



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA POLIAMINA SOBRE EL CRECIMIENTO
Y DESARROLLO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L) EN CONDICIONES DE
CAMPO**

CAMILO ANDRÉS AGUILAR GONZÁLEZ
RODRIGO MORA BAQUERO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
FUSAGASUGÁ
2019



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA POLIAMINA SOBRE EL CRECIMIENTO
Y DESARROLLO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L) EN CONDICIONES DE
CAMPO**

CAMILO ANDRÉS AGUILAR GONZÁLEZ
RODRIGO MORA BAQUERO

Trabajo de Grado de Opción Investigación para optar por el título de: Ingeniero
Agrónomo

Dirigido por:

Juan Camilo Álvarez Mahecha
Biol. MSc, PhD Biotecnología

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
FUSAGASUGÁ
2019

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del
Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Fusagasugá-15 marzo 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico primeramente a Dios quien nos dio la salud, sabiduría, fortaleza y la fe para lograr culminar una nueva etapa de nuestras vidas, a mis padres Baltazar Aguilar y Yaquelin González que siempre han estado apoyándome en cada una de las etapas de mi vida, la culminación de este trabajo es un logro más en la vida de ellos ya que gracias a la formación y los consejos que me dan diariamente logre terminar con éxitos la carrera de ingeniería agronómica.

Aguilar C.

Este trabajo se lo dedico a mi madre Mireya Baquero, a mi hermano Martin Mora y a mi novia Nayibe Garzón, quienes han estado a mi lado apoyándome incondicionalmente desde el día que inicie los estudios de mi carrera, que por su ayuda hoy es una realidad el sueño de ser un profesional y que ellos más que nadie sabe lo que significa este gran logro no solo para mi sino también para ellos, es decir este logro es también de ellos.

Mora R.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por la culminación de esta etapa tan trascendental en nuestras vidas, por concedernos la sabiduría, fortaleza y constancia a lo larga de nuestra etapa formativa, y permitirnos culminar exitosamente nuestro proceso.

También agradecemos inmensamente a cada una de las personas que aportaron en el desarrollo del presente trabajo, En primer lugar, a nuestro director doctor Juan Camilo Álvarez Mahecha quien nos guio y aportó conocimientos de su larga carrera profesional para lograr culminar de la mejor forma el trabajo de grado, por su paciencia, tiempo y dedicación en cada etapa del proceso, a la doctora Pilar Rojas Gracia quien nos motivó y aportó sus conocimientos en la construcción del documento.

Agradecemos a los integrantes del jurado Arlette Ivonne Gil y Albero Mila Prieto quienes aportaron comentarios muy valiosos en el desarrollo del trabajo, y nos dieron la aceptación logrando culminar nuestra etapa académica

Gracias a la universidad de Cundinamarca quien nos dio el espacio para desarrollar las diferentes etapas del trabajo, Infinitas gracias a cada uno de los docentes que nos aportaron conocimientos a lo largo de nuestra carrera profesional, los cuales fueron muy importantes para poder desarrollar y terminar nuestro proyecto.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE GRAFICAS	10
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE ANEXOS.....	12
GLOSARIO	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS.....	20
4.1. Objetivo General	20
4.2. Objetivos específicos.....	20
5. MARCO TEÓRICO.....	21
5.1 Características fenológicas de la arveja.	21
5.2 Fisiología de la arveja (<i>Pisum sativum</i>).....	23
5.3 Características morfológicas de la Arveja.	24
5.4 Características de la variedad Santa Isabel.....	25
5.5 Producción de arveja a nivel mundial.....	25
5.6 Importancia del cultivo en Colombia.	26
5.7 Reguladores hormonales	26
5.8 Poliaminas (PAs).....	28
5.9 Biosíntesis de poliaminas	29

5.10	Transporte, incorporación y localización de las poliaminas.....	30
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
6.1	Ubicación.....	33
6.2	Condiciones de cultivo.....	33
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
7.1	ALTURA.....	48
7.2	PESO FRESCO.....	49
7.3	PESO SECO.....	50
7.4	ÁREA FOLIAR.....	51
7.5	LONGITUD DE FRUTO.....	53
7.6	PESO TOTAL DE LEGUMBRES.....	54
7.7	CANTIDAD DE LEGUMBRES.....	55
7.8	PESO TOTAL DE GRANOS.....	57
7.9	NÚMERO DE GRANOS.....	58
7.10	PESO DE 100 GRANOS.....	59
7.11	SEVERIDAD DEL PATÓGENO <i>ASCOCHYTA PISI</i> , EN LOS FRUTOS DE ARVEJA.....	60
7.12	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF).....	62
7.13	TASA DE CRECIMIENTO (TCR).....	64
7.14	TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC).....	67
7.15	TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN).....	69
7.16	TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO (TAC).....	71
8	CONCLUSIONES.....	73
9	RECOMENDACIONES.....	74
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

ANEXOS 81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características fenológicas durante las etapas de crecimiento de la planta. Fuente: Arnadillo, 2013.	21
Figura 2. Adecuación del terreno. Fuente: los autores.	34
Figura 3. Siembra de arveja. Fuente: autores.....	35
Figura 4. Foliolo de arveja afectado por Ascochyta pisi. Fuente: autores.....	36
Figura 5. Establecimiento de tutorado. Fuente: autores.....	37
Figura 6. Esquema disposición de tratamientos en el terreno.....	38
Figura 7. Aplicación de PAs. Fuente: autores.....	39
Figura 8. Planta extraída para muestreo destructivo. Fuente: autores.....	40
Figura 9. Legumbres de arveja cosechadas. Fuente: autores.....	41
Figura 10. Muestras de plantas de arveja en horno de secado.....	42
Figura 11. Foliolos de arveja para realizar medidas de área foliar.....	43
Figura 12. Escalas de severidad de Ascochyta pisi.....	44
Figura 13. Legumbres de arveja para hallar la longitud.....	44

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Altura de las plantas en el tiempo de cada tratamiento	49
Grafica 2. Peso fresco de las plantas en el tiempo.....	50
Grafica 3. Peso seco de las plantas en el tiempo	51
Grafica 4. Área foliar de las plantas de cada tratamiento.....	52
Grafica 5. Longitud de legumbre por tratamiento.....	54
Grafica 6. Peso total de legumbres cosechadas por tratamiento	55
Grafica 7. Número total de legumbres cosechados por tratamiento	57
Grafica 8. Peso de granos por tratamiento	58
Grafica 9. Número de granos por tratamiento	59
Grafica 10. Peso de 100 granos por tratamiento.....	60
Grafica 11. porcentaje de incidencia del patógeno Ascochyta pisi en legumbres	61
Grafica 12. Porcentaje de severidad del patógeno Ascochyta pisi en legumbres	62
Grafica 13. IAF de los tratamientos en el tiempo	63
Grafica 14. TCR de los tratamientos en el tiempo	66
Grafica 15. Precipitaciones mensuales de la zona de la evaluación.....	67
Grafica 16. TCC de los tratamientos en el tiempo	68
Grafica 17. TAN de los tratamientos en el tiempo.....	70
Grafica 18. TAC de los tratamientos en el tiempo.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala fenológica de Knott, 1987. Tomado y adaptado de plantas de arveja (2016).....	22
Tabla 2. Principales etapas fenológicas que ocurren en el cultivo de arveja en días, tomado y adaptado de (Mayorga, 2016).	24
Tabla 3. Ecuaciones de ajuste para el IAF.....	64
Tabla 4. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TCR	66
Tabla 5. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TCC	68
Tabla 6. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TAN.....	71
Tabla 7. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TAC.....	72

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable altura	81
Anexo 2. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso fresco.....	82
Anexo 3. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso seco	83
Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable Área foliar	84
Anexo 5. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable longitud de legumbre	85
Anexo 6. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso de legumbres .	86
Anexo 7- Análisis de varianza y test de Tukey de la variable cantidad de legumbre	87
Anexo 8. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso de granos	88
Anexo 9- Análisis de varianza y test de Tukey de la variable número de granos ..	89
Anexo 10. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable porcentaje % de severidad.....	90

GLOSARIO

Fisiología Vegetal: Es una ciencia que estudia el funcionamiento de las plantas o procesos que tienen lugar en el desarrollo y comportamiento de los vegetales, también estudia la relación de las plantas y los factores climáticos

Fitohormonas: Son reguladores del crecimiento sintetizados por las plantas, en un sitio específico, pero se desplazan y actúan en otro lugar en concentraciones muy bajas induciendo efectos fisiológicos específicos

Poliaminas (PAs): Las PAs son un grupo de metabolitos nitrogenados de bajo peso molecular presentes en las células vegetales se les considera como reguladores del crecimiento con múltiples efectos en las plantas, las cuales actúan en concentraciones muy bajas, compuestas por dos o tres grupos aminos

Condiciones de campo: son las condiciones de intemperie que se presentan en campo abierto en donde no se tiene la posibilidad de controlar o evitar las condiciones naturales la cantidad de precipitación temperatura o luminosidad, que incide sobre un grupo de plantas determinado.

Aplicación exógena: se refiere a la aplicación de un producto en una determinada concentración, suministrándolo de manera externa y depositándolo en la parte aérea de la planta mediante el método de aspersión.

RESUMEN

En este ensayo se determinó el efecto de una poliamina aplicado de forma exógena a un cultivo experimental de arveja (*Pisum sativum* L.), evaluándolo como posible herramienta biotecnológica para mejorar o potencializar algunas características del cultivo, en cuanto a crecimiento, desarrollo, rendimiento o productividad y fitosanidad. La evaluación del efecto y comparación entre tratamientos se realizó a través del seguimiento de las variables fisiológicas directas, altura, peso fresco, peso seco, área foliar, longitud, peso y cantidad de legumbres, número de granos, peso de granos, peso de 100 granos, severidad del patógeno *Ascochyta pisi* en las legumbres, además de las variables fisiológicas indirectas IAF, TCR, TCC, TAN Y TAC. Los resultados obtenidos evidenciaron una mejor respuesta en las variables peso seco, área foliar, IAF, TCR, TCC y cuando se realizaron aplicaciones con poliaminas planteando su potencial uso en condiciones de campo.

Palabras clave: Poliaminas, Arveja, Aplicación exógena, Biotecnología, evaluación.

ABSTRACT

In this essay the effect of a poliamine over a vetch (*Pisum sativum* L.) experimental culture was tested looking for a biotechnological tool to improve some features of the culture like growth, development, yield or productivity and health. The comparison between treatments related with direct variables, height, fresh and dry weight, foliar area, length, weight and quantity of legumes, number of grains, weight of grains, weight of 100 grains, severity of the pathogenic *Ascochyta pisi* in the legumes, but also the indirect variables IAF, TCR, TCC, SO AND TAC was tested. The obtained results showed an increase in the variables dry weight, area to foliate, IAF, TCR, TCC and TAC indicating a better answer of the plants when treated with poliamines proposing the possibility of a generation of a putative tool to use in field conditions.

Key words: Polyamines, peas, exogenous application, biotechnology, evaluation

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arveja (*Pisum sativum*, L.) tiene gran importancia en el país en especial para los medianos y pequeños productores quienes basan su actividad económica total o parcialmente en el cultivo de esta leguminosa. En el país se siembra en 11 de los 32 departamentos donde según datos de FENALCE para el primer semestre de 2018 el área sembrada fue de 16.476 hectáreas lo que representa el 8,3% del área total sembrada en cereales y leguminosas en el país, para el caso específico de las últimas representó el 20% del área sembrada. La producción más relevante de arveja se produce en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Huila, Nariño, Putumayo, Santander y Tolima. En el periodo 2008-2018 Cundinamarca y Nariño disputaron el primer lugar en cuanto a producción, imponiéndose Nariño en los últimos dos años, tanto así que en el primer semestre del 2018 produjo alrededor del 40% de la producción total de arveja del país (FENALCE, 2018).

Para alcanzar el adecuado desarrollo fenológico del cultivo y llegar a obtener apropiados rendimientos, el cultivo se debe llevar a cabo en zonas de clima frío, y medio (abril, 2017). Ciertas condiciones ambientales tanto bióticas (plagas y enfermedades) como abióticas (estrés salino, hídrico, por temperaturas, entre otros) alteran los procesos fisiológicos de la especie ocasionando respuestas negativas en el desarrollo, lo que genera pérdidas económicas, ya que en ocasiones la producción del cultivo puede disminuir, o inclusive se puede presentar la pérdida total o parcial del mismo.

Para mitigar estos efectos negativos, se utilizan diferentes productos de síntesis química (fungicidas, insecticidas, fertilizantes, entre otros) que pueden ayudar a disminuir estas alteraciones en el cultivo, pero que pueden llegar a generar daños colaterales al medio ambiente (afectación de fauna asociada en el caso de insecticidas, salinización del suelo en el caso de fertilizantes, etc.), afectando el equilibrio ecológico. Es por esto que se quiere recurrir a la utilización de

herramientas biotecnológicas tales como las fitohormonas que contribuyan a generar cierto grado de tolerancia en la planta, mejorando sus procesos fisiológicos y a su vez potencializando las facultades productivas del cultivo. Dentro de este grupo de estimulantes se encuentran las poliaminas (PAs) descubiertas en 1674 por Antonie Van Leeuwenhoek (Bachrach, 2010), estas sustancias se han reportado en las células de todos los organismos vivos (P T Evans & Malmberg, 1989) y se caracterizan por ser un grupo de compuestos orgánicos nitrogenados de bajo peso molecular de naturaleza policationica, facultad que les permite unirse y formar complejos con moléculas polianionicas, como proteínas, lípidos, fosfolípidos, pectinas, ADN, ARN, entre otras (Galston 1983; Galston y Kaur-Shawney 1987), por lo cual tienen participación en diversos procesos biológicos (Aziz Khan *et al.*, 2012), incluyendo el crecimiento, desarrollo vegetal y hasta la protección contra el estrés biótico y abiótico de plantas (Mendoza & Rocha, 2002).

El uso de dichas fitohormonas resulta innovador, ya que constituyen una herramienta biotecnológica promisoría para los diferentes sistemas productivos especialmente en la arveja. Es por esto que se hace necesario desarrollar investigaciones ajustadas a condiciones de campo que validen lo que se ha descubierto en múltiples estudios como los llevados a cabo en guanábana (Acosta *et al.*, 2012) en donde se identificó una correlación entre contenido de PAs y la edad, tipo de tejido u órgano de la planta, Guasco *et al.* aportan datos del papel de la PAs en procesos patológicos en donde su desregulación afecta procesos epidemiológicos (Guasco Herrera *et al.*, 2014).

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar el efecto de la aplicación exógena de PAs en *P.sativum* en condiciones de cultivo en campo analizando parámetros de sanidad, desarrollo y productividad.

2. PROBLEMA

El cultivo de arveja genera fuentes de empleo e ingresos para el sector económico agropecuario reflejado en estudios realizados por el DANE (2017) que reportan un área de 31.558 ha. Aun así, la participación del área cosechada ha disminuido en los últimos años por múltiples factores incluyendo condiciones medioambientales desfavorables.

Por este motivo se están generando investigaciones para la búsqueda constante de herramientas que favorezcan el desarrollo o la respuesta a condiciones adversas en organismos vegetales. Es allí donde la biotecnología muestra distintas alternativas dentro de las cuales se encuentran el uso de productos basados en reguladores hormonales, que se pueden encontrar en el mercado nacional y de uso amplio, no obstante, existen algunos reguladores que por sus datos recientes no son muy utilizados en el sector agropecuario, dentro de los cuales se encuentran las PAs.

El estudio en campo de estos reguladores de crecimiento vegetal es un área de investigación en constante crecimiento que permitirá el desarrollo de métodos y alternativas que potencialicen los procesos productivos de distintas especies de interés agronómico.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el sector agricultor se están desarrollando diferentes procesos de innovación con el fin de mejorar el desarrollo y la productividad de los cultivos, generando nuevos conocimientos los cuales puedan ser aplicados en el sector agropecuario, de esta manera se fomentan nuevas tecnologías para el manejo de los cultivos estando a la vanguardia de la aplicación de herramientas biotecnológicas.

La evaluación e implementación de nuevos productos que contribuyen a potencializar diferentes procesos en los cultivos, generando conocimiento científico los cuales podrán ser aplicados en campo, generan nuevas ideas para el manejo desarrollo y productividad, de esta manera se presentan metodologías innovadoras que pueden utilizar los productores como alternativas para obtener resultados positivos en sus cultivos

Una alternativa que se está implementando en el sector son los productos a base de fitohormonas, estos productos son importantes ya que contribuyen a la planta a mejorar diferentes procesos fisiológicos (Gómez.,2008), los productos más utilizados por los productores son a base de fitohormonas como (Citoquininas, Giberelinas, auxinas entre otras), pero también se presentan las PAs las cuales son una buena alternativa para los cultivos

Debido a que las PAs cumplen diferentes procesos en el desarrollo de las plantas y que en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L) no se han encontrado estudios reportados de aplicaciones exógenas, se buscan dar nuevas alternativas en el manejo del cultivo con el fin de mejorar el desarrollo y crecimiento del mismo, se realizó la aplicación de un producto a base de PAs, el cual se evaluó en tres diferentes dosis, con el fin de determinar el efecto que generan en el cultivo, para dar una nueva alternativa en el manejo de los cultivos en el sector agrícola.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de una PA sobre el crecimiento y desarrollo de arveja (*Pisum sativum* L) en condiciones de campo.

