento.

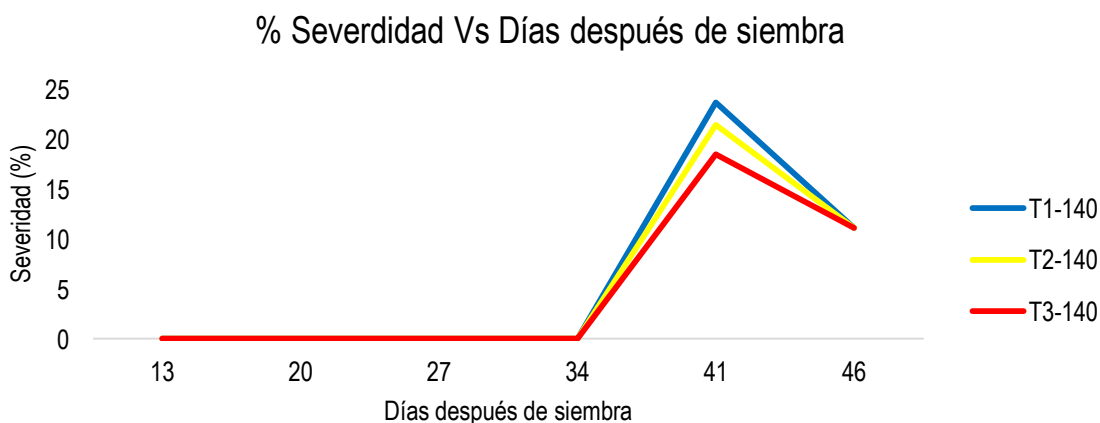
Al realizar el análisis de varianza para la interacción entre líneas y tratamientos, se observó en el anexo G que no hubo diferencias significativas entre líneas con (P. valor = 0.484), indicando así que hay homogeneidad de severidad para las dos líneas evaluadas y para cada uno de los tratamientos con un (P. valor = 0.241)

Los resultados visibles en la figura 21 indicaron que la severidad de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) no presento diferencias entre líneas bajos los tratamientos de fertilización, es decir que los dos cultivares presentan el mismo comportamiento frente a esta enfermedad bajo las condiciones ambientales de Guavio Bajo. se debe aclarar que estos genotipos no están reportados como tolerantes a este patógeno. Según Kaiser *et al.*, (2000) plantas con incidencia de mildew provocan una disminución significativa en la cosecha de semillas, calidad de semillas y tamaño.



***T1:** Fertilización Nitrogenada convencional **T2:** Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3:** Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 18. Porcentaje de severidad mildeo polvoso (*Erysiphe polygoni*) vs Días después de siembra para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.



***T1:** Fertilización Nitrogenada convencional **T2:** Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3:** Inoculo *Rhizobium sp.* 100%

Figura 19. Porcentaje de severidad mildeo polvoso (*Erysiphe polygoni*) vs Días después de siembra para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.



Figura 20. Habichuela afectada por Mildeo Polvoso (*Erysiphe polygoni*) Fuente: Bello & Garzón (2017).

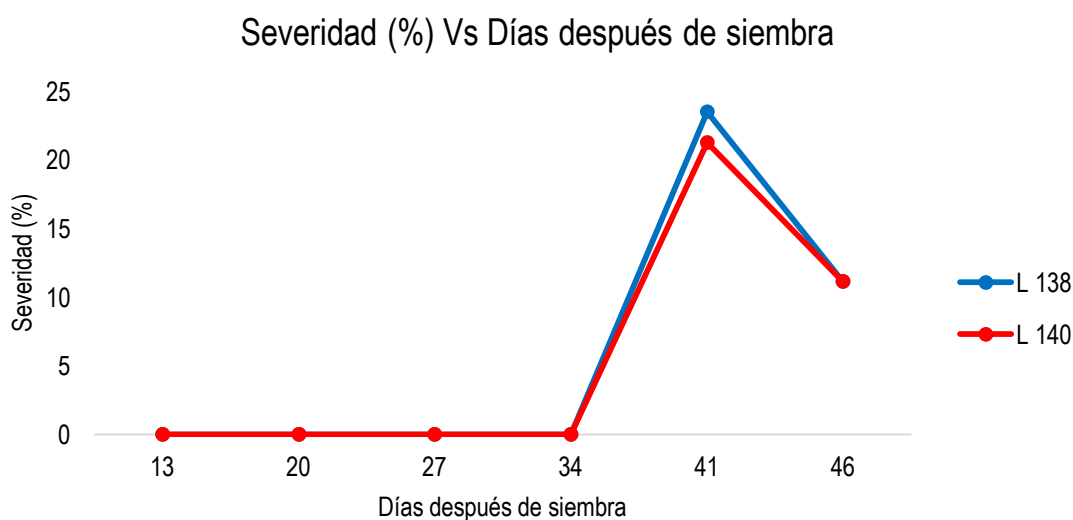
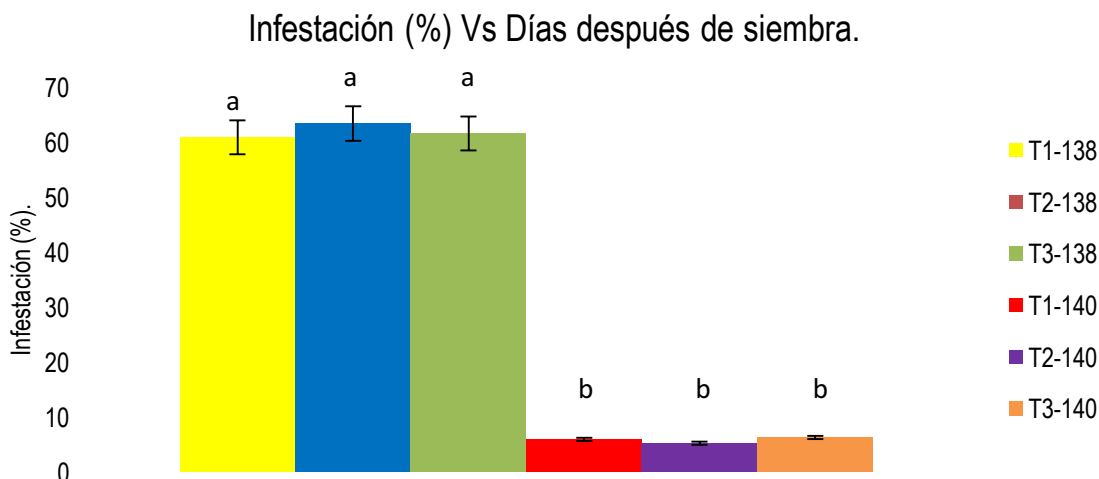


Figura 21. Porcentaje severidad mildeo polvoso (*Erysiphe polygoni*) vs DDS, Líneas L 138 y L 140 para la evaluación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) tipo voluble con inoculación de bacterias nitrificantes en el Centro de Investigación Agropecuaria “Granja La Esperanza” del municipio de Fusagasugá.

3.6.2 Nivel de infestación por Perforadores de vaina:

En análisis de varianza visible en el Anexo H. Se observó que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (P. valor = 0,998) para el porcentaje de infestación ocasionado por perforadores de vaina, sin embargo, entre líneas se presentan diferencias significativas (P. valor = 0.016).



***T1:** Fertilización Nitrogenada convencional **T2:** Inoculo *Rhizobium sp.* 50% - Fertilización convencional 50% **T3:** Inoculo *Rhizobium sp.* 100% / Promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias a nivel estadístico.

