



Educación
Secretaría de Educación Pública



TESIS

CON EL TEMA:

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ENRAIZADORES EN LA PROPAGACIÓN DE
PLANTULA DE ARANDANO (*Vaccinium corymbosum*)”**

QUE PRESENTA:

LUIS CESAR VILLAGRANA RODRIGUEZ

ASESOR

MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA

REVISORES

DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ

MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGRONOMÍA

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. MARZO, 2026.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Tlajomulco

Dirección
Subdirección Académica

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 04/Marzo/2026

No. DE OFICIO: D.SA/DEP/325/2026

ASUNTO: Autorización de impresión definitiva y digitalización.

C. LUIS CESAR VILLAGRANA RODRIGUEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
P R E S E N T E

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL: OPCIÓN I (TESIS), con el tema "**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ENRAIZADORES EN LA PROPAGACIÓN DE PLANTULA DE ARANDANO (*Vaccinium corymbosum*)**" y determinó que da cumplimiento con los requisitos establecidos, se le notifica que tiene la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®

C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ
DIRECTORA DEL PLANTEL



C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -
MIBR/IGL/ATR/mjhc*



2026
año de
Margarita
Maza



KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlan, Cto. Vicente Fernández Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.
Tel. 33 29 02 11 30 e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Tlajomulco

Dirección

Subdirección Académica

Departamento de Ciencias Agropecuarias

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 03/Marzo/2026

No. DE OFICIO: D.SA/DCA/124/2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

ME. ANDREA TORRES RICO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	LUIS CESAR VILLAGRANA RODRIGUEZ
NO. DE CONTROL:	C22940437
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ENRAIZADORES EN LA PROPAGACIÓN DE PLANTULA DE ARANDANO (<i>Vaccinium corymbosum</i>)"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

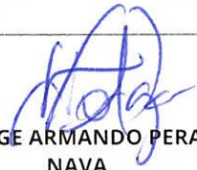
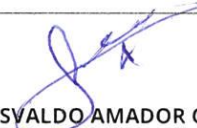
Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro



S.E.P.
TECNM
14DIT0003B
TLAJOMULCO
CIENCIAS
AGROPECUARIAS


DRA. DIANA MARÍA RIVERA RODRIGUEZ
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

 MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del asesor	 DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ Nombre y firma del revisor	 MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor
---	---	--

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio

C.c.p.- Minutario. -

DMRR/mjhc*



2026
año de
**Margarita
Maza**



RESUMEN

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ENRAIZADORES EN LA PROPAGACIÓN DE PLÁNTULA DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum*)

Presenta: Luis Cesar Villagrana Rodriguez

Asesor: Peralta Nava Jorge Armando

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TLAJOMULCO. Km. 10 Carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández Gómez, 45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro productos enraizadores comerciales (Radifarm, Radigrow, Radix 10000 y Raizal 400) en el desarrollo inicial de plántulas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) bajo un diseño experimental completamente al azar. Se utilizaron charolas de 38 cavidades y un sustrato compuesto por peat moss y fibra de coco en proporción 1:2. Durante 12 semanas se evaluaron las variables diámetro del tallo, número de hojas, altura de la planta, longitud de raíz y peso de raíz.

Los datos obtenidos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey al 5% de significancia, utilizando el programa estadístico INFOSAT para comparar los tratamientos y determinar diferencias estadísticas entre ellos.

Los resultados mostraron que la mayoría de las variables no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en la mayoría de las semanas evaluadas, lo que sugiere una respuesta fisiológica similar de las plántulas a los distintos productos. Sin embargo, se observaron diferencias específicas en algunas fechas de evaluación, principalmente en variables relacionadas con el crecimiento aéreo. En cuanto al peso de raíz, aunque estadísticamente no se detectaron diferencias significativas, el tratamiento T3 (Radix 10000) presentó un mayor peso radicular, evidenciado por la dificultad para retirar el sustrato adherido, lo que sugiere una mayor densidad y ramificación del sistema radical.

Estos resultados permiten identificar tendencias importantes en la respuesta de las plántulas a los enraizadores evaluados y contribuyen a seleccionar productos potencialmente útiles para mejorar la calidad del material vegetal en vivero.

INDICE

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
INDICE	vii
INDICE DE IMÁGENES	ix
INDICE DE TABLAS	xi
I INTRODUCCIÓN	1
II HIPOTESIS.....	3
III OBJETIVOS.....	4
IV REVISION DE LA LITERATURA	5
4.1 Importancia económica del arandano a nivel mundial.....	5
4.2 Principales productores a nivel nacional.....	5
4.3 Lugar que ocupa Jalisco en la producción nacional y principales municipios productores.....	6
4.4 Taxonomía y clasificación botánica	7
4.5 Clasificación botánica	7
4.6 Propagación en viveros y tipos de propagación	8
4.7 Propagación y enraizamiento en arándano	11
4.8 Tipos de sustratos	12
4.9 Manejo de arándano en vivero.....	13
4.11 Propagación y enraizamiento de arándano	37
4.12 Problemáticas en la propagación de arándano	37
4.13 Ventajas y desventajas de un buen enraizamiento	38
4.14 Generalidades de las fitohormonas vegetales y fitorreguladores	39
4.15 Enraizadores	42
4.16 Importancia de la evaluación de enraizadores	46
4.17 Diseño experimental completamente al azar	46
V MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
5.1 Ubicación del experimento	47
5.2 Preparación de sustrato y charolas.....	47
5.3 Tratamientos y aplicaciones	49
5.4 Trasplante y aplicación de tratamientos	50
5.5 Evaluaciones periódicas	51

5.6 Croquis	54
5.7 Diseño experimental.....	55
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
VII. CONCLUSIONES	76
VIII. LITERATURA CITADA.....	78

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Adulto de Scirtotrips sp.....	16
Imagen 2 Ciclo biológico del Trips Amarillo	17
Imagen 3 Presencia de Scirtotrips sp. Poblaciones evidentes.	18
Imagen 4 Bronceado negro en hojas de arándano, daño causado por trips amarillo (Scirtothrips sp).....	18
Imagen 5 Larva (Estado inmaduro) de A. cuneana.	20
Imagen 6 Adulto de A. cuneana	20
Imagen 7 Representacion general de un cambrido (Familia de A. cuneana).....	21
Imagen 8 Presencia de Amorbia cuneana, en cultivo de arándano	22
Imagen 9 Adulto Fungus Gnat.....	23
Imagen 10 Ciclo biológico Fungus Gnat	24
Imagen 11 Larva Fungus Gnat	25
Imagen 12 Pulgón Adulto.	26
Imagen 13 Ciclo biológico Pulgón	27
Imagen 14 Presencia de Pulgón en cultivo de arándano	28
Imagen 15 Micelio turuloso y clamidosporas (Phytophthora cinamomi)	29
Imagen 16 Ciclo biológico Phytophthora cinamomi.....	30
Imagen 17 Síntoma superficial en el tallo de la planta.	31
Imagen 18 Raíces infectadas con P	31
Imagen 19 Micelio Botrytis cinérea	32
Imagen 20 Ciclo biológico Botrytis cinérea	33
Imagen 21 Daño de Botrytis cinérea en arándano	34
Imagen 22 RADIFARM presentación 1 Lt.....	41
Imagen 23 RadiGrow presentación 1 Lt.....	41
Imagen 24 RADIX 10000 presentación 500g.....	42
Imagen 25 Raizal 400 presentación 500g.....	43
Imagen 26 Peat Moss	46
Imagen 27 27 Fibra de coco	46
Imagen 28 Charola de 38 cavidades.	46
Imagen 29 Vernier digital 150 mm.....	46
Imagen 30 Charola de germinación arándano	47
Imagen 31 Revolvedora de sustrato	47
Imagen 32 Soluciones de enraizadores.	48
Imagen 33 Charola experimental.....	48
Imagen 34 Aplicación de enraizadores.	48
Imagen 35 Medición del diámetro del tallo basal	49
Imagen 36 Longitud de raíz trasplante.....	49
Imagen 37 Longitud de raíz final de experimento.	49
Imagen 38 Conteo visual de hojas.....	50
Imagen 39 Medición de altura de planta.	51
Imagen 40 Acomodo de plántula en charolas	52

Imagen 41 Grafica de comparación Diámetro de Tallos.....	55
Imagen 42 Gráfica de comparación Número de Hojas.....	57
Imagen 43 Gráfica de comparación Altura Plántula.	59
Imagen 44 Grafica de comparación Longitud de Raíz (cm).....	62
Imagen 45 Gráfica de comparación Peso de Raíz (gr).....	64
Imagen 46 Plántula tratamiento 3.....	66
Imagen 47 Plántula tratamiento 4.....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Productos de control Scirtotrips sp.....	19
Tabla 2 Productos de control Amorbía cuneana.....	22
Tabla 3 Productos de control Fungus Gnat.....	25
Tabla 4 Productos de control Pulgón.....	28
Tabla 5 Productos de control P. cinnamoni.....	31
Tabla 6 Productos de control de Botrytis cinérea.....	34
Tabla 7 Tabla comparativa enraizadores utilizados experimento.....	43
Tabla 8 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Diámetro de Tallos.....	55
Tabla 9 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Número de Hojas.....	56
Tabla 10 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Altura de Plántula (cm).....	58
Tabla 11 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Longitud de Raíz (cm).....	61
Tabla 12 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Peso de Raíz (gr).....	63

I INTRODUCCIÓN

El cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) ha incrementado significativamente en los últimos años debido a la alta demanda de sus frutos por sus propiedades nutricionales y antioxidantes. Uno de los aspectos críticos en la propagación de arándano es el enraizamiento de plántulas, ya que un desarrollo radicular adecuado favorece la absorción de nutrientes, el crecimiento vegetativo y la supervivencia de las plantas (Strik & Yarborough, 2005).

El uso de productos enraizadores, que contienen hormonas vegetales como las auxinas, ha demostrado mejorar la formación de raíces en diversas especies, acelerando la propagación y aumentando la uniformidad de las plántulas (Taiz et al., 2015). Las auxinas, particularmente el AIB (ácido indolbutírico), promueven el desarrollo de raíces adventicias, estimulan la división celular y mejoran la capacidad de la planta para establecerse en sustratos difíciles. Su ventaja principal radica en que permiten un enraizamiento más rápido, mayor número de raíces y mejor anclaje inicial.

Además de las auxinas, otras fitohormonas como las giberelinas y citocininas también participan en el desarrollo de las plántulas. Las giberelinas promueven la elongación celular, el crecimiento de tallos y la emergencia de nuevos brotes, lo que contribuye a un desarrollo aéreo vigoroso posterior al enraizamiento (Hopkins & Hüner, 2009). Por su parte, las citocininas regulan la división celular y estimulan la formación de hojas y brotes, favoreciendo la relación raíz–parte aérea y mejorando la calidad general de la planta (Taiz et al., 2015).

La combinación equilibrada de estas hormonas puede mejorar de manera significativa la calidad morfológica y fisiológica de las plántulas, lo que se traduce en plantas con mayor capacidad de adaptación, mejor crecimiento inicial y, en consecuencia, una vida productiva más larga. Sin embargo, la efectividad de estos productos puede variar dependiendo de la especie, la concentración de la hormona y las condiciones de aplicación.

Por ello, resulta necesario evaluar de manera experimental el efecto de distintos enraizadores en plántulas de arándano, comparando su desempeño con un testigo sin tratamiento, para identificar los productos que realmente optimizan el enraizamiento y contribuyen a una producción más eficiente y de calidad.

II HIPOTESIS

Hipótesis de investigación (H_1)

H_1 :

La aplicación de diferentes enraizadores comerciales influye significativamente en el desarrollo del sistema radicular y en el crecimiento inicial de plántulas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) bajo condiciones de vivero.

Hipótesis nula (H_0)

H_0 :

La aplicación de diferentes enraizadores comerciales no influye significativamente en el desarrollo del sistema radicular ni en el crecimiento inicial de plántulas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) bajo condiciones de vivero.

III OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de cuatro productos para enraizar en el desarrollo inicial de plántulas de arándano mediante un diseño experimental completamente al azar.

Objetivos específicos

- Determinar el número y la longitud de raíces formadas en las plántulas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) bajo los distintos tratamientos de enraizadores comerciales.
- Cuantificar el efecto de los enraizadores en el diámetro basal de las plántulas, como indicador del engrosamiento y vigor estructural inicial.
- Evaluar el número de hojas y la altura de la planta en respuesta a cada tratamiento, para determinar su influencia en el crecimiento vegetativo y el vigor general.
- Comparar estadísticamente los resultados mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey al 5% de significancia, con el fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos.
- Identificar el tratamiento más eficiente para promover el enraizamiento y el desarrollo inicial de plántulas de arándano en condiciones de vivero.

IV REVISION DE LA LITERATURA

4.1 Importancia económica del arándano a nivel mundial

El arándano (blueberry) es uno de los berries con mayor crecimiento a nivel global, tanto por su valor nutricional como su demanda en mercados de exportación.

Estados Unidos y Canadá son productores dominantes del arándano cultivado (*Vaccinium corymbosum*), concentrando una parte muy importante de la producción mundial.

México se ha posicionado como un actor relevante en la producción mundial: según el USDA, es uno de los principales países productores de arándano.

4.2 Principales productores a nivel nacional

Según el Panorama Agroalimentario 2024 del SIAP, la producción nacional de arándano alcanzó 80,133 toneladas en 2023, lo que demuestra su importancia creciente en la agricultura mexicana (DGSIAPI/SIAP, 2024)

México se ha consolidado como un jugador relevante en exportación: se reporta como el octavo exportador mundial de arándano fresco, con ventas al exterior de alrededor de 490 millones de dólares en los últimos años (International Blueberry Organization, 2023)

Además, la producción de arándano en México ha registrado un crecimiento anual sostenido, con un promedio de varias décadas donde la superficie y producción se han incrementado notablemente (Opportimes, 2021).

Los estados que lideran la producción de arándano en México son Jalisco, Sinaloa, Michoacán, Baja California y Colima, concentrando alrededor del 96.2 % del volumen nacional (ProducePay, 2022).

Jalisco es el principal productor: produce casi la mitad del volumen nacional de arándanos.

Sinaloa se ha posicionado como el segundo productor nacional, con un crecimiento muy significativo en los últimos años (Debate, 2024).

Michoacán también es un productor importante, con una participación significativa en superficie plantada y volumen de producción.

Baja California contribuye con rendimientos altos por hectárea, y también figura entre los estados de mayor producción (ProducePay, 2022).