4.2. Objetivos específicos

Establecer la dosis apropiada del producto para su implementación en el sistema productivo de arveja.

Analizar la respuesta fisiológica, crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) tras la aplicación de un producto a base de PA.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Características fenológicas de la arveja.

La planta de arveja presenta diferentes etapas vegetativas durante su ciclo de desarrollo, en la cuales se van presentando diferentes características y formación de nuevos órganos, como se observa en la figura 1

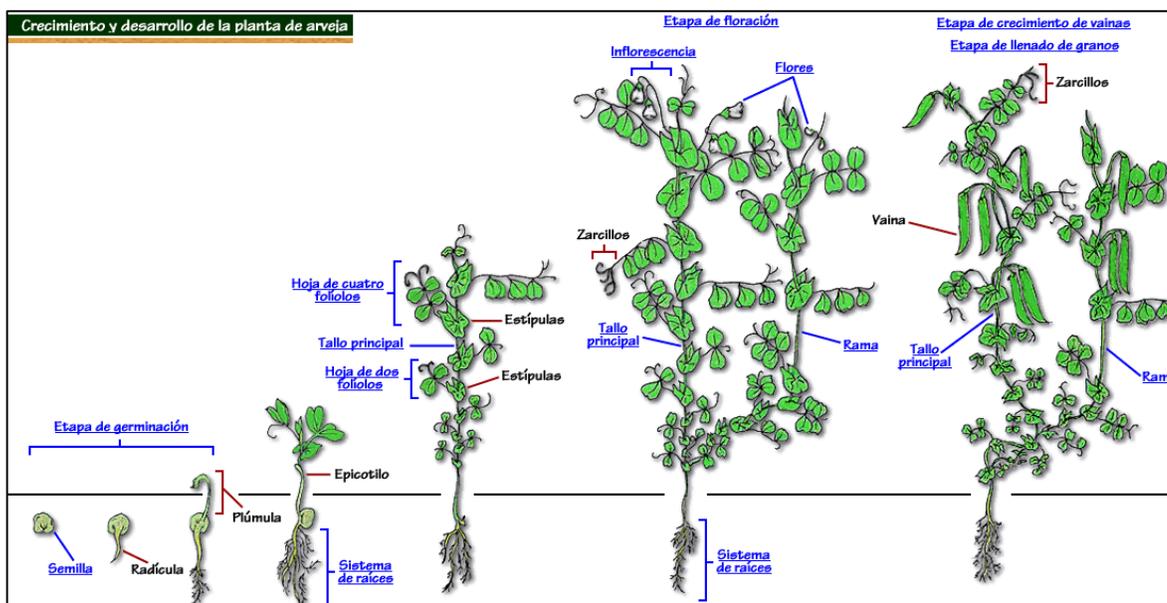


Figura 1. Características fenológicas durante las etapas de crecimiento de la planta. Fuente: Arnadillo, 2013.

P. sativum es una especie vegetal de gran valor agronómico que está fuertemente sometida a la respuesta fotoperiódica cuantitativa a días muy largos durante las etapas de germinación y vegetativa.

Para describir las diferentes etapas fenológicas de *Pisum sativum* se utiliza generalmente la escala de Knott la cual describe perfectamente los cuatro (4) estados fenológicos principales de la planta; los cuales son emergencia, crecimiento vegetativo, reproductivo y senescencia. Esta escala ha tomado una gran importancia en los últimos años ya que los productores del cultivo la utilizan como

referencia para poder realizar el manejo agronómico adecuado con el fin de obtener un excelente desarrollo del cultivo (Tabla 1) (Prieto, 2008).

Tabla 1. Escala fenológica de Knott, 1987. Tomado y adaptado de plantas de arveja (2016)

Estados	Códigos	Definición	Descripción
Emergencia	0	Semilla seca	
	1	semilla inbibida	
	2	Aparición de la radícula	
	3	Aparición de plúmula y radícula	
	4	Emergencia	
Estados Vegetativos	101	Primer nudo visible	Hoja totalmente desplegada sin zarcillos
	102	Segundo nudo visible	Hoja con un par de foliolos y zarcillo simple
	10n	Enésimo nudo en tallo principal	n número de nudo en tallo, con hoja totalmente expandida
Estados Reproductivos	201	Pimpollo floral encerrado en brácteas	Pequeño pimpollo encerrado en el ápice del tallo
	202	Pimpollo visible	Pimpollo expuesto por fuera de las brácteas
	203	Primera flor abierta	
	204	Fijación de grano	Presencia de vaina inmadura
	205	Vaina plana	
	206	Vaina engrosada	Desarrollo completo de la vaina pero con semillas inmduras
	207	Llenado de grano	
	208	Semilla verde arrugada	Pérdida de humedad del grano, aun de color verde
	209	Semilla amarilla Arrugada	Cambio de color de la semilla
Senescencia	301	Vainas inferiores secas de color marrón, vainas superiores estado 209	
	302	Vaina superior estado 209	
	303	Todas las vainas de color marrón, Humedo de cosecha	

5.2 Fisiología de la arveja (*Pisum sativum*).

El cultivo de *P. sativum* en Colombia se desarrolla a temperaturas y humedades relativas no muy altas. Para obtener una germinación y un desarrollo adecuado en Colombia se necesitan rangos de temperaturas entre 15°C y 18°C y una humedad relativa media máxima del 80%. Con estas condiciones adecuadas para el cultivo se pueden obtener excelentes rendimientos productivos para los agricultores; La arveja se adapta bien a suelos que contengan rangos de pH entre 5.5 y 6.8. (Secretaria de Agricultura y pesca Grupo Sistemas De Información., 2000).

Bajo condiciones ideales generalmente la semilla en dos días manifiesta su etapa de germinación, se desarrolla la radícula y simultáneamente se forma el par de hojas cotiledonares, esta etapa de emergencia ocurre en un rango entre los diez (10) a quince (15) días después de siembra (Flores., 2008).

Una vez culminada la etapa de germinación se forman los nudos vegetativos, y el tallo principal comienza a ramificarse, a partir del segundo nudo forma los folíolos y zarcillos los cuales la planta utiliza para sostenerse del tutorado; esta etapa ocurre entre tres (3) y seis (6) semanas después de siembra. A continuación, la etapa de floración ocurre entre los 25 a 30 días después de siembra, una vez el cultivo esté en su etapa de floración se da la fecundación de las flores, generando luego los frutos de tipo legumbre, esto ocurre a los 125 días de siembra, esta etapa se desarrolla en un tiempo de 25 días, como se evidencia en la (tabla 2), La legumbre comienza su desarrollo y llenado de granos hasta alcanzar su madurez para consumo verde, este se obtiene cuando los granos contienen entre un 72 a 74% de humedad (Mayorga, 2016).

Tabla 2. Principales etapas fenológicas que ocurren en el cultivo de arveja en días, tomado y adaptado de (Mayorga, 2016).

Fase fenológica	Londoño y Naranjo (1996)	Vaca (2011)
Emergencia		8-10
Aparición de hojas con zarcillos	11-14	10-15
Inicio de floración	40-42	40-45
Formación de vainas	59-61	55-65
Inicio de la cosecha	91-94	90-100

5.3 Características morfológicas de la Arveja.

Según Ventura la arveja se caracteriza por tener semillas que presentan una coloración café clara, la textura de la semilla es corrugada dependiendo del ecotipo, pesando en promedio 0,20 gramos. La raíz pivotante que en condiciones adecuadas de suelo puede llegar a desarrollarse a altas profundidades, está acompañada de una ramificación de raíces secundarias. Por ser una leguminosa la raíz se encuentra acompañada por nódulos generados por el microorganismo fijador de Nitrógeno *Rhizobium sp.* Los tallos son trepadores y angulosos de textura lisa y coloración verde claro con hojas conformadas por pares de folíolos de textura lisa y coloración verde intenso, adicionalmente los tallos poseen zarcillos los cuales ayudan a su desarrollo ya que estos sirven para adherirse a los tutorados.

Las flores poseen una morfología tipo papilionácea con cinco (5) sépalos, los cuales los dos superiores pueden variar tanto su forma como tamaño dependiendo del ecotipo, su coloración es blanca. Tras la polinización la flor desarrolla frutos de tipo legumbre de 5 a 10 cm de longitud que albergan entre 4 a 10 semillas de una textura lisa, las valvas de la legumbre son apergaminadas (Ventura, 2012).

5.4 Características de la variedad Santa Isabel.

La variedad Santa Isabel es una de las más representativas en Colombia ya que se adapta fácilmente a diferentes pisos térmicos, y por su buen rendimiento; ya que generalmente se obtienen excelentes producciones que generan buenas ganancias económicas, la variedad se caracteriza por tener condiciones agronómicas de alta importancia económica con respecto a otras variedades. La altura promedio de la planta es de 1,70 metros y su periodo vegetativo es de 90 días, se adapta bien a suelos con una altura de 1.600 a 2.200 msnm, requiere suelos con texturas franco arenosas, el rango óptimo de pH es de 5.9 y 6.8. En un gramo de semillas generalmente se obtienen entre cinco (5) y diez (10) semillas, la vaina encierra un promedio de 6 a 8 granos, esto generalmente cuando se realizan adecuadamente las labores agronómicas (García., 2018).

Las principales enfermedades de importancia económica para el cultivo son *Ascochyta pisi*, *Botrytis cinerea*, *Peronospora Corda*, *Colletotrichum Corda* y *Fusarium oxysporum* (DANE., 2015).

5.5 Producción de arveja a nivel mundial.

La arveja a nivel mundial tiene una alta oferta y comercialización ya sea en grano verde o seco; la arveja verde para el año 2014 obtuvo una producción de 8,4 millones de toneladas, indicando que los cultivos de arveja han venido en auge en los últimos años, los principales productores son China, India y Estados Unidos; Colombia se ubica en el puesto 25 entre 95 países productores arveja fresca (Fenalce 2015).

La arveja seca según la FAO, en el año 2014 a nivel mundial tuvo una producción de 9.828.000 de toneladas, siendo los principales productores Canadá, Rusia,

China, India y Francia; Colombia se ubica en el puesto número 12 con la importación de arveja seca con un promedio de 40.000 toneladas (Fenalce.,2015).

Estos datos son muestran la importancia del cultivo y el gran aporte económico que genera en diferentes países. Por ello es importante realizar nuevos estudios para seguir mejorando los ciclos vegetativos de la planta y obtener iguales o mejores rendimientos.

5.6 Importancia del cultivo en Colombia.

La arveja a nivel nacional es una de las leguminosas más importantes junto al frijol, debido a que en los últimos años el cultivo ha venido aumentando su área cultivada en el país, la variedad más sembrada en el territorio colombiano es la variedad Santa Isabel, esta variedad es muy buscada por los productores ya que se obtienen excelentes rendimientos (Fenalce.,2015)

El cultivo se lleva a cabo en once (11) de los treinta y dos (32) departamentos de Colombia, el área sembrada se presenta generalmente en climas fríos y medios, el rango óptimo de altura sobre el nivel del mar para la arveja está entre los 2.200 y 3.000 msnm. El primer puesto con más hectáreas sembradas para el 2015 lo obtuvo el departamento de Nariño con 8.369 hectáreas, seguido de Cundinamarca con 6000 hectáreas y Boyacá con 5.460 hectáreas, la producción nacional para el año 2015 fue de 80.640 toneladas con un promedio de rendimiento de 3,2 toneladas por hectárea (Fenalce.,2015).

5.7 Reguladores hormonales

Las plantas han creado habilidades complejas para adaptarse a su entorno en constante cambio. Las interacciones entre las plantas y las condiciones de su medio a las que están sometidas, son percibidas y comunicadas por una elaborada red de receptores (Lenton 1998). A diferencia de la luz, los mecanismos de percepción de

la planta ante las variaciones del medio ambiente, no se han esclarecido por completo en todos los casos. Por ello, son objeto de estudio permanente las vías de señalización que involucran una o varias hormonas (Achard *et ál.*, 2006).

Estos compuestos tan trascendentales, responsables de los modelos de expresión génica de diversos eventos de crecimiento y desarrollo, están involucrados en la regulación de gran cantidad de procesos fisiológicos como la germinación de semillas, los movimientos trópicos, el enraizamiento, la etapa de floración, la tolerancia a diferentes tipos de estrés bióticos y abióticos, la maduración de frutos y la senescencia, entre otros (McCourt, 1999).

Las fitohormonas se producen en las células de la planta, se definen como compuestos orgánicos que se sintetizan en un lugar de la planta, y se traslocan a otro sitio donde ejercen su acción fisiológica en muy bajas concentraciones, entre 10^{-9} M a 10^{-6} M, bastante por debajo de la concentración de otras sustancias como nutrientes y vitaminas (Izumi *et ál.*, 2009).

Una de las características más relevantes de las fitohormonas es que una misma puede participar en diferentes procesos, también, dependiendo de su concentración, la hormona puede ser estimuladora o inhibitoria de una misma respuesta. Además, varias hormonas pueden afectar una misma respuesta, por ende, indica que hay una aparente redundancia en el control de un mismo efecto. Cada respuesta ocurre en una época determinada en el desarrollo de la planta y se presenta solamente en un tejido en particular u órgano (Srivastava, 2002).

Las hormonas han sido clasificadas en varios grupos, de acuerdo con su función fisiológica y estructura, entre las que se encuentran, citoquininas (CK), las auxinas, giberelinas (GA), ácido abscísico (ABA), etileno, ácido salicílico (SA), jasmonatos (JA), brasinosteroides, poliaminas y strigolactonas (Kamiya, 2010).

A través de muchos años, se han llevado a cabo numerosos estudios para descubrir la función de cada fitohormona, cuyas funciones incluyen una amplia variedad de procesos fisiológicos. (McSteen y Zhao, 2008).

Una parte importante del conocimiento actual obtenido de las respuestas mediadas por hormonas proviene de bioexperimentos donde se acude a la aplicación exógena de fitohormonas. Un bioexperimento permite medir en una planta o en alguna de sus partes, la respuesta de la misma a un regulador de crecimiento específico. Es uno de los mejores modos para establecer los rangos de sensibilidad de una planta, ya que se realiza aplicación exógena de la fitohormona a diferentes concentraciones (Srivastava, 2002).

5.8 Poliaminas (PAs)

Las poliaminas (PAs) son compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, presentes en todos los seres vivos y de vital importancia para regular procesos celulares y fisiológicos en las plantas, debido a que están implicadas en la división celular, síntesis de proteínas, organogénesis, embriogénesis, desarrollo de flores, frutos, polen, nudos, raíces, germinación, fotosíntesis y respuestas al estrés (Galiba *et al.*, 2009) Las PAs son moléculas alifáticas de bajo peso molecular que en los tejidos se encuentran en forma libre o conjugada con otras biomoléculas (Kovács *et al.*, 2010; Mendoza & Rocha, 2002). Por su facultad policationica (cargadas positivamente) puede unirse a moléculas polianionicas (cargadas negativamente) como proteínas, fosfolípidos, pectinas, ADN y ARN, entre otras, es así como las PAs afectan una amplia gama de procesos celulares, y por ende fisiológicos en general (Galston, 1983; Galston & Kaur-Sawhney, 1987).

Las PAs se clasifican en alifáticas (putrescina, espermidina, espermina, cadaverina), aromáticas (tiramina, feniletilamina) o heterocíclicas (histamina, triptamina) (Álvarez & Fernández, 2005). En los seres humanos las poliaminas provienen de dos fuentes, por un lado, un origen endógeno por la biosíntesis *de novo* e interconversiones entre ellas mismas, así como de las secreciones digestivas (especialmente intestinal y pancreática) y las descamaciones y los productos del catabolismo de las propias células intestinales (Guasco *et al.*, 2014).

Se han realizado múltiples estudios del efecto de las PAs en células animales como, el incremento de PAs en la regeneración de hígado de rata, acumulación de PAs en embriones de pollo (Bachrach, 2010) y otros estudios que ponen en evidencia algunas de las funciones de las PAs en los seres vivos.

La Putrescina (Put), Espermidina (Spd), Espermina (Spm) y la Termoespermina (Tspm) son las principales PAs encontradas en las plantas y en general, los tejidos vegetales juveniles contienen más PAs que los tejidos adultos (Kaur-Sawhney *et al.*, 2003), En las plantas superiores los mayores niveles de PAs son característicos de tejidos meristemáticos y en crecimiento activo; los diferentes órganos de la planta presentan un patrón específico y está correlacionado con los procesos de división o expansión celular (Feixa, 2001, Alcázar *et al.*, 2010).

5.9 Biosíntesis de Poliaminas

La ruta de biosíntesis de PA en las plantas ha sido exhaustivamente investigada y revisada en detalle (Evans and Malmberg, 1989; Tiburcio *et al.*, 1990; Slocum, 1991a; Martin-Tanguy, 2001). Las PA son sintetizadas a partir de arginina y ornitina por arginina descarboxilasa (ADC) y ornitina descarboxilasa (ADC). La agmanina intermedia, es sintetizada a partir de arginina, se convierte en Put, la cual se trasforma en Spd y Spm por trasferencias sucesivas de grupos aminopropil de S-adenosilmetionina descarboxilada (dSAM) catalizada por Spd y Spm sintasas específicas.

