

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: “ Aplicación de la técnica del anillado para la estimulación de floración y cuajado de frutos en el cultivo de aguacate fuerte (*Persea americana*) en la parroquia Juan Montalvo”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTOR: Buitrón Buitrón Danny Alfonso

TUTOR: MSc. Mora Quilismal Segundo Ramiro, PhD

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Buitrón Buitrón Danny Alfonso con el número de cédula 1004095749 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: “Aplicación de la técnica del anillado para la estimulación de floración y cuajado de frutos en el cultivo de aguacate fuerte (*Persea americana*) en la parroquia Juan Montalvo”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

MSc. Mora Quilismal Segundo Ramiro, PhD

TUTOR

Tulcán, mayo de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Buitrón Buitrón Danny Alfonso con cédula de identidad número 100409579 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Buitrón Buitrón Danny Alfonso

AUTOR

Tulcán, mayo de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Buitrón Buitrón Danny Alfonso declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Aplicación de la técnica del anillado para la estimulación de floración y cuajado de frutos en el cultivo de aguacate fuerte (*Persea americana*) en la parroquia Juan Montalvo" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Buitrón Buitrón Danny Alfonso

AUTOR

Tulcán, mayo de 2026

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen de La Roca, por concederme la vida y acompañarme en cada etapa de este camino académico, brindándome fortaleza en los momentos difíciles y bendiciendo cada esfuerzo realizado. Su guía y presencia han sido fundamentales para perseverar y alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mi madre y abuelita, Emma Buitrón, Enma Guerrero, por ser el apoyo incondicionalmente que me sostuvo desde el inicio. Su amor, sacrificio, consejos y ejemplo constante han sido la base de mi formación personal y profesional. Gracias por creer en mi incluso cuando las fuerzas parecían agotarse, por enseñarme el valor del trabajo honesto, la humildad y la perseverancia, por ser mi mayor motivación para seguir adelante.

A mis hermanos, Freddy Buitrón, Roberth Buitrón, por su compañía, apoyo incondicional y vivencias compartidas, que me impulsan a superarme día a día. De manera especial, agradezco a aquellas personas cercanas a mi vida que, con su cariño y motivación constante, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad y llenaron de alegría cada una de mis jornadas.

A mi tutor académico, PhD. Ramiro mora, por su profesionalismo, orientación y paciencia durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Su acompañamiento, conocimiento y compromiso fueron determinantes para la culminación exitosas de esta tesis.

A la Universidad Politécnica Estatal de Carchi, por abrirme las puertas al conocimiento y fortalecer mi formación académica, profesional y humana. Expreso mi gratitud a cada uno de los docentes que, con dedicación y vocación, dejaron enseñanzas valiosas que marcaron positivamente mi proceso formativo.

Buitrón Buitrón Danny Alfonso

DEDICATORIA

Este trabajo es el resultado de un largo camino de esfuerzos, constancia y aprendizaje, y lo dedico con profunda gratitud a quienes han sido el motor fundamental para alcanzar este objetivo.

En primer lugar dedico este trabajo a Dios, por el don de la vida y por su guía permanente a lo largo de este proceso de formación. Su presencia ha sido fuente de fortaleza en los momentos de incertidumbre y esperanza en cada desafío, permitiéndome avanzar con fe hacia la realización de este sueño profesional.

A mi madre y abuelita, Emma Buitrón, Enma Guerrero, por su amor incondicional, sabiduría, consejos y entrega diaria y su ejemplo de perseverancia. Cada logro alcanzado es reflejo de su sacrificio, de sus enseñanzas y el apoyo constante que me brindaron en cada etapa de mi formación. Su confianza y aliento han sido la base sobre el cual se construyó este camino.

A mis hermanos, Freddy Buitrón, Roberth Buitrón, por su compañía, comprensión y palabras de motivación que impulsaron mi crecimiento personal y profesional. Su presencia ha sido un respaldo invaluable, recordándome siempre la importancia de la unión el esfuerzo y la solidaridad.

Este trabajo no representa únicamente un logro personal, sino el fruto del amor, la fe y el acompañamiento de todas aquellas personas que han creído en mí y han caminado a mi lado. A ustedes dedico este esfuerzo como muestra de gratitud y compromiso de honrar sus enseñanzas en cada paso futuro.