Colima es otro estado clave en la producción de arándano, destacándose en algunos reportes recientes como segundo o tercer productor nacional (FreshPlaza, 2022).

4.3 Lugar que ocupa Jalisco en la producción nacional y principales municipios productores

Jalisco es el estado líder en la producción de arándano en México, aportando 28,121 toneladas al volumen nacional de 80,133 toneladas según el Panorama Agroalimentario 2024.

Gracias a sus condiciones climáticas y tecnológicas, Jalisco concentra una parte muy importante del cultivo; de hecho, más de dos tercios del área plantada de arándanos en México se localizan en Jalisco y Michoacán, siendo Jalisco el principal productor.

Algunos de los municipios más importantes de Jalisco para la producción de arándano son Zapotlán el Grande, Tuxpan, Tala y Ahualulco. Estos municipios son mencionados en reportes de la industria como zonas clave para la expansión del cultivo bajo alta tecnología (macro-túneles, irrigación, etc.)

Además, Jalisco exporta gran parte de su producción de berries: más del 90 % de la producción estatal de berries (incluyendo arándano) se destina a mercados internacionales, lo que resalta la importancia económica de este cultivo para la entidad.

4.4 Taxonomía y clasificación botánica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta (Angiospermas)

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

Orden: Ericales

Familia: Ericaceae

Género: *Vaccinium*

Especie: *Vaccinium corymbosum*

4.5 Clasificación botánica

Hoja

Tipo: Simple, alterna.

Forma: Elíptica a ovada.

Tamaño: 2–5 cm de largo, dependiendo de la variedad.

Borde: Entero o ligeramente ondulado.

Textura: Coriácea (ligeramente dura).

Superficie: Glabra (sin vellosidades).

Fenología: Caduca o semiperenne según el cultivo; en zonas frías puede presentar colores rojizos en otoño debido a la degradación de clorofila.

Flor

Tipo: Perfecta (hermafrodita).

Disposición: Inflorescencias en racimos tipo corimbo. Forma:

Urceolada.

Color: Blanco a rosado pálido.

Época de floración: Finales de invierno a primavera, dependiendo de horas frío y manejo.

Polinización: Predominantemente entomófila; abejas y abejorros juegan un papel clave.

Fruto

Tipo: Baya carnosas.

Color: Verde (inmaduro), rosado → rojo → finalmente azul oscuro con pruina cerosa cuando madura.

Tamaño: 1–2 cm en promedio, mayor en cultivares mejorados.

Semillas: Pequeñas, numerosas, dispersas en la pulpa.

Tallo y ramas

Tallo principal: Leñoso, ramificado desde la base.

Ramas jóvenes: Verdosas, flexibles; presentan yemas vegetativas y florales.

Ramas productivas: Se renuevan constantemente; el uso de poda anual evita sobrecarga y mejora el calibre del fruto.

Sistema radical

Tipo: Fibroso, superficial.

Profundidad: 20–40 cm en la mayoría de los cultivares.

4.6 Propagación en viveros y tipos de propagación

La propagación en vivero se define como el conjunto de técnicas enfocadas en producir plántulas bajo condiciones controladas que aseguren su adecuado

desarrollo, uniformidad y sanidad antes de ser establecidas en campo. En estos espacios se regulan factores críticos como la humedad, temperatura, iluminación, sustrato, nutrición y manejo fitosanitario, lo que permite obtener plantas de alta calidad fisiológica y morfológica (Hartmann & Kester, 2014).

En especies como el arándano (*Vaccinium corymbosum*), el manejo en vivero es fundamental debido a la sensibilidad de su sistema radicular, su lento crecimiento inicial y su dependencia de condiciones específicas para el enraizamiento. La producción en vivero permite optimizar la formación de raíces, mejorar la uniformidad del lote y reducir pérdidas durante el trasplante (Pritts & Hancock, 2023).

Tipos de propagación

Existen dos formas principales de propagación vegetal: sexual y asexual (o vegetativa). Cada una presenta ventajas y limitaciones según el objetivo de producción, el tipo de cultivo y la necesidad de uniformidad genética.

Propagación sexual (por semilla)

La propagación sexual consiste en la producción de nuevas plantas a partir de semillas. Este tipo de propagación implica recombinación genética, por lo que las plantas hijas presentan variabilidad en sus características agronómicas (George et al., 2008).

Características principales:

Alta variabilidad genética.

Bajo costo de propagación.

Tiempos más largos para obtener plantas aptas para campo. Menor uniformidad en vigor, tamaño y productividad.

En arándano no se utiliza de forma comercial, debido a que la variabilidad genética afecta la calidad y homogeneidad del cultivo (Pritts & Hancock, 2023).

Propagación asexual o vegetativa

La propagación vegetativa genera plantas idénticas genéticamente (clones) a la planta madre, lo que garantiza uniformidad en características morfológicas, fenológicas y productivas (Hartmann & Kester, 2014).

Es el método más utilizado en viveros comerciales de arándano debido a los altos estándares de calidad requeridos en la industria.

Métodos más comunes

a) Propagación por estacas (esquejes)

Consiste en cortar segmentos de tallos juveniles o semileñosos que, bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, desarrollan raíces adventicias.

Es el método estándar para el arándano, especialmente cuando se apoyan con auxinas como el AIB o ANA para promover el enraizamiento (Davies et al., 2018).

Ventajas

Alta uniformidad genética.

Buena tasa de éxito con manejo adecuado. Rápida multiplicación de cultivares comerciales.

b) Propagación por acodos

Consiste en inducir raíces en tallos que aún están unidos a la planta madre.

Aunque es un método confiable, en arándano no es común por su lentitud (George et al., 2008).

c) Micropropagación (cultivo de tejidos)

Utiliza técnicas in vitro para la producción masiva de plantas libres de patógenos.

Es esencial para material genético élite o nuevas variedades con alto valor comercial (Debnath, 2009).

Ventajas

Alta sanidad.

Multiplicación rápida de genotipos.

Uniformidad absoluta.

4.7 Propagación y enraizamiento en arándano

El arándano (*Vaccinium corymbosum*) pertenece a la familia Ericaceae y es originario de América del Norte. Durante las últimas décadas, su cultivo ha experimentado un notable crecimiento debido a la alta demanda en los mercados internacionales, impulsada por su valor nutricional y sus beneficios antioxidantes (Retamales & Hancock, 2018). México se ha consolidado como uno de los principales productores de arándano en América Latina, con estados líderes como Jalisco, Michoacán y Sinaloa, que ofrecen condiciones climáticas favorables para su desarrollo (SIAP, 2022).

El fruto del arándano es valorado por su alto contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y vitaminas, factores que contribuyen a su reconocimiento como alimento funcional (Zheng & Wang, 2019). No obstante, el éxito de la producción comercial depende en gran medida de la calidad de las plántulas utilizadas, las cuales deben poseer un sistema radicular vigoroso, capaz de garantizar un buen establecimiento en campo, una eficiente absorción de nutrientes y un crecimiento uniforme (Bañados, 2021).

4.8 Tipos de sustratos

Sustratos orgánicos

Los sustratos orgánicos provienen de materiales de origen vegetal o animal descompuestos parcial o totalmente. Los más comunes son la turba (peat moss), el compost, el estiércol descompuesto, la fibra de coco y la corteza de pino.

Peat moss (turba rubia)

Es uno de los materiales más utilizados en la propagación de plantas, especialmente en especies acidófilas como el arándano. Se origina a partir de la descomposición parcial de musgos del género *Sphagnum* en condiciones frías y húmedas. Posee una alta capacidad de retención de agua, buena aireación, estructura estable y un pH ácido (entre 3.5 y 4.5), características que lo hacen ideal para el crecimiento del arándano (Retamales & Hancock, 2018). Además, es un material ligero, con bajo contenido de sales y patógenos. No obstante, su bajo contenido de nutrientes y su origen no renovable han impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles o de mezclas con materiales como la perlita o la fibra de coco (Raviv & Lieth, 2008; Abad et al., 2005).

Fibra de coco

Se considera una alternativa ecológica al peat moss. Posee una buena capacidad de retención de agua y aire, además de ser renovable y tener una estructura estable (Evans et al., 2011).

Compost y corteza de pino

Son útiles como componentes de mezclas, mejorando la textura y la disponibilidad de nutrientes, aunque su uso debe controlarse para evitar excesos de sales o fitotoxicidad (Bunt, 2012).

Sustratos inorgánicos

Los sustratos inorgánicos se caracterizan por su estabilidad estructural, baja degradación y buena aireación. Entre los más utilizados se encuentran la perlita, la vermiculita, la arena y la lana de roca.

Perlita

Es un mineral expandido que mejora la aireación y el drenaje del sustrato; sin embargo, retiene poca humedad, por lo que suele combinarse con materiales orgánicos (Abad et al., 2005)

Vermiculita

Presenta una elevada capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico, siendo útil para mantener la humedad en etapas iniciales del enraizamiento (Raviv & Lieth, 2008).

Arena gruesa

Se usa principalmente para mejorar el drenaje, aunque su baja capacidad de retención de nutrientes limita su uso como sustrato único (Hartmann et al., 2014).

4.9 Manejo de arándano en vivero

Propagación y establecimiento en vivero

La propagación del arándano puede realizarse por semilla, acodo, injerto o estacas, aunque el método más empleado en viveros comerciales es la propagación asexual por estacas semi-leñosas, ya que permite mantener la identidad genética del cultivar y asegurar uniformidad en las características productivas (Hartmann et al., 2014).

Las estacas seleccionadas deben provenir de plantas madre sanas, libres de enfermedades y plagas, con una longitud de 8 a 12 cm y de 2 a 3 yemas. Antes de

la plantación, se recomienda realizar un tratamiento con enraizadores comerciales que contengan auxinas como ácido indolbutírico (AIB) o ácido naftalénacético (ANA), para promover la formación de raíces adventicias (Darnell & Williamson, 2019).

Una vez tratadas, las estacas se insertan en bandejas o contenedores con sustratos estériles y bien aireados, como mezclas de peat moss y perlita (1:1) o fibra de coco y perlita (1:1), los cuales proporcionan humedad constante y buena oxigenación al sistema radical.

Condiciones ambientales

El vivero debe contar con estructura de protección que permita controlar la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar. En etapas iniciales, se recomienda mantener temperaturas entre 20 y 25 °C, humedad relativa entre 80 y 90 %, y luz difusa que evite la desecación de las estacas (Larco et al., 2021).

El control ambiental puede lograrse mediante túneles plásticos, casas sombra o microtúneles, equipados con sistemas de nebulización o riego por aspersión fina, que mantengan una humedad constante sin saturar el sustrato. Una humedad excesiva puede provocar asfixia radicular y ataques de hongos patógenos como *Phytophthora spp.* o *Pythium spp.* (Pérez & Muñoz, 2016).

Manejo del riego

El sistema de riego más utilizado en viveros de arándano es el riego por microaspersión o nebulización, el cual permite mantener un nivel uniforme de humedad sin alterar la estructura del sustrato. La frecuencia del riego dependerá de las condiciones ambientales y del tipo de sustrato, siendo preferible aplicar riegos ligeros y frecuentes que eviten tanto la desecación como el encharcamiento (Retamales & Hancock, 2018).

La calidad del agua es un factor determinante. El arándano requiere aguas con baja salinidad (conductividad eléctrica menor a 0.7 dS·m⁻¹) y pH ligeramente ácido (entre

4.5 y 5.5). Un agua con alto contenido de carbonatos o bicarbonatos puede elevar el pH del sustrato, afectando la disponibilidad de nutrientes esenciales como hierro y manganeso (Eck, 2012).

Nutrición vegetal en vivero

Durante la etapa de enraizamiento y crecimiento inicial, las plántulas requieren cantidades moderadas de nutrientes. Se recomienda el uso de fertilizantes solubles en agua, aplicados a bajas concentraciones mediante fertirrigación. Los nutrientes más importantes en esta etapa son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), además de micronutrientes como el hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), que son esenciales para el desarrollo del follaje (Strik et al., 2017). El exceso de fertilización debe evitarse, ya que puede elevar la salinidad del sustrato y dañar las raíces jóvenes. En la fase de crecimiento activo, se pueden aplicar soluciones nutritivas balanceadas con conductividad eléctrica entre 0.5 y 1.0 dS·m⁻¹, ajustando la dosis según la respuesta del cultivo (Larco et al., 2021).

Sanidad vegetal

El manejo fitosanitario en vivero debe basarse en la prevención. Es fundamental el uso de material vegetal certificado, sustratos estériles, y agua libre de patógenos. Las enfermedades más comunes en viveros de arándano son la podredumbre de raíz causada por *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spp.*, así como infecciones por *Botrytis cinerea* en condiciones de alta humedad (Pérez & Muñoz, 2016).

El monitoreo constante, la eliminación de plantas afectadas y la desinfección periódica del equipo y las bandejas son prácticas esenciales para evitar la diseminación de patógenos.

Aclimatación y trasplante

Una vez que las plántulas presentan un sistema radicular bien desarrollado y altura

de 10–15 cm, se inicia el proceso de aclimatación, reduciendo gradualmente la humedad y aumentando la exposición a la luz solar. Este proceso fortalece los tejidos y mejora la adaptación al trasplante (Hartmann et al., 2014).

El trasplante al campo o a contenedores mayores debe realizarse cuando las raíces llenen el volumen del envase y la planta presente buen vigor. Es recomendable efectuarlo en horas de baja radiación, manteniendo el sustrato húmedo para reducir el estrés hídrico.

4.10 Principales plagas y enfermedades de arándano en vivero

***Scirtothrips spp.* (Trips amarillo)**

Taxonomía

Reino: Animalia

Phyllum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden:

Thysanoptera

Familia: Thripidae

Género: Scirtithrips

Morfología

De tamaño pequeño, de menos de 2 mm de largo, de color amarillento (Figura 4), con una franja longitudinal oscura, causada por los bordes de las alas anteriores. Es muy difícil identificarlo a simple vista o con una lupa de aumento. Tiene antenas de 8 segmentos, I-II de color claro, el resto de color oscuro; terguitos con una mancha más oscura en la parte media; microtrichia presentes lateralmente en los terguitos (Cermeli et al., 2009).



Imagen 1 Adulto de Scirtotrips sp.

