

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Efecto del boro sobre el polen *in vitro* y cuajado del fruto de *Persea americana*
Mill cv. Fuerte en Guachapala - Azuay**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Agrónoma

Autora:

Martha Elizabeth Vera Ochoa

Director:

Segundo Moisés Maita Supliguicha

ORCID:  0000-0003-2716-6978

Cuenca, Ecuador

2023-31-07

Resumen

El bajo porcentaje de cuajado del fruto en especies de aguacate es un problema común y está relacionado con la nutrición de la planta en microelementos como el boro. Aunque se ha demostrado que el boro mejora la germinación del grano de polen, crecimiento del tubo polínico y cuajado de los frutos en aguacate en Ecuador, se dispone de poca información sobre la concentración óptima para un cuajado exitoso. Este estudio evaluó diferentes concentraciones de boro en la germinación y el crecimiento del tubo polínico *in vitro* y el cuajado de los frutos de aguacate en árboles de la cv. Fuerte. Se utilizaron dos fases: una de laboratorio y otra de campo. La unidad experimental en laboratorio estuvo compuesta por cajas Petri sembradas con 20 ml de medio de cultivo en las que se midió el porcentaje de germinación y longitud de tubo polínico. La unidad experimental en campo estuvo compuesta por inflorescencias en las que se midió número de frutos cuajados. Además, se realizó el cálculo de los costos variables para cada tratamiento. Los resultados mostraron que la aplicación de 60 ppm L⁻¹ de boro, fue la significativa, tanto en la germinación de los granos de polen como en el cuajado de los frutos de aguacate. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en las longitudes del tubo polínico. Este estudio proporciona información importante sobre la concentración óptima de boro para el cuajado de los frutos de aguacate en la zona de estudio.

Palabras clave: ácido bórico, *Persea americana*, polen, germinación, cuajado

Abstract

The low percentage of fruit set in avocado species is a common problem and is related to the nutrition of the plant in microelements such as boron. Although boron has been shown to improve pollen grain germination, pollen tube growth, and fruit set in avocado in Ecuador, little information is available on the optimal concentration for successful fruit set. This study evaluated different concentrations of boron in the germination and growth of the *in vitro* pollen tube and the fruit set of avocado trees of cv. Strong. Two phases were used: one in the laboratory and the other in the field. The experimental unit in the laboratory consisted of Petri dishes seeded with 20 ml of culture medium in which the percentage of germination and pollen tube length were measured. The experimental unit in the field was composed of inflorescences in which the number of set fruits was measured. In addition, the calculation of variable costs for each treatment was performed. The results showed that the application of 60 ppm L⁻¹ of boron was significant, both in the germination of pollen grains and in the fruit set of avocado. However, there were no significant differences in pollen tube lengths. This study provides important information on the optimal boron concentration for avocado fruit set in the study area.

Keywords: boric acid, *Persea americana*, pollen, germination, fruit set

Índice de contenido

Introducción	10
1.1. Identificación del problema	10
Objetivos	11
2.1. Objetivo General	11
2.2. Objetivos específicos	11
Hipótesis	11
Revisión bibliográfica	11
3.1. Origen del cultivo de aguacate	11
3.2. Variedad Fuerte	11
3.3. Características morfológicas	12
3.4. Taxonomía	12
3.5. Condiciones edafoclimáticas	12
3.6. Características del cultivo	13
3.6.1 Floración	13
3.6.2. Poda	14
3.6.3. Riego	14
3.7. Nutrición	14
3.7.1. Macronutrientes y micronutrientes	14
3.7.2. El boro	15
3.7.3. Deficiencia del B en el desarrollo y crecimiento de la planta de aguacate	15
3.7.4. Acción del B en la germinación y longitud del tubo polínico del aguacate	16
3.8. Cuajado del fruto del aguacate	16
3.9. Manejo del cultivo	17
3.9.1. Principales plagas	17
3.9.2. Principales enfermedades	17
3.10. Control de malezas	18
3.11. Medio <i>in vitro</i>	18
3.11.1. Cultivo <i>in vitro</i>	18
3.11.2. Medio de cultivo	18
3.12. Polen	19

3.13. Viabilidad y germinación del polen	19
Materiales y métodos.....	19
4.1. Área de estudio	19
4.2. Enfoque de la investigación	20
4.2.1. Tipo de investigación.....	20
4.3. Diseño de investigación	21
4.3.1. Diseño del objetivo específico 1: Fase de laboratorio	21
4.3.2. Diseño del objetivo específico 2: Fase de campo	21
4.3.3. Diseño del objetivo específico 3: Determinación de costos variables	22
4.4. Población y Muestra.....	22
4.5. Determinación de variables	23
4.5.1. Variable independiente	23
4.5.2. Variables dependientes.....	23
4.6. Métodos.....	23
4.6.1. Factor de estudio.....	23
4.6.2. Tratamientos en estudio.....	24
4.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
4.6.3.1. Técnica del objetivo específico 1: Datos de Laboratorio	25
4.6.3.2. Técnica del objetivo específico 2: Datos de Campo	25
4.7. Recursos	25
4.8. Procedimientos	27
4.8.1. Metodología del objetivo específico 1: Fase de laboratorio	27
4.8.2. Metodología del objetivo específico 2: Fase campo	27
4.8.3. Metodología del objetivo específico 3: Determinación de costos variables.....	28
4.9. Análisis estadístico.....	29
Resultados y discusiones	29
5.1. Resultados y discusión del objetivo específico 1: Determinar el efecto de concentraciones de boro sobre la germinación y longitud del tubo polínico del aguacate cv. Fuerte <i>in vitro</i>	29
5.1.1. Germinación <i>in vitro</i> del polen de aguacate	29
5.1.2. Prueba de supuestos para analizar los datos de porcentaje de germinación del polen de Aguacate cv. Fuerte.	29

5.1.3. Longitud del tubo polínico del aguacate cv. Fuerte <i>in vitro</i>	31
5.1.4. Prueba de supuestos para analizar los datos de longitud de tubo polínico de Aguacate cv. Fuerte.	32
5.2. Resultados y discusión del objetivo específico 2: Evaluar el efecto de concentraciones de boro sobre el cuajado de frutos en aguacate cv. Fuerte en El Romeral, Guachapala – Azuay	33
5.2.1. Prueba de supuestos para los datos de cuajado de frutos de aguacate cv. Fuerte	33
5.3. Resultados y discusión del objetivo específico 3: Determinar los costos variables de los tratamientos aplicados	34
Conclusiones	36
Recomendaciones	37
Referencias	38
Anexos	45

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de las zonas de muestreo realizado en el cantón Guachapala y cantón Gualaceo.....	20
Figura 2. Croquis del campo experimental.	23
Figura 3. Porcentaje de germinación del polen del aguacate con seis concentraciones de ácido bórico.....	30
Figura 4. Longitud de tubo polínico del aguacate con seis concentraciones de ácido bórico.	32
Figura 5. Porcentaje de cuajado de los frutos de aguacate con seis concentraciones de ácido bórico.....	33

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones del experimento en laboratorio	21
Tabla 2. Unidades experimentales - Cajas Petri.....	21
Tabla 3. Especificaciones del experimento en campo.....	22
Tabla 4. Unidades experimentales - Inflorescencias	22
Tabla 5. Tratamientos en laboratorio	24
Tabla 6. Tratamientos en campo.....	25
Tabla 7. Materiales utilizados	26
Tabla 8. Promedios de datos obtenidos de la longitud de tubo polínico.	31
Tabla 9 .Costos variables de cada tratamiento en campo con B sobre las flores de aguacate.	35

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi gratitud a la Universidad de Cuenca, así como al personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haber compartido sus conocimientos y haber brindado su apoyo en el proceso de llevar a cabo esta investigación.

También quiero agradecer a mi familia de manera especial a mi madre Lucia y a mi hermana Anita quienes me han brindado su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida. Les agradezco todo el trabajo y esfuerzo que han invertido en mí.

Introducción

Ecuador es un país con óptimas condiciones climatológicas, León (1999) indica que, la fruticultura puede tener un gran desarrollo a nivel de país, entre los frutales destaca al cultivo de aguacate. Álvarez et al. (2021) mencionan que, a partir del año 2012, en el Ecuador los productores de aguacate comenzaron a obtener una buena rentabilidad en la exportación de esta fruta. Además, hoy en día el cultivo de aguacate ha tomado fuerza en el sector productivo y económico (Castillo y Sagrera, 2010). Ecuador, a diferencia de otros países, produce aguacate todo el año, con distintos picos de producción y cosecha. Los meses de mayor producción son de febrero a marzo y de agosto a septiembre (León,1999). Para que la producción sea rentable, se debe dar un adecuado manejo del cultivo, comenzando por la nutrición (González y Pomares, 2008). En el caso del boro (B), aunque actúa en cantidades mínimas, es un microelemento esencial para mejorar el cuajado de frutos en aguacate, por tanto, la falta de este elemento resulta en consecuencias como malformación de los frutos (Novoa et al., 2018). Por otro lado, el método más utilizado para estudios de la fertilidad es el método de polen *in vitro* (Orrillo y Bonierbale, 2009), el cual brinda un mejor resultado en el porcentaje de germinación y crecimiento del tubo polínico (Araméndiz et al., 2012).

Con el desarrollo de esta investigación se busca determinar el efecto de las concentraciones de Boro sobre la germinación del polen *in vitro* y cuajado del fruto de aguacate; tema relevante para los agricultores de la zona austral del país.

1.1. Identificación del problema

El cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill) pertenece a los frutales no tradicionales, el cual se distingue por su buen sabor (Sotomayor et al., 2016). Montoya et al. (2018) mencionan que, a nivel mundial, la producción de aguacate se ha ido incrementando de manera significativa y esto se debe a la alta demanda mundial. En Latinoamérica, México y Perú, se posicionan como productores principales, con 2,8 millones de toneladas (Álvarez et al., 2021).

Intriago (2018) señala que Ecuador ha generado variaciones negativas en la cantidad exportada, y esto se debe a causas como el cambio climático, plagas, riego y mal manejo de la nutrición. La nutrición representa el 33% de los costos de producción. Por tal motivo, el manejo correcto del boro (B) debería tener una atención particular, debido a que el déficit del mismo provoca una baja en la cantidad y calidad de su producción (Vega, 2007).

El manejo correcto, para evitar consecuencias por el déficit de Boro en aguacate, se logra con estrategias nutricionales enfocadas en la aplicación de microelementos.

Objetivos

2.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto del boro sobre la germinación *in vitro* del polen y cuajado del fruto de *Persea americana* Mill cv. Fuerte en Guachapala – Azuay

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de concentraciones de boro sobre la germinación y longitud del tubo polínico del aguacate cv. Fuerte *in vitro*.
- Evaluar el efecto de concentraciones de boro sobre el cuajado de frutos en aguacate cv. Fuerte en El Romeral, Guachapala - Azuay.
- Determinar los costos variables de los tratamientos aplicados.