Figura 22. Porcentaje de infestación por perforadores de vaina, Líneas L 138 y L 140

El resultado obtenido de esta variable señala como se observa en la figura 22 que los genotipos L 138 y L 140, presentan entre ellos diferencias muy marcadas con una media de 5,67% de infestación para la línea L 140 y de 62,11% de infestación para L 138, mostrando así una mayor preferencia del perforador de la vaina hacia la línea LE 138. Estos análisis muestran que para el porcentaje de infestación fue determinante la línea, mas no los tratamientos, por lo cual los diferentes niveles de fertilización no influyeron sobre el ataque de perforadores de vaina, teniendo así la línea L 140 menor porcentaje de infestación a este insecto plaga. Los resultados expuestos en este experimento concuerdan con estudios realizados por García & Manrique (2012), Antolinez & Cárdenas (2012), Buitrago (2013) y Romero & Valencia (2014) donde la línea 140 presentó mejor comportamiento frente a plagas a diferencia de la línea 138, lo cual indica que la línea 138 genera un mayor costo en inversión de productos de protección de cultivos para el agricultor y pérdida de calidad de la vaina por el daño causado por problemas fitosanitarios debido a que los daños por perforadores de vaina consisten en que las larvas perforan y penetran en las vainas para alimentarse del grano, disminuyendo significativamente la cosecha. (CIAT, 1980). Este insecto plaga afecta las yemas terminales e induce la emisión de nuevos brotes, y puede ocasionar también daños y abortos en flores. Las yemas afectadas por el insecto se deforman y las vainas se pudren por la acción de organismos secundarios (Guarín, 2002).

3.7 Análisis de Correlación Canónica de las variables

Para determinar la relación líneas entre las variables evaluadas a lo largo del experimento y su significancia estadística se realizó el análisis de correlación canónica, con la previa realización de la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, con las variables independientes (Porcentaje de severidad por mildew polvoso (*Erysiphe polygoni.*) , Porcentaje de infestación por perforadores de vaina y Nodulación por planta) y variables dependientes (Peso de 10 vainas, longitud de vaina, racimos por planta, vainas por racimo, grosor de vaina y biomasa total), generando valores de variables estandarizadas y arrojando los siguientes resultados:

Tabla 9. Correlaciones y coeficientes de las combinaciones lineales.

<i>Correlaciones canónicas</i>				<i>Coefficientes de las combinaciones lineales</i>				
				L(1)	L(2)	L(3)		
R	0,96	0,88	0,46	%SEVERIDAD	0,01	-0,21	0,98	
R ²	0,92	0,77	0,21	%INFESTACIÓN	-1,10	0,33	0,15	
Lambda	50,91	20,39	2,85	NODULACION	-0,24	1,08	0,33	
gl	18,00	10,00	4,00	PESO 10	..	1,91	-1,34	2,74
p-valor	5,5E-05	0,03	0,58	LONGITUD	-0,85	1,72	-1,72	
				RACIMOS POR PLANTA	-0,57	-0,57	-2,90	
				VAINAS POR RACIMO	0,55	0,09	2,71	
				GROSOR	0,02	0,15	-0,85	
				BIOMASA	-0,28	0,66	0,26	

Como se puede observar en la tabla 9 la primera correlación canónica es de 0,96, correspondiente a la correlación entre el primer par de variables canónicas, el valor $R^2=0,92$ indica que el 92% de la variabilidad de los datos es explicada por dicha correlación, en síntesis, una correlación canónica sería suficiente para medir la asociación de las variables explicativas y de respuesta.

Los coeficientes de las combinaciones lineales muestran la alta significancia de las correlaciones evaluadas.

Tabla 10. Matriz de Correlaciones Canónicas.

Correlaciones canónicas

Matriz de correlación

	SEV.	INFES.	NODULOS	PESO10	LONGITUD	RACIMOS/PLANTA	VAINAS/RACIMO	GROSOR	BIOMASA
SEVERIDAD	1,00	-0,02	-0,06	0,02	0,02	0,08	-0,04	0,03	-0,34
INFESTACIÓN	-0,02	1,00	-0,50	-0,93	-0,88	-0,65	-0,55	-0,84	-0,18
NODULACION	-0,06	-0,50	1,00	0,53	0,63	0,10	0,07	0,57	0,62
PESO 10	0,02	-0,93	0,53	1,00	0,97	0,70	0,56	0,88	0,29
LONGITUD	0,02	-0,88	0,63	0,97	1,00	0,64	0,51	0,88	0,30
RACIMOS/PLANTA	0,08	-0,65	0,10	0,70	0,64	1,00	0,94	0,63	0,14
VAINAS/RACIMO	-0,04	-0,55	0,07	0,56	0,51	0,94	1,00	0,55	0,17
GROSOR	0,03	-0,84	0,57	0,88	0,88	0,63	0,55	1,00	0,32
BIOMASA	-0,34	-0,18	0,62	0,29	0,30	0,14	0,17	0,32	1,00

El porcentaje de severidad mildo polvoso (*E. Polygoni*) visible en la tabla 10 presenta correlación negativa y altamente representativa con la variable Biomasa, mostrando el impacto que ocasionó esta variable sobre el peso seco total de las plantas estudiadas.

El variable porcentaje de infestación por perforadores de vaina presentó una correlación negativa y altamente representativa con las variables de respuesta peso de 10 vainas, longitud de la vaina, racimos por planta, vainas por racimo y grosor de la vaina, teniendo así que el porcentaje de infestación ocasionado por perforadores de vaina Interfirió de manera negativa los principales componentes de rendimiento evaluados en este experimento debido a que este insecto plaga se alimentan de brotes florales, flores y vainas. Las plantas dañadas abortan y no desarrollan vainas, el daño larval también resulta en muchas semillas parcialmente devoradas que reducen la calidad del rendimiento (Genie, 1993)

La variable nodulación mostró una correlación positiva y altamente representativa para la variable Biomasa, indicando mayor acumulación de materia seca en los tejidos, esta variable explicativa fue también positiva para peso de 10 vainas, longitud de vaina y grosor, aunque los nódulos radicales no presentaron actividad de fijación evidente. Lo anterior concuerda con estudios realizados por Peticari, (2003) presentó que la fijación biológica de nitrógeno presento incrementos de rendimiento de la soya (*Glycine max*) en un 5 al 10%, la práctica de inoculación permitió un ahorro del nitrógeno mineral del suelo frente a la extracción de los cultivos, mejorando la calidad del grano a través de una mayor concentración de proteínas.

Según Nápoles *et al.*, (2009) obtuvieron aumentos de rendimientos en el cultivo de soja (*Glycine max*) inoculando con cepas altamente eficientes y métodos de inoculación apropiados, se observó una respuesta positiva a la inoculación con incrementos de rendimiento que oscilaron desde 5 a 116 %. De igual manera Forasnero & Toniutti, (2015) evidenciaron que el rendimiento en plantas de soja inoculadas con *B. japonicum* fue superior presentando incrementos entre 3,5% y 10,8 % en relación al testigo, (plantas sin inoculación con *B. japonicum*). Igualmente, Buttery *et al.*, (1992) afirmaron que el rendimiento del cultivo de soja es función directa del N acumulado en su biomasa. Entre 25 y 84% del N de la biomasa aérea puede ser aportado a través de la fijación biológica del nitrógeno (FBN), de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolla el cultivo.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- La fijación biológica de nitrógeno visible con la nodulación se correlacionó positivamente con a variable biomasa indicado mayor acumulación de materia seca en los tejidos.
- El uso del inoculante solo o en combinación no afectó en ningún momento el desarrollo fenológico de las líneas de habichuela.
- El porcentaje de infestación ocasionado por perforadores de vaina afectó de forma negativa los componentes de rendimiento tales como peso de 10 vainas, longitud de vaina, racimos por planta, vainas por racimos y grosor de la vaina, lo que puede resultar en una plaga limitante para las dos líneas evaluadas en este experimento.
- Los índices de crecimiento TCR y TCC, mostraron el mejor comportamiento para la línea L 140, con lo que se infiere a una mayor eficiencia en la elaboración de nuevo material, esperando así mayor producción de los órganos de interés para la cosecha, contribuyendo a un mayor rendimiento.
- La tasa de asimilación neta (TAN) presento comportamientos muy similares para las dos líneas evaluadas en este experimento, lo que indica que tienen una similar asimilación, aunque la línea 140 presento mejor comportamiento en la TCR y TCC.
- La variable de rendimiento Biomasa se vio afectada negativamente por el porcentaje de severidad de mildew polvoso (*E. Polygoni.*) lo que indica que esta enfermedad puede ser limitante para las dos líneas evaluadas en este experimento.