Ciclo de vida

Los huevos son colocados en los tejidos de la planta, de unos 0,075 mm de largo, éstos eclosionan a los 6-8 días. Tiene dos estados larvales con duración de 6-7 días. La pre pupa es de corta duración, alrededor de 24 horas, la pupa alcanza los

2-3 días. El ciclo de vida es de 14- 20 días y la hembra puede poner entre 60-200 huevos a una tasa de 2-4 diarios (Cermeli et al., 2009). Una característica distintiva de esta especie es que las pupas se pueden encontrar localizadas en las hojas, en las inserciones de los pedúnculos de éstas con el tallo, bajo los cálices de flores y frutas, e incluso, hojarasca del suelo (SSV, 2017).

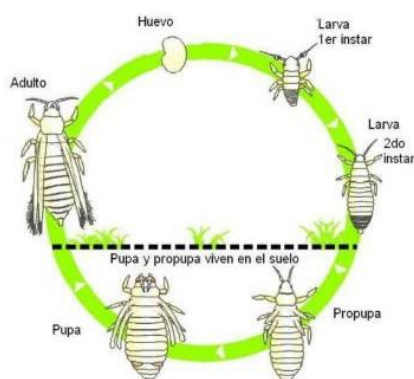


Imagen 2 Ciclo biológico del Trips Amarillo

Condiciones favorables

Las temperaturas frescas son las mejores para su crecimiento y desarrollo, temperaturas de entre 20° y 30°. (INTAGRI, 2015)

Daños y síntomas

Las poblaciones de *Scirtothrips* aumentan a finales del invierno e inicio de primavera. Los picos de mayor población se concentran a finales de primavera e inicio de verano (INTAGRI,2015) esta población se observa como en la figura 7. La alimentación de esta plaga provoca el amarilleamiento y rizado de hojas y brotes de

las plantas afectadas. Las zonas directamente dañadas tornan del color verde original de estas partes (incluidos frutos) a un bronceado al negro completo (Figura 6), motivado por la necrosis de los tejidos, haciendo en el caso de los frutos un producto no-comercial. Cuando los ataques se dan en brotes jóvenes se produce una fuerte limitación del crecimiento y atrofia (aspecto arrosetado), pudiendo asimismo llegar a provocar caída en el caso de los frutos pequeños y flores. Debe tenerse en cuenta que incluso con bajas densidades, especialmente durante épocas de sequía, puede llegar a producir una disminución de la producción de frutos y de la salud de las plantas (SSV, 2017).



Imagen 3 Presencia de Scirtotrips sp. Poblaciones evidentes.



Imagen 4 Bronceado negro en hojas de arándano, daño causado por trips amarillo (Scirtothrips sp.).

Productos de control

Tabla 1 Productos de control *Scirtotrips* sp.

Tipo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis recomendada
Biológico	<i>Beauveria bassiana</i>	Botanigard® 22 WP	0.5–1.0 g/L de agua
Biológico	<i>Amblyseius swirskii</i>	—	50–100 individuos/m ²
Químico	Spinosad	Success® 48 SC	0.3–0.5 mL/L
Químico	Abamectina	Vertimec® 1.8 EC	0.5–0.7 mL/L
Químico	Cyantraniliprole	Benevia® 10 OD	0.8–1.0 mL/L

***Amorbia cuneae* (Gusano telarañero ó enrollador)**

Taxonomía

Reino: Animalia

Phyllum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Lepidoptera

Familia: Tortricidae

Género: *Amorbia*

Especie: *cuneana*

Morfología

De acuerdo con Juárez et al., 2015, *Amorbia cueneana* presenta las siguientes características: En la cabeza y en el escudo protorácico de las larvas bien desarrolladas existe, lateralmente, una delgada banda oscura. Además, en la base de las antenas existe un área estrecha de pigmentos oscuros. Los adultos no tienen ocelos. Las alas anteriores de los machos tienen una coloración cremosa con puntos, o manchas transversas bien definidas, café en al área costal. Las alas anteriores de las hembras tienen una coloración café rojizo más uniforme. La característica distintiva de los adultos de *A. cuneana* es la presencia de una fosa central en el dorso del segundo segmento abdominal.



Imagen 5 Larva (Estado inmaduro) de *A. cuneana*.



Imagen 6 Adulto de *A. cuneana*.

Ciclo de vida

La hembra oviposita masas de huevos sobre la superficie de las hojas, los cuales emergen de 6-8 días. La duración aproximada de las larvas es de 14-17 días. En el estado de pupa permanecen durante 15-18 días dentro de la protección que forman las larvas entre las hojas o frutos, donde se desarrollan hasta alcanzar el estado adulto. El desarrollo de huevo hasta adultos es de 35-43 días (Urias y Salazar, 2008).

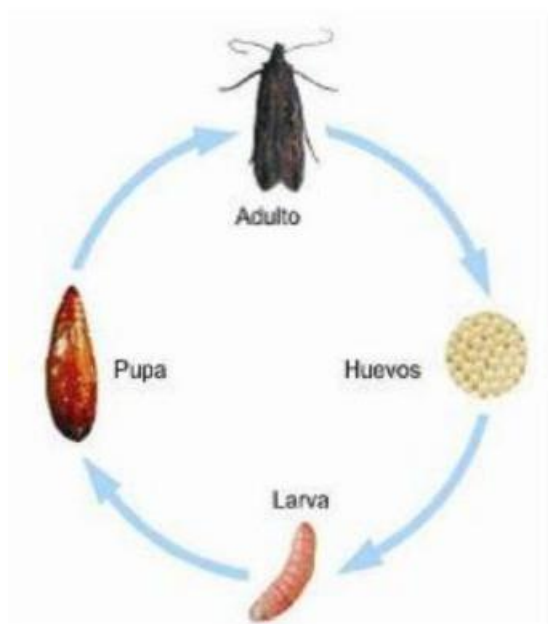


Imagen 7 Representación general de un cambrido (Familia de *A. cuneana*).

Condiciones favorables

A. cuneana requiere una temperatura optima de 23-27 grados y una humedad relativa de 55-65 %. (Herrera, 2012).

Daños y síntomas

Las larvas recién emergidas se alimentan de la epidermis de las hojas, pero después consumen la hoja completa. Estas producen seda con la cual enrollaran dos o más hojas dentro de las cuales se protegen para alimentarse, también pueden tejer la seda entre dos frutos para protegerse y alimentarse de la epidermis de éstos (Urias y Salazar, 2008). Las larvas se alimentan de las hojas, esqueletizándolas en los primeros estadios y consumiendo toda la hoja en los estadios posteriores. Las larvas también se alimentan de la piel de la fruta en un grupo, lo que a veces causa daños económicos (Gilligan y Epstein, 2014).



Imagen 8 Presencia de *Amorbia cuneana*, en cultivo de arándano.

Productos de control

Tabla 2 Productos de control *Amorbia cuneana*.

Tipo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis recomendada
Biológico	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i>	Dipel® DF	0.5–1 g/L
Biológico	<i>Trichogramma pretiosum</i> (avispa parasitoide)	—	1–2 tarjetas/semana
Químico	Spinosad	Success® 48 SC	0.3–0.5 mL/L
Químico	Lambda-cihalotrina	Karate Zeon®	0.5–0.7 mL/L
Químico	Emamectina benzoato	Proclaim® 5 SG	0.2–0.3 g/L

***Fungus gnat* (mosquita del sustrato)**

Taxonomía

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Familia: Sciaridae

Género: *Bradysia* spp.

Morfología

Los adultos son mosquitas pequeñas (2–4 mm) de color negro o gris oscuro, con patas y antenas largas. Las larvas son vermiformes, de color blanco translúcido, cabeza negra y miden hasta 6 mm de longitud. Las pupas se desarrollan en el sustrato húmedo o sobre la superficie del mismo (Cloyd & Dickinson, 2010).



Imagen 9 Adulto Fungus Gnat.

Ciclo de vida

El ciclo biológico dura entre 18 y 28 días dependiendo de la temperatura. Las hembras depositan entre 100 y 200 huevos en el sustrato húmedo; las larvas se alimentan de materia orgánica en descomposición y de raíces tiernas. El ciclo comprende cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto (Cloyd, 2015).



Imagen 10 Ciclo biológico Fungus Gnat.

Condiciones favorables

Se desarrollan en ambientes cálidos (20–27 °C) y con alta humedad. Los sustratos ricos en materia orgánica o con exceso de humedad favorecen su reproducción.

Daños y síntomas

Las larvas son las más dañinas, pues se alimentan de raíces finas y tejidos en la base del tallo, ocasionando marchitez, amarillamiento y debilitamiento de las plántulas. Los daños pueden confundirse con enfermedades radicales por *Pythium spp.* o *Phytophthora spp.* (Pérez & Muñoz, 2016).



Imagen 11 Larva Fungus Gnat.

Productos de control

Tabla 3 Productos de control Fungus Gnat.

Tipo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis recomendada
Biológico	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>israelensis</i>	Gnatrol®	0.6–1.2 g/L de agua
Biológico	<i>Steinernema feltiae</i> (nematodo entomopatógeno)	Nemasys®	2.5 millones/m ²
Químico	Imidacloprid	Confidor® 350 SC	0.5–0.7 mL/L
Químico	Spinosad	Success® 48 SC	0.3–0.5 mL/L

Pulgón (áfido)

Taxonomía

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Familia: Aphididae

Género: Aphis, Myzus, Macrosiphum spp.

Morfología

Los pulgones son insectos de cuerpo blando, miden entre 1–3 mm, presentan colores verdes, amarillos o negros, y pueden tener individuos alados o ápteros. Poseen un aparato bucal succionador y se localizan en brotes jóvenes y el envés de las hojas (Castañeda & Rodríguez, 2019).



Imagen 12 Pulgón Adulto.

Ciclo de vida

Se reproducen rápidamente mediante partenogénesis vivípara, lo que permite el nacimiento directo de ninfas sin necesidad de huevos. Cada hembra puede producir hasta 80 crías. El ciclo de vida se completa en 10–15 días, lo que permite múltiples generaciones por temporada.

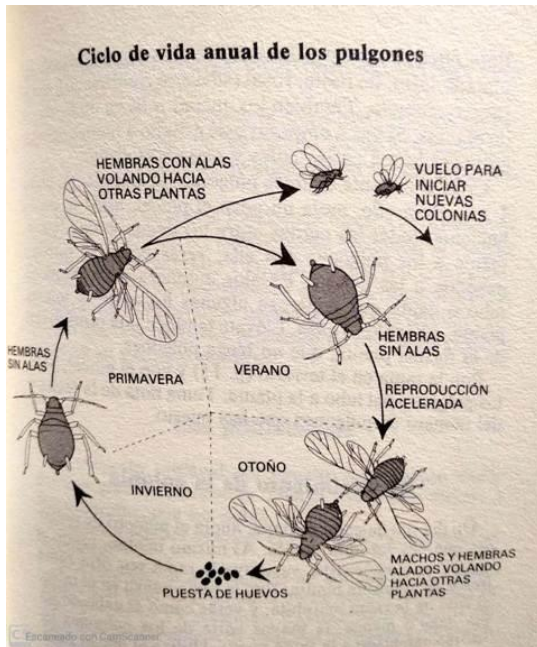


Imagen 13 Ciclo biológico Pulgón.

Condiciones favorables

Prefieren temperaturas templadas (18–25 °C), alta humedad relativa y baja ventilación. Las condiciones de vivero —espacios cerrados y abundancia de tejido tierno— favorecen su desarrollo.

Daños y síntomas

La succión de savia causa enrollamiento y clorosis foliar, crecimiento reducido y debilitamiento general. Además, los pulgones excretan melaza, que promueve la

aparición de fumagina (hongo negro). También actúan como vectores de virus (Retamales & Hancock, 2018).



Imagen 14 Presencia de Pulgón en cultivo de arándano.

Productos de control

Tabla 4 Productos de control Pulgón.

Tipo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis recomendada
Biológico	<i>Beauveria bassiana</i>	Botanigard® 22 WP	0.5–1 g/L
Biológico	<i>Aphidius colemani</i> (avispa parasitoide)	—	Liberación 1–2 por planta
Químico	Imidacloprid	Confidor® 350 SC	0.5–0.7 mL/L
Químico	Pirimicarb	Aphox®	0.75–1 g/L
Químico	Flonicamid	Teppeki® 50 WG	0.12–0.14 g/L

***Phytophthora* spp. (Podredumbre de raíces y cuello)**

Taxonomía

Reino: Stramenopila

Filo: Oomycota

Género: *Phytophthora*

Especie: *P. cinnamomi*, *P. nicotianae* (frecuentes en arándano)

Morfología

Produce micelio hialino no septado y esporangios ovoides con zoosporas móviles.

Forma clamidosporas de resistencia.

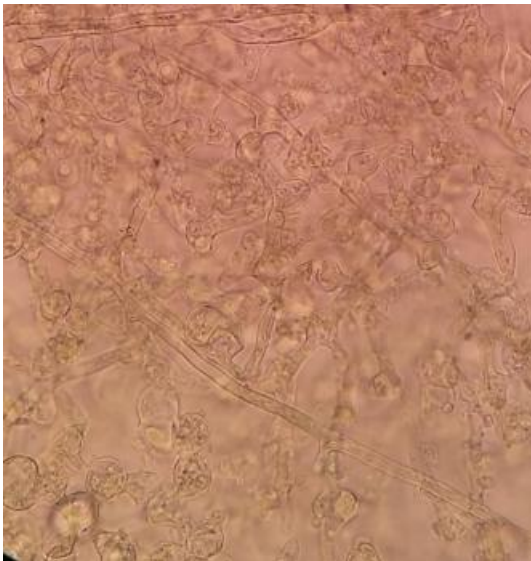


Imagen 15 Micelio turuloso y clamidosporas (*Phytophthora cinnamomi*).

Ciclo de vida

El patógeno sobrevive en el suelo o en restos vegetales. Las zoosporas se liberan en presencia de agua y se desplazan hacia las raíces, donde germinan y penetran el tejido radicular.

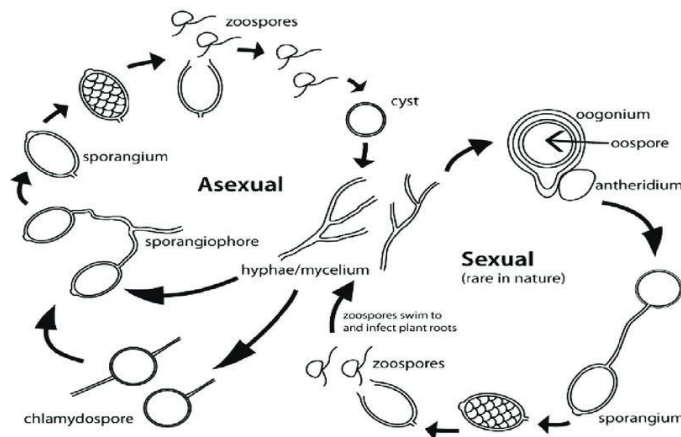


Imagen 16 Ciclo biológico *Phytophthora cinamomi*.