Hipótesis

Entre los tratamientos aplicados al menos uno influirá de manera positiva en la germinación y cuajado del aguacate cv. Fuerte *in vitro*, en la granja El Romeral de la Universidad de Cuenca en Guachapala. De los tratamientos positivos se podrá identificar el mejor y óptimo.

Revisión bibliográfica

3.1. Origen del cultivo de aguacate

El aguacate tiene como lugar de origen a América, de acuerdo a varias investigaciones, el centro de expansión del aguacate fue en las partes altas del centro y este de México y también en las partes altas de Guatemala. Cabe mencionar, que el aguacate fue domesticado por los Aztecas, desde donde se empezó a distribuir a regiones del centro y sur de América (Galindo et al., 2013).

3.2. Variedad Fuerte

La variedad fuerte es un híbrido natural entre la raza mexicana y guatemalteca, su fruto es piriforme, su peso varía entre unos 250 - 450 g y de 10 a 12 cm de largo, se caracteriza por mantener su coloración verde desde su cosecha hasta la época de consumo, solo que en su madurez se diferencia en el brillo, tomando una tonalidad opaca, su floración tipo B se identifica como temprana de 180 a 240 días, el contenido de aceite oscila del 18 a 22% (Bernal y Díaz, 2008). Este tipo de fruto es el más demandado a nivel nacional, ya que su pulpa es suave y de sabor agradable, además, los países productores lo prefieren por la calidad,

tamaño, buena conservación y resistencia al transporte. En Ecuador, la mayor producción ocurre entre febrero a julio (León, 1999).

3.3. Características morfológicas

El árbol de aguacate es una especie polimorfa y sus características morfológicas son muy variables, pudiendo alcanzar una altura de hasta 30 metros y un diámetro de 6-7 metros (Baiza, 2003). Es una especie perenne, bien desarrollada, sus hojas son pubescentes de un color rojizo (Morera, 1983). Su sistema radicular comprende una raíz principal que es corta y débil, su función es la absorción de nutrientes y de agua (Ayala, 2014). El tallo es cilíndrico y recto, sus ramas son delgadas, abundantes y frágiles (Barraza, 1974). Su flor se caracteriza por ser hermafrodita, están agrupadas en una inflorescencia en forma de panícula, cada panícula tiene aproximadamente 200 flores, el androceo (flor masculina) contiene 12 estambres, de los cuales 9 son funcionales, el gineceo posee un pistilo, un ovario sobre el pedúnculo y un óvulo (Bernal y Díaz, 2020). La fecundación de las flores del aguacate es entomófila, es decir la polinización es realizada por insectos (García, 2010). El fruto del aguacate es una baya, en su interior posee una semilla de forma variada, su textura generalmente es lisa y su color dominante es el verde en diferentes tonalidades (Lemus-Soriano et al., 2021).

3.4. Taxonomía

Según Pérez et al. (2015), dentro de los aspectos sistemáticos la planta de aguacate pertenece a lo siguiente:

Reino: Plantae

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Lurales*

Familia: *Lauraceae*

Género: *Persea*

3.5. Condiciones edafoclimáticas

La temperatura óptima para la producción de aguacate oscila entre los 17 a 24°C, con un contenido de materia orgánica de 2,5 a 5% y un pH de 5 a 7 (Intagri, 2019). Por otro lado, en

Ecuador se ha indicado que la temperatura óptima para el cultivo de aguacate es de 16°C a 20°C, típicamente encontrada a altitudes entre los 1800 a 2500 msnm con una precipitación de 600-900 mm, con un suelo franco a franco arenoso, con buen drenaje y un pH que oscila entre 5,6 a 7,5 (INIAP, 2014).

3.6. Características del cultivo

3.6.1 Floración

La planta de aguacate se distingue por poseer flores que están dispuestas en una inflorescencia denominada panícula, la misma que puede ser axilar o terminal; cada panícula contiene aproximadamente 200 flores (Aparicio, 2017). Las flores del aguacate son pequeñas, miden alrededor de 0,5 a 1,5 cm de diámetro cuando están completamente abiertas, su color particular es el verde amarillento, comprende todos sus verticilos florales: el cáliz, corola, androceo y gineceo. Además, el árbol de aguacate puede llegar a producir hasta un millón de flores, pero solo un 0,1% llega a convertirse en fruto (ICA, 2012).

La flor del aguacate es hermafrodita simétrica, está compuesta por 12 estambres introducidos alrededor del ovario, también presenta una dicogamia protoginia, es decir, que diferentes estadios sexuales de una misma flor maduran en diferente tiempo, teniendo la clasificación de las variedades en dos tipos A y B. Por lo tanto, los cultivares tipo A presentan una floración femenina por la mañana y como masculinas en la tarde del día siguiente, en cambio, los cultivares tipo B actúan como femeninas por la tarde y luego abren como masculinas en la mañana del día siguiente. Este tipo de característica en la planta de aguacate es necesariamente importante, ya que, así se evita la autopolinización y puede existir una mezcla variada de cultivares adaptables a las condiciones ambientales (Lobo, 1977).

En un mismo año la planta de aguacate puede presentar distintos picos de floración, aunque esto va a depender mucho de la variedad y de las condiciones climáticas. En varias zonas productoras de aguacate la floración se presenta hasta 4 veces, teniendo así, por ejemplo, la floración “loca”, “aventajada”, “normal” y “marceña”, pudiendo dar una floración continua desde agosto hasta marzo (Salazar et al., 2018).

Las etapas de crecimiento del aguacate se dividen en diversos estados, el más importante de conocer para este trabajo es el estado F, en donde la antesis de las panículas de las flores se empieza a notar y se dividen en subestados dependiendo si la apertura es femenina o masculina. Luego de tres subestados para la etapa femenina, la flor se cierra completamente en el subestado conocido como F1c para reabrirse como masculino. En el subestado F1m los tépalos se abren en un ángulo de 45° mientras que el pistilo continua erecto y el estigma

comienza a oscurecerse. En el subestado F2m los estambres están en un ángulo de 45° y sus anteras aún permanecen cerradas. En el subestado F3m se da la primera dehiscencia de anteras, mientras que en el subestado F4m la flor alcanza una apertura de anteras completa. Como subestados finales se tiene el F5m y el F2c, en donde la flor comienza a cerrarse completamente (Reyes, 2021).

3.6.2. Poda

El objetivo de la poda en el cultivo de aguacate se basa en cortes de algunas partes del árbol, esto para lograr un desarrollo de brotes con yemas florales en la época de otoño que florecen en primavera, la brotación puede demorar hasta tres meses. Además, la poda también permite mantener un equilibrio con la entrada de aire y luz a la planta para conservar una buena estructura e inducir la nueva renovación del follaje (Salvo, 2014).

3.6.3. Riego

La planta de aguacate tiene un sistema radicular muy superficial, sus raíces tienen escasos pelos absorbentes, por tal, las raíces no son tan eficientes al momento de la absorción del agua, por lo tanto, necesita que el suelo disponga siempre de humedad adecuada. En este tipo cultivos es recomendado el riego distribuido, este riego cubre casi toda el área radicular, ocasionando una pérdida menor de agua por evaporación y aportando mayor producción (Traxco, 2020). La mejor forma de aportar agua a la planta de aguacate es mediante el sistema de riego por goteo, es importante tener más atención en el primer año del árbol y en la época seca, aquí lo más recomendable es regar cada día de 30 a 45 minutos evitando el encharcamiento, de esta manera los árboles reciben una cantidad adecuada para el buen desarrollo de la planta (Grajales, 2017).

3.7. Nutrición

3.7.1. Macronutrientes y micronutrientes

Los macronutrientes y micronutrientes son esenciales para una nutrición equilibrada y la obtención de los mejores resultados del cultivo (Yara, 2022). Entre los macronutrientes tenemos al nitrógeno (N), que es un componente clave de enzimas, vitaminas, clorofila, este brinda la tonalidad verdosa de las hojas; el fósforo (P) es vital para el desarrollo de la raíz y el crecimiento del árbol; el potasio (K) ayuda a regular el agua en la planta y brinda una resistencia ante las enfermedades y tiempos secos (Pizara, 2018). Por otro lado, tenemos a los micronutrientes que son indispensables; desde el crecimiento hasta la producción, la

planta lo necesita en pequeñas cantidades, los micronutrientes más necesarios para el cultivo de aguacate son el hierro, boro, zinc, cobre (Olivares, 2013).

3.7.2. El boro

El boro es un elemento químico que está dentro de los no metales, se encuentra como mineral orgánico para algunas plantas, principalmente para las vasculares, algunas algas verdes y las diatomeas. Por otro lado, dentro de la nutrición cumple la función como micro elemento esencial, este es absorbido por las plantas como ácido bórico H_3BO_3 mediante el mecanismo de absorción y transporte (Alarcón, 2001).

Malavé y Carrero (2007) señalan que la movilidad del boro en el floema depende mucho de la especie vegetal. El boro juega un papel importante en el desarrollo de la planta, en la formación del tubo polínico y en la fertilidad del polen, esto en frutales se traduce en un mejor cuajado y desarrollo del fruto, su disponibilidad varía de acuerdo al sistema de cultivo y a los diferentes climas. Además, el contenido total del boro en el suelo va de 7 a 80 ppm, pero menos del 5% está disponible para las plantas (Ortiz et al., 2021). Desde hace mucho tiempo se sabe que las aplicaciones de boro en medio foliar son eficaces para mejorar la concentración de B en yemas y flores, arrojando resultados mayores en cuaje de frutos, consecuentemente se da un mayor rendimiento y producción (Perica et al., 2001). Cuando el B es móvil en las plantas, estas son menos susceptibles a la escasez transitoria de B dado que cuando este se aplica vía foliar puede ser removilizado y pasar a los tejidos que no han sido tratados (Fernández et al., 2015). Según Vera (2001), los niveles foliares normales para aguacate van de 40-100 ppm, niveles menores a 15 ppm son deficientes y mayores a 100 ppm son tóxicos. Además, en su artículo menciona que el valor de nivel crítico de la tolerancia relativa al contenido de boro en aguas de riego en aguacate es de 0,6 ppm. Barker y Pilbean (2006), citado por Castellanos (2014), indican que los niveles foliares de boro normales en aguacate van de 40-100 ppm, los cuáles coinciden con los valores mencionados por anteriores autores.