Buitrón Buitrón Danny Alfonso

ÍNDICE

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. EL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	18
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. MARCO TEÓRICO	24
2.2.1. Origen del cultivo de aguacate	24
2.2.2. Taxonomía del cultivo	25
2.2.3 Morfología	25
2.2.4. Requerimiento edafoclimático	26
2.2.5. Material genético: Variedad Fuerte	27
2.2.6. Fisiología del transporte de nutrientes: Relación Fuente-Sumidero	28
2.2.7 Fundamento fisiológico de la técnica del Anillado	29
2.2.8. Importancia del ancho del corte y cicatrización	29
2.2.9. Inducción Floral Química vs. Mecánica	30
2.2.10. Fenología del Aguacate en el Trópico Alto	31
2.2.11. El Fenómeno de la Alternancia o "Vecería"	31

2.2.12	Mecanismo de acción de los Inductores Químicos	32
III.	METODOLOGÍA	33
3.1.	ENFOQUE METODOLÓGICO	33
3.1.1.	Cuantitativo	33
3.1.2.	Tipo de Investigación	33
3.2.	HIPÓTESIS	33
3.3.	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	34
3.3.1.	Definición de las variables	34
3.3.2.	Operacionalización de las variables	35
3.4.	MÉTODOS UTILIZADOS	36
3.4.1.	Área de estudio	36
3.4.2.	Tratamientos del diseño experimental	36
3.4.3.	Características del diseño experimental	37
3.4.4.	Distribución y características del experimento	37
3.4.5.	Población y muestra de la investigación	38
3.4.6.	Procedimientos	38
3.4.7.	Variables evaluadas	39
3.4.7.1.	Número de flores (Inflorescencias)	39
3.4.7.2.	Número de frutos cuajados	40
3.4.7.3.	Número de frutos cosechados	40
3.4.7.4.	Rendimiento (Peso de la fruta)	40
3.4.7.5.	Análisis costo - beneficio	40
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1.	RESULTADOS	41
4.1.1.	Número de flores	41
4.1.2.	Número de frutos cuajados	41

4.1.3. Número de frutos cosechados	42
4.1.4. Rendimiento	43
4.2. DISCUSIÓN	47
4.2.1. Análisis del comportamiento fenológico: La inercia de la floración y la purga natural	47
4.2.2. Análisis de la productividad: El éxito del anillado moderado (2 cm)	48
4.2.3. El debate del "Ancho de Corte": Estrés vs. Estimulación	49
4.2.4. Calidad del fruto y comparación con inductores químicos	50
4.2.5. Análisis de la rentabilidad económica y viabilidad comercial	50
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. CONCLUSIONES	52
5.2. RECOMENDACIONES	52
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
VII. ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de aguacate	25
Tabla 2. Operacionalización de variables	35
Tabla 3. Tratamientos del experimento	36
Tabla 4. Características del experimento	37
Tabla 5. Análisis de varianza para la variable número de flores	41
Tabla 6. Análisis de varianza para la variable número de frutos cuajados	42
Tabla 7. Análisis de varianza para la variable número de frutos cosechados	43
Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para número de frutos cosechados	43
Tabla 9. Análisis de varianza para la variable rendimiento (kg)	44
Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento (kg)	44
Tabla 11. Análisis costo/beneficio por hectárea	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fruta Aguacate Variedad Fuerte	28
Figura 2. Ubicación del experimento	36
Figura 3. Distribución del ensayo	37
Figura 4. Preparación del terreno	59
Figura 5. División y rotulación de las parcelas	59
Figura 6. Insumos utilizados	59
Figura 7. Anillado 2cm	59
Figura 8. Anillado 2,5cm	59
Figura 9. Anillado 3cm	59
Figura 10. Aplicación del sellador	59
Figura 11. Aplicación testigo químico	59
Figura 12. Labores culturales	59
Figura 13. Toma de datos	59
Figura 14. Cicatrización del anillado	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC	56
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	57
Anexo 3. Proceso experimental	59
Anexo 4. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio	60

RESUMEN

La presente investigación evaluó la eficiencia agronómica, productiva y económica de la técnica del anillado (*cincturing*) en tres dimensiones de corte (2.0, 2.5 y 3.0 cm) frente a la inducción floral química convencional y un testigo absoluto en el cultivo de aguacate (*Persea americana* var. Fuerte), establecido en la parroquia Juan Montalvo, provincia del Carchi. Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), conformado por 5 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Los resultados determinaron que el anillado de 2.0 cm (T1) maximizó la respuesta fisiológica del árbol, incrementando significativamente la emisión de inflorescencias y el cuajado inicial de frutos, superando al tratamiento químico que mostró una efectividad condicionada por factores climáticos. Asimismo, se validó la eficiencia de la inducción mecánica moderada: el tratamiento T1 logró el mayor rendimiento comercial (kg/árbol), demostrando que la interrupción controlada del floema favorece la acumulación de reservas (almidón) sin provocar el estrés oxidativo severo o muerte regresiva observada en los cortes anchos de 3.0 cm (T3). Económicamente, el anillado de 2.0 cm generó la mayor utilidad neta y la mejor relación Beneficio/Costo, al eliminar el gasto recurrente en hormonas sintéticas. Se concluye que la implementación del anillado de baja dimensión constituye una alternativa técnica y financiera superior a la quimización convencional, optimizando la sostenibilidad del sistema productivo al corregir la alternancia productiva sin dependencia de insumos externos.