Condiciones favorables

Alta humedad del sustrato, mal drenaje, exceso de riego y temperaturas entre 20–28 °C.

Daños y síntomas

Marchitez, amarillamiento foliar, raíces oscuras y blandas, muerte regresiva de brotes y colapso de la planta.



Imagen 17 Síntoma superficial en el tallo de la planta.



Imagen 18 Raíces infectadas con *P. cinnamoni*.

Productos de control

Tabla 5 Productos de control *P. cinnamoni*.

Tipo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis recomendada
Biológico	<i>Trichoderma harzianum</i>	Trichodex®	1.0–2.0 g/L
Biológico	<i>Bacillus subtilis</i>	Serenade® ASO	2.0–3.0 mL/L
Químico	Metalaxil-M	Ridomil Gold® 480 SL	2.0–2.5 mL/L
Químico	Fosetil-Al	Aliette® 80 WP	2.5–3.0 g/L
Químico	Cymoxanil + Mancozeb	Curzate® M-8	2.0–2.5 g/L

***Botrytis cinerea* (Moho gris)**

Taxonomía

Reino: Fungi

Filo: Ascomycota

Género: *Botrytis*

Especie: *B. cinerea*

Morfología

Hongo saprófito con micelio grisáceo, conidióforos ramificados y conidios ovoides de color gris.

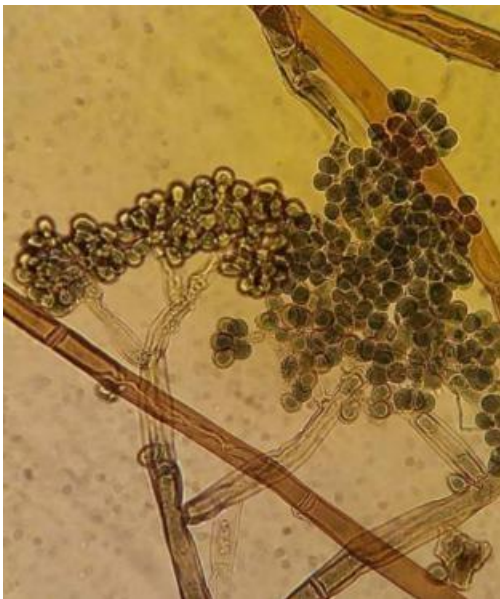


Imagen 19 Micelio Botrytis cinérea.

Ciclo de vida

Produce conidios que germinan en presencia de humedad sobre los tejidos de la planta. Puede sobrevivir como micelio o esclerocios en restos de cultivo.

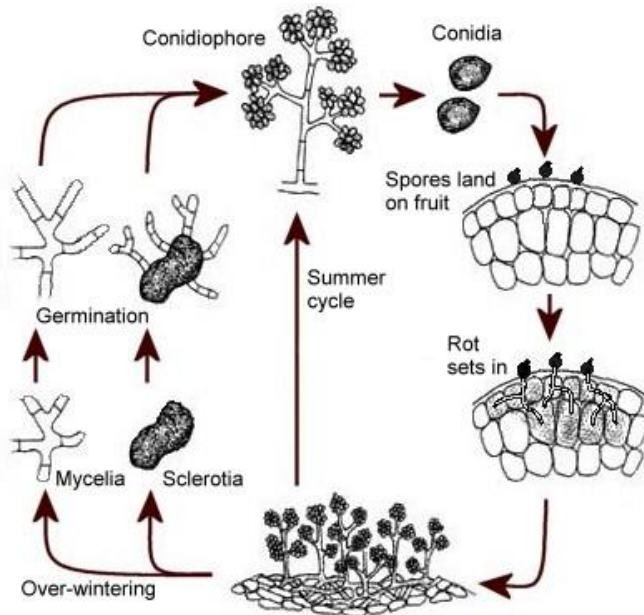


Imagen 20 Ciclo biológico *Botrytis cinerea*.

Condiciones favorables

Alta humedad relativa (>90 %), temperaturas moderadas (18–25 °C) y ventilación deficiente.

Daños y síntomas

Afecta hojas, flores y tallos jóvenes. Se observan manchas pardas y un micelio gris característico en los tejidos necrosados.



Imagen 21 Daño de *Botrytis cinerea* en arándano.

Productos de control

Tabla 6 Productos de control de *Botrytis cinerea*.

Tipo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis recomendada
Biológico	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Serifel®	0.8–1.0 g/L
Biológico	<i>Trichoderma atroviride</i>	Trianum®	1.0–2.0 g/L
Químico	Boscalid + Pyraclostrobin	Bellis® 38 WG	0.8–1.0 g/L
Químico	Iprodione	Rovral® 50 WP	1.0–1.5 g/L
Químico	Fenhexamid	Teldor® 500 SC	1.0–1.5 mL/L

4.11 Propagación y enraizamiento de arándano

La propagación del arándano se realiza principalmente mediante esquejes semileñosos o herbáceos, aunque también se han desarrollado técnicas de micropropagación in vitro para la multiplicación masiva de genotipos élite (Correia et al., 2024). La elección del método depende del cultivar, las condiciones ambientales y la disponibilidad de material vegetativo.

El proceso de enraizamiento en arándano implica tres etapas principales: inducción, iniciación y expresión de raíces adventicias. En la primera fase, las células en la base del esqueje responden a las señales hormonales, principalmente a la acumulación de auxinas, las cuales estimulan la formación de primordios radiculares (Bai et al., 2020). Durante la etapa de iniciación, las células diferenciadas comienzan la formación de los primordios, y finalmente en la etapa de expresión, las raíces emergen y se desarrollan, consolidando el sistema radicular de la plántula (Druege et al., 2019).

El enraizamiento del arándano se ve influenciado por diversos factores: el pH del sustrato, la temperatura, la humedad relativa, la luz y la edad del material vegetativo. Se ha demostrado que las mejores respuestas se obtienen con sustratos ácidos (pH 4.5–5.5) y con la aplicación de fitoreguladores que promueven la formación de raíces (Biasi et al., 2024).

4.12 Problemáticas en la propagación de arándano

Dificultad de enraizamiento

El arándano es considerado una especie de difícil enraizamiento, debido a su lento crecimiento y a la presencia de compuestos fenólicos que pueden inhibir la formación de raíces adventicias (Kaldorf et al., 2019). La tasa de enraizamiento varía entre cultivares, y los esquejes leñosos tienden a presentar menor respuesta que los semileñosos o herbáceos (Biasi et al., 2024).

Dependencia del pH del sustrato

El pH del medio de enraizamiento es un factor determinante, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad de las enzimas relacionadas con el crecimiento radicular. Los valores de pH superiores a 6.0 pueden provocar deficiencias nutricionales, principalmente de hierro, manganeso y zinc, afectando la fisiología de la raíz (Zhou et al., 2022).

Variabilidad genética y fisiológica entre materiales propagados

Existe una marcada variabilidad genética y fisiológica entre los diferentes cultivares de *Vaccinium corymbosum*, lo cual repercute en la respuesta al enraizamiento y a la aplicación de fitohormonas. Por ello, se recomienda realizar ensayos experimentales específicos para determinar el tratamiento más eficaz en cada caso (Correia et al., 2024).

4.13 Ventajas y desventajas de un buen enraizamiento

Ventajas de un buen enraizamiento

Un sistema radicular vigoroso favorece el establecimiento rápido en campo, la absorción eficiente de agua y nutrientes, la resistencia al estrés hídrico, y un crecimiento más uniforme, contribuyendo a una mejor productividad del cultivo (Hartmann et al., 2018).

Desventajas de un mal enraizamiento

Por el contrario, un enraizamiento deficiente genera plántulas débiles, con alta mortalidad en campo, baja absorción de nutrientes y mayor susceptibilidad a enfermedades radicales. Esto representa pérdidas económicas considerables en los sistemas de producción comercial (Bañados, 2021).

4.14 Generalidades de las fitohormonas vegetales y fitorreguladores

Las fitohormonas o hormonas vegetales son compuestos orgánicos naturales que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas a bajas concentraciones. Las principales hormonas relacionadas con el enraizamiento son las auxinas, giberelinas y citocininas (Davies, 2017).

Auxinas: promueven la formación de raíces adventicias, inducen la división y elongación celular, y modulan la expresión génica durante la iniciación de raíces (Bai et al., 2020).

Giberelinas: regulan la elongación celular, aunque en exceso pueden inhibir el enraizamiento (Taiz et al., 2018).

Citocininas: estimulan la división celular y el desarrollo de yemas laterales; sin embargo, altas concentraciones pueden antagonizar los efectos de las auxinas durante el enraizamiento (Hartmann et al., 2018).

El equilibrio hormonal entre auxinas y citocininas es determinante para lograr un desarrollo radicular óptimo (Roychoudhry et al., 2022).

Auxinas

Las auxinas son un grupo de fitohormonas fundamentales que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Su principal representante es el ácido indol-3-acético (AIA), aunque también existen formas sintéticas de alta estabilidad y eficacia como el ácido indol-3-butírico (AIB o IBA) y el ácido naftalenacético (ANA o NAA) (Davies, 2017).

Su función fisiológica principal es estimular la formación de raíces adventicias, regular la elongación celular, promover la diferenciación vascular, y controlar procesos de dominancia apical, tropismos y desarrollo de frutos (Taiz et al., 2018). Durante la propagación vegetativa, las auxinas actúan en la base de los esquejes incrementando la expresión de genes asociados a la división celular y la iniciación

de primordios radiculares (Druege et al., 2019).

El transporte de auxinas se realiza de manera polar, desde los ápices hacia las raíces, lo cual permite una distribución direccional del crecimiento. En el proceso de enraizamiento, esta redistribución es esencial para que las células parenquimáticas de la base del esqueje se transformen en meristemo radicular (Bai et al., 2020).

La aplicación exógena de auxinas sintéticas, especialmente IBA, ha demostrado ser una práctica altamente efectiva para inducir el enraizamiento en especies leñosas como *Vaccinium corymbosum*, debido a su estabilidad química y baja fitotoxicidad (Hartmann et al., 2018; Roychoudhry et al., 2022). Sin embargo, las concentraciones excesivas pueden provocar la formación de callos o inhibir el crecimiento radicular, por lo que se recomienda ajustar las dosis según el tipo de tejido y la especie (Correia et al., 2024).

En estudios recientes, se ha evidenciado que las auxinas también interactúan con otras señales hormonales como etileno, jasmonatos y brasinosteroides, modulando la expresión génica durante las fases iniciales del enraizamiento (Lakehal & Bellini, 2019).

Giberelinas

Las giberelinas (GA) son fitohormonas diterpenoides que regulan principalmente la elongación del tallo, la germinación de semillas, la floración y el desarrollo de frutos. Aunque su función más conocida está asociada al crecimiento del tallo y la expansión celular, las giberelinas también participan indirectamente en la formación de raíces, interactuando con las auxinas y citocininas (Taiz et al., 2018).

En el proceso de enraizamiento, las giberelinas presentan un efecto dual: a bajas concentraciones pueden estimular la elongación de raíces jóvenes, pero a concentraciones elevadas tienden a inhibir la iniciación de raíces adventicias, debido a su interferencia con el transporte de auxina hacia la base del esqueje (Steffens & Rasmussen, 2016).

Durante la propagación vegetativa, el control del equilibrio entre auxinas y giberelinas resulta crucial. Un exceso de GA puede promover la elongación de brotes en detrimento del desarrollo radicular, por lo que en los protocolos de enraizamiento suele evitarse su aplicación directa (Bai et al., 2020).

Por otro lado, las giberelinas también están involucradas en procesos de rompimiento de dormancia y activación de enzimas hidrolíticas durante la germinación, así como en la regulación de genes asociados al crecimiento celular (Davies, 2017). En la propagación de arándano, se ha observado que niveles equilibrados de GA favorecen un desarrollo vegetativo armónico tras el enraizamiento exitoso (Zhou et al., 2022).

Citocininas

Las citocininas son hormonas derivadas de adenina que promueven la división celular (citocinesis) y el crecimiento de brotes laterales. Actúan en coordinación con las auxinas para regular la morfogénesis y el equilibrio entre crecimiento radicular y aéreo (Taiz et al., 2018).

A nivel fisiológico, las citocininas estimulan la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, retardan la senescencia foliar y favorecen el desarrollo de yemas axilares (Werner & Schmülling, 2020). En contraste con las auxinas, que promueven el desarrollo radicular, las citocininas tienden a favorecer la formación de brotes, por lo que la relación auxina/citocinina determina el tipo de órgano que se desarrollará en un explante (Bai et al., 2020).

En la propagación in vitro de arándano, se emplean citocininas como la 6-bencilaminopurina (BAP) y la zeatina, combinadas con auxinas para lograr un equilibrio hormonal que promueva la multiplicación de brotes sin inhibir completamente la formación de raíces (Correia et al., 2024). Estudios recientes han mostrado que las citocininas también modulan la expresión de genes involucrados en la asimilación de nitrógeno y en la síntesis de clorofila, contribuyendo así al establecimiento y vigor de las plántulas (Werner & Schmülling, 2020). Sin embargo, una concentración elevada de citocininas puede inhibir la iniciación de raíces

adventicias, por lo que su uso debe controlarse cuidadosamente en la fase.

4.15 Enraizadores

Los enraizadores son insumos que se aplican a los cultivos con el fin de fortalecerlas y promover el desarrollo de gran cantidad de raíces, a través de fitohormonas de enraizamiento, cuanto más fuertes y saludables sean las raíces, más saludable será la planta. Mientras que diferentes productos parecen reclamar características estimulantes de la raíz, algunos tipos parecen funcionar mejor que otros (Cisneros, 2018). La aplicación de enraizadores hormonales con una mayor concentración de auxinas favorece la formación de raíces de anclaje y conducción, mientras que los enraizadores orgánicos que traen como principal ingrediente activo al triptófano (precursor del ácido indolacético) tienden a generar una mayor cantidad de pelos radicales. Se recomienda su combinación, iniciando los primeros días con el hormonal y posteriormente con el orgánico (INTAGRI S.C., 2019).