Los grupos aminopropil se derivan de metionina, que primero se convierte en S-adenosilmetionina (SAM), y luego descarboxilada en una reacción catabolizada por SAM descarboxilasa (SAMDC). La resultante SAM descarboxilada es utilizada como un aminopropil donador. SAM es un precursor común tanto para poliaminas como para etileno, y SAMDC regula ambas rutas biosintéticas.

Varias investigaciones se han ocupado de la localización de las PA y sus enzimas biosintéticas en las plantas (Slocum, 1991). Sin embargo, la escasez de información

con respecto a la localización celular y subcelular de PAs sigue siendo uno de los obstáculos para comprender su papel biológico.

Estudios recientes han demostrado que las PAs están presentes en funciones de la pared celular, vacuola, mitocondria y cloroplastos (Torrighiani *et al.*, 1986; Slocum, 1991b; Tiburcio *et al.*, 1997). Las enzimas biosintéticas, ODC, SAMDC, y Spd sintasa han sido reportadas siendo localizadas en el citoplasma, mientras ADC está localizada en la membrana tiacoidal del cloroplasto (Borrell *et al.*, 1996; Tiburcio *et al.*, 1997) y PAO en la pared celular (Kaur-Sawhney *et al.*, 1981). La actividad de ODC además ha sido observada en el nucléolo (Slocum, 1991b). Sin embargo, estos hallazgos tienen que ser interpretados con precaución porque varios problemas procedimentales pueden enmascarar los resultados. A pesar de estos avances en el entendimiento de los procesos metabólicos que involucran PAs y su localización en las células vegetales, el papel preciso de las PAs en la morfogénesis de las plantas sigue siendo difícil de alcanzar.

Debido a que las PAs y el etileno tienen un precursor en común (SAM), y que estas primeras se tienen nociones de que favorecen, y están involucradas en varios procesos celulares como lo es la división, y en otros procesos vitales para el funcionamiento celular, además de que se tienen estudios en donde se sabe que estas favorecen a la planta en condiciones de estrés biótico y abiótico. Y por el contrario el etileno causa reacciones muy diferentes en las plantas pues induce entre otras actividades la maduración de frutas y la senescencia de hojas. Por lo anterior se han realizado estudios en donde se utilizan inhibidores de una u otra fitohormona, los cuales son herramientas para manipular las plantas de acuerdo a interés o lo que se desee de ellas (Kaur-Sawhney *et al* 2002).

5.10 Transporte, incorporación y localización de las poliaminas

El transporte de PA depende de factores ambientales, como la humedad relativa y la temperatura. Estudios realizados en plántulas de tomate (*Lycopersicum*

esculentum Mill.) y maíz (*Zea mays* L.) demostraron que al 100% de humedad relativa, la absorción de putrescina fue menor que a otros porcentajes de humedad relativa. Por su parte, a temperaturas entre 4 y 30° C se presentaron incrementos en la absorción de Put (Rabiti *et al.*, 1989). En las células vegetales, la incorporación de PA es bastante rápida y depende principalmente del pH del medio externo a la célula, con picos máximos de incorporación a pH entre 4,0 y 5,0 y pH de 8,0. Una vez incorporadas, las PAs pueden almacenarse principalmente en compartimentos como la pared celular y la vacuola (Bagni & Pistocchi, 1991).

Investigaciones realizadas *in vitro e in vivo* con (*Helianthus tuberosus* L.) han demostrado que el máximo nivel de síntesis de PA se encuentra justo antes de la replicación de ADN y la división celular, por tal motivo se propone que existe una alta correlación entre los niveles de PAs y ciertos eventos del ciclo celular en plantas. En la membrana celular, las PAs se unen a los fosfolípidos y a sitios aniónicos, alterando su permeabilidad y fluidez, por lo tanto, modulan indirectamente la actividad de las enzimas asociadas con la membrana y ejercen una función de protección contra el estrés (Mendoza & Rocha, 2002).

Las PAs puede estar relacionadas también en procesos fisiológicos de maduración en especial de frutos no climatéricos, así como el etileno que es ampliamente conocido por su papel en maduración de frutos climatéricos de los cuales es el responsable de desencadenar procesos de ablandamiento, cambio de coloración, contenido de azúcares y hasta liberación de aromas por parte de dichos frutos, gracias a los conocimientos que se tiene de esta fitohormona se han realizado estudios en donde se ha determinado con éxito la identificación y aplicación de inhibidores del etileno, para retrasar los procesos de maduración de frutos lo que es muy provechoso comercialmente ya que se ha logrado prolongar la vida útil de productos que deben pasar cierto tiempo en llegar a su consumidor final, por ejemplo en el caso de frutas climatéricas de exportación como el banano (Balaguera *et al.*, 2014).

Aunque en la maduración de frutos no climatéricos la complejidad del proceso de maduración es mayor ya que se ha determinado que intervienen varias fitohormonas como ácido absicico, auxinas, ácido gibereico, etileno, jasmonato y brasinoesteroides, y estudios recientes han demostrado que las PAs, desempeñan funciones importantes en este proceso, en donde se ha evidenciado en el caso de la fresa que en diferentes etapas de maduración de esta fruta los niveles de contenido de esta fitohormona varia, por lo que se afirma que de una u otra manera hay procesos regulados por PAs. Estas y algunas otras fitohormonas como el etileno están relacionadas y las rutas y niveles en que se presentan en fresa y posiblemente en otros vegetales están íntimamente ligados, para producir los efectos y actuar en procesos de manera como lo hacen. Pero las poliaminas no solo actúan como fitohormona sino también como señalizadores en los procesos de tolerancia a algunos estreses bióticos y abióticos (Guo *et al.*, 2018).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación.

La presente investigación se llevó a cabo en la finca Santo Domingo, vereda San Luis, sector Berlín del municipio de Arbeláez (Cundinamarca), con coordenadas 4°12' 46"N - 74°24'57"W, este sitio se encuentra a 10 Km de la cabecera municipal en dirección sur oriente, es una zona semimontañosa de gran cantidad de vegetación, alta pluviosidad, y suelo franco arenoso. Se utilizó un área de cultivo total de 468 m² con una pendiente del 16%, a una altura de 2230 msnm, y temperatura promedio de 17°C, precipitación promedio anual de 1016 mm y humedad relativa promedio de 73%.

6.2 Condiciones de cultivo.

Las condiciones y técnicas de manejo del cultivo experimental aplicadas fueron las convencionales utilizadas por los agricultores de esta zona para un cultivo de arveja. Por tratarse de un terreno ya utilizado para labores de producción agrícola su acondicionamiento para el cultivo de arveja fue relativamente sencillo, para lo cual se inició por el control de arvenses haciendo uso del herbicida generalista de acción sistémica Glifosol® SL cuyo ingrediente activo es glifosato a dosis de 5 ml/L de agua. A los 10 días se procedió a hacer el encallado donde se retiraron las malezas del terreno en franjas para realizar surcos de arveja en líneas, como se muestra en la figura 2. Seguidamente se realizó la labor de rayado para remover la capa superficial del terreno para que las semillas encuentren suelo blando y poroso en donde desarrollar fácilmente sus raíces y anclarse al suelo. La distancia entre surcos se fijó en 1,3 m, los surcos contaron con una longitud de 30 m.



Figura 2. Adecuación del terreno. Fuente: los autores.

En esta investigación se utilizaron 650 g de semilla variedad Santa Isabel certificada de la empresa Impulsemillas®. Se colocó una semilla por sitio, a una profundidad de 2 cm, esto cada 0,2 m a lo largo de cada surco como se muestra en la figura 3. Con esto se obtuvo una densidad de siembra de 3,84 plantas/m². Luego de la siembra se suministró riego ya que el terreno presentaba bajo nivel de humedad, se regó mediante la utilización de surtidor durante tres horas cada dos días. Con esto se tuvo emergencia de las primeras plántulas nueve días después de la siembra (dds).



Figura 3. Siembra de arveja. Fuente: autores

El control de plagas se enfocó hacia las larvas de coleópteros presentes en el cultivo, para ello se utilizó Eltra® un insecticida de aplicación edáfica cuyo ingrediente activo es carbosulfan, se suministró a dosis de 0,75 ml/L de agua. Posteriormente a los 23 dds se fumigó el cultivo con Fitoraz (2,5 gr/L), CABRIO TOP® WG (2 gr/L) y DICONIL 720® SC (1,25 ml/L) cuyos ingredientes activos son Propineb + Cymoxanil, Metiram y Chlorothalonil respectivamente, dicha aplicación se hizo para combatir síntomas de la enfermedad causada por el hongo *Ascochyta pisi*, la cual se manifestó en los folíolos como pequeñas manchas de color marrón como se muestra en la figura 4. En adelante se hicieron aplicaciones de fungicidas e insecticidas de acuerdo a monitoreo en el cultivo y de presencia de plagas.



Figura 4. Foliolo de arveja afectado por *Ascochyta pisi*. Fuente: autores

El control de arvenses asociadas al cultivo se realizó aplicando el herbicida SENCOR® SC 480 cuyo ingrediente activo es metribuzin a una dosis de 0,15 ml/L, dicho herbicida de tipo selectivo permitió el control de plantas compiten con el cultivo por recursos. En adelante se realizó el manejo de arvenses de manera mecánica con guadaña.

El tutorado para el cultivo se instaló a los 48 dds como se muestra en la figura 5, cuando la arveja tuvo la altura y resistencia suficiente para ser sujeta. Esta estructura se diseñó con una altura aproximada de 2,2 m.



Figura 5. Establecimiento de tutorado. Fuente: autores

La fertirrigación se realizó con el fertilizante hidrosoluble SOLUACTIVE PRODUCCIÓN 13-3-43, con una fórmula completa de elementos mayores y menores que le brindan el refuerzo necesario para el óptimo desarrollo del cultivo. Estas aplicaciones se realizaron periódicamente cada dos semanas.

4.2 Tratamientos y Diseño Experimental.

Los tratamientos se suministraron por primera vez a los 42 dds los cuales consistieron en la aplicación de PAs, en este caso, Putrescina (1,4-Diaminobutano dihidrocloruro) en tres diferentes dosis más un tratamiento control:

- Tratamiento Control: Sin PAs
- Tratamiento 1: aplicación de PAs a una concentración de 500 ppm

- Tratamiento 2: aplicación de PAs a una concentración de 1000 ppm
- Tratamiento 3: aplicación de PAs a una concentración de 1500 ppm

Se eligió aplicar un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) debido a que hay variables en el campo que no se pueden controlar como la pendiente del terreno u homogeneidad total de éste, que en determinado caso pueden afectar la variable de respuesta además de que por ser un experimento en campo pueden influir otras variables ambientales que no son tan evidentes y que no se controlan, cuyos efectos de sesgo se pueden mitigar con este tipo de arreglos en campo (Figura 6).

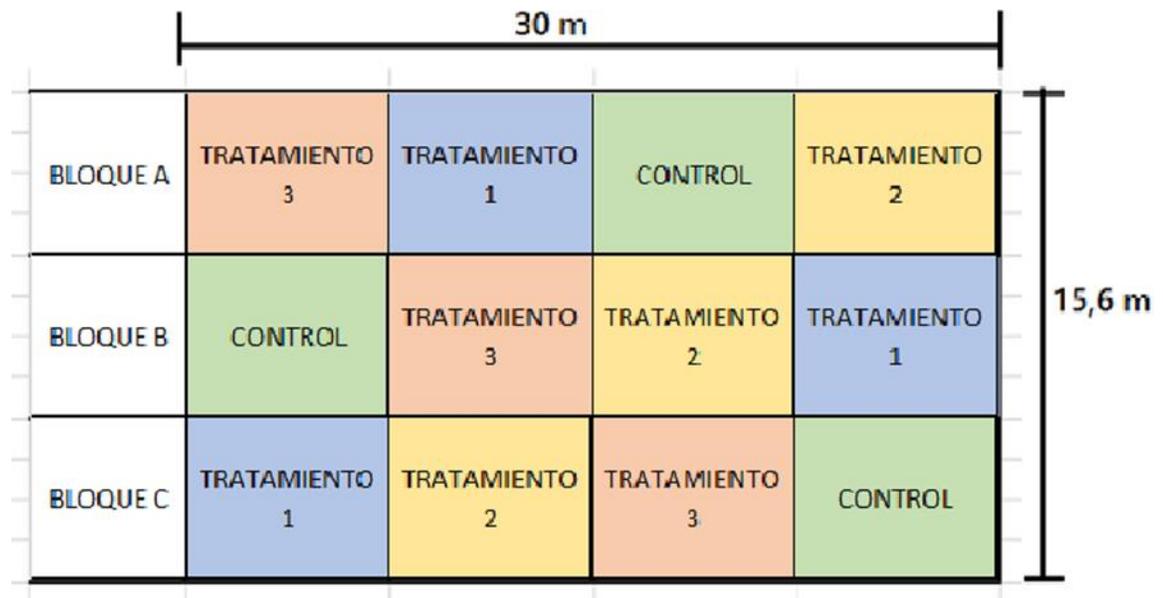


Figura 6. Esquema disposición de tratamientos en el terreno

La forma en se aplicaron los tratamientos fue de forma foliar asperjando uniforme y completamente el follaje desde las hojas más basales hasta los ápices, pero sin que se presentara exceso de aplicación a punto que se desperdiciara producto, esto por haz y envés de los folíolos como se muestra en la figura 7. Esto se realizó periódicamente cada 30 días los dos primeros meses y luego cada 15 días el tercer mes.



Figura 7. Aplicación de PAs. Fuente: autores.

El muestreo destructivo como se muestra en la figura 8, se hace con el fin de conocer a través del tiempo el comportamiento de algunas variables, para este caso las variables que se miden en los muestreos destructivos realizados son área foliar, peso fresco y peso seco. La selección se realiza al azar tomando tres plantas por cada unidad experimental de cada uno de los tratamientos. Este procedimiento se realizó periódicamente cada dos semanas a partir del día 34 dds.



Figura 8. Planta extraída para muestreo destructivo. Fuente: autores.

Los parámetros evaluados fueron altura, número de hojas, área foliar, número de flores, peso seco, peso fresco, número de vainas, longitud de vainas, número de granos por vaina, peso de vainas, peso de granos, Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) y Tasa de Asimilación Neta (TAN).

Una vez las plantas empezaron su etapa productiva es decir cuando las vainas alcanzaron su madurez comercial se detuvieron los muestreos destructivos y se inició la etapa de cosecha. Para lo cual se tomaron la totalidad de vainas maduras por unidad experimental de acuerdo a criterio visual, teniendo especial cuidado para lograr que las vainas se mantengan lo más íntegras posibles como se muestra en la figura 9. Este procedimiento se realizó semanalmente a partir del día 97 dds.



Figura 9. Legumbres de arveja cosechadas. Fuente: autores

Parámetros evaluados:

Altura: Longitud de las plantas tomada desde el suelo hasta su ápice aéreo. desde los 15 DDS hasta 92 DDS.

Peso fresco: es el peso de las plantas en fresco, determinado en laboratorio, en donde se pesaron las plantas con todos sus órganos mediante muestreos destructivos los cuales fueron periódicos desde los 34 hasta los 91 DDS.

Peso seco: es la cantidad de biomasa de las plantas deshidratadas. Se determinó colocando las plantas en horno de secado durante 72 horas a 60°C, figura 10.



Figura 10. Muestras de plantas de arveja en horno de secado

Fuente: autores

Área Foliar: sumatoria de las áreas de todos los folíolos de una planta. Para su determinación se utilizaron dos métodos, mediante un programa de análisis con fotografías, y el método peso de cm^2 .

Para el primer análisis se fotografiaron los folíolos y estas imágenes se analizaron con el software de procesamiento de imágenes Fiji - ImageJ, con el cual se hallaron las áreas de los folíolos individualmente como se observa en la figura 11, generándose una tabla de datos que posteriormente se procesó en el software Excel.

En el segundo análisis se tomaba un folíolo y se realizaba un corte equivalente a 1 cm^2 este se depositaba en un Beaker previamente tarado y se realizaba el peso en la balanza analítica, una vez tomado el dato de peso del cm^2 se depositaban los folíolos en el Beaker para determinar el peso total. Al culminar estos procedimientos los folios y el tallo de la planta eran depositados en un sobre de manila y se colocaban en el horno de secado a 60°C (Grados Celsius) por de tres (3) días terminada esta etapa se retiraban las muestras del horno de secado y se procedía a realizar el peso seco de cada una de las muestras en la balanza analítica. Estas

etapas se llevaron a cabo durante los cinco (5) muestreos destructivos que se realizaron durante la evaluación.



Figura 11. Foliolos de arveja para realizar medidas de área foliar

Fuente: autores

Peso de frutos: peso total de frutos producidos por unidad experimental. Se determinó pesando las vainas cosechadas

Numero de frutos: número total de vainas producidas por unidad experimental. Se determinó haciendo el conteo de las vainas cosechadas

Porcentaje (%) de severidad: es el porcentaje del área de las vainas afectadas por el patógeno *Ascochyta pisi*.