Palabras Claves: Inducción floral, alternancia productiva, rendimiento, rentabilidad.

ABSTRACT

This study evaluated the agronomic, productive, and economic efficiency of the girdling technique (cincturing) at three cutting dimensions (2.0, 2.5, and 3.0 cm) compared to conventional chemical floral induction and an absolute control in the cultivation of avocado (*Persea americana* var. Fuerte), established in Juan Montalvo parish, Carchi province. A completely randomized block design (CRBD) was used, consisting of five treatments and four replicates, for a total of 20 experimental units. The results determined that 2.0 cm girdling (T1) maximized the tree's physiological response, significantly increasing inflorescence emission and initial fruit set, surpassing the chemical treatment, whose effectiveness was conditioned by climatic factors. Likewise, the efficiency of moderate mechanical induction was validated: treatment T1 achieved the highest commercial yield (kg/tree), demonstrating that controlled interruption of the phloem favors the accumulation of reserves (starch) without causing the severe oxidative stress or regressive death observed in the 3.0 cm wide cuts (T3). Economically, the 2.0 cm ring generated the highest net profit and the best benefit/cost ratio by eliminating the recurring expense of synthetic hormones. It is concluded that the implementation of low-dimension ringing is a superior technical and financial alternative to conventional chemical treatment, optimizing the sustainability of the production system by correcting production alternation without dependence on external inputs.

Keywords: Floral induction, crop rotation, yield, profitability.

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana*) ha trascendido su estatus de cultivo tradicional para consolidarse como un *commodity* estratégico en el mercado agroalimentario global, impulsado por una demanda creciente que busca sus atributos nutricionales y nutracéuticos. En el contexto ecuatoriano, la fruticultura de la Sierra Norte, específicamente en la provincia del Carchi, ha encontrado en la variedad 'Fuerte' un eje de desarrollo económico vital. Las condiciones edafoclimáticas de los valles interandinos, como los presentes en la parroquia Juan Montalvo, ofrecen un escenario ideal para el desarrollo de este frutal. Sin embargo, la sostenibilidad de estos agrosistemas se ve amenazada por la inestabilidad de los rendimientos, derivada de una marcada alternancia productiva (conocida comúnmente como *vejería*), fenómeno que genera ciclos de sobreproducción seguidos de años de escasez, comprometiendo la seguridad financiera del productor.

Esta problemática no es aislada, sino que responde a un desequilibrio fisiológico intrínseco de la variedad. En suelos fértiles y con disponibilidad hídrica, el aguacate 'Fuerte' tiende a exhibir una dominancia apical excesiva, priorizando el crecimiento vegetativo (emisión de ramas y hojas) en detrimento de la formación de estructuras reproductivas. Para contrarrestar este vigor y forzar la producción, el manejo convencional ha dependido históricamente de la aplicación de inductores hormonales sintéticos (nitratos, triazoles y citoquininas). No obstante, esta estrategia de "agricultura de insumos" presenta serias limitaciones: eleva los costos de producción en una economía dolarizada y su eficacia es altamente susceptible a las condiciones climáticas, donde las lluvias frecuentes pueden lavar el producto, anulando la inversión realizada.

Frente a la necesidad de optimizar recursos y estabilizar la producción, resurge la técnica del anillado o incisión anular (*cincturing*) como una alternativa de manejo físico eficiente y de bajo impacto ambiental. El principio biológico de esta práctica se fundamenta en la interrupción temporal del transporte floemático descendente. Al bloquear el paso de la savia elaborada hacia las raíces, se induce una acumulación localizada de carbohidratos (almidón) y promotores hormonales en la copa del árbol. Esta modificación artificial de la relación Fuente-Sumidero incrementa la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en las yemas, señal biológica

necesaria para detonar la diferenciación floral y asegurar la retención de los frutos durante la etapa crítica de cuajado.