El enraizante es un producto, químico o natural, que aporta nutrientes u hormonas de crecimiento a las raíces. Así son estimuladas de forma natural provocando que se desarrollen más y absorban más nutrientes y agua. Debido a ello, la planta crece más fuerte y rápido, minimizando que pueda sufrir daños por plagas o enfermedades y por consiguiente dará más frutos y su floración será más lustrosa y abundante (Merlin & Mariscal, 2019).

Productos enraizadores comerciales

Los productos enraizadores comerciales combinan reguladores de crecimiento con extractos vegetales, aminoácidos, vitaminas y micronutrientes que estimulan el desarrollo radicular y mejoran la absorción de agua y nutrientes.

Radifarm

Es un bioestimulante radicular formulado a base de extractos vegetales, polisacáridos, betainas, aminoácidos y vitaminas, que favorecen la división celular

y el desarrollo del sistema radicular (Valagro, 2023). Se utiliza comúnmente durante el trasplante o en etapas tempranas de desarrollo para reducir el estrés y mejorar la absorción de nutrientes.



Imagen 22 RADIFARM presentación 1 Lt.

Radigrow

Contiene extractos vegetales con ácidos carboxílicos y compuestos orgánicos activos, diseñados para estimular la formación de nuevas raíces y aumentar la superficie de absorción (ADAMA, 2023). Su aplicación mejora la eficiencia de fertilización y el establecimiento del cultivo.



Imagen 23 RadiGrow presentación 1 Lt.

Radix 10000

Es un enraizador en polvo cuya sustancia activa principal es el ácido indol-3-butírico (IBA). Este compuesto es una auxina sintética que promueve la formación de raíces adventicias en esquejes de especies leñosas, siendo uno de los reguladores más eficaces para el enraizamiento de arándano (Hartmann et al., 2018).



Imagen 24 RADIX 10000 presentación 500g.

Raizal 400

Es un bioestimulante sólido con una formulación equilibrada de NPK (12-40-12) y un complejo auxínico que estimula el desarrollo radicular, mejora la absorción de nutrientes y favorece el establecimiento de plántulas jóvenes (Raizal, 2022).



Imagen 25 Raizal 400 presentación 500g.

Tabla 7 Tabla comparativa enraizadores utilizados experimento.

Nombre comercial	Ingrediente(s) activo(s)	Concentración aproximada	Tipo / presentación	Modo de acción	Beneficios esperados en plántulas de arándano
Radirfarm	Ácido indolbutírico (AIB) + extractos vegetales + aminoácidos	500–1500 ppm (variable según fabricante)	Líquido	Estimula diferenciación celular y formación de raíces adventicias	Mayor velocidad de enraizamiento, incremento en número y longitud de raíces
Radigrow	AIB + vitaminas + compuestos orgánicos	1000–2000 ppm	Líquido	Activa mitosis en meristemas y elongación radicular	Aumento de raíces finas, mayor establecimiento y vigor de plántula
Radix 10000	Ácido indolbutírico (AIB)	10,000 ppm (1%)	Líquido concentrado	Auxina sintética de acción directa sobre iniciación de raíces	Formación rápida de raíces primarias, respuesta fuerte en especies difíciles de enraizar
Raizal 400	Ácido naftalenacético (ANA)	400 ppm	Líquido	Auxina sintética que promueve formación de callo y raíces	Enraizamiento uniforme, mejor porcentaje de supervivencia de plántulas

4.16 Importancia de la evaluación de enraizadores

La evaluación de productos enraizadores permite determinar la eficacia de diferentes formulaciones en el desarrollo radicular de plántulas de arándano. Al comparar productos de naturaleza distinta (auxinas sintéticas vs. bioestimulantes orgánicos), se obtiene información valiosa para optimizar los protocolos de propagación (Correia et al., 2024). Además, estos estudios contribuyen a mejorar la eficiencia productiva y reducir el uso excesivo de hormonas sintéticas.

4.17 Diseño experimental completamente al azar

El diseño completamente al azar (DCA) es uno de los modelos experimentales más utilizados en estudios agronómicos. En este diseño, los tratamientos se asignan aleatoriamente a las unidades experimentales, garantizando que cada una tenga la misma probabilidad de recibir cualquier tratamiento (Gómez & Gómez, 2019).

Este tipo de diseño se recomienda cuando las condiciones experimentales son homogéneas, como en viveros o invernaderos. Los resultados se analizan mediante un análisis de varianza (ANOVA) y, en caso de diferencias significativas, se aplican pruebas de comparación de medias, como Tukey o LSD, para determinar los tratamientos con mejor efecto (Montgomery, 2020).

V MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del experimento

El experimento se realiza en Ciudad Guzmán (Zapotlán el Grande), Jalisco, México, en las instalaciones de Driscoll's — Test Plot, específicamente en los invernaderos del área de propagación. Ciudad Guzmán se encuentra en un valle a una altitud aproximada de 1 500 m s. n. m., en las faldas del Nevado de Colima, lo que condiciona su clima y régimen pluviométrico.

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo en diferentes etapas, siguiendo un orden lógico que permitió garantizar la correcta ejecución del experimento y la obtención de resultados confiables. A continuación se describen las principales actividades realizadas y en proceso:

5.2 Preparación de sustrato y charolas

Una vez obtenidos los insumos, se realizó la preparación del área experimental. Esta actividad comprendió la limpieza y organización del espacio destinado a las plántulas, así como la desinfección de las charolas de 38 cavidades que se utilizaron como unidades experimentales.

Posteriormente, se preparó el sustrato mezcla de peat moss y fibra de coco en proporción 1:2, asegurando una buena aireación y retención de humedad para favorecer el enraizamiento. Finalmente, se distribuyeron las charolas de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar, identificando cada tratamiento y repetición de forma individual.



Imagen 26 Peat Moss



Imagen 27 Fibra de coco



Imagen 28 Charola de 38 cavidades.



Imagen 29 Vernier digital 150 mm.



Imagen 30 Charola de germinación arándano.



Imagen 31 Revolvedora de sustrato.

5.3 Tratamientos y aplicaciones

Tratamientos	Contenido	Dosis	Frecuencia de aplicación
Testigo (21-7-7)	N P K y micronutrientes	1 gr/L	Cada 10 días
Tratamiento 1 (Radifarm)	Ácido indolbutirico (AIB) + extractos vegetales + aminoácidos	1 ml/L	Cada 10 días
Tratamiento 2 (Radi Grow)	AIB + vitaminas + compuestos orgánicos	1 ml/L	Cada 10 días
Tratamiento 3 (Radix 10 000)	Ácido indolbutirico (AIB)	1 gr/L	Cada 10 días
Tratamiento 4 (Raizal 400)	Ácido naftalenacetico	1 gr/L	Cada 10 días

5.4 Trasplante y aplicación de tratamientos

El trasplante de las plántulas de arándano se realizó cuidadosamente para evitar daños en raíces o tallos. Una vez establecidas en las charolas, se inició la aplicación de los tratamientos correspondientes: cuatro productos enraizadores comerciales: Radifarm, Radigrow, Radix 10000 y Raizal 400 todos estos con una dosificación de 1 ml/L y un testigo sin aplicación Peters 21-7-7. Se inició con una aplicación de 60 ml por repetición, incrementando hasta 80 ml. Todo esto con las dosis y métodos de aplicación recomendados por fabricante y bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Actualmente, el proceso de aplicación de los tratamientos se encuentra en desarrollo, con el propósito de observar la respuesta radicular de las plántulas durante el periodo de evaluación.



Imagen 32 Soluciones de enraizadores.



Imagen 33 Charola experimental.



Imagen 34 Aplicación de enraizadores.

5.5 Evaluaciones periódicas

Durante el transcurso del experimento se llevaron a cabo evaluaciones periódicas para registrar el comportamiento de las plántulas frente a los diferentes tratamientos. Entre las variables consideradas se encuentran:

Diámetro del tallo basal

Las mediciones del grosor basal del tallo se realizaron utilizando un vernier digital. Se posicionaron las mordazas exteriores del instrumento rodeando cuidadosamente la base del tallo, procurando no ejercer presión excesiva para evitar daños en la plántula.



Imagen 35 Medición del diámetro del tallo basal.

Longitud de raíz

Para la medición de la longitud de la raíz se empleó igualmente un vernier digital. Con las mordazas exteriores se fijó el extremo superior e inferior de la raíz, registrando la medida correspondiente con precisión.



Imagen 36 Longitud de raíz trasplante



Imagen 37 Longitud de raíz final de experimento.

Número de hojas

El número de hojas por plántula se determinó mediante conteo directo y visual, considerando únicamente las hojas completamente desarrolladas.



Imagen 38 Conteo visual de hojas.

Altura de la planta

La altura total de la planta se midió utilizando el vástago de profundidad del vernier. Se colocó la base del instrumento a nivel del sustrato y se extendió el vástago hasta el punto más alto de la plántula, obteniendo la medición en centímetros.



Imagen 39 Medición de altura de planta.

Estas observaciones permitirán determinar el efecto de cada enraizador sobre el desarrollo radicular y vegetativo, generando información cuantitativa que posteriormente será analizada mediante pruebas estadísticas.

5.6 Croquis

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), conformado por cinco tratamientos (cuatro enraizadores comerciales y un testigo sin aplicación) con tres repeticiones cada uno, para un total de 45 unidades experimentales. Las plántulas se colocaron en una charola de 38 cavidades, organizada en dos columnas alternadas: una columna con 8 cavidades y la otra con 7 cavidades, repitiéndose este patrón a lo largo de la charola.

Para garantizar una adecuada separación entre repeticiones y evitar interferencias entre tratamientos, se dejó una cavidad vacía entre cada repetición. La distribución consistió en colocar una repetición completa, seguida de una cavidad libre, y posteriormente la siguiente repetición. Esta disposición permitió mantener un orden

aleatorio en la asignación de los tratamientos dentro de la charola, respetando los principios del diseño completamente al azar.

La asignación de cada tratamiento dentro de las cavidades se realizó mediante un proceso de aleatorización, ubicando las plántulas en las cavidades correspondientes según el número de repetición, el tratamiento asignado y la distribución establecida en el croquis. Esta organización facilitó la identificación de cada unidad experimental durante el manejo y las evaluaciones realizadas.

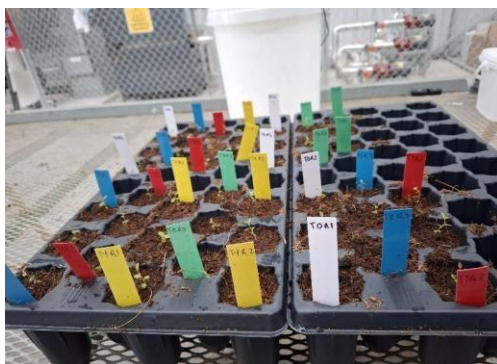


Imagen 40 Acomodo de plántula en charolas.

5.7 Diseño experimental

Un diseño experimental es la estructura o esquema que determina cómo se aplican los tratamientos a las unidades experimentales, de modo que los resultados puedan analizarse estadísticamente y se puedan sacar conclusiones válidas.

(Gómez y Gómez, 1984)

Completamente al azar

El diseño completamente al azar es aquel en el que los tratamientos se asignan aleatoriamente a unidades experimentales homogéneas, de manera que cualquier

diferencia observada en la respuesta puede atribuirse al efecto de los tratamientos y no a factores externos.(Gómez y Gómez, 1984; Montgomery, 2017)

5.8 Software estadístico INFOSAT

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en la evaluación de los tratamientos, se utilizó el programa INFOSAT, una herramienta especializada para el procesamiento estadístico de información agrícola. Este software permitió organizar, depurar y analizar las variables registradas durante el experimento.

En INFOSAT se llevó a cabo:

La captura y codificación de los datos correspondientes a cada tratamiento y repetición.

El análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados.

La aplicación de pruebas de comparación de medias, mediante el método de Tukey, para identificar cuáles tratamientos presentaron diferencias específicas entre sí.

La generación de tablas y grupos estadísticos (GPO), que permitieron interpretar de forma clara los resultados obtenidos en cada variable.

El cálculo del coeficiente de variación (CV), utilizado como indicador de la precisión experimental.

El uso de INFOSAT facilitó obtener resultados confiables y sistematizados, asegurando una interpretación adecuada del comportamiento de los tratamientos sobre las variables de crecimiento y enraizamiento de las plántulas de arándano.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los datos obtenidos en cada una de las variables y de las semanas evaluadas se les realizó un ANOVA y la prueba de Medias con Tukey (<0.05), los resultados en cada una de las variables son los siguientes.

Diámetro Basal de Tallos

En la variable diámetro basal, durante las primeras cuatro evaluaciones (F1 a F4), en el ANOVA (Anexo 1) no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico (A). Esto indica un crecimiento inicial homogéneo de las plántulas, independientemente del tratamiento aplicado, lo cual puede atribuirse a condiciones de manejo uniformes y a un adecuado establecimiento inicial en vivero, como lo señalan Plant Propagation: Principles and Practices.

En la evaluación F5, se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El tratamiento T0 mostró el mayor diámetro basal (0.86 mm), ubicándose en el grupo estadístico A, mientras que T3 y T4 presentaron los valores más bajos (0.73 y 0.70 mm, respectivamente), perteneciendo al grupo B. Los tratamientos T1 y T2 se localizaron en un grupo intermedio (AB), sin diferir estadísticamente ni del grupo A ni del B.

El mejor desempeño del testigo (T0) en esta evaluación puede relacionarse con su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, elementos esenciales para la división celular, la síntesis de proteínas estructurales y el engrosamiento del tallo. El nitrógeno, en particular, favorece la producción de tejidos vegetativos, mientras que el potasio participa en la regulación del crecimiento y la translocación de fotoasimilados (Taiz et al., 2015).

A partir de la evaluación F6 y hasta F12, nuevamente no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, ya que todos se agruparon en la misma categoría

estadística (A). Sin embargo, de manera numérica, el testigo (T0) mantuvo los valores más altos de diámetro basal durante la mayor parte del periodo de evaluación, alcanzando 4.55 mm en F12, seguido por T4 (4.32 mm) y T2 (4.23 mm). Los tratamientos T1 y T3 presentaron los valores más bajos al final del experimento.

Estos resultados indican que los tratamientos enraizadores no influyeron de manera significativa en el engrosamiento del tallo, ya que el mayor desarrollo del diámetro basal fue observado en el testigo. Esto sugiere que esta variable estuvo más relacionada con el crecimiento general de la plántula y con el suministro directo de nutrientes que con la aplicación de reguladores de crecimiento, ya que las auxinas como el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA) actúan principalmente sobre la formación de raíces y no directamente sobre el crecimiento radial del tallo (Hartmann et al., 2011).