Para determinar el porcentaje de severidad de *A. pisi* en los frutos se tomó como base la formula, la escala cualitativa, y grados de severidad figura 12, propuesta por Orbes y Becerra (Valencia *et al.*, 2012)

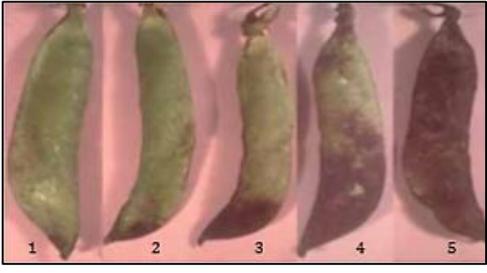
	Grado 1	Ataque de 0-10%.
	Grado 2	Ataque del 10%-25%.
	Grado 3	Ataque del 25%-50%.
	Grado 4	Ataque del 50%-75%.
	Grado 5.	Ataque del 75%-100%.

Figura 12. Escalas de severidad de *Ascochyta pisi*

La fórmula con la cual se hallaron los porcentajes de severidad es la siguiente (Valencia et al.,2012):

$$\%S = \frac{\sum \text{Grados Leidos}}{N^{\circ} \text{ Datos Leidos} * N^{\circ} \text{ Grados de la escala}} * 100$$

Longitud de vaina: distancia que presenta cada una de las vainas desde sus extremos más distantes, los cuales se ubicaron en hojas milimetradas figura 13



Figura 13. Legumbres de arveja para hallar la longitud. Fuente: autores

Granos por vaina: cantidad de granos presentes en cada una de las vainas cosechadas.

Peso de granos: peso de la totalidad de granos producidos por unidad experimental.

Peso de 100 granos: es una medida comparativa para determinar si los granos tuvieron diferencias sobresalientes con relación a su peso de acuerdo a los tratamientos. Para ello se tomaron 100 granos de cada tratamiento y se pesaron en balanza analítica

Índice de área foliar (IAF): es la relación entre área de las hojas por planta y el área de cultivo destinada para esa planta. Se determinó a través de la fórmula:

$$IAF = \frac{\frac{(AF2+AF1)}{2}}{\frac{1}{As}}$$

Donde:

AF1: área foliar inicial

AF2: área foliar final

AS: área del suelo ocupada por la planta

Tasa de crecimiento relativo (TCR): permite realizar comparaciones equitativas, normalmente relaciona una parte de la planta con la masa seca total. Se determinó a través de la fórmula:

$$TCR = \frac{(\ln W2 - \ln W1)}{(T2 - T1)}$$

Donde:

Ln: logaritmo natural

W1: peso inicial

W2: peso final

T1: tiempo inicial

T2: tiempo final

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC): Es la ganancia en peso de una comunidad de plantas, por unidad de área de suelo, por unidad de tiempo. Se determinó a través de la fórmula:

$$TCC = \frac{1}{As} \times \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)}$$

Donde:

AS: área del suelo ocupada por la planta

W1: peso inicial

W2: peso final

T1: tiempo inicial

T2: tiempo final

Tasa de asimilación neta (TAN): Es la medida de eficiencia de una planta o una población de plantas como un sistema asimilatorio, es decir, es la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar por unidad de tiempo. Se determinó a través de la fórmula:

$$TAN = \frac{\frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)}}{\frac{(\ln AF2 - \ln AF1)}{(AF2 - AF1)}}$$

Donde:

Ln: logaritmo natural

W1: peso inicial

W2: peso final

T1: tiempo inicial

T2: tiempo final

AF1: área foliar inicial

AF2: área filiar final

Tasa absoluta de crecimiento (TAC): Cambio en tamaño, es decir un incremento del tamaño por unidad de tiempo. Se determinó a través de la fórmula:

$$TAC = \frac{W2 - W1}{T2 - T1}$$

Donde:**W1:** peso inicial**W2:** peso final**T1:** tiempo inicial**T2:** tiempo final

A los 14 dds se realizó el conteo de las plantas emergidas y se determinó el porcentaje de germinación que alcanzó el 78%, por lo que se realizó una resiembra en los lugares en donde no nacieron plántulas.

La variable número de flores se registró a partir del día 61 dds en cuanto aparecieron las primeras en el cultivo, el seguimiento de esta variable se realizó contando las flores que presentaban las 3 plantas por unidad experimental que se seleccionaban para el monitoreo de la variable altura. De este mismo modo se hizo el seguimiento de la variable número de frutos por planta y frutos afectados por planta, en cuanto estos empezaron a aparecer.

Luego de recopilada la información de cada una de las variables se organizó y digitalizó en tablas utilizando el software Excel versión 2010, luego Para el procesamiento estadístico de datos se aplicó análisis de varianza y test Tukey con nivel de significancia del 0,05, a los datos de cada una de las variables evaluadas, para lo cual se hizo uso del software infostat versión 2015

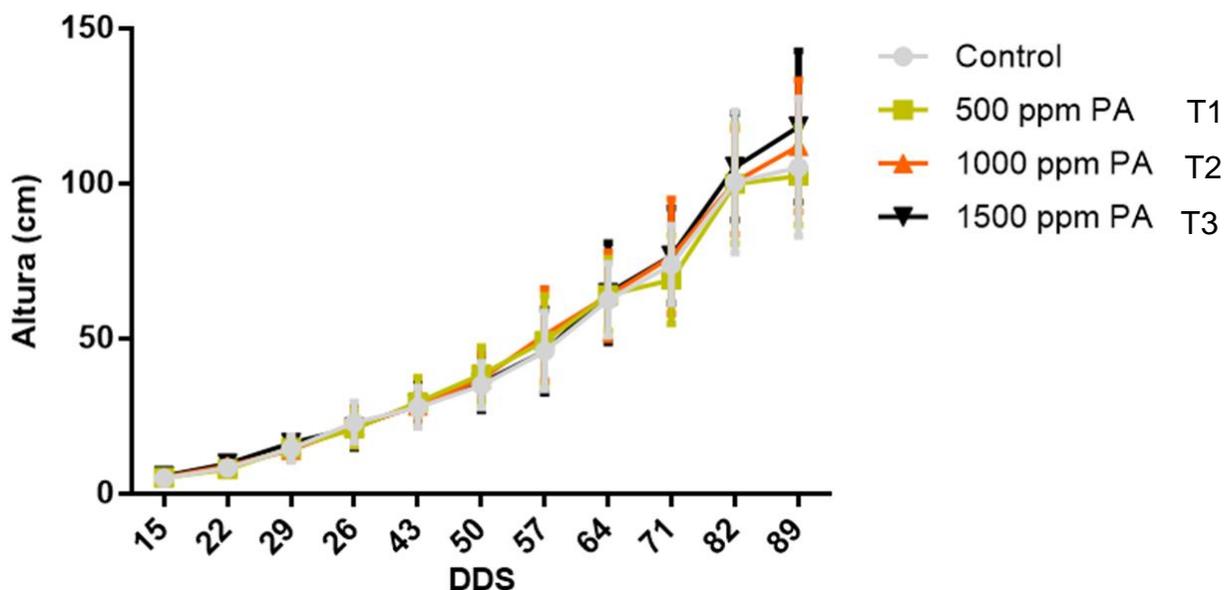
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 ALTURA

La altura de las plantas a través del tiempo para todos los tratamientos tuvo comportamiento similar, al realizar el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (ver anexo 1), aunque en los muestreos finales el tratamiento T3 mostró una tendencia creciente mostrando mejores resultados, como se indica en la gráfica 1

En esta variable la aplicación de PAs exógenas no generó cambios significativos en la altura de la planta, pero estudios realizados por Esquivel *et al.*, (2014) en *Arabidopsis thaliana* demostraron que las PAs están implicadas en diferentes procesos biológicos como, crecimiento, respuesta a condiciones de estrés, y desarrollo de la planta, concentraciones altas de PAs libres posiblemente están asociadas con una tasa de crecimiento activo, pero al realizar aplicaciones en tejidos *in vitro* se encontró que los tejidos embrionarios son mucho más sensibles a la aplicación exógena de PAs generando una respuesta morfogénica más rápida en el crecimiento.

Grafica 1. Altura de las plantas en el tiempo de cada tratamiento

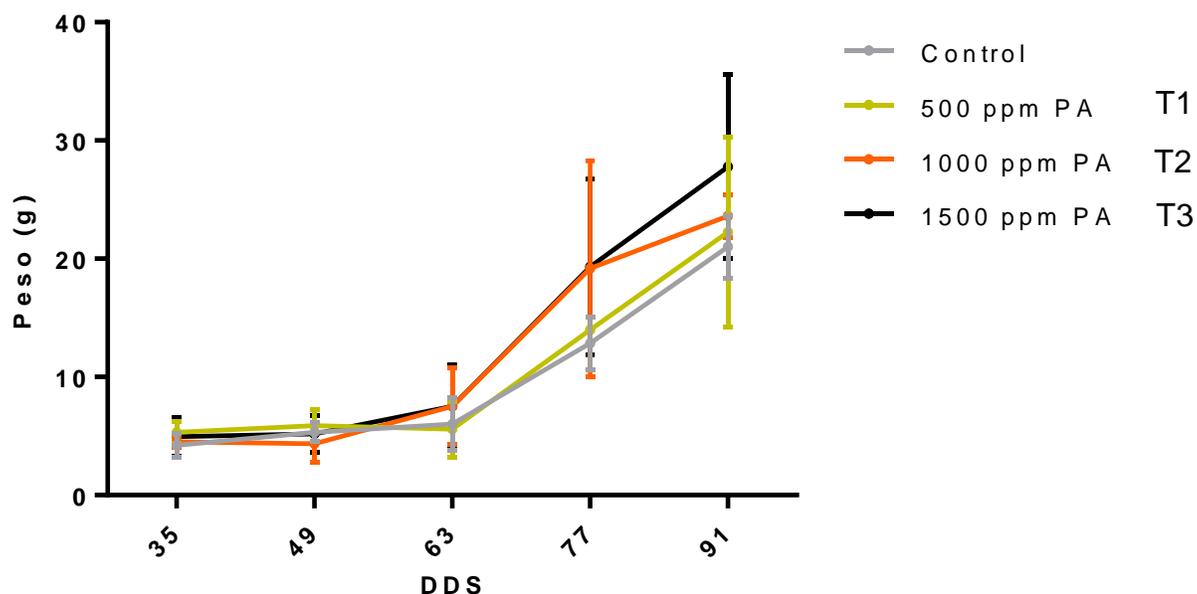


7.2 PESO FRESCO

El comportamiento del peso fresco en los diferentes tratamientos no mostró diferencias estadísticas significativas (ver anexo 2), pero sí se encuentra tendencia de mayor peso fresco en los tratamientos T2: 1000ppm y T3:1500ppm en los 63 y 77 DDS que en el caso del T3 se mantuvo esta tendencia hasta los 91 DDS, como se muestra en la gráfica 2.

Por lo cual posiblemente realizar aplicaciones de las fitohormonas contribuyen al desarrollo y crecimiento de las plantas obteniendo una mayor cantidad de órganos y diámetro de los mismos; Como lo indica Martínez *et al.*, (2013) realizar la aplicación de fitohormonas que mejoran al crecimiento de las plantas, potencializan los procesos de división celular, favoreciendo el incremento de la zona meristemática y posteriormente un mayor número de células, contribuyendo a una mayor elongación del tallo, crecimiento de hojas entre otras, por lo cual se atribuye a un aumento del peso fresco de las plantas

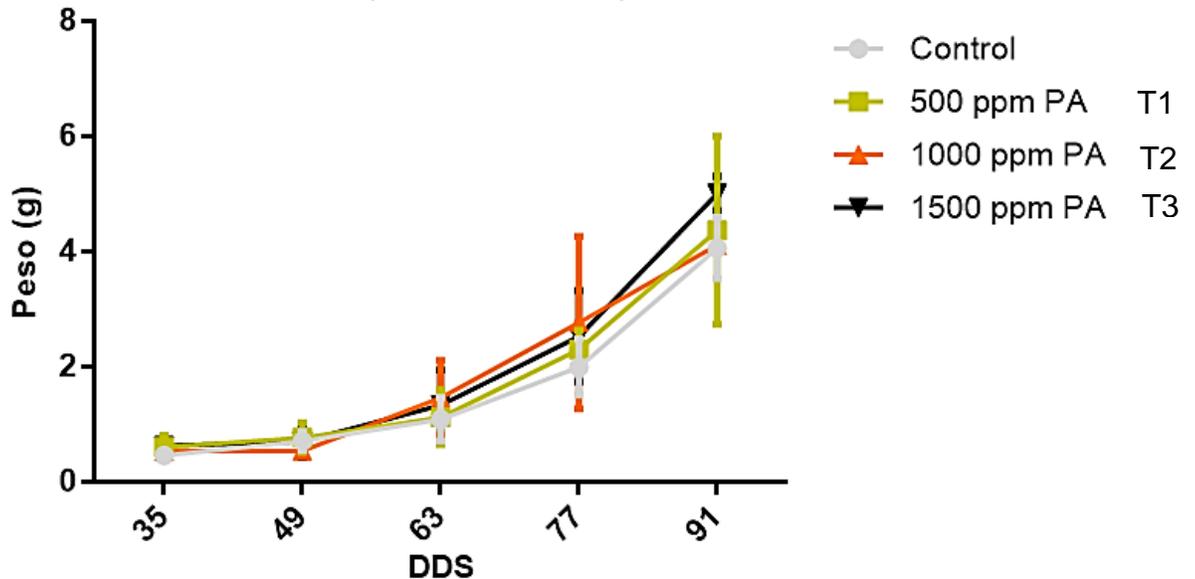
Grafica 2. Peso fresco de las plantas en el tiempo.



7.3 PESO SECO

El peso seco, como es normal de esperarse, por estar directamente ligado al peso fresco, tuvo comportamiento similar en donde se encuentra que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de acuerdo al test Tukey ($p < 0,05$), como se muestra en el (anexo 3), pero se evidencia una tendencia de un mayor comportamiento de los tratamientos T2 y T3 en los muestreos de los 63 y 77 DDS e igualmente el T3 tuvo mejores resultados hasta los 91 DDS, como se muestra en la gráfica 3. Lo que indica que la aplicación exógena de PAs causa efectos favorables con relación a la acumulación de biomasa de las plantas de arveja, lo que está de acuerdo con lo reportado por Ortega, (2008) quien realizó un estudio en *Arabidopsis thaliana*, en donde aplicó PAs de manera exógena y determinó que las plantas tratadas alcanzaron mayor peso fresco en comparación a su respectivo testigo. Estos datos apoyan estudios realizados por diferentes autores, donde se postulan que la biosíntesis de PAs constituye una ruta esencial para el desarrollo de la planta. Con este estudio se puede deducir que las PAs participan en el desarrollo en general de las plantas.

Grafica 3. Peso seco de las plantas en el tiempo



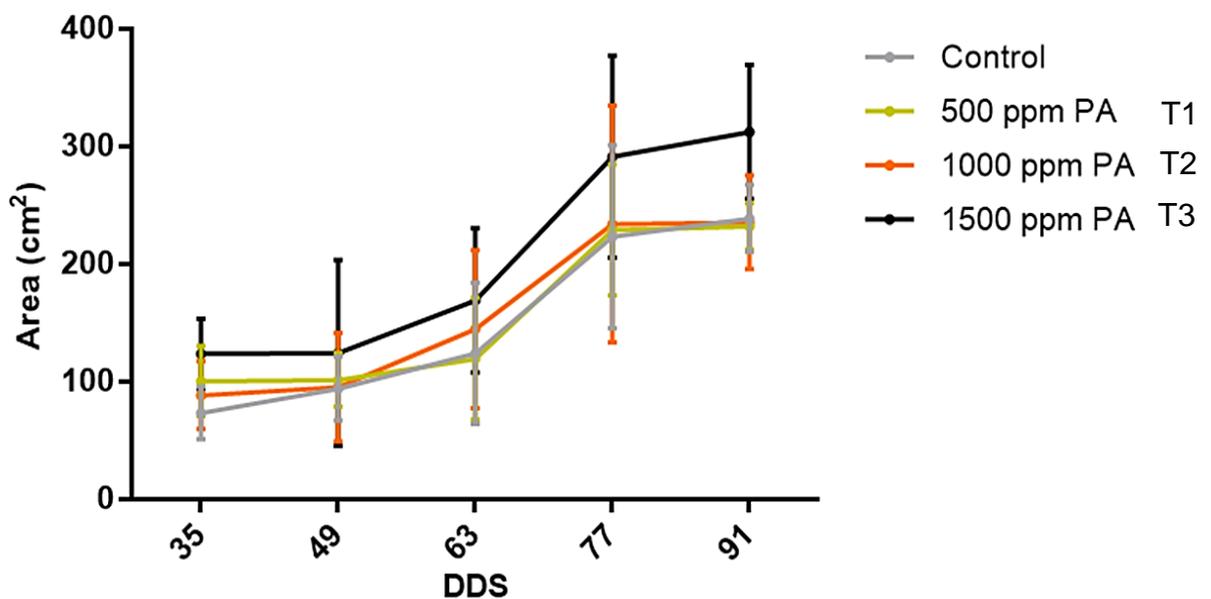
7.4 ÁREA FOLIAR

El área foliar en los tratamientos control, T1 y T2 tuvo comportamiento semejante, sin hallarse diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a prueba Tukey ($p < 0,05$) como se indica en el anexo 4, pero en el caso del T3, si se encontraron diferencias estadísticamente significativas, obteniendo un mayor comportamiento, es decir en este tratamiento el área foliar claramente fue mayor que los demás tratamientos como se muestra en la gráfica 4. Esta respuesta de la planta se puede atribuir a la aplicación de PAs ya que estos fitorreguladores están involucrados en diversos procesos fisiológicos de las plantas tanto en su desarrollo normal como en la tolerancia, recuperación y/o superación de condiciones estresantes de tipo abiótico, como lo muestra Norato & Romero (1995) quienes encontraron que la aplicación de PAs rompe la dormancia de plántulas de Sietecueros (*Tibouchina lepidota*), las cuales tuvieron un destacado y relativamente veloz crecimiento, del mismo modo ayuda a recuperar plantas de maíz (*Zea mays*) afectadas por heladas, caso semejante hallaron también Romero & Norato (1996) en papa criolla (*Solanum phureja* ev. "Yema de Huevo") en donde se revirtieron los efectos dañinos causados

por heladas, y además de eso estas plantas presentaron mayor producción que en condiciones normales. Diversos estudios han demostrado que las PAs están implicadas en varios procesos de desarrollo de las plantas, por ende, no es de extrañarse que de este modo las plantas a las cuales se les aplicaron PAs hallan alcanzado mayor área foliar.