3.7.3. Deficiencia del B en el desarrollo y crecimiento de la planta de aguacate

El boro desempeña un papel estructural fundamental en los distintos estados de desarrollo vegetativo, ocasionando que la deficiencia de este elemento presente defectos anatómicos, fisiológicos y bioquímicos, estos pueden ser daños en la integridad de membranas, en la expansión celular y por ende afectando el desarrollo y crecimiento de la planta (Salazar-García et al., 2016). El boro también se presenta en procesos como el desarrollo floral, la falta del mismo provoca una limitada producción de flores, infertilidad de flores, caída prematura de flores y frutos, una baja producción y viabilidad de polen (Nyomora y Brown, 1997). Se

considera que la ausencia de B en los tejidos reproductivos trae más consecuencias que en los tejidos vegetativos (Iwai et al., 2006). Por otro lado, la baja viabilidad del polen y la producción de flores más pequeñas son fenómenos relacionados con bajos contenidos de almidón y translocación de carbohidratos, esto a su vez se relaciona con la deficiencia nutricional asociado con B en las etapas de floración y fructificación (Sarkar et al., 2007).

3.7.4. Acción del B en la germinación y longitud del tubo polínico del aguacate

Varios estudios han demostrado que la aplicación de B vía foliar genera efectos positivos en la germinación del polen y en el crecimiento del tubo polínico, por ende, aumentando el porcentaje de cuajado (Sarkar et al., 2007). Por otro lado, Robbertse et al (1990) en su experimento evaluaron diferentes concentraciones de boro en aguacate, utilizando botones florales de Hass que luego fueron polinizadas con polen de la variedad Fuerte, obteniendo como resultado que la concentración óptima fue de 50 a 75 ppm, la cual permitió una mejor germinación y un mayor crecimiento del tubo polínico que por ende acabó en un mejor cuajado del fruto.

3.8. Cuajado del fruto del aguacate

El cuajado se le conoce como el cambio que hace el ovario comenzando desde la flor al fruto en desarrollo, el cambio inicia después de la polinización y la fecundación (Agustí et al., 2016). Por otro lado, el aguacate puede llegar a producir miles de inflorescencias y cada una de ellas puede contener hasta 80 flores de media alcanzando un millón o más de flores por árbol (Sedgley, 1980). Sin embargo, el porcentaje de cuajado es muy bajo, puede llegar a ser inferior al 1% (Alcaraz y Hormaza, 2009). Eisenstein y Gazit (1989) citado por López (2015) indican, que al estudiar la anatomía de los frutos que no cuajan los clasificaron en: Frutos con embrión y endospermo normal, frutos con el embrión y endospermo degenerados, pseudofrutos con ovario hinchado, pero sin endospermo ni embrión. Por otro lado, Alcaraz y Hormaza (2014) mencionan, que las inflorescencias funcionalmente indeterminadas tienen un menor cuajado que las determinadas o las indeterminadas a las que se le quita la yema terminal. Además, el cuajado también va a depender del cultivar, condiciones edafoclimáticas y edad del brote. Existen numerosos estudios, donde se mencionan que el aborto de frutos puede deberse a un límite en los recursos nutricionales, centrándose en la deficiencia de los micronutrientes (Stephenson, 1981). Un trabajo reciente de Minchin et al. (2012), demostró que el boro puede volverse móvil en el floema del aguacate, al formar un complejo con el perseitol. Por tal motivo, se planteó que la acumulación estacional para facilitar el transporte de boro a la flor, es uno de los procesos involucrados para lograr el éxito del cuajado del fruto de aguacate (Thorp et al., 2012).

3.9. Manejo del cultivo

3.9.1. Principales plagas

3.9.1.1 Trips

Existen una variedad de especies de trips pero los que más se consideran dañinos son *Frankliniella* y *Scirtothrips* (Acosta, 2019). Los trips son un orden de pequeños insectos considerados como plagas importantes para el aguacate, ya que, causan daño a las hojas, flores y frutos, alimentándose de los tejidos jóvenes de la planta, perforando las hojas y provocando deformaciones de los tejidos tiernos como flores y brotes terminales (Urrea y Cardona, 2020). Para poder brindar un manejo adecuado se debe realizar monitoreos permanentes, control de malezas, poda de aclareo eliminar ramas y estructuras enfermas (MAPA, 2021).

3.9.1.2. Barrenador pequeño del hueso (*Conotrachelus perseae*)

El principal causante de daño en el cultivo es la larva de este insecto picudo el cuál se alimenta principalmente de la semilla del aguacate pudiendo llegar a tener una pérdida de hasta un 80% de la producción de fruta (Acosta, 2019). Los síntomas que mayormente presenta el cultivo son pequeñas perforaciones en la parte apical, media o basal del fruto, la hembra es la encargada de realizar estas perforaciones depositando los huevos en los frutos (Becerril, 2005). El manejo que recomienda Reyes (2020) para controlar esta plaga del cultivo, es recolectar los frutos caídos o dañados para posteriormente quemarlos o enterrarlos en el suelo a una profundidad de 1 m, también recomienda realizar aplicaciones de insecticidas autorizados para la plaga.

3.9.2. Principales enfermedades

3.9.2.1. *Phytophthora cinnamomi*

Esta enfermedad es conocida como tristeza del aguacatero, en donde el agente causal es el hongo *Phytophthora* que está presente en la mayoría de los suelos aguacateros. Esta enfermedad afecta a la raíz y a la base del tallo, los síntomas principales son marchitez de la planta, clorosis de las hojas, frutos pequeños y muerte de la planta (Urrea y Cardona, 2020). Para evitar la propagación de esta enfermedad Castaño y Leal (2018) recomiendan, realizar controles de humedad del suelo incorporando materia orgánica y micorrizas. Además, recomiendan un control genético con patrones resistentes y un control químico con fungicidas.

3.9.2.2. Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*)

El agente causal de esta enfermedad es *Colletotrichum gloeosporioides*, este hongo es de amplia importancia económica en los países productores de aguacate (MAPA, 2021). Ataca

principalmente a los brotes jóvenes y cogollos, algunos síntomas que presentan las hojas, flores y frutos son lesiones oscuras y hundidas, circulares o angulares (Tapia et al., 2020). Para un control fitosanitario de la antracnosis en el aguacate INTAGRI (2017) recomienda realizar podas de eliminación de hojas viejas y cloróticas para facilitar la aplicación de fungicidas y control de plagas dañinas.

3.10. Control de malezas

El control de las malezas consiste en mantener limpio al cultivo de mala hierba, monte o planta no deseada de cualquier especie vegetal que crece de forma silvestre, este tipo de práctica cultural se le puede realizar mediante tres métodos: manual, mecánico y químico (Bonilla, 2000). Por otro lado, es importante tener en cuenta que el aguacate tiene un sistema radicular superficial, por lo que se recomienda manejar un cierto porcentaje de cobertura vegetal, éstas pueden ser leguminosas y plantas forrajeras con el fin de evitar problemas de erosión (ICA, 2009).

3.11. Medio *in vitro*

3.11.1. Cultivo *in vitro*

La técnica del cultivo *in vitro* consiste en tomar una porción o segmento de la planta y sembrarla en un medio nutritivo totalmente estéril, el mismo que es semisólido o gelificado, con esta técnica se puede lograr la evaluación de producción de varias especies vegetales, con el fin de obtener unos cultivos con características genéticas especiales y sanas (Rivas, 2016).

3.11.2. Medio de cultivo

Un medio de cultivo es una solución en la que se integra un conjunto de nutrientes y otros componentes, en el cual se desarrollan distintos tipos de microorganismos en el laboratorio en condiciones controladas. Por su parte, la composición del medio va a depender del proceso y de la especie vegetal (Castillo, 2004).

Los medios de cultivos tienen una serie de componentes generales y específicos cuyo contenido y concentración estará determinada del objetivo que se quiera obtener. Así, los medios de cultivo pueden ser líquidos o sólidos, los mismos contienen sustancias minerales, vitaminas, aminoácidos, azúcares, fitohormonas (A Krikorian, 2015). Los medios de cultivo más utilizados en especies como el aguacate se basan en la solución mineral descrita por Murasnige y Skoog (1962), la cual recomienda utilizar una reducción de los macronutrientes a la mitad o un tercio. Su trabajo "A revised medium for rapid growth and bio assays with

tobacco tissue cultures”, se elaboró tomando el cultivo *in vitro* de tabaco como modelo y siguiendo un procedimiento cuantitativo que determinaron las concentraciones más adecuadas de todos los nutrientes.

3.12. Polen

El polen es un polvillo fino que se produce en las flores, es el encargado de mantener la continuidad genética de las especies vegetales superiores como son: las gimnospermas y angiospermas. Además, el tamaño del grano de polen va a depender de cada especie vegetal (Soejarto y Fonnegra, 2018).

3.13. Viabilidad y germinación del polen

La calidad del polen y la viabilidad del mismo tiene gran importancia en estudios de la biología, reproducción y mejoramiento genético de plantas (Ibiza, 1998). Hay que tener en cuenta que no todos los granos de polen van a germinar y esto va relacionado con el tiempo, la temperatura en que se almacenan, la composición de los medios de cultivo, el tipo de material vegetal. Por tal motivo, se realizan estudios previos para garantizar un mejor germinado (Ramírez et al., 2013). La técnica de germinación *in vitro* es una metodología para evaluar pequeñas cantidades de polen en medio de cultivo, a través de esta técnica, es posible observar al microscopio el porcentaje de granos de polen germinados y después de un tiempo determinado observar el desarrollo del tubo polínico (Araméndiz et al., 2012).