4.2 Recomendaciones

Evaluar el comportamiento de las líneas promisorias de habichuela con la inoculación de mayor cantidad de cepas de bacterias nitrificantes, ampliando el rango de resultados.

Conocer las propiedades químicas y físicas del suelo, para obtener una apreciación más exacta de la influencia de este factor tanto en la nodulación como en el comportamiento de las dos líneas promisorias de habichuela.

Realizar pruebas con agricultores que les permitan apreciar las características agronómicas favorables de las líneas de la Universidad.

Suministrar el requerimiento hídrico en forma eficiente en futuros ensayos en cada una de las etapas fenológicas del cultivo para poder observar el potencial genético de las dos líneas de habichuela evaluadas.

A. Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks, gráfico de densidad de puntos, de racimos por planta de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización

Análisis de la varianza

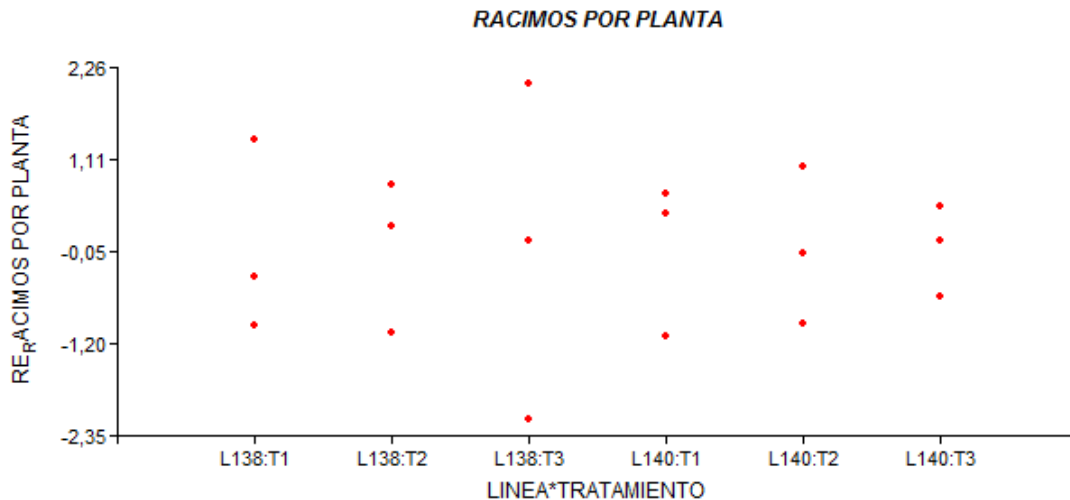
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RACIMOS POR PLANTA	18	0,75	0,47	21,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	64,83	9	7,20	2,70	0,0884	
BLOQUE	0,34	2	0,17	0,06	0,9382	(BLOQUE*LINEA)
LINEA	21,78	1	21,78	7,88	0,1070	(BLOQUE*LINEA)
TRATAMIENTO	4,69	2	2,35	0,85	0,5411	
BLOQUE*LINEA	5,53	2	2,77	1,04	0,3979	
LINEA*TRATAMIENTO	32,49	2	16,25	6,09	0,0247	
Error	21,35	8	2,67			
Total	86,18	17				

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE RACIMOS POR PLANTA	18	0,00	1,03	0,98	0,9777



B. Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de vainas por racimo de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización

Análisis de la varianza

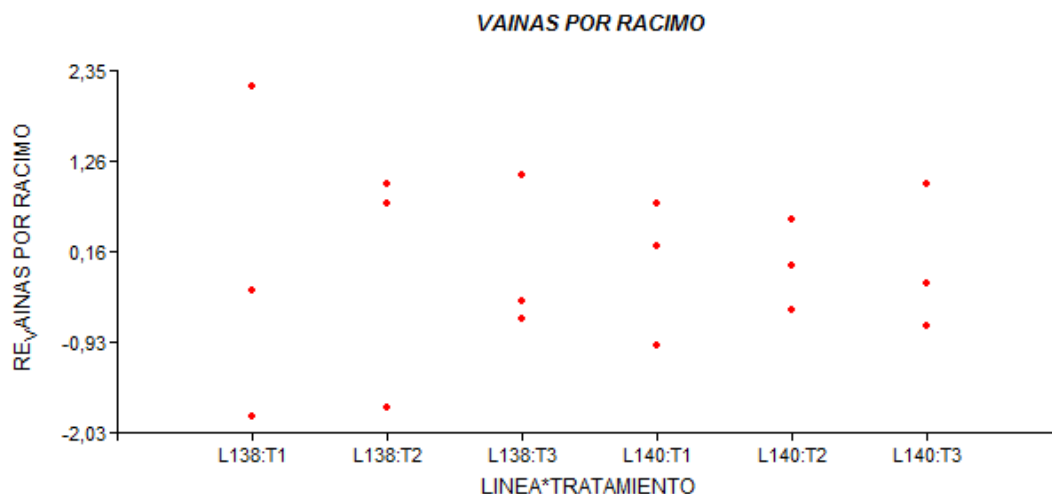
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VAINAS POR RACIMO	18	0,89	0,77	10,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	14,45	9	1,61	7,44	0,0048	
BLOQUE	0,97	2	0,49	2,25	0,1681	(BLOQUE*LINEA)
LINEA	5,78	1	5,78	111,87	0,7888	(BLOQUE*LINEA)
TRATAMIENTO	0,84	2	0,42	8,13	0,1095	
BLOQUE*LINEA	0,10	2	0,05	0,24	0,7926	
LINEA*TRATAMIENTO	6,76	2	3,38	15,66	0,0017	
Error	1,73	8	0,22			
Total	16,18	17				

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE VAINAS POR RACIMO	18	0,00	1,03	0,96	0,8392



C. Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de peso de 10 vainas de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P. 10 vainas	18	0,89	0,77	13,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	6100,52	9	677,84	7,15	0,0054	
Tratamiento	70,40	2	35,20	0,37	0,7010	
Bloque	203,15	2	101,57	3,21	0,2377	(bloque*línea)
Línea	5680,00	1	5680,00	179,35	0,0055	(bloque*línea)
Tratamiento*línea	83,63	2	41,82	0,44	0,6579	
Bloque*línea	63,34	2	31,67	0,33	0,7254	
Error	757,89	8	94,74			
Total	6858,41	17				