Tabla 8 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Diámetro de Tallos

Tratamiento	Diámetro Basal (mm)																	
	DB (mm) F1		DB (mm) F2		DB (mm) F3		DB (mm) F4		DB (mm) F5 *		DB (mm) F6		DB (mm) F7		DB (mm) F8		DB (mm) F9	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
T0	0.48	A	0.5	A	0.52	A	0.62	A	0.86	A	1.26	A	1.59	A	2.21	A	3.34	A
T1	0.49	A	0.5	A	0.51	A	0.65	A	0.75	A B	1.15	A	1.31	A	1.71	A	2.6	A
T2	0.49	A	0.51	A	0.52	A	0.6	A	0.76	A B	0.99	A	1.27	A	1.84	A	2.89	A
T3	0.5	A	0.52	A	0.52	A	0.65	A	0.73	B	1.15	A	1.38	A	1.98	A	2.61	A
T4	0.49	A	0.51	A	0.52	A	0.6	A	0.7	B	1.01	A	1.4	A	1.89	A	2.95	A
CV	2.17		2.79		1.93		7.19		5.39		16.09		17.14		14.36		14.7	

*Significativo, letras iguales pertenecen al mismo grupo lo cual indica que no hay diferencias entre los tratamientos

De acuerdo con la Gráfica 41, se observó un incremento progresivo en todos los tratamientos a lo largo de las 12 semanas de evaluación. Durante las primeras semanas (F1 a F4), los tratamientos mostraron un comportamiento similar, sin diferencias marcadas entre ellos. A partir de la semana 6, el testigo (T0) comenzó a presentar valores ligeramente superiores en comparación con los tratamientos con enraizadores, manteniéndose como el de mayor diámetro basal hasta la semana 12. Los tratamientos T2 y T4 mostraron un comportamiento intermedio, mientras que T1 y T3 presentaron los valores más bajos al final del periodo evaluado.

El comportamiento observado en T2 y T4 puede explicarse por su contenido de auxinas combinadas con compuestos orgánicos, los cuales favorecieron principalmente el desarrollo del sistema radicular. Un sistema radical eficiente mejora la absorción de agua y nutrientes, lo que contribuye indirectamente al desarrollo del tallo; sin embargo, este efecto no fue suficiente para superar al testigo con fertilización mineral directa (Taiz et al., 2015).

Asimismo, en el cultivo de arándano se ha reportado que, durante las primeras etapas de desarrollo, el diámetro del tallo depende en mayor medida del estado nutrimental y del vigor inicial de la planta que del uso de reguladores de crecimiento, cuyos efectos se concentran principalmente en la fase de enraizamiento (Blueberries).

En conjunto, estos resultados sugieren que, para la variable diámetro basal, los productos enraizadores evaluados no promovieron un mayor engrosamiento del tallo respecto al testigo, indicando que esta característica estuvo más influenciada por las condiciones generales de crecimiento, la nutrición y el manejo en vivero que por la aplicación de los tratamientos hormonales.

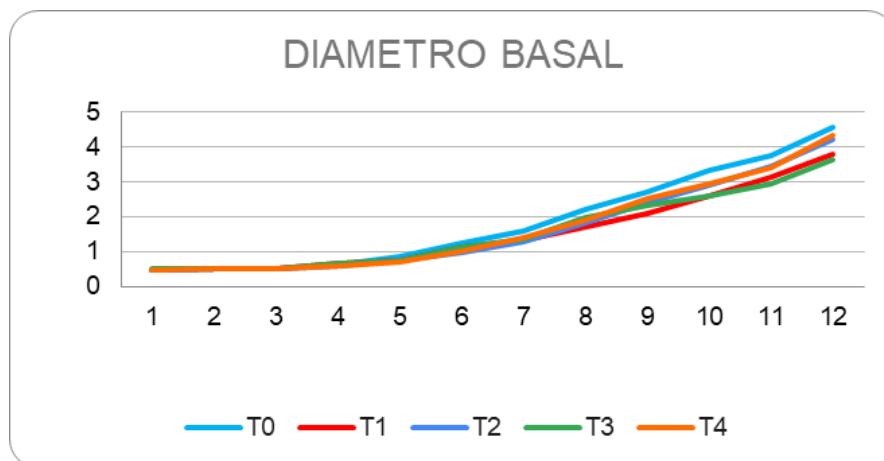


Imagen 41 Grafica de comparación Diámetro de Tallos.

Numero de Hojas

En la variable número de hojas, durante las primeras cinco evaluaciones (F1 a F5), en en ANOVA (Anexo2) no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico (A). Esto indica que, en las etapas iniciales del crecimiento, la emisión foliar fue similar en todas las plántulas, independientemente del tratamiento aplicado. Este comportamiento puede atribuirse a un adecuado establecimiento inicial y a condiciones homogéneas de manejo en vivero, factores que favorecen un desarrollo uniforme en las primeras fases del cultivo (Plant Propagation: Principles and Practices).

En la evaluación F6, se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El testigo (T0) presentó el mayor número de hojas (12.89), ubicándose en el grupo estadístico A, mientras que el tratamiento T1 registró el menor valor (11.44), perteneciendo al grupo B. Los tratamientos T3 y T4 se ubicaron en un grupo intermedio (AB), sin diferir estadísticamente ni del testigo ni del tratamiento con menor valor.

El mejor desempeño del testigo en esta evaluación puede relacionarse con su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, especialmente el nitrógeno, el cual

participa directamente en la síntesis de clorofila, proteínas y enzimas, promoviendo el desarrollo foliar y la expansión de tejidos jóvenes (Plant Physiology and Development). De esta manera, el suministro directo de nutrientes favoreció una mayor emisión de hojas en comparación con los tratamientos hormonales.

Por su parte, el menor valor observado en T1 puede atribuirse a que, aunque contiene AIB, extractos vegetales y aminoácidos, su efecto se concentra principalmente en el sistema radicular y en la reducción del estrés, más que en la estimulación directa del crecimiento foliar. Esto pudo limitar temporalmente la emisión de nuevas hojas en comparación con el testigo.

A partir de la evaluación F7 y hasta F12, nuevamente no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se agruparon dentro del mismo grupo estadístico (A). No obstante, de manera numérica, el testigo (T0) mantuvo los valores más altos durante la mayoría de las evaluaciones, alcanzando 20.55 hojas en F12, seguido por T2 (19.89 hojas) y T4 (19.78 hojas). El tratamiento T1 presentó consistentemente los valores más bajos al final del periodo.

El buen comportamiento de T2 y T4 en las últimas evaluaciones puede explicarse por su contenido de auxinas (AIB y ANA) combinadas con vitaminas y compuestos orgánicos, los cuales favorecen el desarrollo del sistema radicular. Un sistema radical eficiente incrementa la absorción de agua y nutrimentos, lo que contribuye indirectamente al crecimiento foliar (Hartmann et al., 2011). Sin embargo, este efecto fue similar entre tratamientos y no superó de manera significativa al testigo.

El coeficiente de variación (CV) se mantuvo en valores aceptables para esta variable, disminuyendo conforme avanzaron las evaluaciones, lo que indica una adecuada homogeneidad experimental y confiabilidad de los resultados obtenidos.

	Numero de Hojas																							
	#HJ F1		#HJ F2		#HJ F3		#HJ F4		#HJ F5		#HJ F6		#HJ F7		#HJ F8		#HJ F9		#HJ F10		#HJ F11		#HJ F12	
Tratamiento	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
T0	5	A	6	A	8.56	A	10.44	A	12	A	12.89	A	13.78	A	14.33	A	14.89	A	16.3	A	17.8	A	20.6	A
T1	5.22	A	6.22	A	8.44	A	9.44	A	10.56	A	11.44	B	12.33	A	13.56	A	14.11	A	15.2	A	16.8	A	18.9	A
T2	5.55	A	6.55	A	9	A	10.22	A	12.11	A	12.66	A	13.11	A	14.22	A	14.67	A	15.7	A	17.2	A	19.9	A
T3	5.78	A	6.78	A	9.33	A	10.67	A	11.45	A	12	A B	12.45	A	13.78	A	14.44	A	15.3	A	16.7	A	19.1	A
T4	5.22	A	6.22	A	7.17	A	9	A	10.78	A	11.78	A B	12.72	A	13.72	A	14.5	A	16.2	A	17.5	A	19.8	A
CV	10.9		9.18		11.84		8.97		5.45		3.47		5.25		3.31		3.13		2.86		3.16		3.91	

Tabla 9 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Numero de Hojas.

De acuerdo con la Gráfica 42, todos los tratamientos presentaron un aumento constante conforme avanzó el tiempo de evaluación. Desde las primeras semanas se observó un comportamiento muy similar entre tratamientos, sin diferencias visuales marcadas. Hacia las últimas semanas (F10 a F12), el testigo (T0) y los tratamientos T2, T3 y T4 alcanzaron los valores más altos, mientras que T1 se mantuvo ligeramente por debajo, aunque sin una diferencia amplia.

Este comportamiento concuerda con lo reportado para el cultivo de arándano, donde se señala que, durante la etapa de vivero, el número de hojas depende principalmente del estado nutricional, del vigor inicial y del manejo del cultivo, mientras que los reguladores de crecimiento influyen de manera indirecta a través del sistema radicular (Blueberries).

En general, los resultados indican que la aplicación de los enraizadores no generó un efecto claro sobre la emisión de hojas, ya que el crecimiento foliar fue homogéneo entre tratamientos. Esto sugiere que, en la fase inicial del cultivo, la nutrición mineral y las condiciones ambientales tuvieron mayor influencia sobre esta variable que la aplicación de productos hormonales.

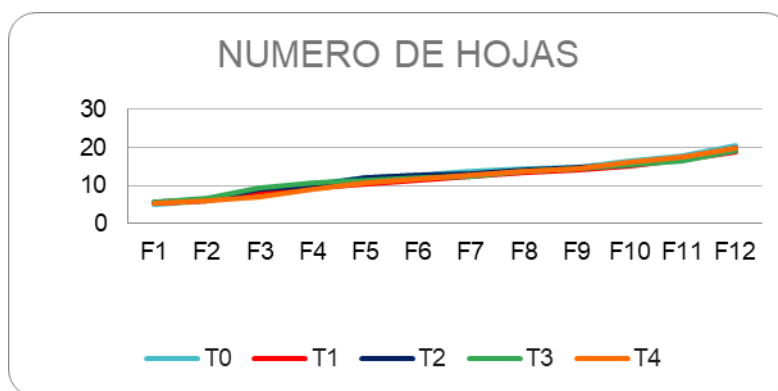


Imagen 42 Gráfica de comparación Número de Hojas.

Altura de Plántula

En la variable altura de plántula, durante las primeras cinco evaluaciones (F1 a F5), en el ANOVA (Anexo 3) no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico (A). Esto indica que, en las etapas iniciales del desarrollo, las plántulas presentaron un crecimiento en altura similar, independientemente del tratamiento aplicado. Este comportamiento puede atribuirse a un establecimiento homogéneo del material vegetal y a condiciones adecuadas de manejo en vivero, factores que favorecen un crecimiento uniforme en las fases tempranas (Plant Propagation: Principles and Practices).

En la evaluación F6, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El testigo (T0) obtuvo el mayor valor promedio de altura (9.82 cm), ubicándose en el grupo estadístico A, mientras que el tratamiento T4 registró el menor valor (7.47 cm), perteneciendo al grupo B. Los tratamientos T1, T2 y T3 se localizaron en un grupo intermedio (AB), sin diferir estadísticamente ni del testigo ni del tratamiento con menor valor.

De manera similar, en la evaluación F7, el testigo (T0) mantuvo la mayor altura promedio (11.93 cm), clasificándose en el grupo A, mientras que el tratamiento T4 presentó nuevamente el valor más bajo (9.20 cm), ubicándose en el grupo B. Los

tratamientos T1, T2 y T3 continuaron en el grupo intermedio (AB).

El mejor desempeño del testigo en estas evaluaciones puede relacionarse con el aporte directo de nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno, el cual participa en la síntesis de clorofila, proteínas y enzimas, promoviendo el crecimiento longitudinal del tallo y el desarrollo vegetativo (Plant Physiology and Development). Asimismo, el fósforo favorece la producción de energía metabólica, mientras que el potasio regula el transporte de fotoasimilados, contribuyendo al crecimiento aéreo.

Por otro lado, el menor crecimiento observado en T4 durante estas evaluaciones puede atribuirse a que su formulación, basada principalmente en ácido naftalenacético (ANA), está orientada al estímulo radicular más que al desarrollo del tallo. En algunos casos, concentraciones elevadas o aplicaciones tempranas de auxinas pueden generar un efecto temporal de redistribución de recursos hacia la raíz, limitando momentáneamente el crecimiento aéreo.

A partir de la evaluación F8 y hasta F12, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se agruparon en el mismo grupo estadístico (A). No obstante, de forma numérica, el testigo (T0) y los tratamientos T1 y T2 presentaron los mayores valores de altura al final del periodo, alcanzando 25.03, 25.53 y 25.72 cm en F12, respectivamente. El tratamiento T3 mostró los valores más bajos en las últimas evaluaciones, con 21.20 cm en F12.

El buen desempeño de T1 y T2 en las últimas evaluaciones puede explicarse por su contenido de ácido indolbutírico (AIB) combinado con aminoácidos, vitaminas y compuestos orgánicos, los cuales favorecen el desarrollo del sistema radicular y la actividad metabólica. Un sistema radical eficiente incrementa la absorción de agua y nutrientes, lo que permite una mayor disponibilidad de recursos para el crecimiento aéreo en etapas posteriores (Hartmann et al., 2011).

Por su parte, el menor crecimiento observado en T3 al final del periodo puede relacionarse con su alta concentración de AIB (10 000 ppm), la cual promovió

principalmente el desarrollo radicular. Este efecto pudo generar una mayor asignación de fotoasimilados hacia la raíz, limitando parcialmente el crecimiento en altura del tallo.

Los coeficientes de variación registrados se mantuvieron dentro de rangos aceptables, lo que indica una adecuada precisión experimental y confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 10 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Altura de Plántula (cm).