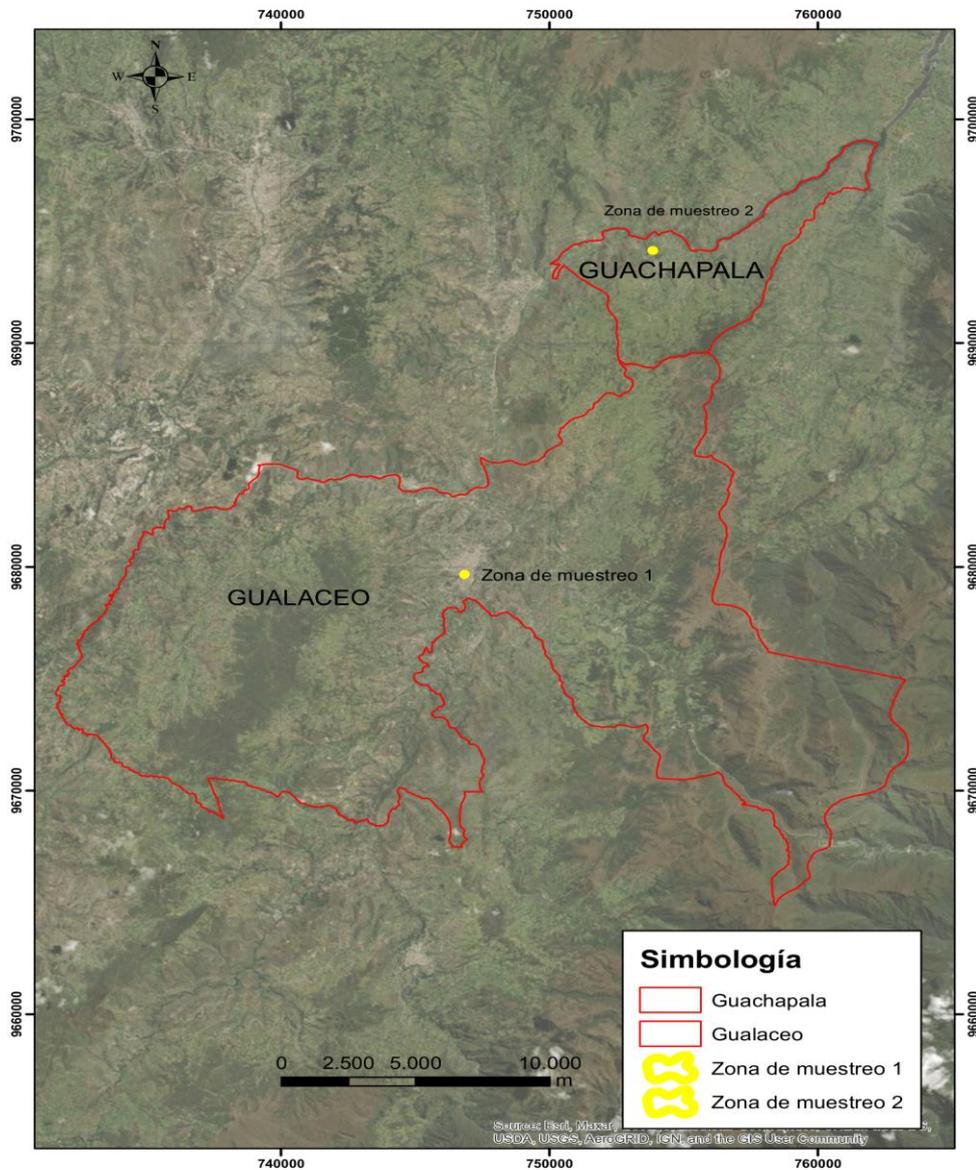
Materiales y métodos

4.1. Área de estudio

El proyecto se realizó en dos lugares, el primer objetivo se realizó en la granja El Romeral de la Universidad de Cuenca, ubicada en el km 10 de la vía Paute – Guachapala, en el cantón Guachapala, Azuay, Ecuador. Con coordenadas UTM Longitud: -78.7170410156, latitud: -2.76542041528, a 2200 msnm. La zona tiene un clima subtropical, temperatura promedio de 18°C y precipitación de 500 a 1000 mm/año (Díaz, 2010). Para el caso del segundo objetivo la ubicación del trabajo se modificó, esto por la escasa floración que se tuvo en la especie dentro del periodo de aplicación de tratamientos. El objetivo se realizó en una zona del cantón Gualaceo, Azuay, Ecuador. Con coordenadas UTM Longitud: -78,7797085, latitud: -2,8961314. La zona tiene una temperatura promedio de 17,7 °C, altitud de 2230 msnm, una humedad relativa media de 68% y una precipitación de 633.1 mm/año (Inamhi, 2017). En el mapa de ubicación los puntos amarillos dentro de la delimitación de ambos cantones, indican las zonas de muestreo en donde se realizó las investigaciones pertinentes para cada objetivo.

Figura 1

Mapa de ubicación de las zonas de muestreo realizado en el cantón Guachapala y cantón Gualaceo.



4.2. Enfoque de la investigación

4.2.1. Tipo de investigación

La investigación aplicada en este trabajo es de carácter mixto, documental y experimental, siendo el primero la búsqueda de información bibliográfica que permitió el conocimiento y profundización del tema; y el segundo, el análisis de la relación entre las variables en los tratamientos y la observación del efecto de las mismas.

4.3. Diseño de investigación

4.3.1. Diseño del objetivo específico 1: Fase de laboratorio

Para evaluar el efecto de concentraciones de boro sobre la germinación y longitud del tubo polínico del aguacate cv. Fuerte *in vitro*, se desarrolló un diseño experimental completamente al azar (DCA). El diseño estuvo compuesto por 6 tratamientos y 4 repeticiones, teniendo 24 unidades experimentales. La unidad experimental estuvo compuesta por una caja Petri, lo indicado se detalla en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1

Especificaciones del experimento en laboratorio

Número de tratamientos	6
Número de repeticiones	4
Unidades experimentales	3
	6

Tabla 2

Unidades experimentales - Cajas Petri

Repeticiones					
Concentraciones ppm - Dosis de	R1	R2	R3	R4	
B					
0	T0R1	T0R2	T0R3	T0R4	
20	T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	
40	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4	
60	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	
80	T4R1	T4R2	T4R3	T4R4	
100	T5R1	T5R2	T5R3	T5R4	

4.3.2. Diseño del objetivo específico 2: Fase de campo

Para evaluar el efecto de concentraciones de boro sobre el cuajado de frutos en aguacate, se usó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) en el que cada árbol representó un bloque. El diseño estuvo compuesto por 6 tratamientos y 6 repeticiones, teniendo 36 unidades

experimentales. La unidad experimental fue una inflorescencia, según lo indicado detallado en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3

Especificaciones del experimento en campo

Número de tratamientos	6
Número de repeticiones	6
Unidades experimentales	36

Tabla 4

Unidades experimentales - Inflorescencias

Bloque - Árbol - Repeticiones						
Concentraciones tratamientos (ppm)	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	T0R1	T0R2	T0R3	T0R4	T0R5	T0R6
30	T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T1R5	T1R6
45	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4	T2R5	T2R6
60	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5	T3R6
75	T4R1	T4R2	T4R3	T4R4	T4R5	T4R6
90	T5R1	T5R2	T5R3	T5R4	T5R5	T5R6

4.3.3. Diseño del objetivo específico 3: Determinación de costos variables

Para determinar los costos variables de los tratamientos aplicados se realizó una tabla en Excel describiendo cada uno de los montos incurridos en cada tratamiento.

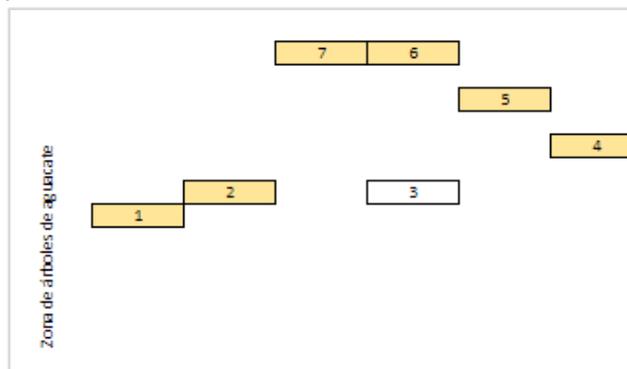
4.4. Población y Muestra

La población en campo estuvo compuesta por las inflorescencias de 7 árboles de aguacate en etapa de flor abierta, existentes dentro de la parcela de la zona seleccionada en el cantón Gualaceo.

El muestreo se aplicó según el número de repeticiones a realizar, seleccionando 6 árboles al azar y dentro de cada uno 6 inflorescencias escogidas según el mejor estado de flor abierta. Croquis del campo experimental.

Figura 2

Croquis del campo experimental.



Nota: Los rectángulos sombreados son los árboles que se eligieron al azar para la aplicación de los tratamientos.

4.5. Determinación de variables

4.5.1. Variable independiente

Fase Laboratorio: Concentraciones de B aplicado al polen *in vitro* de aguacate

Fase Campo: Concentración de B óptima obtenida en laboratorio, más 4 variaciones (2 concentraciones más bajas y 2 más altas), además del Control.

4.5.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son aquellas que se proponen medir y son:

Fase Laboratorio

- ✓ Porcentaje de granos germinados

$$\%G = \frac{\text{Número de granos germinados}}{\text{Número total de granos sembrados}} \times 100$$

- ✓ Longitud de tubo polínico

Fase Campo

- ✓ Número de frutos cuajados (Estado físico del fruto cuajado, forma, tamaño y concentración) de color)
- ✓ Costos variables de los tratamientos aplicados

4.6. Métodos

4.6.1. Factor de estudio

Para este trabajo de investigación se considera como factor de estudio al Boro, y como niveles a cada una de las variaciones de las concentraciones a aplicar tanto en laboratorio como en campo.

4.6.2. Tratamientos en estudio

4.6.2.1. Tratamientos del objetivo específico 1: Fase Laboratorio

Se aplicó cinco concentraciones de B, correspondiente a los tratamientos, las mismas están comprendidas por 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm y 100 ppm de ácido bórico por cada litro de agua destilada (Robbertse et al., 1990). Adicionalmente, se incluyó un tratamiento sin ácido bórico añadido que sirvió como nivel de control. La siguiente Tabla 5 detalla los 6 tratamientos realizados:

Tabla 5

Tratamientos en laboratorio

Número de tratamientos	Dosis de ácido bórico	$g/L=(ppm \times 0,1)/\%$ i.a
T0 (control)	0 ppm	0 g/L
T1	20 ppm	0,020 g/L
T2	40 ppm	0,040 g/L
T3	60 ppm	0,060 g/L
T4	80 ppm	0,080 g/L
T5	100 ppm	0,101 g/L

4.6.2.2. Tratamientos del objetivo específico 2: Fase Campo

El objetivo se realizó en una zona del cantón Gualaceo, Azuay, Ecuador. Se aplicaron cinco concentraciones de B, tomando la dosis óptima obtenida a nivel de laboratorio en adición con dos concentraciones más bajas (-25% y -50%) y dos más altas (+25% y +50%). Además, se incluyó un tratamiento rociando con agua a la inflorescencia el cual corresponde al control. A continuación, en la Tabla 6, se describen los 6 tratamientos realizados.

Tabla 6

Tratamientos en campo

Número de tratamientos	Dosis de ácido bórico	$g/L=(ppm \times 0,1)\% \text{ i.a}$
T0 (control)	0 ppm	0 g/L
T1	30 ppm	0,030 g/L
T2	45 ppm	0,045 g/L
T3	60 ppm	0,060 g/L
T4	75 ppm	0,075 g/L
T5	90 ppm	0,090 g/L

4.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.3.1. Técnica del objetivo específico 1: Datos de Laboratorio

La técnica de recolección fue la observación mediante un microscopio óptico, el mismo que permitió el evaluar la germinación de los granos de polen para cada tratamiento, asimismo para medir la longitud del tubo polínico se tomó imágenes microscópicas ópticas a campo claro para luego medir con el software ImageJ. Finalmente, se elaboró una hoja de cálculo de acuerdo a los tratamientos en laboratorio.

4.6.3.2. Técnica del objetivo específico 2: Datos de Campo

Por medio de la observación se permitió evaluar el efecto del B en la etapa inicial del cuajado de los frutos del aguacate, los datos obtenidos se apuntaron en una libreta de campo para luego pasarlos a una hoja de cálculo.