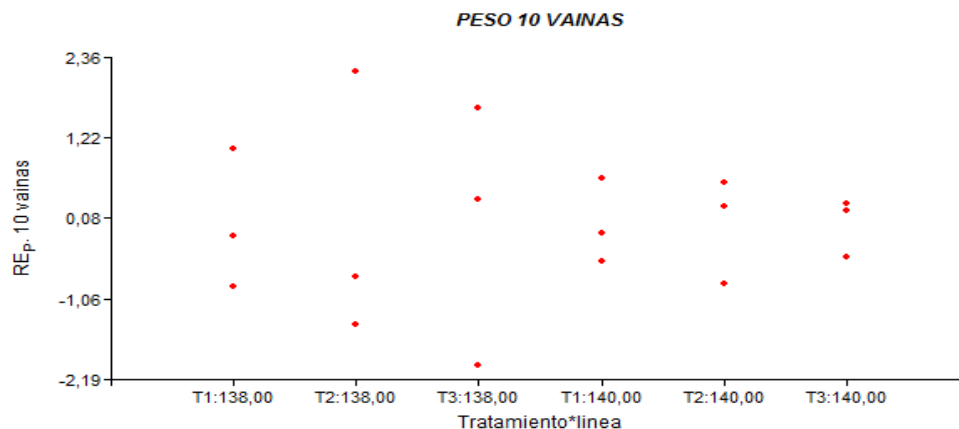
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,40464

Error: 31,6701 gl: 2

Línea	Medias	n	E.E.	
138,00	56,11	9	1,88	A
140,00	91,64	9	1,88	B

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE P. 10 vainas	18	0,00	1,03	0,98	0,9751



D. Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de longitud de vainas de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LONGITUD	18	0,88	0,75	11,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

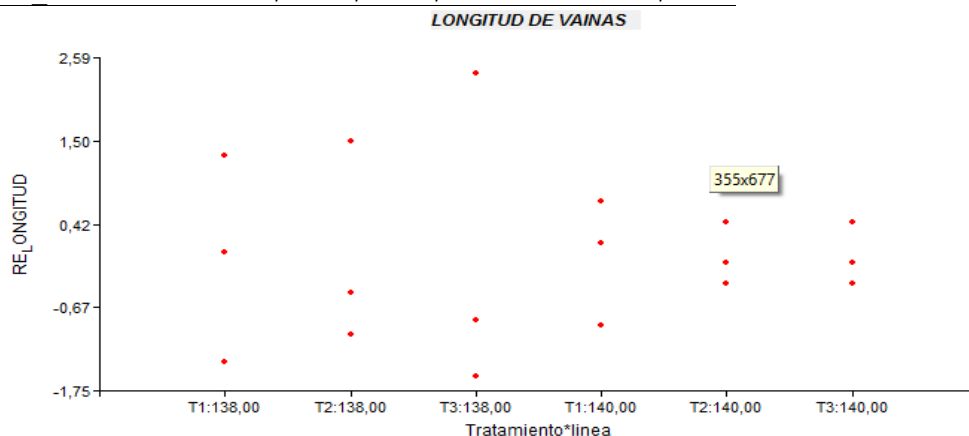
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	114,61	9	12,73	6,56	0,0072	
Tratamiento	3,17	2	1,59	0,82	0,4753	
Bloque	9,72	2	4,86	5,40	0,1562	(bloque*línea)
Línea	99,17	1	99,17	110,27	0,0089	(bloque*línea)
Tratamiento*línea	0,76	2	0,38	0,19	0,8266	
Bloque*línea	1,80	2	0,90	0,46	0,6451	
Error	15,53	8	1,94			
Total	130,14	17				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,40464

línea	Medias	n	E.E.	
138,00	10,31	9	0,32	A
140,00	15,00	9	0,32	B

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE LONGITUD	18	0,00	1,03	0,95	0,7150



E. Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de peso de grosor de vainas de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
GROSOR	18	0,84	0,66	9,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

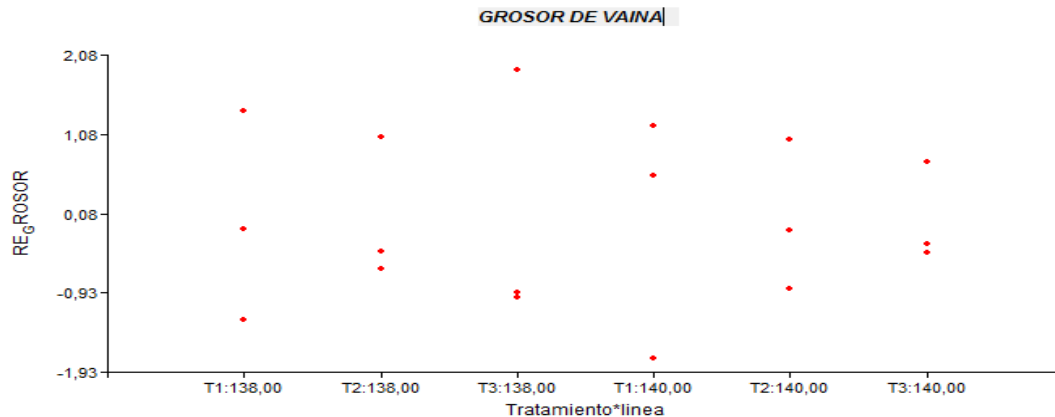
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	0,31	9	0,03	4,61	0,0212	
Tratamiento	0,02	2	0,01	1,58	0,2634	
bloque	0,02	2	0,01	1,82	0,3544	(bloque*línea)
línea	0,26	1	0,26	48,71	0,0199	(bloque*línea)
Tratamiento*línea	2,5E-03	2	1,3E-03	0,17	0,8476	
bloque*línea	0,01	2	0,01	0,70	0,5249	
Error	0,06	8	0,01			
Total	0,37	17				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,40464

línea	Medias	n	E.E.	
138,00	0,77	9	0,02	A
140,00	1,01	9	0,02	B

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE GROSOR	18	0,00	1,03	0,94	0,5052



F. Anexo: Analisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y grafico de densidad de puntos, de biomasa total de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización.

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
 biomasa 18 0,79 0,55 13,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	1490216,79	9	165579,64	3,31	0,0532	
Bloque	522121,08	2	261060,54	0,73	0,5792	(Bloque*línea)
línea	101287,50	1	101287,50	0,28	0,6485	(Bloque*línea)
tratamiento	84036,15	2	42018,07	0,84	0,4666	
Bloque*línea	718633,35	2	359316,68	7,18	0,0164	
línea*tratamiento	64138,71	2	32069,35	0,64	0,5518	
Error	400242,72	8	50030,34			
Total	1890459,52	17				

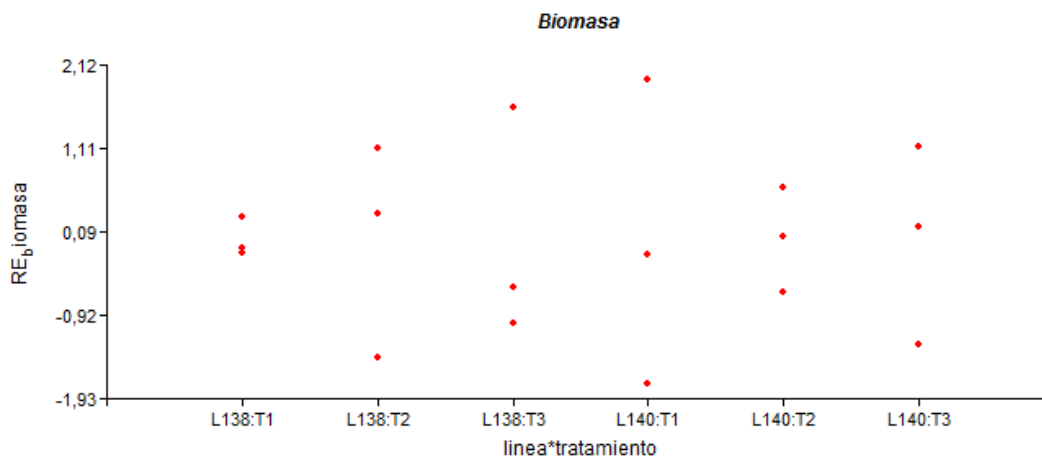
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2038,67905