Como se observa en la diferentes variables alrededor de los 65 dds se comienzan a generar cambios entre los tratamientos, lo cual corresponden a una alta producción de área foliar de la planta, al inicio de la floración y la formación y desarrollo de las legumbres según lo reportado por Galindo & Clavijo,(2009), ya que ellos en su evaluación con plantas de arveja (*Pisum Sativum* L.) reportan que el inicio de floración y desarrollo de las legumbre corresponden desde los 69 días después de la siembra, momento en el cual la planta por su morfología presenta la mayor cantidad de nudos generando una alta floración, y en este caso una mayor concentración de PAs (T3:1500ppm) posiblemente incrementó el área foliar de las plantas evaluadas.

Grafica 4. Área foliar de las plantas de cada tratamiento



7.5 LONGITUD DE FRUTO

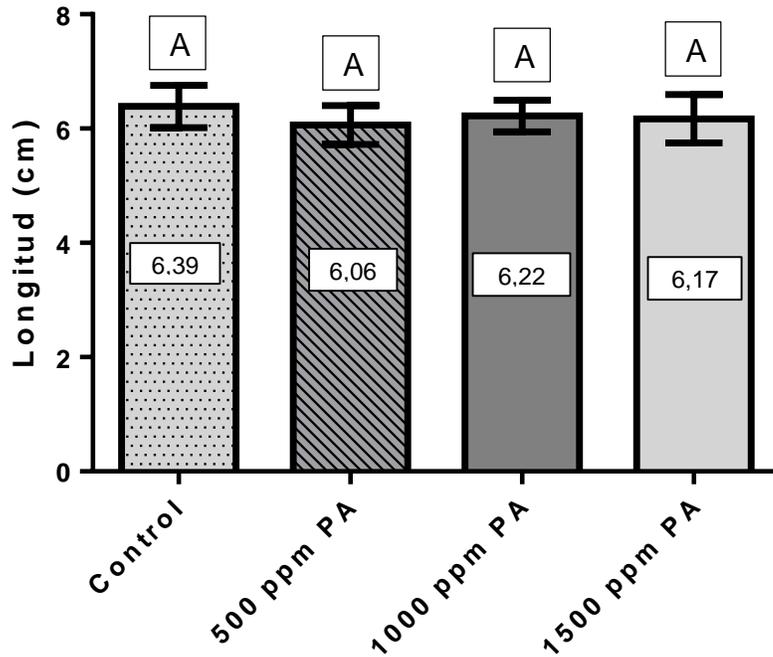
Con los datos de la variable de longitud de frutos se llevó a cabo el análisis estadístico realizando comparación de medias con el método de Tukey con un nivel de significancia del ($p < 0.05$), Al realizar el análisis de estos resultados se observó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ni bloques ver (anexo 5).

Al realizar el análisis numéricamente los tratamientos planteados en la gráfica 5 se observa que el promedio de longitud de los frutos de arveja variedad Santa Isabel en cada tratamiento es de seis (6) cm, indicando que las aplicaciones con PAs no generaron diferencias en esta variable.

Según estudios realizados por (Franco et al.,2008) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L), la aplicación exógena de PAs, incrementaron la biosíntesis de la PAs endógenas lo cual fue esencial en el desarrollo inicial del fruto, ya que se incrementó la velocidad de crecimiento durante la etapa de división celular lo que posiblemente dicho comportamiento influyó en el tamaño del fruto

En esta evaluación no se observaron cambios morfológicos en la longitud de la vaina ya que posiblemente la concentración de las PAs aplicadas en cada tratamiento, no modificaron la biosíntesis de las PAs endógenas para obtener cambios importantes en la longitud de las legumbres

Grafica 5. Longitud de legumbre por tratamiento



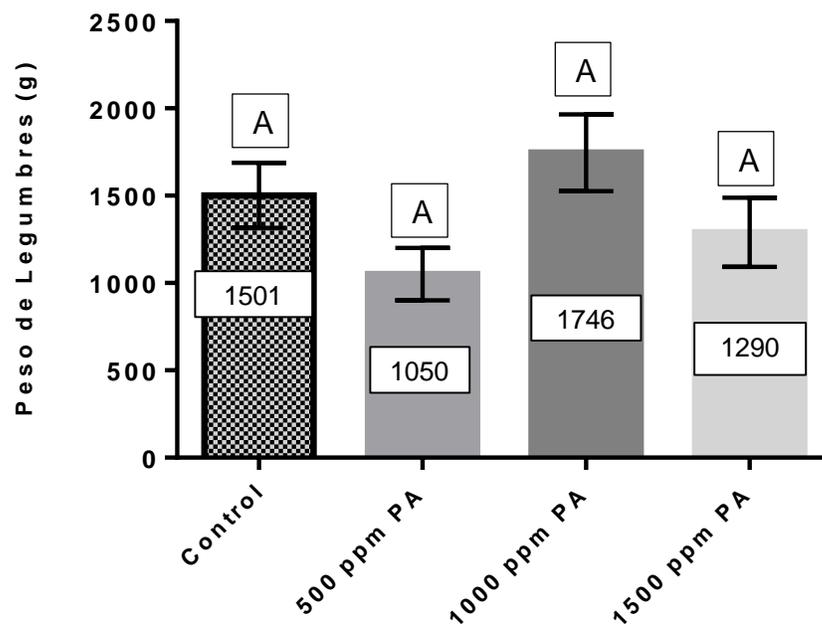
7.6 PESO TOTAL DE LEGUMBRES

Se evaluó el peso total de los frutos obtenidos durante su etapa de producción, se llevó a cabo el análisis estadístico y la comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia del ($p > 0,05$) ver anexo 6, el cual indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

Al analizar los datos expresados en la gráfica 6, se evidencia que el tratamiento T2: 1000ppm, obtuvo un mayor peso en gramos de los frutos con respecto a los demás tratamientos, ya que se obtuvo un total de 1.746 gramos. Con respecto al tratamiento con el peso más bajo lo obtuvo el T1 con 1.107 gramos el cual se realizaban aplicaciones de PAs a una concentración de 500 ppm, es decir el T2 obtuvo una diferencia de 725 gramos con respecto al T1. Lo que indica que posiblemente las aplicaciones de PAs a una concentración de 1000 ppm generan un mayor peso de los frutos de arveja variedad Santa Isabel. Como se indica

anteriormente en la variable longitud, las fitohormonas evaluadas participan en etapas de crecimiento de los frutos y división celular como lo indica Franco y colaboradores Franco *et al.*, (2008), por lo que posiblemente las legumbres del tratamiento T2 tenían un mayor peso con respecto los demás tratamientos

Grafica 6. Peso total de legumbres cosechadas por tratamiento



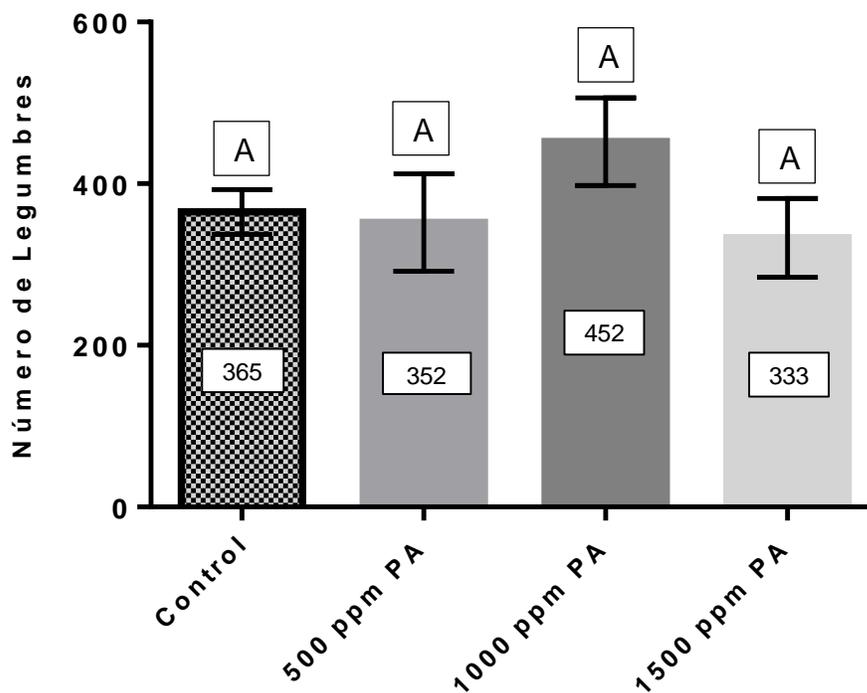
7.7 CANTIDAD DE LEGUMBRES

Se realizó el análisis de varianza y el test de Tukey con un nivel de significancia de ($p < 0,05$), los resultados obtenidos indican que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de la evaluación, Con respecto a los bloques se obtuvo que el bloque C fue estadísticamente diferente con respecto a los bloques A, y B que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que el bloque fue importante para el desarrollo de la evaluación, ver anexo 7.

Al realizar el análisis numérico presentados en la gráfica 7 se evidencia que el T2 a una concentración de 1000 ppm de PAs presentó un mayor número de frutos con respecto a los demás tratamientos con un total de 452, el tratamiento con el menor número de frutos fue T3 con un total de 333 frutos el cual tenía concentración de 1500 ppm de PAs., con una mayor cantidad de frutos se obtienen una alta cantidad de semillas y esto a su vez genera un mayor peso, como se indican en la gráfica 8 de la variable peso del grano, el mayor peso se obtuvo del T2 con un total de 827 gramos, y en la gráfica 9 de la variable número de granos, la mayor cantidad fue del T2 con 1618 granos, lo que indica que hay una correlación de estas tres variables, por lo cual posiblemente realizando aplicaciones exógenas a una concentración 1000 ppm de PAs se obtendría una mayor cantidad de frutos generando una producción más alta en el cultivo contribuyendo a mayores ganancias económicas.

Como lo indica Franco *et al.*,(2008), las aplicaciones exógenas de la fitohormona contribuyen a la polinización, desarrollo del grano polen y crecimiento del tubo polínico reduciendo el aborto floral obteniendo un mayor número de frutos, un estudio realizado en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), realizando aplicación con PAs y aplicación de SAMDC el cual es un inhibidor de la fitohormona, se observó que las aplicaciones de PAs aumentaron la germinación del polen y se obtuvo un crecimiento favorable del tubo polínico, la aplicación con SAMDC demostró una reducción e inhibición de las PAs lo que causaron una reducción de la germinación del polen y posteriormente el crecimiento del tubo polínico.

Grafica 7. Número total de legumbres cosechados por tratamiento



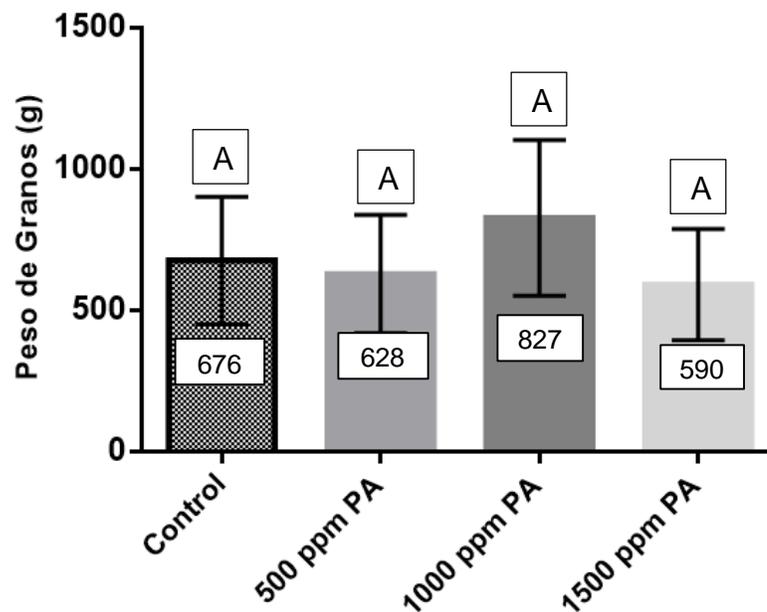
7.8 PESO TOTAL DE GRANOS

Respecto al peso de granos al realizar el análisis estadístico (ver anexo 8) no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas.

Pero al realizar el análisis numérico representado en la gráfica 8 nuevamente se obtiene que el T2: 1000ppm presenta el mayor peso de granos con respecto a los demás tratamientos obteniendo un peso total de 827 gramos, el T1 obtuvo el menor rendimiento de granos con un total de 628 gramos, es decir que, aunque no se están presentando diferencias estadísticas significativas, en el análisis numérico el T2: 1000ppm de PAs está presentado un mayor rendimiento en las diferentes variables. Como lo indica Norato, (1996) en un estudio realizado en plantas de maíz (*Zea mays* L), llevando a cabo aplicaciones de PAs las mazorcas sometidas al tratamiento presentaban un mayor rendimiento en el número de granos y

posteriormente un mayor peso, llevando lo a concluir que realizar aplicaciones exógenas de PAs, contribuyen al desarrollo y formación de los granos por mazorca.

Grafica 8. Peso de granos por tratamiento



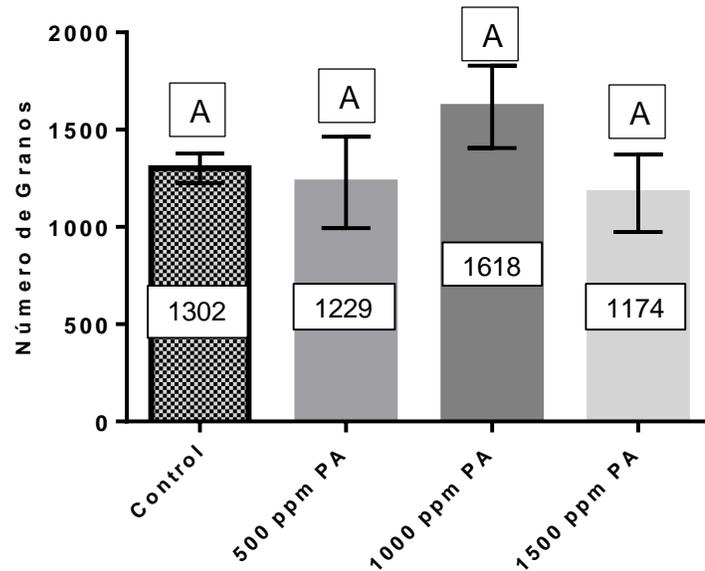
7.9 NÚMERO DE GRANOS

Los resultados de la prueba de Tukey indicados en el anexo 9, muestran que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para esta variable. Pero los resultados presentados en la gráfica 9, indican que el T2: 1000ppm, generó el mayor número de granos con un total de 1628, el tratamiento T3 generó el menor número de granos con un total de 1174.

Las variables peso total de legumbres, cantidad de legumbres, peso total de granos y cantidad total de granos mencionadas anteriormente están estrechamente relacionadas por lo que es natural que tengan comportamientos semejantes. El tratamiento 2 (T2) con concentración de 1000 ppm de PAs mostró el mejor comportamiento. No se han encontrado trabajos de investigación en donde se apliquen PAs de manera exógena para inducir mayor productividad de plantas, por lo que no se tienen precedentes para este tipo de variables. Con estos resultados

se puede decir que las PAs posiblemente para esta especie bajo las condiciones aquí trabajadas no generan aumentos significativos en cuanto a su rendimiento o productividad.