4.7. Recursos

Los materiales que se utilizaron se muestran en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7

Materiales utilizados

Material Vegetal	Material de Laboratorio	Material de Campo	Material Tecnológico
6 plantas de aguacate Persea americana Mill cv. Fuerte en floración	Flores de aguacate	Inflorescencias	Microsoft Office
	Polen	Pulverizadores	ImageJ
	Marcadores	Libreta de campo	Cámara de fotos
	Etiquetas de colores	Etiquetas de identificación	Software infostat
	Guantes	Agua destilada	
	Cajas Petri	Ácido bórico al 99%	
	Ácido bórico		
	Sacarosa		
	Agar		
	Balanza		
	Pinceles		
	Agua destilada		
	Pinzas		
	Vasos de precipitación		
	Cámara de incubación		
	Microscopio		
	Estereoscopio		

4.8. Procedimientos

4.8.1. Metodología del objetivo específico 1: Fase de laboratorio

Colección de flores

Se colectaron 10 flores de aguacate cv. Fuerte en estado fenológico masculino y subestado de dehiscencia de anteras por cada tratamiento a las 8:00 a 10:00 h; las muestras fueron almacenadas en bolsas Zip perforadas para ser llevadas a laboratorio.

Extracción y siembra de polen

El polen colectado fue sembrado en cajas Petri con 20 ml de medio de cultivo de 6% de agar, 15% de sacarosa y más las concentraciones de ácido bórico al 99% para cada tratamiento. La siembra se realizó utilizando un pincel estéril para cada tratamiento. Con la ayuda de un estereoscopio se pudo extraer el polen de las anteras para luego impregnar en el sustrato con dos golpes suaves en cada caja Petri. Las cajas Petri se incubaron a 25 °C.

Etiquetado

Cada caja Petri fue etiquetada indicando el tratamiento y concentración. Se utilizaron diferentes colores de etiquetas por cada concentración. Para el T0 (control) blanca, T1 azul, T2 verde, T3 naranja, T4 amarilla, T5 rosa.

Observación, registro y análisis de datos

Los datos se registraron a las 2 y 4 h de la siembra.

La primera variable a medir fue la germinación de los granos de polen, se ubicaron al azar campos con el microscopio óptico hasta completar 100 granos de polen. La técnica que se utilizó para facilitar el orden de observación fue trazar una línea recta en la mitad de la caja Petri para contabilizar en cada campo los granos de polen germinados. Para calcular el porcentaje de germinación se utilizó el siguiente cálculo:

$$\%G = \frac{\text{Número de granos germinados}}{\text{Número total de granos sembrados}} \times 100$$

Donde se considera como grano de polen germinado cuando el tubo polínico tiene una longitud igual o mayor que su diámetro (Pacheco, 2018). La segunda variable fue el crecimiento del tubo polínico, en donde, mediante fotografías y el software ImageJ, se realizó la medición de 20 tubos polínicos para cada tratamiento.

4.8.2. Metodología del objetivo específico 2: Fase campo

Selección de árboles con inflorescencias

Para evaluar el efecto de concentraciones de boro sobre el cuajado de frutos en aguacate. El diseño experimental, se desarrolló en 6 árboles escogidos al azar, en cada uno de los cuales se aplicaron los 6 tipos de concentraciones. Para el método de selección al azar se enumeró cada árbol de aguacate existente dentro de la parcela de la localización elegida, que estuvo en etapa de flor abierta (E11). Posteriormente se usó un Generador Aleatorio online.

Selección de inflorescencias

Para la selección de 6 inflorescencias (unidades experimentales) dentro de cada árbol, se consideró aquellas que tenían un porcentaje de desarrollo de flor abierta (E11) menor al 50% y que mostraron el mejor estado sanitario.

Etiquetado

En cada árbol se etiquetó cada unidad experimental, indicando el tratamiento y la repetición. Se utilizaron diferentes colores de etiquetas por cada concentración. Para el T0 (control) etiqueta blanca, T1 naranja, T2 azul, T3 amarilla, T4 roja, T5 verde.

Aplicación de tratamientos

Posterior a esto se realizó las disoluciones correspondientes para cada tratamiento y con la ayuda de un pulverizador manual, se procedió a realizar la aplicación de ácido bórico en el estado fenológico de desarrollo de la flor denominada flor abierta (E11) (< 50% de flores en estado E11) (Rebolledo y Romero, 2011).

Observación y recolección de datos

Se realizaron monitoreos una vez cada dos semanas, hasta que llegue a su etapa inicial de cuajado. Las variables a medir fueron el número de frutos cuajados, el estado físico del fruto cuajado, donde se consideró la forma, tamaño y concentración de color, y la concentración que mayor éxito tuvo.

4.8.3. Metodología del objetivo específico 3: Determinación de costos variables

Este cálculo se realizó en base a las diferentes concentraciones de Boro, aplicadas a la experimentación en campo. Se creó una base de datos en Excel, en donde se determinaron los costos de los tratamientos utilizados para la aplicación de los mismos. A continuación, se detalla los ítems analizados.

1. Materia Prima
2. Mano de Obra
3. Costos directos e indirectos

4.9. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de normalidad y homocedasticidad, para comprobar si son normales, si tal fue el caso, se realizó un ANOVA, si el ANOVA determinó que hay diferencias estadísticas significativas, se aplicó la prueba de *Tukey* para determinar la diferencia estadística entre medias. Por otro lado, si los datos no fueron normales se realizaron pruebas no paramétricas como, por ejemplo, la prueba de *Kruskal Wallis* para ver la diferencia entre tratamientos. Los cálculos estadísticos se realizaron con la ayuda del software infostat.

Resultados y discusiones

5.1. Resultados y discusión del objetivo específico 1: Determinar el efecto de concentraciones de boro sobre la germinación y longitud del tubo polínico del aguacate cv. Fuerte *in vitro*.

5.1.1. Germinación *in vitro* del polen de aguacate

Se realizaron ensayos preliminares de viabilidad del polen (datos no mostrados), con distintos estadios florales, encontrándose que el estado fenológico masculino y subestado de dehiscencia de anteras fue el óptimo para la realización de los ensayos. Luego, se procedió a realizar la determinación con las distintas concentraciones de B a través del procedimiento descrito en el capítulo anterior.

5.1.2. Prueba de supuestos para analizar los datos de porcentaje de germinación del polen de Aguacate cv. Fuerte.

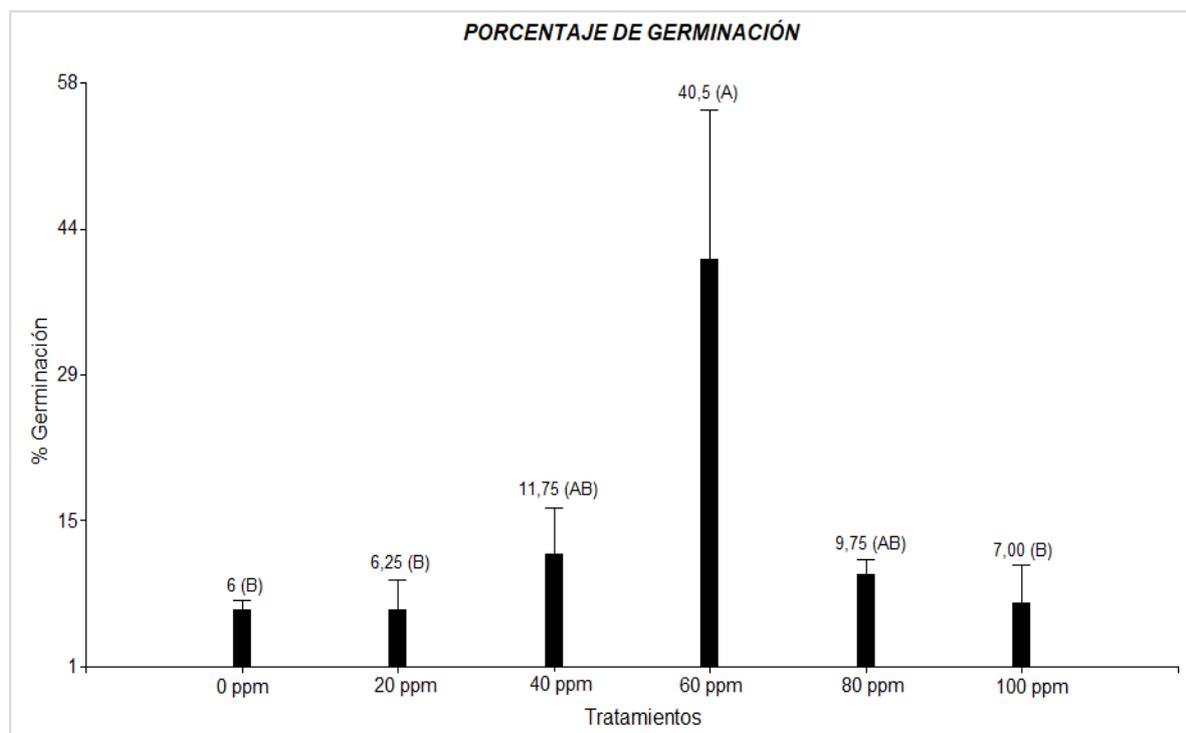
La prueba de Normalidad (Shapiro Wilks) indicó un valor p de 0,41 y la prueba de homocedasticidad (prueba F para igualdad de varianzas), indicó valores mayores al nivel de significancia de 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula y los valores se distribuyen normalmente.

En ensayos previos, se pudo comprobar que la germinación del grano de polen de Aguacate cv. Fuerte, sembrados de inmediato una vez recolectados, no logró germinar a las 2 horas de

haber sido sembrado *in vitro* e incubado a 25°C. Sin embargo, a las 4 horas después de haber sido incubado el medio de cultivo a la misma temperatura tuvo una adecuada germinación.

Figura 3

Porcentaje de germinación del polen del aguacate con seis concentraciones de ácido bórico.



En cuanto a la germinación de polen del aguacate cv. Fuerte *in vitro* recolectada de 8:00 a 10:00 h en donde se muestra que el boro sí influye de manera positiva en esta etapa. Los resultados expresados se clasifican en tres categorías (A, AB, B), en un primer grupo se tiene al tratamiento de 60 ppm (A) con un porcentaje de germinación de 40,50% el cual tiene una diferencia altamente significativa con respecto al tratamiento de 20 ppm (B) con un porcentaje de germinación de 6,25%. Teniendo como concentración óptima en germinación de los granos de polen *in vitro* al tratamiento de 60 ppm L⁻¹.

Resultados similares, pero cultivares masculinos de palmeras datileras, han sido reportados por Kavand et al. (2014), donde la aplicación de B con 50 mg L⁻¹, logró mejores resultados en la germinación y crecimiento del tubo polínico, obteniendo el 64% de germinación del polen.