Error: 359316,6760 gl: 2

Bloque	Medias	n	E.E.
bloque3	1527,44	6	244,72 A
bloque2	1679,15	6	244,72 A
bloque1	1939,85	6	244,72 A

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE biomasa	18	0,00	1,03	0,96	0,7478



G. Anexo: Análisis de Varianza, Test de Tukey, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de número de nódulos por planta de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° NODULOS	36	0,65	0,33	51,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo.	10023,81	17	589,64	2,00	0,0767
BLOQUE	4891,06	2	2445,53	168,33	0,0059
(Bloque*evaluación)					
EVALUACION	0,69	1	0,69	0,05	0,8472
(Bloque*evaluación)					
Bloque*evaluación	29,06	2	14,53	0,05	0,9520
LINEA	1778,03	1	1778,03	11,02	0,0800
(bloque*línea)					
Línea*Evaluación	1,36	1	1,36	0,01	0,9352
(bloque*línea)					
Bloque*línea	322,72	2	161,36	0,55	0,5873
TRATAMIENTO	2462,39	2	1231,19	4,18	0,0322
Tratamiento*línea	419,06	2	209,53	0,71	0,5040
Tratamiento*evaluación	100,06	2	50,03	0,17	0,8450
Tratamiento*línea*evaluación...	19,39	2	9,69	0,03	0,9677
Error	5297,17	18	294,29		
Total	15320,97	35			

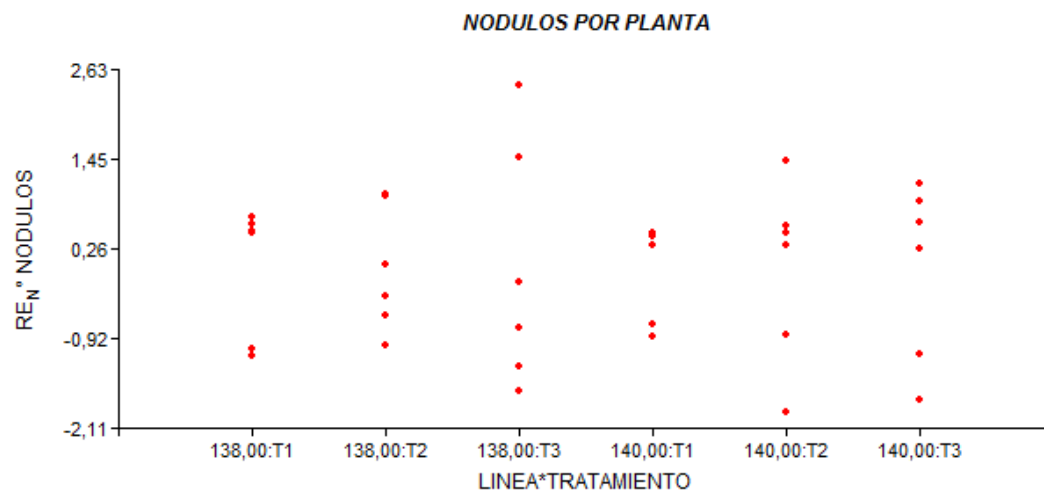
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,40464

Error: 294,2870 gl: 18

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	23,50	12	4,95 A
T2	31,92	12	4,95 A B
T3	43,67	12	4,95 B

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE N° NODULOS	36	0,00	1,01	0,95	0,3025



H. Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de porcentaje de severidad de mildew polvoso (*Erysiphe polygoni*) de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización.

Análisis de la varianza

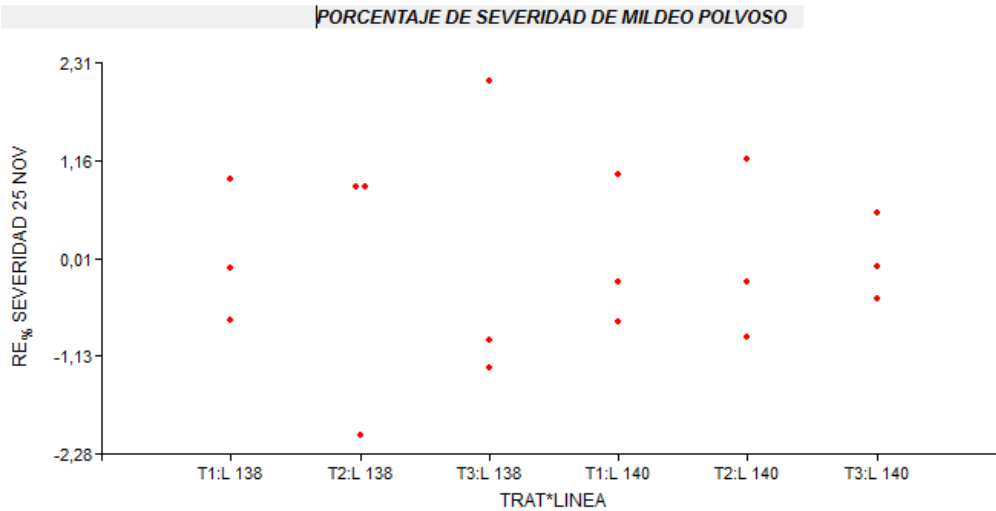
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% SEVERIDAD 25 NOV	18	0,70	0,36	24,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	557,34	9	61,93	2,06	0,1616	
TRAT	102,78	2	51,39	1,71	0,2414	
LINEA	20,06	1	20,06	0,72	0,4845	(LINEA*BLOQUE)
BLOQUE	137,00	2	68,50	2,47	0,2880	(LINEA*BLOQUE)
TRAT*LINEA	242,09	2	121,04	4,02	0,0619	
LINEA*BLOQUE	55,42	2	27,71	0,92	0,4368	
Error	240,93	8	30,12			
Total	798,28	17				

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE % SEVERIDAD 25 NOV	18	-0,02	1,04	0,97	0,8834



I. Anexo: Análisis de Varianza, prueba de Shapiro Wilks y gráfico de densidad de puntos, de nivel de infestación de dos líneas de habichuela (*Phaseolus vulgaris*), bajo tres ttos de Fertilización.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
infestacion	18	0,71	0,39	82,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	15498,67	9	1722,07	2,18	0,1424	
Trata	3,11	2	1,56	2,0E-03	0,9980	
bloque	652,11	2	326,06	1,32	0,4317	(bloque*línea)
línea	14336,89	1	14336,89	57,87	0,0168	(bloque*línea)
Trata*línea	11,11	2	5,56	0,01	0,9930	
bloque*línea	495,44	2	247,72	0,31	0,7389	
Error	6305,11	8	788,14			
Total	21803,78	17				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,40464

Error: 247,7222 gl: 2

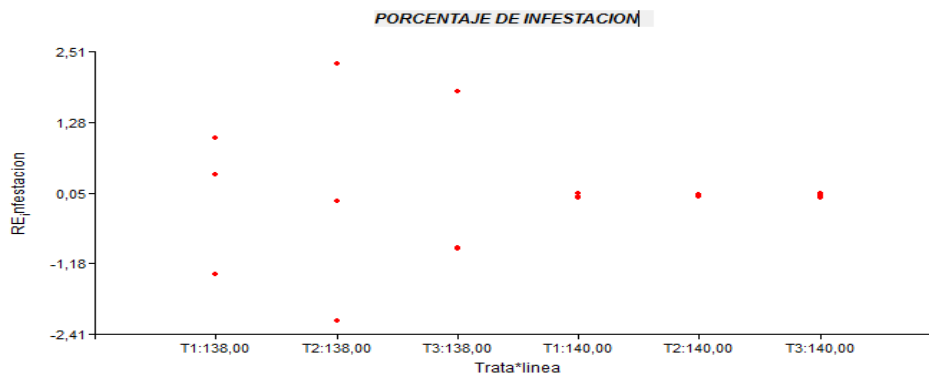
línea Medias n E.E.