Grafica 9. Número de granos por tratamiento

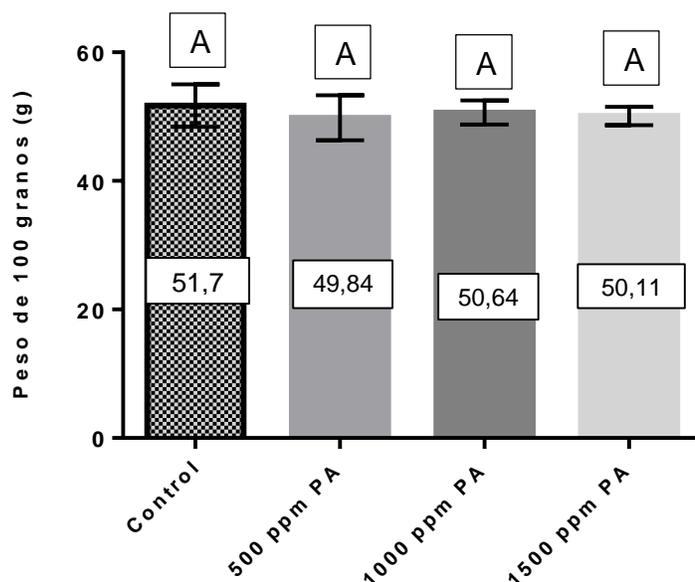


7.10 PESO DE 100 GRANOS

Al realizar la comparación estándar de peso de 100 granos por tratamiento se encontró que no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, como se muestra en la gráfica 10.

En estudios realizados de aplicación de PAs no se encontró reportes de esta variable, pero en un estudio realizado por Peña *et al.*, (2015) aplicando promotores del crecimiento en un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L), evaluó el peso de 100 granos, obteniendo como resultado que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos

Grafica 10. Peso de 100 granos por tratamiento



7.11 SEVERIDAD DEL PATÓGENO *Ascochyta pisi*, EN LAS LEGUMBRES DE ARVEJA

Se llevó el análisis estadístico realizando el método de comparación de Tukey con un nivel de significancia del 0,05 ver anexo 10, el cual no arrojó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Pero al realizar el análisis numérico como se presentan en las gráficas 11 y 12, se observó que el tratamiento 2 (T2:1000ppm) obtuvo el % de incidencia más bajo entre los tratamientos, de igual forma el % de severidad en las escalas 4 y 5, el T2:1000ppm presentó el mejor comportamiento, lo que indica que posiblemente aplicaciones de exógenas del tratamiento 2 (T2) a una concentración de 1000 ppm de PAs disminuye dicho porcentaje generando un cultivo con menores problemas fitosanitarios con respecto al patógeno *Ascochyta pisi*;

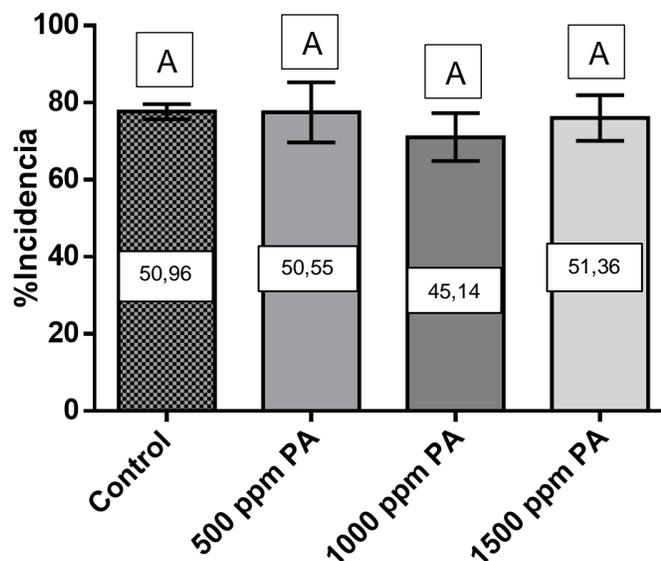
Estudios realizados por Correa., *et al* (2010) en palma de aceite (*Elaeis guineensis*), demostraron la correlación que existe entre la enfermedad pudrición del cogollo (PC) y la concentración de PAs, para la evaluación se tomaron; plantas sanas, con

un nivel de la enfermedad avanzado, y plantas que se estaban recuperando disminuyendo la incidencia y severidad de las plantas, para determinar la concentración de PAs en los tejidos se realizó la extracción y cuantificación por cromatografía líquida de alta eficiencia.

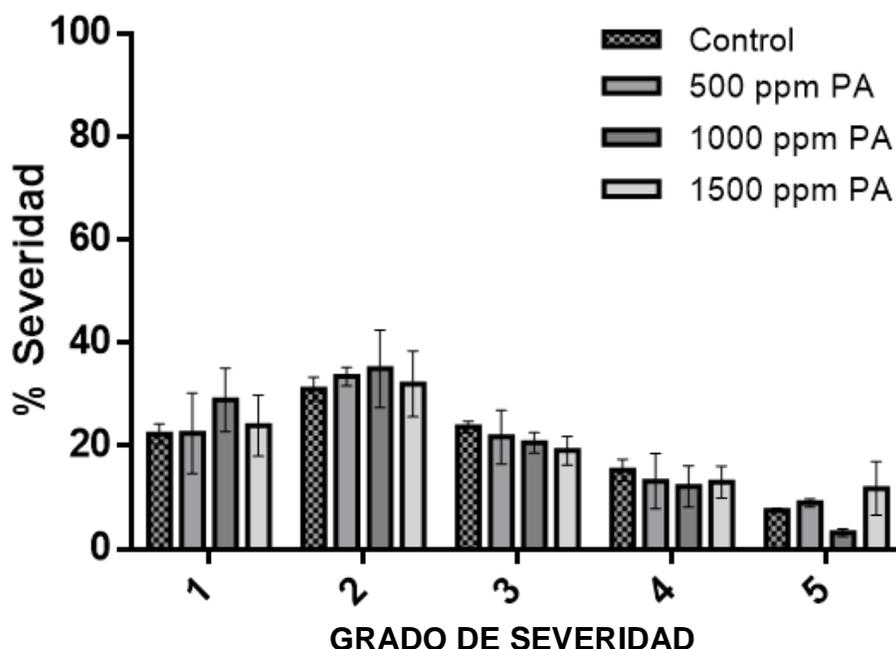
Las tendencias de los estudios mostraron que a medida que avanza la enfermedad la concentración de las PAs desciende, y la concentración comienza a incrementarse nuevamente cuando las plantas se encuentran en estado de recuperación, esto ocurre debido a que las fitohormonas están relacionadas con la división celular y organogénesis por lo cual se genera un aumento en la biosíntesis para generar tejidos nuevos, los niveles más altos se presentaron en palmas sanas, por lo cual posiblemente esta amina está relacionada con el crecimiento de los órganos de la planta disminuyendo la afectación por el ataque de hongo.

Como lo indica Esquivel, (2014), Las PAs cumplen una importante función en la señalización de Ca, el cual como se conoce hace parte de la pared celular lo que confiere un desarrollo en la defensa de la planta mejorando la tolerancia de factores bióticos.

Grafica 11. porcentaje de incidencia del patógeno Asochyta pisi en legumbres



Grafica 12. Porcentaje de severidad del patógeno *Ascochyta pisi* en legumbres



7.12 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

Los resultados que se obtuvieron en el desarrollo de la evaluación muestran que el IAF para los cuatro tratamientos presentó una tendencia ascendente desde los 65 dde, observándose un incremento constante para los cuatro tratamientos, a partir de esta fecha se observa un crecimiento exponencial de los tratamientos.

El tratamiento que presentó el mayor valor de IAF en el desarrollo de la evaluación fue el tratamiento 3 (T3: 1500 ppm PAs) alcanzado en el pico más alto de la tendencia un IAF de 0.12 a los 90 dde, el tratamiento T0 (Control) presentó el IAF más bajo a los 90 dde 0,09 como se indica en la gráfica 13 las correspondientes ecuaciones de ajuste se muestran en la tabla 3. El incremento a partir de los 65 dde y alcanzado su máximo IAF a los 90 dde, como se indica anteriormente en la variable de área foliar en el estudio realizado por Galindo & Clavijo,(2009), en su

evaluación con plantas de arveja (*Pisum Sativum* L.) reportaron que el inicio de floración y desarrollo de las legumbre corresponden desde los 69 y 77,4 días después de la siembra, momento en el cual la planta por su morfología presenta la mayor cantidad de nudos generando una alta floración, lo que ocasiona que se obtenga un alto índice de área foliar alrededor de estos días

Posiblemente el tratamiento 3 (T3:1500ppm) obtuvo una mayor cantidad de biomasa, peso seco y altura, ya que el tratamiento obtuvo el IAF más alto con respecto a los demás tratamientos, y según investigaciones reportadas por Barraza *et al.*,(2015) en el crecimiento del cultivo de balsamina (*Momordica charantia* L.) con un alto IAF las plantas tiene una alta capacidad fisiológica generando un alto rendimiento de materia seca, de esta manera se obtienen una alta cantidad de órganos de una alta actividad fotosintética como los folíolos de las plantas, generando una mayor tasa de foto asimilados disponibles los cuales son traslocados hacia los órganos vertederos de importancia en el ciclo vegetativo de la planta en este caso en la floración y desarrollo y crecimiento del fruto.

Grafica 13. IAF de los tratamientos en el tiempo

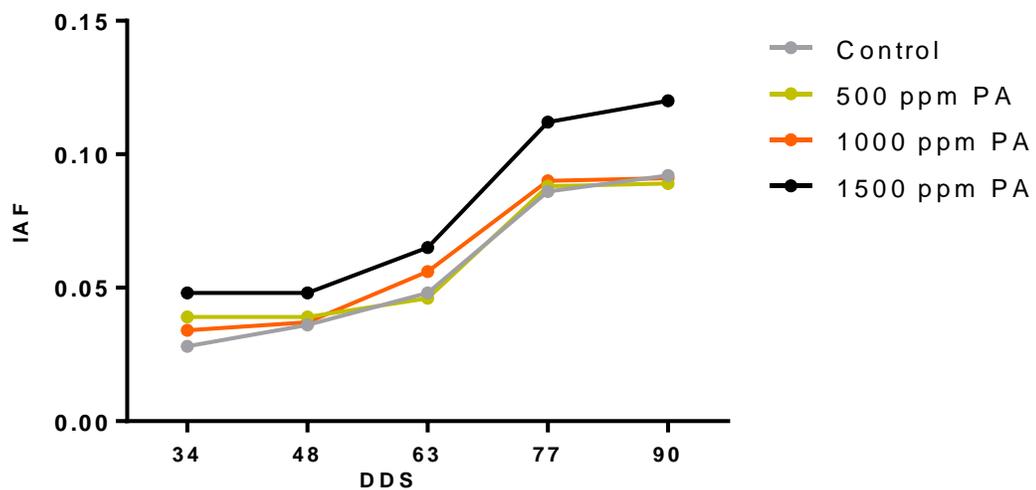


Tabla 3. Ecuaciones de ajuste para el IAF

IAF		
TRATAMIENTO	ECUACION DE AJUSTE PARA LA TENDENCIA	R ²
CONTROL	$y = 1E-05x^2 - 3E-05x + 0,0155$	0,9391
T1	$y = 2E-05x^2 - 0,0009x + 0,0471$	0,8696
T2	$y = 6E-06x^2 + 0,0004x + 0,0089$	0,9149
T3	$y = 2E-05x^2 - 0,0009x + 0,0521$	0,9262

7.13 TASA DE CRECIMIENTO (TCR)

El comportamiento de la TCR está relacionado con la acumulación de biomasa en el tiempo, comúnmente y lo que se espera es que tenga comportamiento descendente, debido a la dinámica entre respiración de crecimiento y respiración de mantenimiento que tiene la planta, de acuerdo a la producción de esqueletos carbonados para su crecimiento. Pero en el presente experimento no se dio de esta manera, por el contrario, esta variable tuvo comportamiento ascendente en el tiempo, en donde en el caso del Tratamiento control no tuvo aumento apreciable de los 48 dds a los 63 dds, luego de esto muestra una pendiente pronunciada hasta los 77 dds y finalmente se atenúa la pendiente de este punto a los 91 dds. T1 tuvo un comportamiento ascendente con pendiente similar desde los 48 dds hasta los 77 dds, luego de esto su pendiente fue menos pronunciada.

En los tratamientos 2 (T2:1000ppm) y 3 (T3:1500ppm) se aprecia una pendiente más pronunciada que en los tratamientos T0 y T1, de los 48 dds a los 63 dds pero en adelante la pendiente se hace más leve, como se muestra en la gráfica 14, las correspondientes ecuaciones de ajuste se muestran en la tabla 4. Este comportamiento inesperado posiblemente se generó por la fuerte presión ambiental ya que se presentó una temporada invernal demasiado fuerte en los meses en que se desarrolló el experimento en campo (enero 2018 a mayo 2018), como se

muestra en la gráfica 13, en donde se aprecia un aumento dramático en la cantidad de precipitaciones en comparación con los meses inmediatamente anteriores, lo que pudo causar efectos negativos en las plantas debido a que las sometió a una condición estresante lo que hizo que estas plantas tuviesen una especie de aletargamiento, muy seguramente debido a la saturación de agua en el suelo, que posiblemente limitó la cantidad de oxígeno disponible para las raíces de las plantas, lo que conlleva a reacciones fisiológicas o cambios que pueden llegar a ser irreversibles como disminución de la permeabilidad de las membranas, peroxidación de lípidos, degradación de proteínas clorofila, disminución de expansión foliar y cierre estomático. El cierre estomático causa la disminución del CO₂ en los espacios intercelulares y disminución en la fotosíntesis (Lin et al., 2006), esto induce la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Mittler, 2002),

Como lo menciona Jiménez y colaboradores (2012) quien hace un análisis de las consecuencias a partir de esta condición. Pero que para este caso en específico no se dio de manera tan dramática, y las plantas fueron superando medianamente esta condición, pero no en su totalidad lo que las conllevó a que en sus primeras etapas tuviesen una generación de biomasa lenta la cual fue aumentando en la medida en que las plantas pudieron sobre llevar las condiciones adversas del ambiente al cual estuvieron sometidas, es por eso que a través del tiempo fueron aumentando su tasa de producción de biomasa por lo menos en el periodo de tiempo en que se realizaron los muestreos destructivos

Grafica 14. TCR de los tratamientos en el tiempo

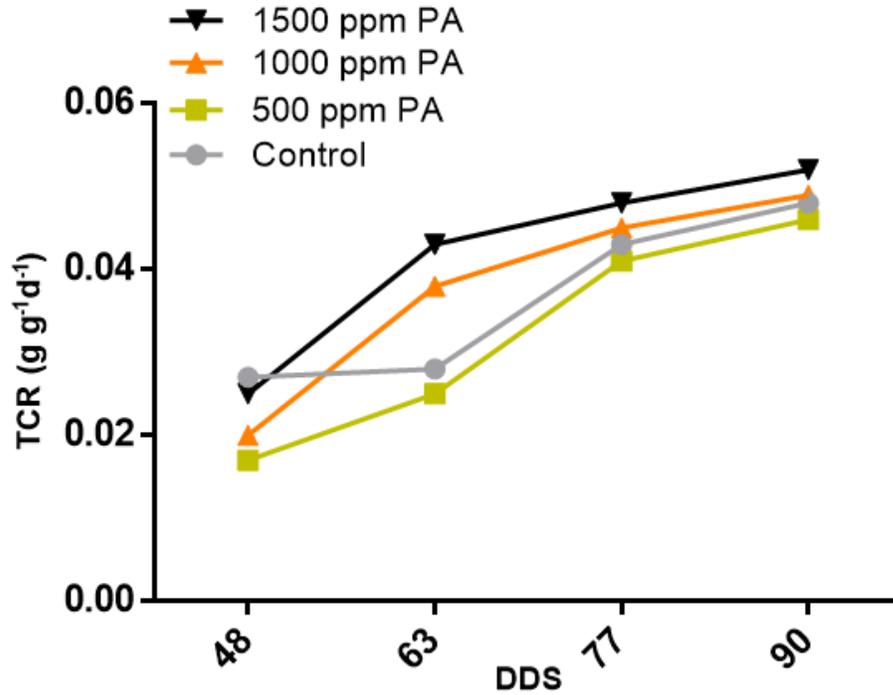
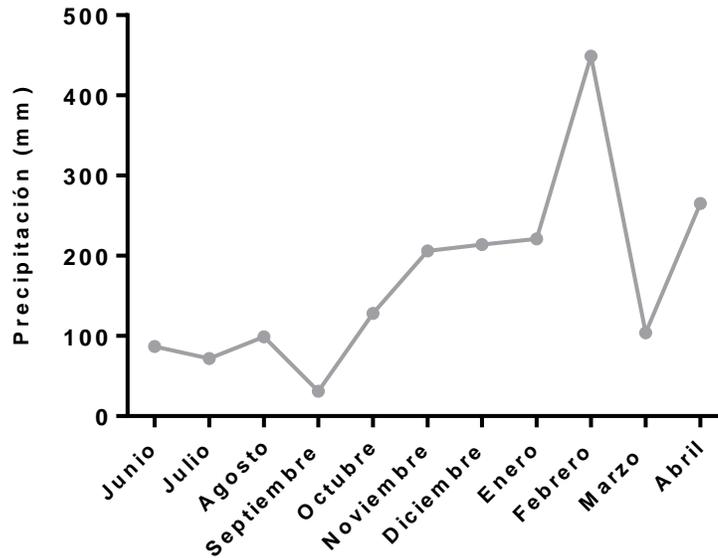


Tabla 4. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TCR

TCR		
Tratamiento	Ecuación de Ajuste para la Tendencia	R ²
CONTROL	$y = 6E-06x^2 - 0,0003x + 0,0272$	0,9173
T1	$y = -2E-06x^2 + 0,001x - 0,0289$	0,9674
T2	$y = -2E-05x^2 + 0,003x - 0,0853$	0,9973
T3	$y = -2E-05x^2 + 0,0029x - 0,0751$	0,9832

En los meses en que se desarrolló el trabajo de campo se presentó una fuerte temporada invernal, con altas precipitaciones en comparación a los meses anteriores como se presenta en la gráfica 15, ya que como se observa se tuvieron precipitaciones mucho más bajas, esta condición de una u otra manera posiblemente incidido en el cultivo o en la respuesta de este a la aplicación de PAs

Grafica 15. Precipitaciones mensuales de la zona de la evaluación



7.14 TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO (TCC)

Para la TCC se encontró una tendencia creciente en el tiempo para cada uno de los tratamientos evaluados, a partir de los 65 dde se observa en la curva un crecimiento exponencial, las plantas evaluadas en el T3 (1500 ppm) presentaron los niveles más altos de TCC, seguidos del T2 (1000ppm), los cuales se indican en la gráfica 16, las correspondientes ecuaciones de ajuste se muestran en la tabla 5, como se menciona anteriormente a partir de esta fecha el cultivo está en su etapa de floración y formación de legumbres por lo cual comienza un incremento de biomasa por el cultivo, en este caso se puede observar que las aplicaciones con las fitohormonas los valores de TCC fueron mucho mejor respecto al testigo absoluto (T0)

Los valores más altos de TCC fueron alcanzados a los 95 dde donde el cultivo alcanzo su máximo potencial en la producción y acumulación de biomasa, estos datos concuerdan con estudios reportados por Lopez., (2012) en arveja (*Pisum*

sativum L) en la aplicación de níquel, donde los valores de TCC entre los 95 y 105 días dds fueron los más altos, ya que en esta fecha el cultivo define su máximo potencial en la acumulación y producción de biomasa.