Por otro lado, Alcaraz et al. (2011) mencionan que, en un medio optimizado con 100 mg L⁻¹ de H₃BO₃, el polen de las flores recolectadas en la dehiscencia de las anteras fue entre las 12:00 y las 13:00 h en el cultivar Fuerte, a una temperatura de 25°C, la germinación fue de

8,23% obteniendo la variedad Fuerte con un menor porcentaje de germinación. Según Sahar & Israel (1984) mencionan, que una germinación con éxito puede deberse a varios criterios y procedimientos que se realizan como por ejemplo a la hora de coleccionar el polen de aguacate, al momento de realizar la siembra de los granos de polen en las cajas Petri, los cuales son sensibles a la desecación, también puede deberse a las soluciones que se emplean y a las temperaturas. Heslop-Harrison & Heslop-Harrison (1970) mencionan, que los protocolos actualmente disponibles para evaluar la viabilidad del polen del aguacate deben optimizarse para realizar estudios básicos de la reproducción sexual de aguacate, como la función del polen, el efecto de los factores ambientales en el rendimiento del polen, el almacenamiento del polen y la polinización.

5.1.3. Longitud del tubo polínico del aguacate cv. Fuerte *in vitro*.

Para determinar si las diferentes concentraciones de B tuvieron efecto sobre la longitud de los granos de polen del aguacate se realizó la medición de la longitud de 20 tubos polínicos por cada tratamiento, con el programa ImageJ, mediante fotografías tomadas previamente. El crecimiento del tubo polínico se produjo a partir de las 4 horas de haber sido sembrado *in vitro*, por lo que se pudo realizar el conteo con éxito. En la Tabla 8 se muestran los promedios de los datos por cada repetición, ya que en cada tratamiento hubo 4 repeticiones y de cada una se tomaron 5 mediciones diferentes.

Tabla 8

Promedios de datos obtenidos de la longitud de tubo polínico.

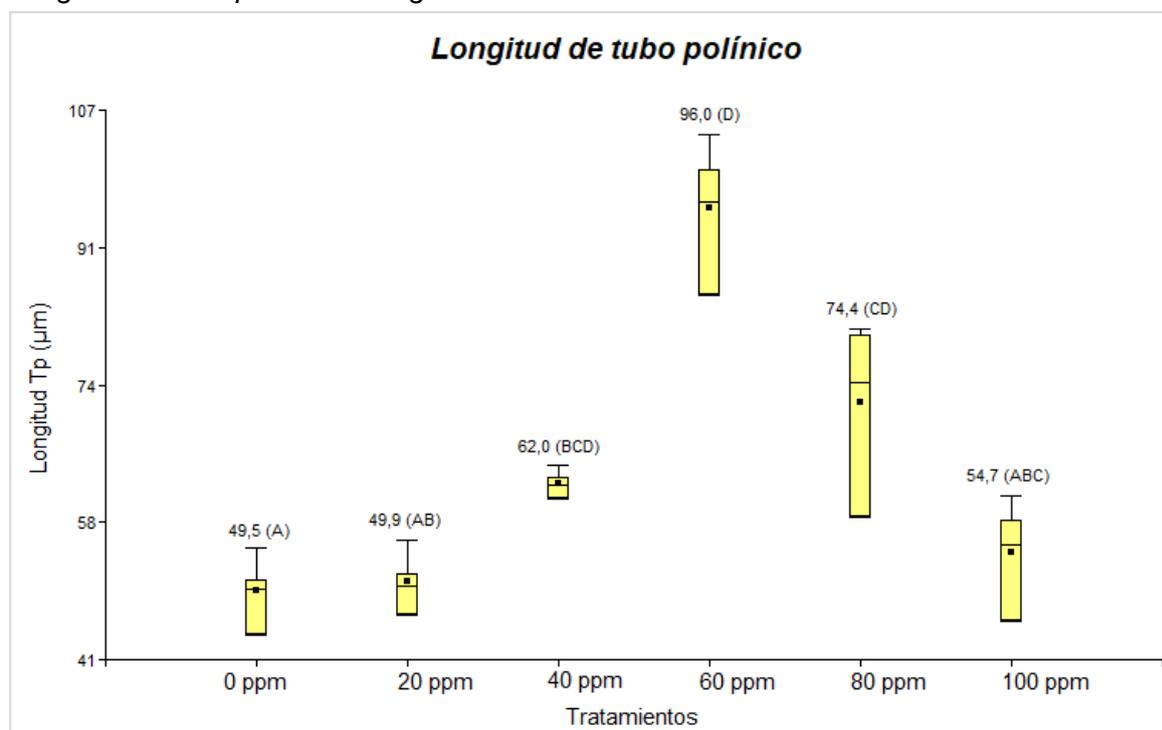
Repetición	0 ppm	20 ppm	40 ppm	60 ppm	80 ppm	100 ppm
R1	50,64	55,33	60,32	92,11	80,78	60,7
R2	43,98	51,21	62,89	104,07	80,05	57,4
R3	48,36	48,56	64,38	99,82	68,73	51,7
R4	54,38	46,36	61,13	84,87	58,02	45,2
Error estandar	4,35	3,86	1,82	8,49	10,77	6,69

5.1.4. Prueba de supuestos para analizar los datos de longitud de tubo polínico de Aguacate cv. Fuerte.

En la prueba de supuestos, la normalidad (Shapiro Wilks) indicó un valor p de 0,51 el cual es mayor al rango de significancia de 0,05 por lo que se tiene una distribución normal de los datos y se acepta la hipótesis nula. Por otro lado, en la prueba de homocedasticidad (prueba F para igualdad de varianzas) los datos no cumplieron con el supuesto teniendo valores menores al nivel de significancia de 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Figura 4

Longitud de tubo polínico del aguacate con seis concentraciones de ácido bórico.



De acuerdo con los resultados expresados se clasifican en seis categorías (A, AB, ABC, BCD, CD, D), entre las cuales el tratamiento de 60 ppm (D) obtuvo una mayor longitud del tubo polínico con 96 µm o 0,096 mm a 25°C en 4 h a diferencia del tratamiento control 0 ppm (A) con 49,5 µm o 0,049 mm el cual obtuvo una menor longitud del tubo polínico, por lo que se puede definir que el B tuvo un efecto positivo sobre la longitud del tubo polínico *in vitro*.

Resultados similares se demuestran en el estudio realizado por Alcaraz et al. (2011) los cuales indican, que la longitud del tubo polínico fue de 5,6 mm a 25°C en 24 h, por lo que se podría comparar referente a los resultados obtenidos en esta investigación que existen dos variables importantes en el desarrollo del tubo polínico, al igual que en la germinación, el estado fenológico de la flor, temperatura y la hora de recolección. Por otra parte, Rivera et al

(1970) en su artículo con *Fragaria vesca in vitro* mencionan, que a mayor cantidad de B y sacarosa se da un mayor tamaño en la longitud del tubo polínico y por ende una mayor fecundación, puesto que si el tubo polínico no llega al óvulo este abortará antes de tiempo.

5.2. Resultados y discusión del objetivo específico 2: Evaluar el efecto de concentraciones de boro sobre el cuajado de frutos en aguacate cv. Fuerte en El Romeral, Guachapala – Azuay

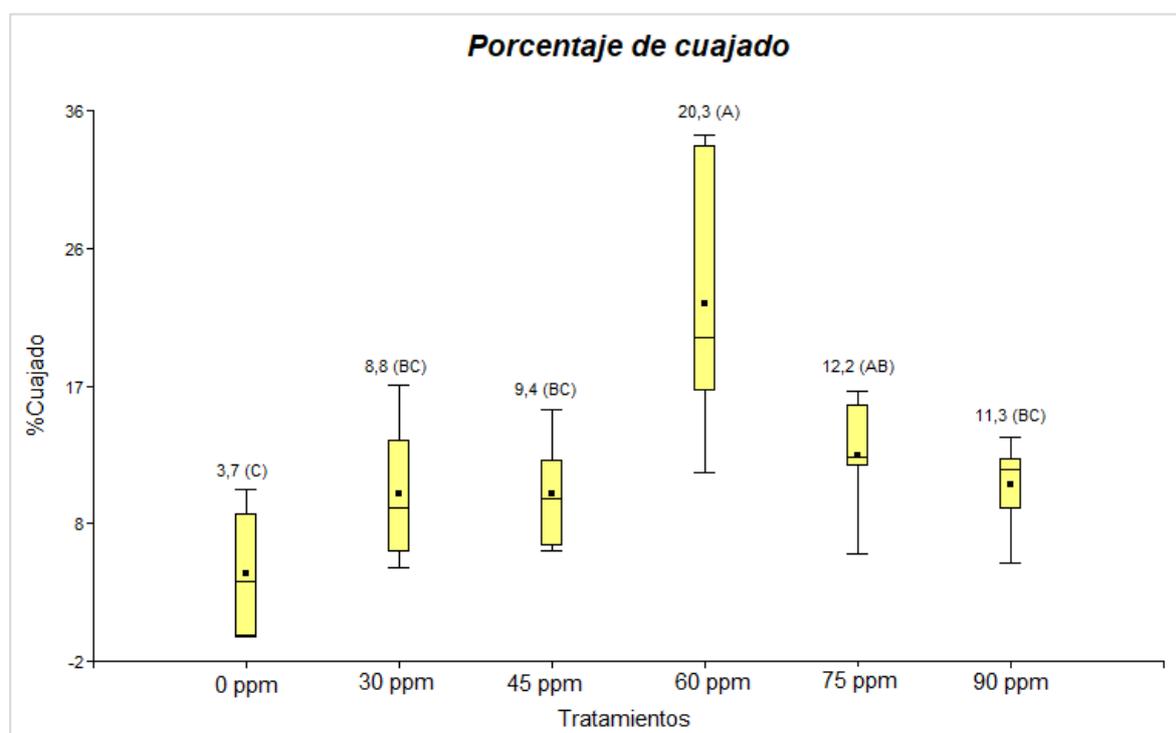
Para este objetivo como se indicó en la sección de metodología se modificó el lugar de ejecución del experimento, el mismo que se realizó en el cantón Gualaceo, Azuay.

5.2.1. Prueba de supuestos para los datos de cuajado de frutos de aguacate cv. Fuerte

La prueba de Normalidad (Shapiro Wilks) indicó un valor p de 0,14 y la prueba de homocedasticidad (prueba F para igualdad de varianzas), indicó valores mayores al nivel de significancia de 0.05 por lo que los datos tienen una distribución normal y se acepta la hipótesis nula.

Figura 5

Porcentaje de cuajado de los frutos de aguacate con seis concentraciones de ácido bórico.



De acuerdo con los resultados expresados se clasifican en cuatro categorías (A, AB, BC, C), en un primer grupo se tiene al tratamiento de 60 ppm (A) con un porcentaje de cuajado del 20,3% que tiene una diferencia significativa alta con respecto al tratamiento control 0 ppm (C) con un porcentaje de 3,7%, como segundo grupo se tiene una diferencia significativa con respecto al tratamiento de 75 ppm (AB) con un porcentaje de 12,2 con el tratamiento control 0 ppm (C). Teniendo como concentración óptima en cuajado de fruto del aguacate a 60 ppm L⁻¹.