140,00 5,67 9 5,25 A

138,00 62,11 9 5,25 B

Shapiro-Wilks (modificado)


Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE infestacion	18	0,00	1,03	0,91	0,1777



J. Anexo: Manejo agronómico y actividades realizadas en el cultivo durante el desarrollo del experimento

MANEJO Y ACTIVIDADES CULTIVO			
DDS	FECHA	ACTIVIDAD	IA.Aplicados
0	14-oct-15	Siembra	
8	22-oct-15	Toma datos porcentaje de emergencia	
15	29-oct-15	Primer muestreo destructivo	
		Aplicación Insecticida (Mosca Blanca)	Diafentiuron
21	4-nov-15	Primera Fertilización	
22	5-nov-15	Aplicación Inoculo	<i>Rhizobim sp.</i>
23	6-nov-15	Segundo Muestreo Destructivo	
		Aplicación Herbicida	Fomesafen
30	13-nov-15	Tercer Muestreo Destructivo	
		Aplicación herbicida	Clethodim
36	19-nov-15	Aplicación Biológico (Cogollero)	Bacillus thuringiensis
37	20-nov-15	Cuarto muestreo destructivo	
		Conteo Fenología brote lateral	
		Aplicación Insecticida (Cogollero)	Clorpirifos
42	25-nov-15	Quinto Muestreo Destructivo	
		Conteo Fenología Botón Floral	
		Aplicación Fungicida	Azufre Micronizado
43	26-nov-15	Segunda Fertilización	
47	30-nov-15	Sexto Muestreo Destructivo	
		Conteo Fenología flores	
		Aplicación Insecticida (Mosca Blanca)	Sulfoxaflor
54	7-dic-15	Séptimo muestreo Destructivo	
		Conteo Fenología flores y vainas	
58	11-dic-15	Tercera Fertilización	
		Octavo Muestreo Destructivo	
		Primera Cosecha	
64	17-dic-15	Segunda Cosecha	
70	23-dic-15	Tercera Cosecha	
76	29-dic-15	Última Cosecha	

K. Anexo: Recomendación integral plan de fertilización.

	Recomendación integral plan de fertilización, ASIRE	No. LAB

Solicitante: Universidad de Cundinamarca
Departamento: Cundinamarca
Finca: Granja La Esperanza

Contacto: 8732512
Municipio: Fusagasuga

1. Conceptos generales de la muestra de suelo con base en los resultados por parametros fisicoquimicos.	
<p>-pH. El suelo presenta una acidez extremadamente alta (4,19). De allí los altos contenidos de aluminio intercambiable (2,49 cmol./kg), elemento que resulta tóxico para las plantas. Esta condición prioriza una labor del encalado especialmente en la siembra o antes de esta fecha.</p> <p>-%Saturacion de Bases. Los contenidos de las bases intercambiables (calcio, magnesio y potasio) son bajos (1.52 cmol./kg). Así su proporción frente a la capacidad total del suelo para retener estos nutrientes (saturación de bases=38%). Esto se debe a que la mayor parte del almacén del suelo está ocupado por el aluminio (62%)</p>	<p>-CICE. La capacidad de intercambio cationica efectiva del suelo (CICE) se asemeja al almacén del suelo para tener nutrientes, principalmente (calcio, magnesio y potasio), La CICE no es baja, sin embargo, su mayor parte está ocupada por el aluminio. Cuando se realice un adecuado enlameamiento, se aumentará esta capacidad del calcio y magnesio sacará al aluminio.</p> <p>-Textura. La arena es la fracción predominante, condición que eventualmente favorecería un buen drenaje y aireación. Sin embargo, dada la posible compactación por el anterior uso, se deben tener ciertos cuidados.</p> <p>-Otros. Los contenidos de materia orgánica son relativamente bajos.</p>
2. Interpretación y diagnóstico de nutrientes de la muestra de suelo. Situaciones de alarma respecto a deficiencia o toxicidad en el cultivo.	
2.1 Elementos mayores <p>Nitrogeno. El contenido de este elemento depende básicamente de la materia orgánica del suelo. Dado que este componente es bajo, el contenido de nitrógeno tiende a ser limitante.</p> <p>Fósforo. En el ámbito general sus niveles son medios. Pese a ello este nutriente de alta demanda. Razón por la cual se debe suministrar.</p> <p>Potasio. Se presenta en forma deficiente.</p>	

2.2 Elementos secundarios

Magnesio. Es deficiente.

Calcio. Es deficiente.

Azufre. Se presenta en cantidades suficientes.

Aluminio. Sus niveles tienden a ser altos, con posible toxicidad. Su representación frente a los demás cationes es alta (porcentaje de saturación de aluminio).

2.3 Elementos menores

Hierro. Nivel alto

Boro. Nivel medio a bajo.

Cobre. Nivel medio.

Manganeso. Nivel medio a bajo.

Zinc. Nivel medio a bajo.

3. Consideraciones relacionadas con la aplicación de enmiendas al suelo.**3.1 Tipo de enmienda.**

Caliza dolomítica.

3.2 Dosis de fraccionamiento.

120 gramos por planta.

3.3 Época de aplicación.

Antes de la siembra incorporar la cal al suelo. En el caso que se haya realizado la siembra, llevar a cabo esta tarea de manera prioritaria en el intermedio de dos fertilizaciones. Al año se debe repetir la misma dosis. Luego de la siembra se esparce la cal de manera homogénea.

Bibliografía

- Acosta Rozo, E. Y., & Santamaria Ortega, Y. L. (1999). *Evaluación del cultivo de la habichuela, utilizando fuentes orgánicas como complemento de la fertilización química en el municipio de Castilla la Nueva- Meta*. Villavicencio, Meta.
- Agudelo D., O. (1972). *La Habichuela, Manual de Hortalizas*. Palmira: ICA.
- Antolinez, L., & Cardenas, P. (2010). *Evaluación de características agronómicas y de calidad de vaina en cinco genotipos, tipo voluble en la Granja la Esperanza, Vereda Guavio Bajo en Fusagasuga*. Fusagasuga: Universidad de Cundinamarca, tesis de grado.
- Araya., F, Hernández, J. (2006) *Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica*: MAG, 2006. 44 p.; 22 cms.
- Archila, J., Contreras, U., Pinzon, H., Laverde, H., & Corchuelo, G. (1998). *Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (Lactuca sativa)*. *Agronomía Colombiana* 16(1), 68-75.
- Arias Restrepo, J. H., Rengifo, M. T., & Jaramillo, C. M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble*. Colombia.
- Arias N.; Baigorri, H.; DE Battista, J.J.; Montecchia, M.; Pacheco Basurco, J.C.; Simonella, A.; Toresani, S.; Ventimiglia, L. Y Vlcentinl, R. (2003) *Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja*. En: *El libro de la soja*. Ed. SEMA. Buenos Aires. p 69-76
- Barranza, F. V. (2000). *Crecimiento del Chile Manzano (Capsicum pubescens), en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero*. Mexico: Tesis de maestro en Ciencias en Horticultura, Universidad autónoma de Chapingo. 142 pp.
- Babalola, O. (2000) "Water relations of three cowpea cultivar *Vigna unguiculata* L.", *Plant and Soil*, 56(1):5969.
- Bauer, W. D. (2004). *Plant response to bacterial quorum sensing signals*. *Curr Opin Plant Biol* 7, 429-433. .