	Altura de plántula (cm)																							
	ALP (cm) F1		ALP (cm) F2		ALP (cm) F3		ALP (cm) F4		ALP (cm) F5		ALP (cm) F6 *		ALP (cm) F7 *		ALP (cm) F8		ALP (cm) F9		ALP (cm) F10		ALP (cm) F11		ALP (cm) F12	
Tratamiento	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
T0	2.2	A	2.51	A	3.23	A	4.67	A	7.11	A	9.82	A	11.93	A	14.91	A	17.58	A	19.37	A	21.33	A	25.03	A
T1	2.47	A	2.75	A	3.11	A	4.6	A	6	A	7.73	A B	9.2	A B	12.83	A	16.75	A	18.46	A	20.97	A	25.53	A
T2	2.26	A	2.49	A	3.11	A	4.47	A	5.95	A	7.36	A B	9.17	A B	13.11	A	16.64	A	18.7	A	20.98	A	25.72	A
T3	2.62	A	2.86	A	3.58	A	5.02	A	5.92	A	8.25	A B	10.58	A B	13.22	A	16.05	A	16.59	A	17.25	A	21.2	A
T4	2.63	A	2.8	A	3.08	A	3.97	A	5.52	A	7.47	B	9.2	B	12.78	A	16.18	A	15.63	A	19.18	A	21.98	A
CV	11.47		10.45		14.56		17.59		15.78		14.32		14.37		13.67		15.21		14.97		16.73		12.8	

De acuerdo con la Gráfica 43, se observó un crecimiento continuo en todos los tratamientos durante las 12 semanas evaluadas. En las etapas iniciales (F1 a F4), no se presentaron diferencias notables entre tratamientos. A partir de F6, el testigo (T0) y el tratamiento T2 comenzaron a mostrar una mayor altura en comparación con los demás. Al final del periodo (F12), T2 presentó la mayor altura, seguido muy de cerca por T0, mientras que T3 y T4 mostraron los valores más bajos.

Este comportamiento concuerda con lo reportado para el cultivo de arándano, donde se señala que, durante la fase de vivero, el crecimiento en altura depende principalmente del estado nutricional, del vigor inicial y del equilibrio entre desarrollo radical y aéreo, más que del uso exclusivo de reguladores de crecimiento (Blueberries).

En general, los resultados indican que, aunque algunos tratamientos favorecieron el crecimiento en altura en determinadas etapas, el comportamiento del testigo demuestra que el desarrollo aéreo no dependió exclusivamente de la aplicación de enraizadores, sino principalmente de la nutrición, el manejo y las condiciones ambientales del sistema de producción.

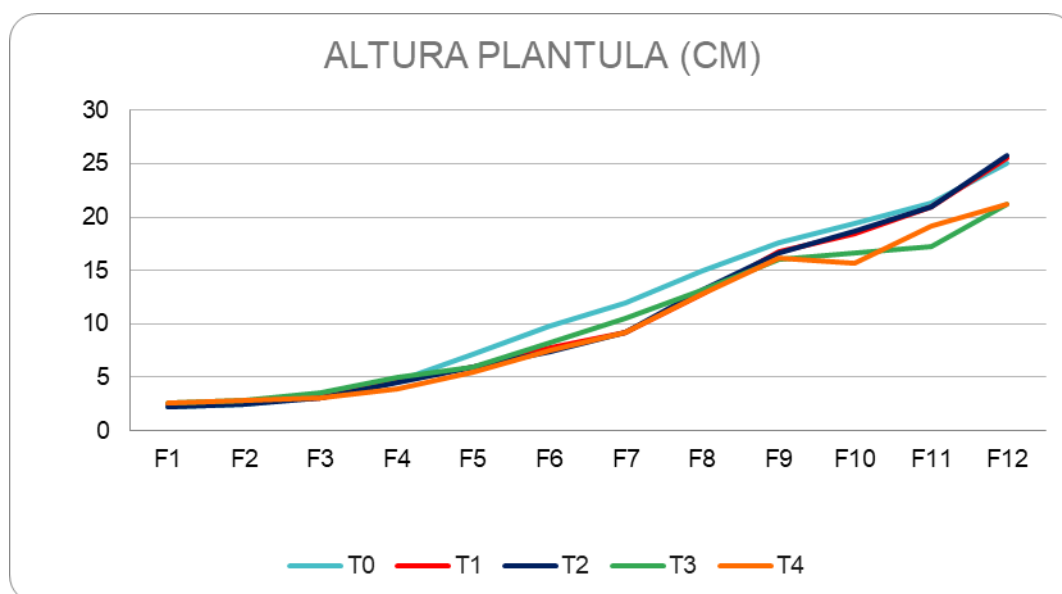


Imagen 43 Gráfica de comparación Altura Plántula.

Longitud de Raíz (cm)

En la variable longitud de raíz, durante la primera evaluación (F1), en el ANOVA (Anexo 4) no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico (A). Los valores promedio oscilaron entre 1.87 cm (T2) y 2.43 cm (T3), lo que indica un desarrollo radicular inicial similar en todas las plántulas, independientemente del

tratamiento aplicado. Este comportamiento puede atribuirse a un establecimiento homogéneo del material vegetal y a condiciones adecuadas de manejo en vivero, las cuales favorecen un desarrollo uniforme en las etapas tempranas (Plant Propagation: Principles and Practices).

En la segunda evaluación (F2), nuevamente no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos permanecieron dentro del grupo estadístico (A). En esta evaluación, los valores de longitud de raíz aumentaron considerablemente en comparación con F1, registrándose valores entre 11.29 cm (T0) y 11.71 cm (T3). De manera numérica, el tratamiento T3 presentó la mayor longitud de raíz, seguido por T1 y T4, mientras que T0 y T2 mostraron los valores más bajos.

El mayor desarrollo observado en T3 puede atribuirse a su contenido de ácido indolbutírico (AIB) en alta concentración (10 000 ppm), el cual actúa como una auxina sintética que estimula la elongación celular y la formación de raíces adventicias. El AIB favorece la diferenciación de tejidos meristemáticos en primordios radicales, promoviendo un mayor crecimiento longitudinal del sistema radicular (Hartmann et al., 2011).

Asimismo, los tratamientos T1 y T4 también presentaron valores elevados, lo que puede explicarse por su contenido de auxinas (AIB y ANA) combinadas con compuestos orgánicos, los cuales favorecen la iniciación y elongación de raíces. Estos reguladores del crecimiento influyen directamente en la actividad hormonal de la planta, promoviendo la expansión de las células radicales (Plant Physiology and Development).

Por su parte, los menores valores observados en T2 y en el testigo (T0) pueden relacionarse con la ausencia o menor concentración de reguladores hormonales específicos para el enraizamiento. En el caso del testigo, aunque recibió nutrición mineral, esta favorece principalmente el crecimiento general, pero no estimula de manera directa la elongación radical como lo hacen las auxinas.

El coeficiente de variación fue mayor en F1 (16%), lo cual es esperable en etapas tempranas del desarrollo radicular debido a la variabilidad inicial entre plántulas. En F2, el CV disminuyó notablemente (4.55%), indicando una mayor uniformidad y confiabilidad en los datos conforme avanzó el desarrollo de las raíces.

En general, los resultados sugieren que, aunque numéricamente algunos tratamientos presentaron mayor longitud de raíz, no existió un efecto estadísticamente significativo de los enraizadores sobre esta variable en las evaluaciones realizadas. Esto puede explicarse por la influencia de factores como el sustrato, la humedad y la temperatura, los cuales también determinan el crecimiento radical y pueden reducir la respuesta diferencial a los reguladores de crecimiento (Hartmann et al., 2011).

Tabla 11 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Altura de Plántula (cm).

	Longitud de raíz (cm)			
	LR (cm) F1		LR (cm) F2	
Tratamiento	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
T0	2.09	A	11.29	A
T1	2.03	A	11.62	A
T2	1.87	A	11.32	A
T3	2.43	A	11.71	A
T4	2.39	A	11.49	A
CV	15.73		4.55	

De acuerdo con la Gráfica 44, en la primera evaluación (F1) todos los tratamientos presentaron valores bajos y similares, lo que indica un desarrollo radicular inicial uniforme. En la segunda evaluación (F2), se observó un incremento considerable en todos los tratamientos, destacando T3 con la mayor longitud de raíz, seguido por T1, T4 y T0, mientras que T2 mostró el menor valor.

Este comportamiento concuerda con lo reportado para el cultivo de arándano, donde se señala que los enraizadores con base en auxinas pueden favorecer el crecimiento longitudinal del sistema radicular en vivero; sin embargo, su efecto suele manifestarse principalmente de forma gradual y en interacción con las condiciones ambientales (Blueberries).

En conjunto, los resultados indican que el tratamiento T3 mostró una tendencia favorable en la longitud de raíz debido a su alta concentración de AIB, lo que favoreció la elongación radical. No obstante, la ausencia de diferencias estadísticas sugiere que, bajo las condiciones del experimento, el desarrollo radicular estuvo influido principalmente por el manejo y el ambiente del vivero, más que exclusivamente por la aplicación de los enraizadores.

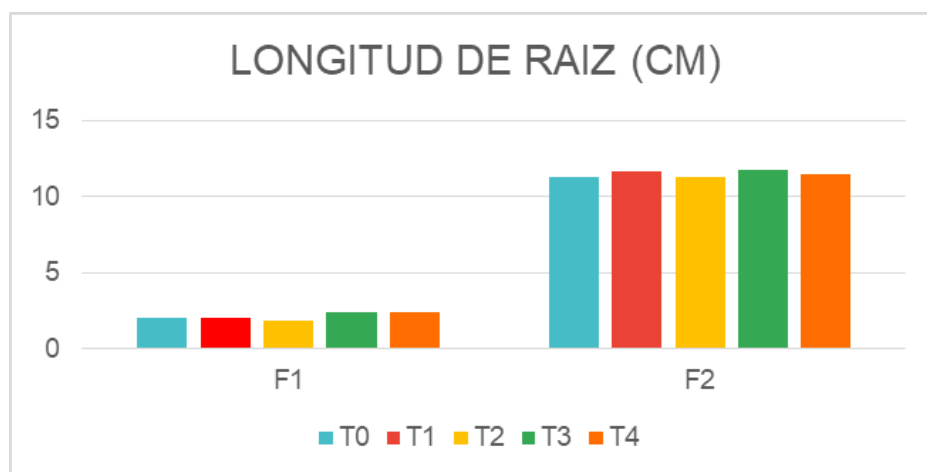


Imagen 44 Grafica de comparación Longitud de Raíz (cm).

Peso de Raíz (gr)

En la variable peso de raíz, en el ANOVA (Anexo 5) no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ya que todos se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico (A). Los valores promedio oscilaron entre 2.86 g (T1) y 5.36 g (T3), lo que indica que, estadísticamente, los tratamientos presentaron un comportamiento similar en cuanto a la acumulación de biomasa radicular.

Esta respuesta homogénea puede atribuirse a condiciones uniformes de manejo en vivero y a la calidad del material vegetal, factores que influyen directamente en el desarrollo inicial del sistema radicular (Plant Propagation: Principles and Practices).

De manera numérica, los tratamientos T3 y T4 presentaron los mayores valores de peso de raíz (5.36 y 5.32 g, respectivamente), superando al testigo (T0), el cual registró un valor intermedio de 4.24 g. Por otro lado, los tratamientos T1 y T2 mostraron los valores más bajos.

El mayor peso radicular observado en T3 puede atribuirse a su contenido de ácido indolbutírico (AIB) en alta concentración (10 000 ppm), el cual estimula la formación de raíces laterales y adventicias, incrementando el volumen y la masa del sistema radicular. El AIB promueve la diferenciación celular y la expansión de tejidos radicales, favoreciendo una mayor acumulación de biomasa (Hartmann et al., 2011).

De manera similar, el tratamiento T4, basado en ácido naftalenacético (ANA), también favoreció la formación de raíces, lo que explica su comportamiento cercano al de T3. Las auxinas como el ANA estimulan la iniciación de raíces y la proliferación celular, contribuyendo al incremento del peso radicular (Plant Physiology and Development).

En contraste, los menores valores registrados en T1 y T2 pueden relacionarse con una menor concentración efectiva de reguladores hormonales o con la presencia de

compuestos cuya acción se enfoca más en la estimulación metabólica general que en la producción directa de biomasa radical.

El coeficiente de variación (CV) fue de 23.24%, lo cual indica una variabilidad relativamente alta en esta variable, situación común en mediciones destructivas como el peso de raíz. Esta variabilidad puede explicarse por diferencias individuales entre plántulas, por la retención variable de sustrato en las raíces y por la dificultad para eliminar completamente el medio de crecimiento antes del pesaje, factores que pueden influir en la precisión de la medición (Hartmann et al., 2011).

Esta alta variabilidad pudo haber contribuido a la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, aun cuando numéricamente se observaron tendencias claras.

En general, aunque no se detectaron diferencias estadísticas, los resultados sugieren una tendencia favorable de los tratamientos T3 y T4 para incrementar la biomasa radicular en comparación con el testigo. Este comportamiento indica una mayor eficiencia de estos productos para estimular el desarrollo del sistema radicular.

Tabla 12 ANOVA y prueba de TUKEY (<0.05) de la variable Peso de Raíz (gr).

	Peso de raíz (gr)	
	PR (gr) F1	
Tratamiento	MEDIA	GPO
T0	4.24	A
T1	2.86	A
T2	2.96	A
T3	5.36	A
T4	5.32	A
CV	23.24	

De acuerdo con la Gráfica 45, se observaron diferencias claras entre tratamientos. El tratamiento T3 presentó el mayor peso radicular, seguido muy de cerca por T4, ambos superando al testigo (T0). Por otro lado, T1 y T2 registraron los valores más bajos, lo que indica un menor desarrollo del sistema radicular en términos de biomasa.

Este comportamiento concuerda con lo reportado para el cultivo de arándano, donde se señala que un mayor peso de raíz se asocia con una mejor capacidad de absorción de agua y nutrientes, mayor adaptación al trasplante y mayor potencial productivo en etapas posteriores (Blueberries).

En conjunto, los resultados indican que los tratamientos T3 y T4 fueron los más eficientes para promover el desarrollo radicular, reflejándose en un mayor peso de raíz, debido principalmente a su contenido de auxinas. No obstante, la ausencia de diferencias estadísticas sugiere que, bajo las condiciones del experimento, el desarrollo radicular estuvo influido también por factores ambientales y de manejo, además del efecto de los enraizadores.