La aplicación de B en las flores de aguacate, observado en este estudio, indica que con 60 ppm incremento el porcentaje de cuajado de fruto de aguacate, y que bajo deficiencia o mayor a 60 ppm de B se reduce o no tiene ningún efecto mayor en el número de frutos, lo cual coincide con datos reportados por Hapuarachchi et al. (2022) los cuales mencionan, que un rango de 39–68 mg/kg se utiliza como recomendación óptima, teniendo en consideración de que menores o mayores a estos niveles de B, existe una relación directa entre la deficiencia y la toxicidad. Por otro lado, Abdel-Karim et al. (2015) indican, que con la aplicación de 2g L⁻¹ de B con respecto al control se demostró que existe un sinergismo obteniendo los siguientes resultados: germinación de polen, el 70,60 %, cuajado de fruto 19,40 % y número de fruto 131 por árbol. Vera (2001) indica, que los niveles foliares normales para aguacate va de 40-100 ppm, niveles menores a 15 ppm son deficientes y mayores a 100 ppm son tóxicos. Además, en su artículo menciona que el valor de nivel crítico de la tolerancia relativa al contenido de boro en aguas de riego en aguacate es de 0.6 ppm. Barker y Pilbean (2006) citado por Castellanos (2014) indican, que los niveles foliares de boro normales en aguacate van de 40-100 ppm, los cuáles coinciden con los valores mencionados por anteriores autores.

5.3. Resultados y discusión del objetivo específico 3: Determinar los costos variables de los tratamientos aplicados

Para determinar los costos variables de los tratamientos en campo se consideró todas las labores y gastos ocupados en el trabajo, esto se realizó para cada tratamiento. Se realizó una tabla en Excel indicando los costos directos y los costos indirectos de los tratamientos ejecutados en campo, al final se realizó una sola tabla de los costos variables para cada tratamiento. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 9.

Tabla 9

Costos variables de cada tratamiento en campo con B sobre las flores de aguacate.

Tratamientos	Costos variables
T control (0 ppm)	\$0,00
T1 (30 ppm)	\$10,89
T2 (45 ppm)	\$16,34
T3 (60 ppm)	\$21,78
T4 (75 ppm)	\$27,23
T5 (90 ppm)	\$32,67

Nota: Costos calculados en base a 120 ml de solución de aplicación, cada 120 ml sirvieron para aplicar a 36 inflorescencias

Los costos variables obtenidos para estos tratamientos reflejan que económicamente no es rentable realizar aplicaciones mayores a 60 ppm L⁻¹, ya que no tienen un efecto positivo con respecto a la variable de cuajado del fruto. Cabe recalcar, que los resultados van a variar según las características fenológicas, fisiológicas y manejo que se le brida al cultivo.

Conclusiones

Con el uso de B en diferentes concentraciones se pudo verificar que tiene efectos positivos con el tratamiento tres de 60 ppm L⁻¹, sobre la germinación con 40,5% que fue la mejor, efecto en la longitud del tubo polínico con 96µm (0,096mm) y porcentaje de cuajado de frutos del 20,3%. En los resultados expresados en esta investigación se demuestra que existe una relación directa entre las horas transcurridas y el estado fenológico de la flor. Por otro lado, se encontró una relación directa entre la concentración de 60 ppm L⁻¹, de boro y el número de frutos cuajados durante el proceso de cuajado de los frutos. Esto no implica que a medida que aumenta la concentración de boro, se observa un incremento en la cantidad de frutos cuajados, por lo que se concluye que para los costos variables no resulta rentable aumentar las concentraciones de B para un mayor número de frutos cuajados.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones en este campo, se sugiere llevar a cabo estudios preliminares sobre la germinación del polen de aguacate, debido a la existencia de diversas metodologías con soluciones variadas. Se recomienda enfocar específicamente la investigación en la germinación del polen de aguacate utilizando diferentes tipos de soluciones, así como evaluar distintas condiciones de temperatura y humedad, dentro de un entorno de laboratorio controlado. Se recomienda continuar realizando experimentos de germinación *in vitro* del polen de aguacate utilizando una concentración de 60 ppm L⁻¹ de H₃BO₃, ya que se obtuvieron resultados favorables en términos de germinación. Con el fin de obtener resultados contrastantes en la longitud del tubo polínico, se sugiere llevar a cabo experimentos con diversas concentraciones de B, tomando como referencia los hallazgos de esta investigación, para observar su comportamiento. Además, se recomienda establecer un protocolo de bioseguridad y manejo adecuado del polen de aguacate antes de llevar a cabo la siembra *in vitro*. Esto permitirá obtener mejores resultados en el desarrollo de la germinación y en la longitud del polen.

Referencias

- Abdel-Karim, H. A., Nehad, M. A., El-Rouby, K. M., & Roshdy, K. A. (2015). Effect of foliar application of Boron and Zinc on fruit set, yield and some fruit characteristics of Fuerte avocado. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 443–449.
- Acosta, M. B. (2019)). Plagas y enfermedades del Aguacate - Guía con Fotos. *Ecología Verde*.
- Agustí, M., Martínez, A., Mesejo, C., Juan, M., & Almela, V. (2016)). Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. *Horticultura & Poscosecha*. Issuu.
- Alarcón, A. (2001). El boro como nutriente esencial. *Tecnología de producción*, 1-11.
- Alcaraz, M. L., & Hormaza, J. I. (2009, 07 2). Selection of potential pollinizers for 'Hass' avocado based on flowering time and male–female overlapping. *Scientia Horticulturae*, 121(3), 267-271. Sciencedirect. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.001>
- Alcaraz, M. L., Montserrat, M., & Hormaza, J. I. (2011). *In vitro* pollen germination in avocado (*Persea americana* Mill.): Optimization of the method and effect of temperature. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 152-156. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.030>
- Alcaraz, M. L., & Hormaza, J. I. (2014, 10 27). Optimization of controlled pollination in avocado (*Persea americana* Mill., Lauraceae). *Scientia Horticulturae*, 180, 79-85. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/112416/1/hormazaSHrevfinal2014.pdf>
- Álvarez, J., Garzon, M., & Carvajal, H. (2021). Análisis de la producción de aguacate en el Ecuador y su exportación a mercados internacionales en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4, 164–172.
- Araméndiz Tatis, H., Carlos, Ayala, C., Angélica, E., & Torres, L. (2012). Germinación del Polen de Berenjena (*Solanum melongena* L.) en condiciones *in vitro* Pollen Germination of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Nal.Agr.Medellín*, 65(2), 6637–6643.
- Aparicio. (2017). *Manejo de la Floración en el Cultivo de Aguacate*. Intagri.
- A Krikorian. (2015). *Capitulo3_Parte1.Pdf* (p. 19). [http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Cultivo de Tejidos en la Agricultura/capitulo3_parte1.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Cultivo_de_Tejidos_en_la_Agricultura/capitulo3_parte1.pdf)

- Baiza Avelar, B. H. (2003). *Guía técnica del cultivo de aguacate* (Maya ed.).
- Barraza Sánchez, A. (1974). *El cultivo de aguacate (Persea spp.) en el estado de Jalisco*. Guadalajara, México.
- Becerril, F. (2005). *Universidad autónoma del estado de México facultad de ciencias agrícolas evaluación de daño causado por el barrenador pequeño*. ri uaemex.
- Bernal E, J., & Díaz D, C. (2008). Tecnología para el Cultivo del Aguacate. *Corpoica*.
- Bernal, J. A., & Díaz, C. A. (2020). Generalidades del cultivo. *Agrosavia ed.*, Vol. 1).
- Bonilla, L. (2000). Cultivo de guanábana [Fundación de desarrollo agropecuario INC]. In *Boletín Técnico N°1*. Santo Domingo.
- Castaño, J., & Leal, J. (2018). Integrated management of avocado root rot (*Persea americana* Miller), caused by *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Revista Temas Agrarios*, 23(2). <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1297>
- Castillo, A. (2004). Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo Ing.Agr. Alicia Castil. *Catálogo de Información Agropecuaria*. Bibliotecas INIA.
- Castillo, D., & Sagrera, G. (2010). El cultivo del aguacate. *Suelo Tico*, 29-31.
- Castellanos, J. Z. (2014). El Boro (B), en la Nutrición de los Cultivos. In *Hojas técnicas de fertilab*. México.
- Díaz, L. (2010). Estudio de impacto ambiental producido en la granja agrícola "El Romeral". *dspace*.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2015). Fertilización foliar principios científicos y práctica de campo. *Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes ed*
- Ayala, F. F. (2014). *Caracterización morfológica de colectas de aguacate del sur del estado de México*.
- Galindo, M., Lee, H., Murguía, J., Leyva, O., & Landero, I. (2013). Domesticación y distribución geográfica de *Persea americana* Mill. en la época precolombina. *Revista geográfica agrícola*, (50-51), 65-70.

- García F. S. (2010). Influencia a la fecundación y cuajado de frutos con el uso de apiarios en plantaciones de aguacate (*Persea Americana L.*) de la variedad fuerte del tipo guatemalteco para exportación en la provincia del Carchi. Quito, Ecuador.
- Grajales, L. (2017). *Uso racional del agua de riego en cultivos de aguacate Hass (Persea americana) en tres zonas productoras de Colombia*. Repositorio Universidad Nacional.
- González, V., & Pomares, F. (2008). La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- Hapuarachchi, N. S., Kämper, W., Wallace, H. M., Hosseini Bai, S., Ogbourne, S. M., Nichols, J., & Trueman, S. J. (2022). Boron Effects on Fruit Set, Yield, Quality and Paternity of Hass Avocado. *Agronomy*, 12(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061479>
- Heslop-Harrison, J., & Heslop-Harrison, Y. (1970). Evaluation of Pollen Viability by Enzymatically Induced Fluorescence; Intracellular Hydrolysis of Fluorescein Diacetate. *Stain Technology*, 45(3), 115-120. <https://doi.org/10.3109/10520297009085351>
- Ibiza, R. (1998). Importancia del mejoramiento genético a nivel mundial. *Curso: Mejora Genética Forestal Operativa*, 1-25.
- ICA. (2009). *Manual Técnico cultivo de Aguacate* [Instituto Colombiano Agropecuario].
- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass*. ICA.
- INIAP. (2014). *Aguacate*. Iniap tecnología. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mfruti/raguacate>
- INTAGRI. (2017). Antracnosis en el cultivo de Aguacate. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, (81), 4 p.
- INTAGRI. (2019). Requerimientos de Clima y Suelo en el Cultivo de Aguacate. *Serie Frutales*, (36), 3. https://www.intagri.com/public_files/56.-Requerimientos-de-Suelo-y-Clima-del-Cultivo-de-Aguacate.pdf
- Intriago, J. (2018). *Análisis de las exportaciones del aguacate y sus derivados de la zona 5 y 8 hacia los mercados sustentables*.
- Inamhi. (2017). *Anuario meteorológico Nº 53-2013*.