- Benavides, W., & Triana, V. (2011). *Evaluación de características agronómicas y de calidad de vaina en cuatro genotipos de habichuela (Phaseolus vulgaris), tipo voluble en la vereda guchipas*. Fusagasuga: Tesis de grado.
- Boyer, J. (1970). *Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potential*. Plant Physiology. 46: 223-235.
- Brown, R. H. (1984). *Growth of the green plant. pp.153-174*. Madison: Physiological basis of crop growth and development. American Society of Agronomy.
- Bueno, J. M. (2004). *Control de insectos y otros invertebrados dañinos en habichuela y frijol*. CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Buitrago, A. (2013). *Evaluación de cinco genotipos de habichuela (Phaseolus vulgaris), tipo voluble en el municipio de Arbelaez, Cundinamarca*. Fusagasuga: Tesis de Grado.
- Cardona, C. (1991). *Bases para Establecer un Programa de Manejo Integrado de Plagas de Habichuela en la Provincia de Suma Paz*. Entomología del Frijol del CIAT y la unidad de Investigación del CRECED- Sumapaz(ICA).
- Cardona, F. (2004). *Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (lycopersicum sculentum Mill.) en el Valle del Sinu Medio*. Valle del Sinu Medio.: Colombia, Agron. Colomb. 22. 81-90 pp.
- Casseres, E. (1971). *Producción de Hortalizas*. Mexico: Herrero pag 310.
- Celis Forero, A., & Fonseca Hernandez, L. (2015). *UDEC-Esperanza y UDEC Sumapaz nuevos cultivares de habichuela, tipo voluble para la región del Sumapaz*. Fusagasuga: Dirección de Investigación UDEC.
- Clavijo, J. (1989) Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalí: 15: 12-16.
- CIAT . (2005). *Biología de la Mosca Blanca Trialeurodes vaporariorum*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- DANE. (2016). *Cultivo de la habichuela (Phaseolus vulgaris L.)*. Bogota, Colombia.
- Delgado-Salinas A, Bibler R, Lavin M (2006) Phylogeny of the genus Phaseolus (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. Syst Bot 31:779–791. doi: <http://dx.doi.org/10.1600/036364406779695960>
- Díaz Alcantara, C. A. (2010). *Aislamiento, Caracterización y selección de rizobias autóctonas que nodulan habichuela*. República Dominicana: Tesis Doctoral.

- Díaz Franco A. (2008). La biofertilización como tecnología sostenible. Plaza y Valdés S.A. 1° Edición. 208 págs.
- Elston J. and Bunting, A.H. (2000) "Water relations of legume crops", in: H.J. Summerfield and A.H. Bunting (eds.), *Advances in legume Science*. Royal Botanic Gardens, UK, pp. 37-42.
- Escalante EJA, Kohashi SJ (1993) El rendimiento y crecimiento del frijol . Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo. 84 pp.
- Evans, G. C. (1972). *The quantitative analysis of plant growth*. London: Studies in ecology. Vol 1. Blackwell Scientific publication. 45-68pp.
- Feller, C., Bleiholder, H., Buhr, L., Hack, H., Hess, M., Klose, R., . . . Van Den Boom. (1995). 1. FELLER, C., H. BLEIHOLDER, L. BUHR, H. HACK, M. HESS, R. KLOSE, U. MEIER, R. *Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen: II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte*. . Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 47,217-232.
- Flor, C. A. (1994). *Desórdenes Nutricionales*. . Problemas de Producción del Fríjol en los trópicos. 2da. Edición. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 734p.
- Fornasero, L.V. y Toniutti, M.A. (2015) Evaluación de la nodulación y rendimiento del cultivo de soja con la aplicación de distintas formulaciones de inoculantes Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. R.P.
- Frank, B. (1889). *Über die Pilzsymbiose der Leguminosen. Berichte der Deutschen . Botanischen Gessellschaft* 332-346.
- Garcia, L. Y., & Manrique, N. G. (2013). *Evaluacion de cinco variedades de habichuela (Phaseolus vulgaris), tipo voluble en la vereda tiscinse del municipio de Arbelaez*. Fusagasuga: Tesis de Grado.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. (1985) *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press, USA. 325 p.
- Geurts, R. F. (2005). *Nod factor signaling genes and their function in the early stages of Rhizobium infection*. . *Curr Opin Plant Biol* 8, 346-352. .
- Genie U, E. (1993) Principales plagas del cul vo de tabaco (Nicotiana glauca sp.) MIDINRA I Región ♂ Bearden Joe H,. Fuquay John W, 1999. Reproducción Animal Aplicada.

- Gibson, K. E., Kobayashi, H., & Walker, G. C. (2008). *Molecular Determinants of a Symbiotic Chronic Infection*. Boston: Department of Biology, University of Massachusetts, Boston, Massachusetts 02125, USA.
- Greenwood, P., & Halstead, A. (2009). *Enciclopedia de las plagas y enfermedades de las plantas*. Londres: Blume/Royal Horticultural Society.
- Gutierrez, A. (2004). *Cultivo de habichuela, variedad Unapal Milenio*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Guzmán, G. (2010) " Evaluación bajo condiciones controladas de estrés hídrico las diferencias fenotípicas del crecimiento y desarrollo de raíces de genotipos promisorios de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.)", Centro Experimental Campos Azules. Instituto de Nicaragua de Tecnología Agropecuaria,
- Huerres Perez, C., & Caraballo Llosas, N. (1991). *Horticultura*. La Habana: Pueblo y educación.
- Horst, W. J.; Wang, Y. y Eticha, D. (2010) The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Annals of Botany*, 2010, vol. 106, pp. 185-197. ISSN 1095-8290.
- Hunt, R. (2003) Growth analysis, individual plants. Disponible en World Wide Web
- Hunt, R. (1978). *Plant Growth Analysis*. London: Studies in Biology No. 95. Edward Arnold Publishers.
- Hunt, R. (1982). *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis*. London: Edward Arnold Publishers.
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners*. Londres: Unwin Hyman Ltd 112 pp.
- Jaleel, C. A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H. J. Al-Juburi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 100-105.
- Jiménez, H., Moreno., G. (2014) Evaluación agronómica de cinco genotipos de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) de tipo voluble en el municipio de San Bernardo, Cundinamarca.
- Johansson JF, Paul LR, Finlay RD (2004). Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agricultura. *FEMS Microbiology Ecology* 48, 1-13

- Jordan, D. C. (1984). *Manual of Systematic Bacteriology*. Baltimore: N Krieg and R G PP 234-235.
- Kohashi, T. Galván, E. García, J. Yáñez, V. Martínez y P. Ruíz,(2002) "Estrés hídrico y su efecto en el crecimiento de los fitómeros del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agric. Téc. Méx.*, 28(1): 65-75.
- Koike S.T., Gladders P. And A.O Paulus. (2007) *Vegetable diseases. A color handbook*. Academic press. 448p.
- Kramer, P J. (1993) *Water relations of plants*. Academic Press, Inc. p.342-389.
- Leon, S. L. (2009). *La antracnosis y la mancha angular del frijol (Phaseolus vulgaris.)*. La Habana, Cuba: Instituto de investigaciones hortícolas.
- Leopold, A. C., & Kriedemann, P. (1975). *Plant growth and development*. New York: 2ed. N.Y., McGraw-Hill. P.222-247.
- Lodwig, E. y. (2003). *Metabolism of Rhizobium bacteroids*. *Crit Rev Plant Sci* 22, 37-38.
- Marín, T.; Gómez, C.; Trejo, L. /et al./ (2010) Respuestas fisiológicas y nutrimentales de variedades de arroz a la concentración de aluminio. *Rev. Fitotec. Mex.*, vol. 33, no. 1, pp. 37-44. ISSN 0187-7380.
- Mateos, P. F.-Z.-M. (2001). *Erosion of root epidermal cell walls by Rhizobium polysaccharidedegrading encimes as related to primary host infection in the Rhizobium-legume symbiosis*. *Can J Microbiol* 47, 475-487. .
- Martínez LB, Pugnaire FI (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas* 18 (2): 44-54.
- Miranda N.O. y Belmar N.C.,(2001) "Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agricultura Técnica*,, 37(3): 111-117.
- Morales R., E. J.; Escalante E., J. A. (2004). Biomass and seed yield of common bean in sole crop and intercrop. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 47: 207– 208.
- Morón, B. D. (2006). *Diálogo molecular en la simbiosis rizobio-leguminosa. En Fijación de Nitrógeno, fundamentos y aplicaciones*. España: Granada: Sociedad española de Fijacion de Nitrogeno (SEFIN), pp. 160-171.
- Moulin, L., Munive, A., Dreyfus, B., & Boivin Masson, C. (2001). *Nodulation of legumes by the beta-subclass of Protobacteria*. *Nature* 411, 948-950.