En un estudio realizado por Colorado et al., (2010) en el crecimiento de Rúgula (*Eruca sativa* Mill) la tendencia de los resultados fue de forma creciente para la TCC, y fue aumentado de forma exponencial durante el transcurso de las semanas de evaluación, debido a que la productividad de biomasa por unidad de superficie de suelo fue aumentando con el transcurso de las semanas.

Grafica 16. TCC de los tratamientos en el tiempo

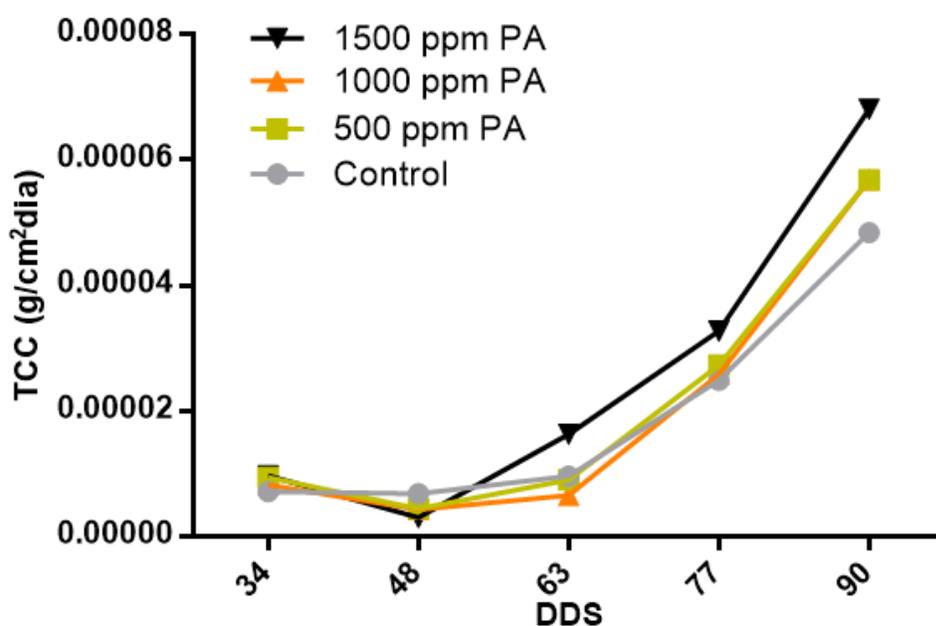


Tabla 5. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TCC

TCC		
TRATAMIENTO	ECUACION DE AJUSTE PARA LA TENDENCIA	R ²
CONTROL	$y = 2E-08x^2 - 2E-06x + 5E-05$	0,9934
T1	$y = 3E-08x^2 - 3E-06x + 8E-05$	0,9984
T2	$y = 3E-08x^2 - 3E-06x + 8E-05$	0,9944
T3	$y = 3E-08x^2 - 3E-06x + 8E-05$	0,9936

7.15 TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN)

La TAN es un índice dependiente del peso seco y el área foliar, es decir, de los procesos de fotosíntesis y respiración de acuerdo con Montaldi (1995) citado por Gil (2007), por ende, es una medida de la eficiencia de la fotosíntesis. Lo normal de esperarse al graficar este índice a través del tiempo es que se manifieste una tendencia descendente, debido a que el comportamiento común de las plantas es que en sus primeras etapas genere rápidamente nuevas estructuras, ya que la planta está en crecimiento acelerado, formando sus esqueletos carbonados y por ende puede dedicar gran parte de su energía en generar biomasa es decir crecer de manera relativamente rápida en comparación con su masa total, en etapas más avanzadas la planta no puede dedicar tantos recursos a la generación de nuevas estructuras sino que la debe dedicar a sostener su biomasa ya constituida, y su capacidad de generación de nuevas estructura se reduce, lo que se refleja en el descenso de la TAN.

En el presente estudio la TAN mostró un comportamiento a ascendente a través del tiempo, diferente a lo reportado en otros estudios como los de Gil (2007) en papaya y Barraza (2015) en balsamina, en donde la TAN mostró un comportamiento descendente a través del tiempo como lo explican por dos razones principalmente, primero que las plantas en las primeras etapas pueden generar mayor cantidad de biomasa por unidad de área foliar que en etapas más avanzadas por la dinámica de respiración de crecimiento y respiración de mantenimiento. Y en segundo lugar otra de las razones para que la TAN se reduzca es el efecto de autosombreamiento que las hojas nuevas ejercen sobre las hojas bajas en las plantas. Pero los resultados encontrados en este estudio están de acuerdo a lo reportado por Colorado., (2010) en un estudio de análisis de crecimiento de Rúgula, en donde la TAN mostró comportamiento ascendente, la razón expuesta para que se diera este comportamiento es que la planta de rugula por su hábito de disponer sus hojas

postradas no se dio el efecto de autosombreamiento y la planta tuvo un eficiente proceso de fotosíntesis. Para el caso de este estudio sucedió algo semejante ya que no hubo una cantidad abundante de follaje de las plantas y el cultivo experimental no fue denso por lo tanto la totalidad de las hojas recibieron todo el tiempo cantidad semejante de radiación solar

El comportamiento de la TAN a través del tiempo tuvo comportamiento ascendente semejante en todos los tratamientos, en donde no se evidenciaron diferencias ampliamente apreciables, aunque se observan datos menores para el tratamiento control desde los 48 dds hasta los 77 dds, y en el caso del T3 este manifiesta superioridad a partir de los 65 dds a los 91 dds, como se muestra en la gráfica 17, las correspondientes ecuaciones de ajuste se encuentran en la tabla 6. De acuerdo a lo anterior el tratamiento T3 es el fotosintéticamente más eficiente, mostrando un mejor comportamiento

Grafica 17. TAN de los tratamientos en el tiempo

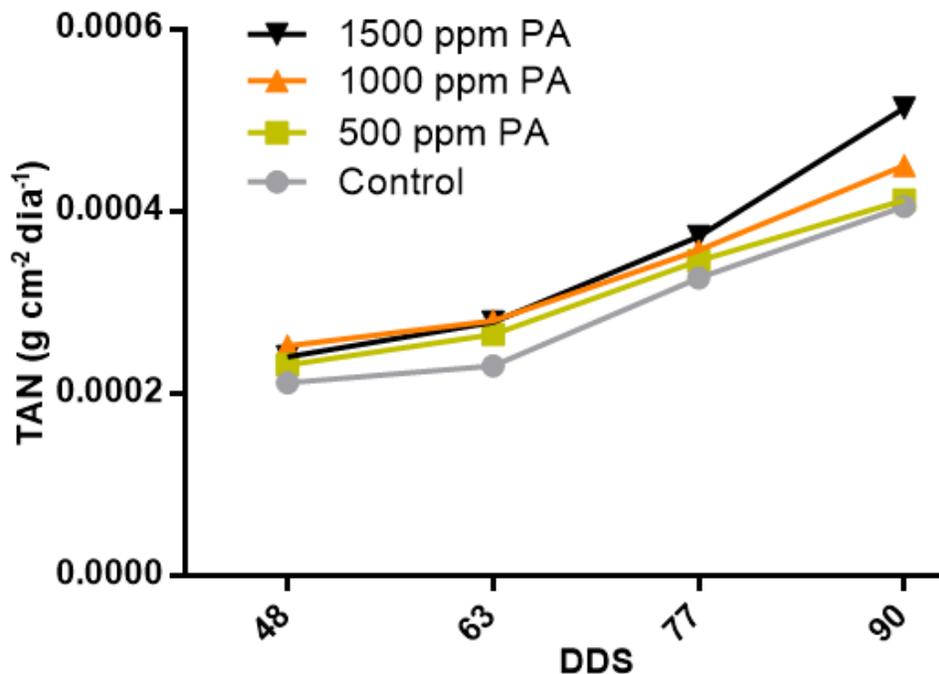


Tabla 6. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TAN

TAN		
TRATAMIENTO	ECUACION DE AJUSTE PARA LA TENDENCIA	R ²
CONTROL	$y = 9E-08x^2 - 8E-06x + 0,0004$	0,984
T1	$y = 6E-08x^2 - 3E-06x + 0,0003$	0,9916
T2	$y = 1E-07x^2 - 9E-06x + 0,0004$	0,9988
T3	$y = 1E-07x^2 - 1E-05x + 0,0006$	0,9946

7.16 TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO (TAC)

En la variable de TAC el comportamiento fue similar a las gráficas anteriores, ya que se encontró un movimiento creciente para cada uno de los tratamientos, el mejor comportamiento se obtuvo del tratamiento T3 (1500ppm), a partir de los 65 días de la evaluación el crecimiento fue exponencial, el pico más alto se alcanzó a los 90 dds, como se indica en la gráfica 18, las correspondientes ecuaciones de ajuste se muestran en la tabla 7. mostrando que posiblemente las aplicaciones del T3 contribuyen a obtener un área foliar un poco mayor en lo cual se muestra anteriormente en la gráfica 4

Un comportamiento similar fue registrado por Lopez., (2012) en el crecimiento de arveja (*Pisum sativum* L) en el cual registra un crecimiento de forma exponencial a los 65 dds alcanzando el máximo pico entre los 90 a 95 dds, como se indica anteriormente el cultivo en esta fecha a alcanzando su máximo potencial de biomasa con respecto una unidad de área de suelo.

Resultados obtenidos por Maqueira *et al.*, (2014) en el crecimiento de arroz (*Oriza sativa* L), se observa un comportamiento creciente, desde las primeras etapas de crecimiento alcanzando su máximo pico en las etapas finales de la etapa de crecimiento del cultivo

Grafica 18. TAC de los tratamientos en el tiempo

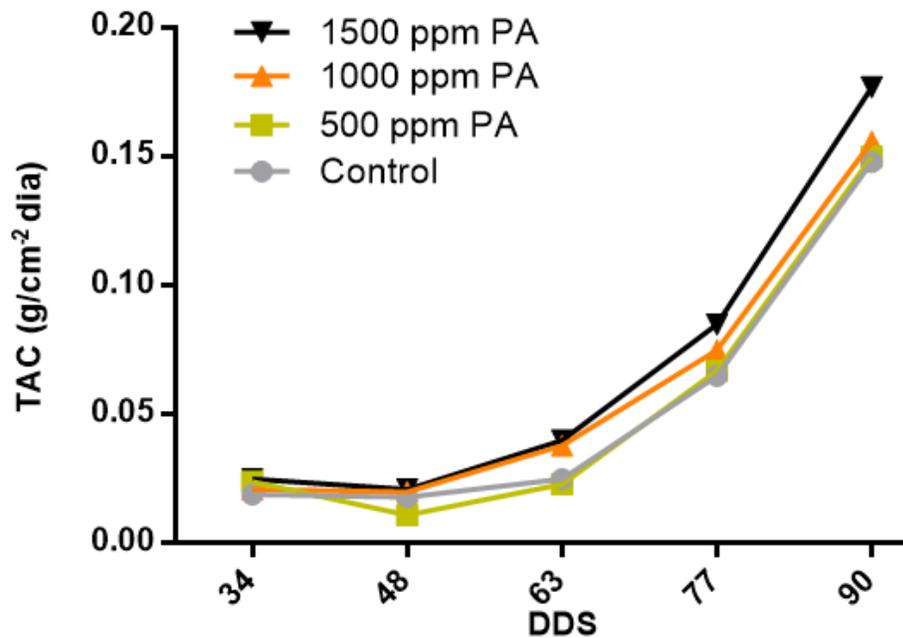


Tabla 7. Ecuaciones de ajuste para la tendencia de TAC

TAC		
TRATAMIENTO	ECUACION DE AJUSTE PARA LA TENDENCIA	R ²
CONTROL	$y = 8E-05x^2 - 0,0072x + 0,181$	0,9844
T1	$y = 8E-05x^2 - 0,0083x + 0,2121$	0,9956
T2	$y = 7E-05x^2 - 0,0064x + 0,1606$	0,9906
T3	$y = 8E-05x^2 - 0,0077x + 0,1934$	0,9931

8 CONCLUSIONES

1. A partir de los resultados obtenidos, se logra concluir, que las plantas sometidas a la aplicación de PAs a una concentración de 1500ppm presento un mayor comportamiento en la variable fisiológica directa de área foliar, por lo cual posiblemente mejora sus procesos de división celular
2. A un que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos evaluados, Las plantas sometidas a la aplicación de PAs a una concentración de 1500ppm presento un mayor comportamiento en las variables fisiológicas directas (Altura, Área foliar, peso fresco, P. seco) y variables fisiológicas indirectas (IAF, TCC, TAN, TAC, TCR). La concentración de 1000ppm presento un comportamiento superior en las variables fisiológicas directas de productividad, e incidencia y severidad de *Ascochyta pisi*,

9 RECOMENDACIONES

1. Realizar la evaluación del efecto de las poliaminas en esta misma especie, pero variando las dosis del producto y frecuencia de aplicaciones, para corroborar si a distintas concentraciones del producto se generan resultados evidentemente diferentes.
2. Evitar la siembra en épocas de altas precipitaciones, para que las condiciones en campo no sean tan extremas, y no alteren el efecto de las PAs en la planta
3. Realizar la aplicación del protocolo aquí expuesto en una zona geográficamente diferente, para determinar si las condiciones locales ejercen en alguna medida la atenuación de efectos que puede inducir la fitohormona.
4. Validar el mismo protocolo en otras especies vegetales, para establecer si esta especie es poco sensible a la aplicación exógena del producto.
5. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden servir como punto de partida para la generación de un paquete tecnológico que permita evaluar el efecto de las poliaminas en conjunto con otros productos ya descritos como promotores del crecimiento vegetal.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril. 2017. Establecimiento de un proyecto productivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en un área de 5.000 m² como alternativa económica ante la deforestación en el municipio de Ragonvalia, Norte de Santander. Universidad de la Salle.

Acosta R. AM, Peña S. EJ, Paez MI, Benitez B. R, 2012. correlación de la concentración de poliaminas con el desarrollo 'in vitro' de *annona muricata* L. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10, 71-8.

Achard P, Cheng H, De Grauwe L, Decat J, Schoutteten H, Moritz T, Van Der Straeten D, Peng J, Harberd NP (2006) Integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals. *Science* 311, 91–94

Álvarez MA, Fernández M, 2005. Las aminos biógenas en los alimentos.

Aziz Khan H, Ziaf K, Amjad M, Iqbal Q, 2012. Exogenous Application of Polyamines Improves Germination and Early Seedling Growth of Hot Pepper. *Chilean journal of agricultural research* 72, 429-33.

Azcon-Bieto J, Talón M, 2008. *Fundamentos de Fisiología vegetal Aravaca* (Madrid).