- Iwai, H., Hokura, A., Oishi, M., & Satoh, S. (2006, 10 31). The gene responsible for borate cross-linking of pectin Rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *103*(44), 16592-16597. 10.1073/pnas.0605141103
- Kavand, A., Ebadi, A., Shuraki, Y. D., & Abdosi, V. (2014). Effect of calcium nitrate and boric acid on pollen germination of some date palm male cultivars. *Pelagia Research Library European Journal of Experimental Biology*, *4*(3), 10–14. www.pelagiaresearchlibrary.com
- León F, J. (1999). *Manual para el cultivo de aguacate (Persea Americana) para los valles interandinos del Ecuador*. In INIAP. Tumbaco, Quito, Ecuador.
- Lemus-Soriano, B. A., Venegas González, E., & Pérez López, M. A. (2021). Efecto de bioestimulantes radiculares sobre el crecimiento en plantas de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(6), 1139–1144. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2725>
- Lobo, M. (1977). *Dicogamia en flores de aguacate*. Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia.
- López, M. (2015). *El cuajado del fruto en el aguacate (Persea americana) y su relación con el aporte de carbohidratos. Efecto de la aplicación de triazoles*. 34.
- MAPA. (2021). *Guía de Gestión Integrada de Plagas (GIP) Aguacate; NIPO:003-21-063-6*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Malavé Acuña, A. D. C., & Carrero Molina, P. E. (2007). Desempeño funcional del boro en las plantas. *Revista Científica UDO Agrícola*, *7*(1), 1–14.
- Minchin, P. E. H., Thorp, T. G., Boldingh, H. L., Gould, N., Cooney, J. M., Negm, F. B., Focht, E., Arpaia, M. L., Hu, H., & Brown, P. (2012). A possible mechanism for phloem transport of boron in “Hass” avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *87*(1), 23–28. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512825>
- Montoya, C., Arias, F., & Velásquez, O. (2018). Resumen abstract maestros mundial dinámica mundial | Revista virtual. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 22–35.
- Morera, J. (1983). *El aguacate* (CIDIA ed.). Unidad de recursos fitogenéticos.

- Nyomora, A., & Brown, P. (1997). Fall foliar-applied boron increases tissue boron concentration and nut set of almond. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 122(3), 405-410.
- Novoa, M. A., Miranda, D., & Melgarejo, L. M. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293–307. <https://doi.10.17584/rcch.2018v12i2.8092>
- Olivares, C. P. L. (2013). Fertilización en el cultivo de palto. *Agrobanco*, 1–20.
- Orrillo, M., & Bonierbale, M. (2009). Biología reproductiva y citogenética de la papa. In International Potato Center, Lima.
- Ortiz, M., Delatorre, J. P., Sepúlveda, I., Low, C., Ruiz, K., & Delatorre, J. G. (2021). Efectos de distintas concentraciones de boro y pH en el crecimiento. *Idesia*, 39(2), 111–119.
- Pacheco Martínez, J. (2018). Germinación in vitro del polen de Tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). *Cultivos Tropicales*, 39(1), 102–107.
- Pérez, S., Ávila, G., & Coto, O. (2015). El aguacatero (*Persea americana* Mill). *Cultivos Tropicales*, 36(2), 111-123.
- Perica, S., Brown, P. H., Connell, J. H., Nyomora, A. M. S., Dordas, C., Hu, H., & Stangoulis, J. (2001). Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. *HortScience*, 36(4), 714–716. <https://doi.org/10.21273/hortsci.36.4.714>
- Pizara, J. E. (2018). *Manejo de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)Para el Cultivo de Aguacate Hass (Persea Americana Mill)*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18214/1127387773.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, F., Robledo, V., Foroughbackhch, R., Benavides, A., & Alvarado, M. (2013). Viabilidad del polen, densidad y tamaño de estomas en autotetraploides y diploides de *Physalis ixocarpa*. *Botanical Sciences*, 91(1), 11-18.
- Rebolledo R, A., & Romero, M. (2011). Avances en investigación sobre el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 113-120.
- Reyes. (2021, 06 13). *Fases de crecimiento del aguacate en el árbol*. <https://www.reyesgutierrez.com/fases-crecimiento-aguacate-arbol/>.

- Reyes, C. (2020). *Barrenador pequeño del hueso – Información – Panorama AGROPECUARIO*. Panorama AGROPECUARIO.
- Rivas, C. (2016). Cultivo *in vitro* de células y tejido vegetal. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, (59), 5 p.
- Rivera, K., Rivera, A., & Peña, C. (1970). Polinización estigmática *in vitro* de fresa (*Fragaria Vesca*) a partir de las variedades Monterey, Albeón y Diamante con miras a la obtención de un nuevo genotipo. *Tsafiqui*, 3, 53.
<https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i3.221>
- Robbertse, PJ, Coetzer, LA, Swart, NGN, Bezuidenhout, JJ y Vorster, L. (1990). La influencia del boro en el cuajado del aguacate. *Acta Hortica*. 275, 587-594
<https://doi.10.17660/ActaHortic.1990.275.73>
- Sahar, N., & Israel, D. (1984). *In vitro Germination of Avocado Pollen*. 19(981), 886–888.
- Salazar, S., Ibarra, M., Álvarez, A., & González, J. (2018). Modelos de predicción del desarrollo floral del aguacate 'Méndez'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 151-161.
- Salazar-García, S., Ibarra-Estrada, M. E., & Medina-Torres, R. (2016). Tissues alternative to leaf to assess the response to fertilization with Zn or B in hass Avocado | Tejidos alternativos al foliar para evaluar la respuesta a la fertilización con Zn o B en aguacate hass. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 247–252.
- Salvo, J. (2014). *Manejo estructural del aguacate mediante podas*. Jornadas técnicas sobre el aguacate.
- Sarkar, D., Mandal, B., & Kundu, M. C. (2007). Increasing use efficiency of boron fertilisers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. *Plant and Soil*, 301(1–2), 77–85. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9423-1>
- Sedgley, M. (1980). Anatomical Investigation of Abscised Avocado Flowers and Fruitlets. *Annals of Botany*, 46(6), 771–777. <http://www.jstor.org/stable/42753961>
- Stephenson, A. G. (1981). . Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual review of ecology and systematics*, 12, 253-79.
https://ecoshare.info/uploads/ccamp/synthesis_paper_tools/huckleberry/Stephenson.____1981.____Flower_and_fruit_abortion_causes_and_functions.pdf

Soejarto, D., & Fonnegra, R. (2018). Polen: Diversidad en formas y tamaños. *Actualidades Biológicas*, 1(1), 2-13. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330775>

Sotomayor, A., Viera, A., & Viera, W. (2016). Potencial del cultivo de aguacate (persea americana mill) en Ecuador como alternativa de comercialización en el mercado local e internacional. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(3), 1–9.

Tapia, A., Ramírez, J., Salgado, M., Castañeda, Á., Maldona, F., & Lara, A. (2020). Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>

Traxco. (2020). *Riego del aguacate distribuido mediante tuberías con goteros*. Traxco.

Thorp, T., Barnett, A., Boldingh, H., Elmsly, T., & Minchin, P. (2012). Is boron transport to avocado flowers regulated by carbohydrate supply? *Proceedings VII World Avocado Congress*, 414 - 419.

Urrea, C., & Cardona, J. (2020). *Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades en aguacate Hass (Persea americana) en el departamento de Caldas*. Auto. Repositorio Institucional UNAD.

Vega, a. c. (2007). *Nutrición con boro en aguacate cv. hass: aspectos fisiológicos, morfológicos y ecológicos en un andosol de michoacán*.

Vera, A. L. A. (2001). *artículo El boro como nutriente esencial*.

Yara. (2022). *Requerimientos nutricionales del cultivo de aguacate* | Yara. México.

Anexos

Fase de laboratorio

Anexo A

Pesado de las concentraciones para la elaboración del medio de cultivo.



Anexo B

Colocación del medio agar a la estufa hasta su punto de ebullición.



Anexo C

Vasos de precipitación con medio y las diferentes concentraciones de B.



Anexo D

Cajas Petri con medio de cultivo más la concentración de B correspondiente y su respectiva etiqueta



Anexo E

Recolección de flores.



Anexo F

Estereoscopio para la observación y extracción de polen.



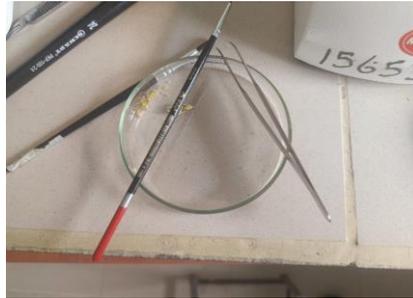
Anexo G

Extracción de polen con ayuda de un pincel.



Anexo H

Siembra de granos de polen en medio de cultivo.



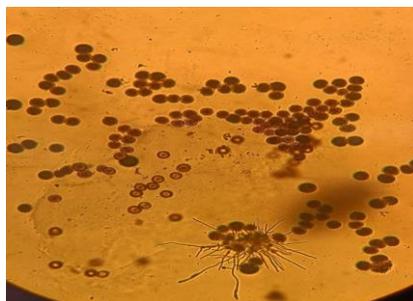
Anexo I

Colocación de cajas Petri en la incubadora a 25°C.



Anexo J

Granos de polen de aguacate.



Anexo K

Tubo polínico en germinación de aguacate.



Anexo L

Germinación del grano de polen a las 4 h con 40 ppm.



Anexo M

Germinación del grano de polen a las 4 h con 60 ppm.



Anexo N

Máxima germinación del grano de polen a las 4 h con 60 ppm.



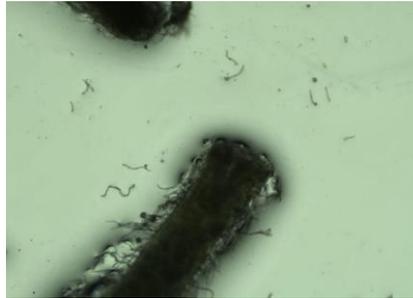
Anexo Ñ

Germinación del grano de polen a las 4 h con 60 ppm.



Anexo O

Germinación del grano de polen a las 4 h control.



Anexo P

Germinación del grano de polen a las 4 h control.



Fase de campo

Anexo Q

Selección y etiquetado de inflorescencias.



Anexo R

Aplicación de tratamientos mediante pulverización manual.



Anexo S

Observación y monitoreo de frutos cuajados.



Anexo T

Cuajado inicial de frutos de aguacate con 60 ppm.



Anexo U

Frutos cuajados con 60 ppm.