- Muñoz-Perea, C. G.; H. Teran; R.G. Allen; J.M. Wright; D.T.(2006) Westermann; S.P. Singh: Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci* (46): 2111-2120,
- Myers, J. R., & Baggett, J. R. (1999). *Common bean improvement in the Twenty first century*.
- Nápoles, M.C; gonzález-anta, G.; Cabrera, J.C.; VarELA, M.; E. guevara, E.; meira, S.; Noguerras, F. Y Cricco, J. (2009) Influencia de inoculantes y factores edáficos en el rendimiento de la soja. *Cultivos Tropicales*. 30 (3): 19-22.
- Núñez, J. Ritchie y A. Smucker,(1998) "El efecto de sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la interceptación de luz en frijol común", *Agronomía Mesoamericana*, 1998, 9(2): 1-8.
- Olivares, J. (2004). *Fijacion Biologica de Nitrogeno*. Granada, España: Estacion Experimental Zaidin.
- Paredes, M. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.
- Pearcy, R. W., J. Ehleringer, H. A. Mooney, and P. W. Rundel. (1994). *Plant Physiological Ecology*. Chapman & Hall. Great Britain. 457 p.
- Pedroza M, J. A., Corchuelo, G., & Angarita, A. (1997). *Analisis de Crecimiento de Limonium sinuatum Mill cv. Midnight Blue propagada sexual y asexualmente a partir de yemas vegetativas y florales*. *Agronomia Colombiana* 14(1), 1-12.
- Peña., A, Muñoz, T. (1998) "Respuesta de tres especies cultivadas a condiciones deficientes de humedad edáfica", *Agronomía*, 1998 74: 231-243.
- Perticari, A.; Arias N.; Baigorri, H.; DE Battista, J.J.; Montecchia, M.; Pacheco Basurco, J.C.; SImonella, A.; Toresani, S.; Ventimiglia, L. Y Vlcetini, R. (2003) Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: *El libro de la soja*. Ed. SEMA. Buenos Aires. p 69-76.
- Pombo, S., & Torres, E. (2009). *Evaluacion de los genotipos de habichuela, (Phaseolus vulgaris), tipo voluble en la vereda santa Rosa del municipio de Arbelaez*. Fusagasuga: Tesis de grado.
- Quinto, C. C. (2007). *Dialogo para ganar: interacción simbiótica entre una bacteria del suelo y el frijol*. . p 273-280.
- Radford, P. J. (1967). *Growth analysis formulae-their use and abuse*. *Crop science*, Madson v.7, p.171-175.

- Rainey K.M. and P.D. Griffiths, (2005) "Differential response of common bean genotypes to high temperature", *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(1):18-23.
- Ramírez, D., & Dessert. (1984). Evaluación del potencial genético de la habichuela., (págs. 14-20). Palmira.
- Reina, C. E. (1998). *Evaluacion de perdidas postcosecha para la legumbre habichuela que se comercializa en neiva*. Neiva.
- Ribas-Carbó M, Berry JA, Yakir D *et al.* (1995) Electron partitioning between the cytochrome and alternative pathways in plant mitochondria. *Plant Physiology* 1995; 109:829-837.
- Rios, M. J. (2002). *El Frijol (Phaseolus vulgaris L.): Cultivo, beneficio y variedades*. Bogota: FENALCE Boletín Técnico.
- Rodríguez, G.R, (2003) Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en sistemas agrícolas que aprovechan escurrimientos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Rosendo, S.(1997) Plagas, enfermedades y su control. Editorial Pueblo y Educación. 1997.
- Romero, J., & Sanabria, L. (2009). *Evaluacion agronomica de cuatro genotipos de habichuela (Phaseolus vulgaris), tipo voluble en la granja la esperanza, veresa guavio bajo, Fusagasuga, Cundinamarca*. Fusagasuga: Trabajo de grado.
- Romero, W., & Valencia, J. (2014). *Evaluacion de características agronomicas y de calidad de vaina en seis genotipos (Phaseolus vulgaris), tipo voluble en la vereda Guavio Bajo en Fusagasuga*. Fusagasuga: Tesis de Grado Universidad de Cundinamarca.
- Rosas, J., & Reyes, B. (2002). *Rhizobium Biofertilizante para el frijol común*. Zamorano, Honduras.
- Rubiales, D. (2012) Powdery mildew control in pea. A review. *Agronomy for sustainable development* 32:401-409.
- Salisbury, F. y. (1994). *Fisiología vegetal*. Mexico: Iberoamericana.
- Santos-Castellanos, M., M. Segura-Abril, y C. E. Núñez-López. (2010) Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum L.*) en el municipio de Zipaquirá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63: 5253-5266.

- Scavo, M. (2000.) Evaluación de 4 cultivares de frijol (*Vigna unguiculata* L. Walp) en suelo de colina del Estado Guarico. Tesis de grado. Mención Fitotecnia. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Agronomía. Maracay. pp. 1-78.
- Segura, M., M. Santos y C.E. Núñez. (2006). Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6(2): 33-43.
- Serraj, R., Sinclair, T., & Allen, L. (1999). *Soybean nodulation and N₂ fixation response to drought under carbon dioxide enrichment*. *Plant cell and env.* 21:491-500.
- Sivakumar, M., & Shaw, R. H. (1978). *Methods of growth analysis in field growth soybeans*. *Merril Ann. Bot.*42, 213-322.
- Spaink, H. P. (1998). *The Rhizobiaceae: Molecular Biology of Plant-Associated Bacteria*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Tique, J., Chaves, B., & Zurita, J. H. (2009). *Evaluación agronomica de dos clones promisorios CIP y dos materiales nativos de Ipomoea batatas L.* Bogotá, Colombia: Agronomía Colombiana, Universidad Nacional de Colombia.
- UNAD. (2016). *Plagas y enfermedades del cultivo del frijol y su control*. Bogotá.
- Urzua, H. (2005). *Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrogeno en Chile*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía.
- Valencia, J., & Romero, W. (2014). *Evaluación de características agronomicas y de calidad de vaina en 6 genotipos (Phaseolus vulgaris) tipo voluble en la vereda Guavio bajo en Fusagasuga*. Fusagasuga, Cundinamarca: Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad de Cundinamarca.
- Villaruel V, L. (1988). Aspecto tecnico-economico del cultivo de habichuela en el valle del cauca. *ICA, VOL 23, PAG 64*.
- Voysest, O. V. (2000). "Mejoramiento Genético de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)." Centro Internacional de Agricultura Tropical Publicación CIAT 321.
- White, W. J. (1985). *Conceptos básicos de Fisiología*. Cali, Colombia: Investigación y producción.
- Zheng, S. J. (2010) Crop production on acidic soils: overcoming aluminium toxicity and phosphorus deficiency. *Ann. Bot.*, vol. 106, no. 1, pp. 183-184. ISSN 1095-8290.