Bachrach U, 2010. The early history of polyamine research. *Plant Physiology and Biochemistry* 48, 490-5.

Balaguera H, Salamanca F, Garcia J, Herrera A. 2014. Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*.

Barraza, F. Benavides, O. Tamayo, Y. 2015 Analisis de crecimiento del cultivo de balsamia *Momordica charantia* L. en semillero. *Revista de Ciencias Agrícolas* volumen 31 (2): 24-27

Carranza C, Castellanos G, Deaza D, Miranda D, 2016. Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la germinación de semillas de badea (*Passiflora quadrangularis* L.) en condiciones de invernadero. *revista colombiana de ciencias hortícolas* 10, 284-91.

Colorado, F. Rodríguez, Dolly. Cortés, J. 2010. Análisis de crecimiento de Rúgula (*Eruca sativa* Mill.) en la sabana de Bogotá bajo dos condiciones ambientales.

Universidad de ciencias aplicadas y ambientales. Rev U.D.A. Act. E Div. Cient pp 105-113

Borrel A, Culiañez-Marcià, Atabella T, Besford RT, Flores D and Tiburcio AF. 1995 Arginine decarboxylase is localized in chloroplasts. *Plant Physiol.* 109: 771-776

Correa, V. Prada, F. Romero Hernán. 2010. Free Polyamine Content On Oil Palms fected By Bud Rot In The Colombian Central And Western Palm Regions. *Acta biol colombi.*, Vol. 15 N°1 167-178

DANE, 2015. El cultivo de la arveja en Colombia Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA. Marzo 2015, Núm. 33.

DANE. 2017. Encuesta nacional agropecuari ENA-2016. Boletín técnico

Departamento Del Valle Del Cauca Secretaria De Agricultura Y Pesca Grupo sistemas De Información. 2000. Guía Agronómica De Los Cultivos Representativos Del Departamento Para La Realización De Las Estimaciones Agrícolas Por Métodos Indirectos- EAMI. 9 p.

Esquiél, L. Nohemi, E. Barrios, Ojeda. Damaris, L. Guerrero, P. Ruiz, V. Jaime J. 2014. Polyamines as indicators of stress in plants. *Revista chapingo, Serie horticultura.* Vol, 20, núm 3

Evans PT and Malmberg RL. 1989. Do polyamines have a role in plant development? *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 40: 235-269,

Fenalce. 2015. Reportes estadístico Área, Producción y Rendimiento Cereales y Leguminosas.

FENALCE. 2018. Departamento económico y apoyo a la comercialización. Indicadores cerealistas 2018A

Flores, L. 2008. Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum*,) a la aplicación complementaria de tres fertilizantes foliares a base de algas marinas a tres dosis. San Gabriel-Carchi. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador. 44 p.

Franco, O. Cruz, J. 2008. Las poliaminas en la flor y el fruto. Enfoques tecnológicos en la fruticultura, pp. 275-282

- Galindo, J. Clavijo, J. 2009.** Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.* var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. *Revista Corpoica –Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 10(1),5-15.
- Gil, A. 2007.** Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya L.*) bajo invernadero. *Revista colombiana de ciencias hortifrutícolas - Vol. 1 - No.2 - pp. 142-153*
- Gómez, E. 2008.** Origen y función de las espermidina aminopropil transferasas en *Arabidopsis thaliana*. Tesis Doctoral, universidad politécnica de Valencia
- Guasco Herrera C, Chávez Servín JL, Ferriz Martínez RA, De La Torre Carbot K, Elton Puente E, García Gasca T, 2014.** Poliaminas: pequeños gigantes de la regulación metabólica. *REB. Revista de educación bioquímica* 33, 51-7.
- Guo J, Wang S, Yu X, Dong R, Li Y, Mei X, Shen Y. 2018.** Polyamines Regulate Strawberry Fruit Ripening by Abscisic Acid, Auxin, and Ethylene. *Plant physiology*
- Izumi Y, Okazawa A, Bamba T, Kobayashi A, Fukusaki E (2009)** Development of a method for comprehensive and quantitative analysis of plant hormones by highly sensitive nanoflow liquid chromatography–electrospray ionization-ion trap mass spectrometry, *Analytica Chimica Acta* **648**, 215-225
- Jiménez, J. Moreno, L. Magnitskiy, S. 2012.** Respuestas de las plantas al estrés por inundación. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas.*
- Jordán, M. Casaretto, J. 2006.** Hormonas y reguladores del crecimiento Auxins, Giberelinas y Citocininas. *Fisiología vegetal.* Universidad de la Serena Chile
- Kaur-Sawhney R, Flores HE and Galston AW. 1981** Polyamine oxidase in oat leaves: A cell wall-localized enzyme. *Plant Physiol.* 68: 494-498.
- Kamiya Y (2010)** Plant Hormones: Versatile Regulators of Plant Growth and Development. *Annual Review of Plant Biology* **61**, Special Online Compilation
- Kovács Z, Simon-Sarkadi L, Szűcs A, Kocsy G, 2010.** Differential effects of cold, osmotic stress and abscisic acid on polyamine accumulation in wheat. *Amino Acids* 38.
- Lenton J (1998).** Plant hormones on the move! *Trends in plant science* 3, 457-458

Lin, K.H., P.Y. Chao, S.Y. Yang, W.C. Chen, H.F. Lo y T.R Chang. 2006. The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Bot. Studies* 47, 417-426.

Londoño, J., M.L. Naranjo. 1996. Aplicación de aminoácidos como complemento a la fertilización química y orgánica en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) var. Piquinegra. Tesis de pregrado. Facultad de Agronomía. Universidad de Caldas. 62p.

López, M. 2012. Respuesta del cultivo de Arveja (*Pisum sativum* L.) a la aplicación de níquel. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales. pp 357-362

Martin-Tanguy J. 2001. Metabolism and function of polyamines in plants: Recent development (new approaches). *Plant Growth Regul.* 34: 135-148,

Martínez L, Ocampo Mendoza J, Martínez Valenzuela C, Pérez Serrano A y Sánchez Olarte J. Efecto de las giberelinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de tomate. *Revistas de ciencias biológicas*

Mayorga, F. 2016. Evaluación de rasgos morfo agronómicos y del contenido nutricional del grano de arveja (*Pisum sativum* L.), en ambientes de clima frío del departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias. C,6.

McCourt P (1999) Genetic analysis of hormone signaling. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50, 219-243

Mendoza C, Rocha S, 2002. Poliaminas: reguladores del crecimiento con múltiples efectos en las plantas *PALMAS* 23, 39-46.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7(9), 405-410.

Montaldi, E. 1995. Principios de fisiología vegetal. Ediciones Sur, La Plata, Argentina 298 p.

Norato Rodríguez, Jesús; ROMERO A., Hernán Mauricio. 1995. Determinación y aplicación de Poliaminas en especies vegetales de interés agrícola y forestal. *Acta Biológica Colombiana*, [S.I.], v. 2, n. 9, p. 107-118, ene.

Norato R. 1996. Acción del estimulante en el crecimiento y llenado de mazorcas de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía colombiana*

Ortega, M. 2008. Análisis del efecto de poliaminas en líneas reporteras de *Arabidopsis*: ciclo celular y respuesta tipo auxina. Instituto de investigación científica y tecnológica, A.C. 11-14

Prieto G. 2008. El cultivo de Arveja. AER INTA.

P T Evans A, Malmberg RL, 1989. Do Polyamines Have Roles in Plant Development? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40, 235-69.

Romero, H. Norato, J. 1996. Acción de las poliaminas en la protección de papa criolla (*Solanum phureja* ev. "Yema de Huevo") contra las heladas, Agronomía Colombia

Semillas y Semillas S.A.S. 2018. Semillas De Hortalizas 100% Importadas.

Slocum RD. Polyamine biosynthesis in plants. In: *Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants*. Slocum RD and Flores HE (Ed). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 22-40.

Slocum RD. Tissue and subcellular localisation of polyamines and enzymes of polyamine metabolism. In: *Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants*. Slocum RD and Flores HE (Ed). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 93-103, **1991b**.

Srivastava L (2002) Plant growth and development. Hormones and environment. Academic Press Elsevier science. London, 772 pp

Torrigiani P, Serafini-Fracassini D, Biondi S and Bagni N. 1986. Evidence for the subcellular localization of polyamines and their biosynthetic enzymes in plant cells. *J Plant Physiol.* 124: 23-29,

Tiburcio AF, Kaur-Sawhney R and Galston AW. Polyamine metabolism. In: *Intermedatory Nitrogen Metabolism*. 16, *The Biochemistry of Plants*. Miflin BJ. and Lea PJ (Ed). Academic Press. 283-325, **1990**.

Vaca P., R.E. 2011. Evaluación de tres bioestimulantes con tres dosis en el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*). En santa martha de Cuba – Carchi. Ibarra – Ecuador 2011. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Agropecuaria.

Ventura, O. 2012. “evaluación agronómica de ecotipos de arveja (*pisum sativum*) con dos metodos de siembra y efecto del tutoraje en la localidad de cavinchilla-provincia camacho. universidad mayor de san andrés.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable altura

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA DE PLANTAS	12	0,71	0,46	7,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	869,30	5	173,86	2,90	0,1134
TRATAMIENTO	52,60	3	17,53	0,29	0,8295
BLOQUE	816,70	2	408,35	6,82	0,0285
Error	359,22	6	59,87		
Total	1228,51	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=21,87002
 Error: 59,8698 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	100,63	3	4,47 A
T2	104,33	3	4,47 A
T3	104,63	3	4,47 A
CONTROL	106,38	3	4,47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA DE PLANTAS	12	0,71	0,46	7,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	869,30	5	173,86	2,90	0,1134
TRATAMIENTO	52,60	3	17,53	0,29	0,8295
BLOQUE	816,70	2	408,35	6,82	0,0285
Error	359,22	6	59,87		
Total	1228,51	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=16,78739
 Error: 59,8698 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
C	92,47	4	3,87 A
B	108,16	4	3,87 A B
A	111,34	4	3,87 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 2. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso fresco

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Datos	60	0,85	0,82	31,28	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3332,55	9	370,28	31,09	<0,0001
Tratamientos	79,73	3	26,58	2,23	0,0960
DDS	2955,81	4	738,95	62,05	<0,0001
Bloques	297,02	2	148,51	12,47	<0,0001
Error	595,47	50	11,91		
Total	3928,02	59			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,34889					
Error: 11,9093 gl: 50					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T0	9,88	15	0,89	A	
T1	10,61	15	0,89	A	
T2	10,68	15	0,89	A	
T3	12,95	15	0,89	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,98681					
Error: 11,9093 gl: 50					
DDS	Medias	n	E.E.		
35	4,75	12	1,00	A	
48	5,19	12	1,00	A	
63	6,66	12	1,00	A	
77	16,33	12	1,00	B	
91	22,24	12	1,00	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,63595					
Error: 11,9093 gl: 50					
Bloques	Medias	n	E.E.		
C	8,24	20	0,77	A	
B	11,17	20	0,77	B	
A	13,69	20	0,77	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 3. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso seco

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Datos	60	0,89	0,87	30,26	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	120,20	9	13,36	44,54	<0,0001
Tratamientos	1,21	3	0,40	1,35	0,2698
DDS	111,49	4	27,87	92,95	<0,0001
Bloques	7,50	2	3,75	12,50	<0,0001
Error	14,99	50	0,30		
Total	135,20	59			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,53142					
Error: 0,2999 gl: 50					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T0	1,66	15	0,14	A	
T2	1,73	15	0,14	A	
T1	1,80	15	0,14	A	
T3	2,04	15	0,14	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,63264					
Error: 0,2999 gl: 50					
DDS	Medias	n	E.E.		
35	0,56	12	0,16	A	
48	0,66	12	0,16	A	B
63	1,25	12	0,16		B
77	2,35	12	0,16		C
91	4,22	12	0,16		D
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,41828					
Error: 0,2999 gl: 50					
Bloques	Medias	n	E.E.		
C	1,36	20	0,12	A	
B	1,85	20	0,12		B
A	2,22	20	0,12		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable Área foliar

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Datos	60	0,78	0,74	30,53	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	440271,56	9	48919,06	19,31	<0,0001
Tratamientos	33663,55	3	11221,18	4,43	0,0077
DDS	323179,55	4	80794,89	31,89	<0,0001
Bloques	83428,46	2	41714,23	16,47	<0,0001
Error	126664,20	50	2533,28		
Total	566935,77	59			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=48,84259					
Error: 2533,2841 gl: 50					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T1	149,48	15	13,00	A	
T0	150,84	15	13,00	A	
T2	153,27	15	13,00	A	
T3	205,81	15	13,00		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=58,14645					
Error: 2533,2841 gl: 50					
DDS	Medias	n	E.E.		
48	82,79	12	14,53	A	
35	99,12	12	14,53	A	
63	139,38	12	14,53	A	
91	240,99	12	14,53		B
77	261,97	12	14,53		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 5. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable longitud de legumbre

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Datos	12	0,52	0,11	4,97	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,61	5	0,12	1,28	0,3799
Bloques	0,45	2	0,22	2,33	0,1782
Tratamientos	0,17	3	0,06	0,59	0,6464
Error	0,57	6	0,10		
Total	1,19	11			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,67034					
Error: 0,0955 gl: 6					
Bloques	Medias	n	E.E.		
C	5,95	4	0,15	A	
A	6,27	4	0,15	A	
B	6,41	4	0,15	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,87329					
Error: 0,0955 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	6,06	3	0,18	A	
3	6,17	3	0,18	A	
2	6,22	3	0,18	A	
0	6,39	3	0,18	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 6. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso de legumbres

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Datos	12	0,70	0,45	33,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	350641,37	5	70128,27	2,80	0,1212
Tratamientos	75830,85	3	25276,95	1,01	0,4514
Bloques	274810,52	2	137405,26	5,48	0,0442
Error	150325,40	6	25054,23		
Total	500966,77	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=447,38950
 Error: 25054,2338 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.
1	369,01	3	91,39 A
3	430,25	3	91,39 A
0	500,62	3	91,39 A
2	582,08	3	91,39 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=343,41540
 Error: 25054,2338 gl: 6

Bloques	Medias	n	E.E.
C	263,75	4	79,14 A
A	525,95	4	79,14 A B
B	621,77	4	79,14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 7- Análisis de varianza y test de Tukey de la variable cantidad de legumbre

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Datos	12	0,78	0,60	22,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17320,83	5	3464,17	4,30	0,0522
Tratamientos	2773,67	3	924,56	1,15	0,4034
Bloques	14547,17	2	7273,58	9,03	0,0155
Error	4834,83	6	805,81		
Total	22155,67	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=80,23435

Error: 805,8056 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.
3	111,00	3	16,39 A
1	117,33	3	16,39 A
0	121,67	3	16,39 A
2	150,67	3	16,39 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=61,58775

Error: 805,8056 gl: 6

Bloques	Medias	n	E.E.
C	76,25	4	14,19 A
A	144,75	4	14,19 B
B	154,50	4	14,19 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 8. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable peso de granos

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Datos	12	0,73	0,50	29,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	71016,24	5	14203,25	3,20	0,0945
Tratamientos	10773,63	3	3591,21	0,81	0,5333
Bloques	60242,61	2	30121,31	6,79	0,0288
Error	26622,09	6	4437,02		
Total	97638,34	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=188,27415

Error: 4437,0155 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.
3	196,88	3	38,46 A
1	209,52	3	38,46 A
0	225,57	3	38,46 A
2	275,74	3	38,46 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=144,51891

Error: 4437,0155 gl: 6

Bloques	Medias	n	E.E.
C	127,71	4	33,31 A
A	264,41	4	33,31 A B
B	288,67	4	33,31 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 9- Análisis de varianza y test de Tukey de la variable número de granos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Datos	12	0,76	0,57	25,70	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	252334,08	5	50466,82	3,88	0,0646
Tratamientos	39420,92	3	13140,31	1,01	0,4507
Bloques	212913,17	2	106456,58	8,19	0,0193
Error	78002,83	6	13000,47		
Total	330336,92	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=322,27364
 Error: 13000,4722 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.
3	391,33	3	65,83 A
1	409,67	3	65,83 A
0	434,00	3	65,83 A
2	539,33	3	65,83 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=247,37669
 Error: 13000,4722 gl: 6

Bloques	Medias	n	E.E.
C	257,50	4	57,01 A
A	511,25	4	57,01 B
B	562,00	4	57,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 10. Análisis de varianza y test de Tukey de la variable porcentaje % de severidad

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Datos	12	0,60	0,27	6,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	85,04	5	17,01	1,83	0,2406
Bloques	8,06	2	4,03	0,43	0,6665
Tratamientos	76,98	3	25,66	2,77	0,1335
Error	55,64	6	9,27		
Total	140,67	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,60679
 Error: 9,2730 gl: 6

Bloques	Medias	n	E.E.
C	48,35	4	1,52 A
A	50,03	4	1,52 A
B	50,13	4	1,52 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

|

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,60709
 Error: 9,2730 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.
2	45,14	3	1,76 A
1	50,55	3	1,76 A
0	50,96	3	1,76 A
3	51,36	3	1,76 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)