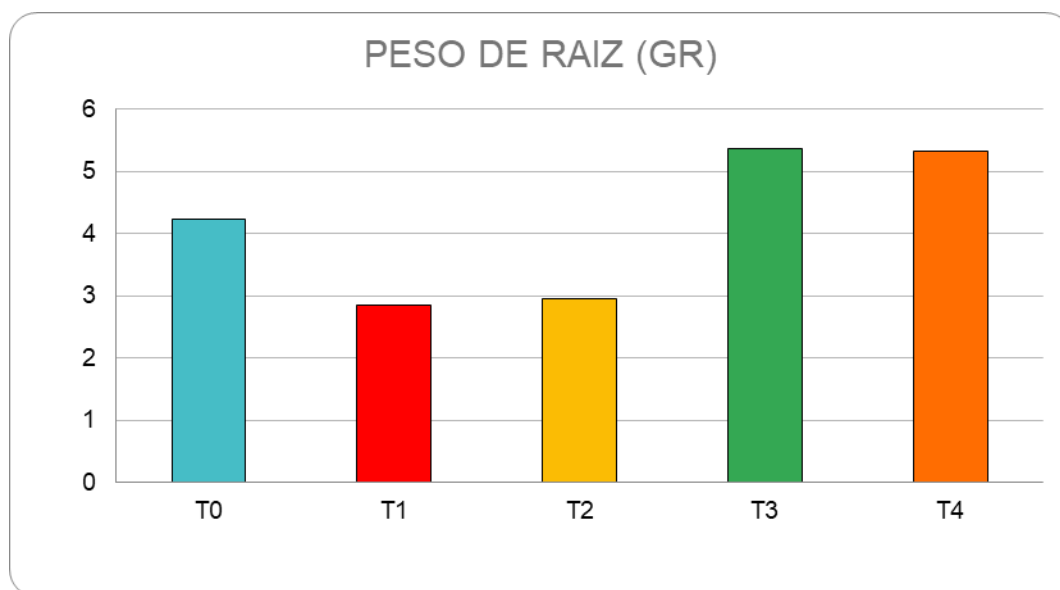


Imagen 45 Gráfica de comparación Peso de Raíz (gr).

Discusión

El presente estudio permitió evaluar el efecto de diferentes enraizadores comerciales sobre el desarrollo radicular y el crecimiento inicial de plántulas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) bajo condiciones de vivero. En términos generales, los resultados indican que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables evaluadas; sin embargo, se observaron tendencias relevantes entre tratamientos que permiten realizar una interpretación biológica y agronómica de los resultados obtenidos, lo cual coincide con lo reportado en la literatura sobre propagación vegetal (Hartmann et al., 2011).

El tratamiento T3 (Radix 10000) presentó los valores más altos en el peso de raíz, lo que sugiere un efecto favorable sobre el desarrollo del sistema radicular. No obstante, durante la evaluación visual y el retiro del sustrato, se observó que en este tratamiento una mayor cantidad de sustrato permaneció adherida a las raíces, lo cual pudo influir en el incremento del peso registrado. Este comportamiento indica que, si bien el tratamiento T3 favoreció la formación de una masa radicular más voluminosa, el peso obtenido no refleja exclusivamente tejido radicular, por lo que su interpretación debe realizarse con cautela, como señalan Hartmann et al. (2011), quienes mencionan que el sustrato adherido puede alterar la estimación real de la biomasa radicular.

Por otra parte, el tratamiento T4 mostró un desempeño cercano al del tratamiento T3 en las variables relacionadas con el sistema radicular. A partir de la evidencia fotográfica y de la observación directa, se identificó que las plántulas correspondientes a este tratamiento presentaron un sistema radicular más definido y con menor retención de sustrato, evidenciando un mayor desarrollo de raíz limpia. Esta característica es agronómicamente relevante, ya que un sistema radicular bien conformado facilita el trasplante, mejora la absorción de agua y nutrientes, y favorece el establecimiento en campo (Retamales y Hancock, 2018).

Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios sobre propagación vegetal, donde se menciona que la respuesta a los enraizadores comerciales no solo se manifiesta en el aumento de biomasa radicular, sino también en la arquitectura y calidad del sistema de raíces, aspectos que no siempre son detectados mediante análisis estadísticos convencionales (Hartmann et al., 2011). Asimismo, diversos autores señalan que la eficacia de los enraizadores, particularmente aquellos basados en auxinas, depende de factores como la concentración del producto, el tipo de sustrato, la especie vegetal y las condiciones ambientales, lo que puede explicar la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos (Taiz et al., 2015).

En cuanto a las variables de crecimiento aéreo, tales como altura de planta, número de hojas y diámetro del tallo, se observó un crecimiento uniforme y progresivo entre tratamientos, lo que indica que los enraizadores evaluados no influyeron de manera directa sobre el desarrollo aéreo durante la etapa inicial. Este comportamiento ha sido documentado en estudios previos en arándano, donde se señala que los efectos de los reguladores de crecimiento se concentran principalmente en la fase de enraizamiento y pueden manifestarse de forma indirecta o en etapas posteriores del cultivo (Retamales y Hancock, 2018).

De igual forma, es probable que las concentraciones de auxinas (AIB/ANA) en la dosis aplicada ni fueran lo suficientemente contrastantes para superar el vigor natural del testigo.

Finalmente, la ausencia de diferencias estadísticas también puede atribuirse a la calidad del material vegetal, al uso de un sustrato adecuado y a un manejo homogéneo en vivero, condiciones que favorecen el establecimiento inicial de las plántulas independientemente del tratamiento aplicado (Hartmann et al., 2011). No obstante, las tendencias observadas en los tratamientos T3 y T4 sugieren que ciertos enraizadores comerciales pueden aportar beneficios específicos en la calidad del sistema radicular, lo cual resulta relevante desde el punto de vista productivo, ya que un buen desarrollo radicular se asocia con mayor supervivencia y rendimiento en etapas posteriores del cultivo (Retamales y Hancock 2018)



Imagen 46 Plántula tratamiento 3



Imagen 47 Plántula tratamiento 4

VII. CONCLUSIONES

El uso de los enraizadores evaluados no generó diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables analizadas, lo que indica que, bajo las condiciones de vivero establecidas, los tratamientos presentaron un comportamiento similar durante el desarrollo inicial de las plántulas de arándano.

Las variables de crecimiento aéreo, como altura de plántula, número de hojas y diámetro basal, mostraron incrementos progresivos y estables a lo largo del periodo de evaluación, sin diferencias consistentes entre tratamientos y el testigo, lo que sugiere que los productos enraizadores no influyeron de manera significativa en estas características.

En cuanto a las variables radicales, aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas, el tratamiento T3 (Radix 10000) destacó de manera numérica al presentar el mayor peso de raíz, evidenciando una mayor masa radicular al momento de la evaluación. Este comportamiento sugiere un posible efecto positivo del producto en la formación y desarrollo del sistema radicular.

La calidad del sustrato, junto con las condiciones de manejo y ambiente del vivero, influyeron favorablemente en el establecimiento de las plántulas, permitiendo un crecimiento uniforme en todas las unidades experimentales y reduciendo la variabilidad entre tratamientos.

El análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tukey permitió identificar con claridad las tendencias de respuesta observadas, confirmando que el efecto de los enraizadores fue limitado y se manifestó únicamente en variables específicas relacionadas con el sistema radicular.

Con base en los resultados obtenidos, Radix 10000 (T3) puede considerarse el

tratamiento con mayor potencial para favorecer el desarrollo radicular en plántulas de arándano, aspecto fundamental para la supervivencia y el desempeño productivo futuro del cultivo. No obstante, se recomienda realizar evaluaciones complementarias bajo condiciones de campo y en periodos de crecimiento más prolongados para confirmar su efectividad.

VIII. LITERATURA CITADA

ADAMA. (2023). Ficha técnica Radigrow® XL. ADAMA México.

Bai, T., Li, C., & Li, C. (2020). Auxin and its interaction with ethylene control adventitious rooting in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11(590).

Bañados, P. (2021). Producción y manejo de arándanos en Latinoamérica. Universidad de Chile.

Biasi, L. A., et al. (2024). Minicutting as an efficient method for blueberry propagation. *International Journal of Plant Biology*, 15(2), 88–97.

Correia, S., et al. (2024). Advances in blueberry (*Vaccinium* spp.) in vitro culture and propagation. *Plants*, 13(4), 612.

Davies, P. J. (2017). *Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology* (3rd ed.). Springer.

Druege, U., et al. (2019). Physiological and molecular mechanisms of adventitious root formation in cuttings. *Horticulture Research*, 6(5), 1–14.

Gómez, K. A., & Gómez, A. A. (2019). *Diseño y análisis estadístico en investigaciones agronómicas*. Trillas.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2018). *Plant propagation: Principles and practices* (9th ed.). Prentice Hall.

Kaldorf, M., et al. (2019). Rooting challenges and micropropagation of *Vaccinium* species. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 137(1), 45–56.

Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). Wiley.

Raizal. (2022). Ficha técnica Raizal 400. Agrotecnia México.

Retamales, J. B., & Hancock, J. F. (2018). *Blueberries* (2nd ed.). CABI Publishing.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Gobierno de México.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2018). *Fisiología vegetal* (6ª ed.). Sinauer Associates.

Valagro. (2023). Ficha técnica Radifarm®. Valagro S.p.A.

Zhou, Y., et al. (2022). Effects of soil properties and microbiome on highbush blueberry growth. *Agronomy*, 12(5), 1132.

Zheng, Y., & Wang, S. Y. (2019). Antioxidant activity and phenolic compounds in blueberry fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82, 103–115.

Roychoudhry, S., et al. (2022). Auxin in root development: signaling and response. *Plant Physiology*, 189(3), 1742–1755.

Bai, T., Li, C., & Li, C. (2020). Auxin and its interaction with ethylene control adventitious rooting in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11(590).

Correia, S., et al. (2024). Advances in blueberry (*Vaccinium* spp.) in vitro culture and propagation. *Plants*, 13(4), 612.

Davies, P. J. (2017). *Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology* (3rd ed.). Springer.

Druege, U., et al. (2019). Physiological and molecular mechanisms of adventitious root formation in cuttings. *Horticulture Research*, 6(5), 1–14.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2018). *Plant propagation: Principles and practices* (9th ed.). Prentice Hall.

Lakehal, A., & Bellini, C. (2019). Control of adventitious root formation: insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions. *Physiologia Plantarum*, 165(1), 90–100.

Roychoudhry, S., et al. (2022). Auxin in root development: signaling and response. *Plant Physiology*, 189(3), 1742–1755.

Steffens, B., & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, 170(2), 603–617.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2018). Fisiología vegetal (6ª ed.). Sinauer Associates.

Werner, T., & Schmülling, T. (2020). Cytokinin action in plant development. *Current Opinion in Plant Biology*, 53, 33–41.

Zhou, Y., et al. (2022). Effects of soil properties and microbiome on highbush blueberry growth. *Agronomy*, 12(5), 1132

Cárdenas-Navarro, R., & López-López, M. (2010). Fisiología del desarrollo vegetal. Editorial Trillas.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2018). *Plant Propagation: Principles and Practices* (9th ed.). Pearson Education.

Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology* (4th ed.). Springer-Verlag.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.

International Blueberry Organization (IBO). Mexico: octavo exportador mundial de arándano. (2023).

SIAP / DGSIAP. Panorama Agroalimentario 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

IBO. Global State of the Blueberry Industry Report 2022.

Opportimes. “Blueberry production in Mexico grows 5 years in a row”. (2021) Blueberries Consulting. “Berry production grows in Jalisco” (2023)

FreshPlaza. “Mexico: Jalisco exports over 90% of berry production

Debnath, S. C. (2009). Blueberry propagation by in vitro and ex vitro methods. HortScience.

Davies, F. T., Geneve, R. L., & Wilson, S. B. (2018). Plant Propagation: Principles and Practices. 9th ed.

George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G. J. (2008). Plant Propagation by Tissue Culture. Springer. Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (2014). Propagación de plantas: principios y prácticas. 8ª ed.

Pritts, M., & Hancock, J. (2023). Blueberry Biology and Management. CABI Publishing. Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). Plant Propagation: Principles and Practices. Prentice Hall.

Retamales, J. B., & Hancock, J. F. (2018). Blueberries. CABI Publishing.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant Physiology and Development. Sinauer Associates.

ANEXOS

ANEXO 1

VARIABLE DIAMETRO BASAL DE TALLOS

DB (mm) F12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DB (mm) F12	15	0.42	0.18	11.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.68	4	0.42	1.79	0.2082
Tratamiento	1.68	4	0.42	1.79	0.2082
Error	2.35	10	0.23		
Total	4.02	14			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.2346 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	4.55	3	0.28 A
T4	4.32	3	0.28 A
T2	4.23	3	0.28 A
T1	3.81	3	0.28 A
T3	3.64	3	0.28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 2

VARIABLE NUMERO DE HOJAS

#HJ F12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
#HJ F12	15	0.47	0.26	3.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.28	4	1.32	2.23	0.1383
Tratamiento	5.28	4	1.32	2.23	0.1383
Error	5.91	10	0.59		
Total	11.19	14			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.5912 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	20.55	3	0.44 A
T2	19.89	3	0.44 A B
T4	19.78	3	0.44 A B
T3	19.11	3	0.44 A B
T1	18.89	3	0.44 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 3

VARIABLE ALTURA DE PLANTULA

ALP (cm) F12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALP (cm) F12	15	0.37	0.12	12.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	54.52	4	13.63	1.46	0.2857
Tratamiento	54.52	4	13.63	1.46	0.2857
Error	93.48	10	9.35		
Total	148.00	14			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 9.3484 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	25.72	3	1.77 A
T1	25.53	3	1.77 A
T0	25.03	3	1.77 A
T4	21.98	3	1.77 A
T3	21.20	3	1.77 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 4

VARIABLE LONGITUD DE RAIZ

LR (cm) F2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LR (cm) F2	15	0.13	0.00	4.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.41	4	0.10	0.37	0.8221
Tratamiento	0.41	4	0.10	0.37	0.8221
Error	2.74	10	0.27		
Total	3.15	14			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.2738 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T3	11.71	3	0.30 A
T1	11.62	3	0.30 A
T4	11.49	3	0.30 A
T2	11.32	3	0.30 A
T0	11.29	3	0.30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 5

VARIABLE PESO DE RAIZ

LR (cm) F2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LR (cm) F2	15	0.13	0.00	4.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.41	4	0.10	0.37	0.8221
Tratamiento	0.41	4	0.10	0.37	0.8221
Error	2.74	10	0.27		
Total	3.15	14			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.2738 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T3	11.71	3	0.30 A
T1	11.62	3	0.30 A
T4	11.49	3	0.30 A
T2	11.32	3	0.30 A
T0	11.29	3	0.30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)