A pesar de la sólida base teórica, la implementación del anillado en la zona norte del Ecuador es incipiente y empírica. Existe una brecha de conocimiento significativa respecto a los parámetros técnicos de ejecución; específicamente, se desconoce el ancho de corte óptimo que maximice la respuesta productiva sin comprometer la salud vascular del árbol. Los productores locales operan bajo incertidumbre: un corte demasiado angosto cicatriza prematuramente sin lograr el estímulo floral (falso positivo), mientras que un corte excesivamente ancho puede provocar un estrés oxidativo severo, clorosis y muerte regresiva de ramas productivas.

En virtud de lo expuesto, la presente investigación se plantea evaluar el efecto de tres dimensiones de anillado (2.0 cm, 2.5 cm y 3.0 cm) y su comparación frente a la inducción química convencional y un testigo absoluto. El estudio busca validar agrónomicamente esta técnica bajo las condiciones locales de Juan Montalvo, con el objetivo final de generar un protocolo técnico confiable que permita al agricultor romper la alternancia productiva, reducir la dependencia de agroquímicos y mejorar la rentabilidad neta del cultivo mediante un manejo fisiológico de precisión.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) ha experimentado un crecimiento exponencial en la demanda global, posicionándose como el "oro verde" de la agricultura moderna. En el Ecuador, la Sierra Norte, y específicamente la provincia del Carchi, ha encontrado en este frutal una alternativa viable para la reconversión productiva frente a los cultivos tradicionales. Sin embargo, la variedad Fuerte, predominante en el mercado nacional por sus características organolépticas, presenta una limitante fisiológica severa conocida como alternancia productiva o "vecería". Según reportes del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2023), los rendimientos en la zona son inestables, caracterizándose por ciclos bianuales donde un año de "alta carga" agota las reservas de carbohidratos del árbol, provocando que el año siguiente la cosecha sea prácticamente nula. Esta irregularidad impide a los productores de la parroquia Juan Montalvo mantener un flujo de caja constante, poniendo en riesgo la sostenibilidad económica de sus unidades productivas.

A nivel fisiológico, el problema se agudiza debido a las condiciones edafoclimáticas de la zona. Los suelos fértiles y la disponibilidad de agua en el sector de San Felipe favorecen excesivamente el crecimiento vegetativo del árbol; es decir, la planta prioriza la emisión de hojas y ramas (dominancia apical) en detrimento de la inducción floral y el cuajado de frutos. Para contrarrestar este vigor desmedido, los agricultores han adoptado un modelo de manejo basado en la "quimización" del cultivo. Existe una dependencia generalizada hacia el uso de inductores hormonales sintéticos (Paclobutrazol, nitratos y citoquininas) aplicados vía foliar. No obstante, investigaciones regionales advierten que la eficacia de estos insumos es errática en la Sierra ecuatoriana, ya que su absorción depende de condiciones climáticas secas que no siempre se cumplen, resultando en una baja relación costo-beneficio y elevando los costos de producción hasta en un 30% (Viera & Sotomayor, 2018; López, 2019).

En este contexto de ineficiencia productiva y altos costos, surge la técnica del anillado (cincturing) como una alternativa física prometedora para manipular la relación fuente-sumidero y forzar la floración. Sin embargo, en la parroquia Juan Montalvo existe una barrera tecnológica significativa: el desconocimiento y el temor. Los productores locales carecen de protocolos técnicos validados científicamente sobre la ejecución correcta de esta práctica. Existe la percepción empírica de que el anillado es una "técnica agresiva" que puede provocar la muerte del árbol por la entrada de patógenos como (*Phytophthora cinnamomi*) o por un estrés hídrico irreversible si no se controla la dimensión del corte. Esta incertidumbre ha frenado la adopción de una herramienta que, bien manejada, podría reducir la dependencia de agroquímicos (Ramírez-Gil, 2017).

En consecuencia, el problema central radica en la ausencia de información local precisa sobre el ancho de corte óptimo para la variedad Fuerte. Los agricultores no saben si realizar una incisión de 2 mm, 1 cm o 3 cm para obtener la respuesta deseada sin comprometer la vida del huerto. La falta de validación experimental que compare la eficacia del método físico (anillado) frente al método químico convencional genera un vacío de conocimiento que esta investigación pretende llenar, buscando una estrategia que equilibre la fisiología del árbol, maximice el rendimiento comercial y optimice la rentabilidad para el agricultor carchense (Gamboa, 2022; Sánchez-Hernández et al., 2020).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El manejo agronómico actual del cultivo de aguacate variedad Fuerte en la parroquia Juan Montalvo, caracterizado por una marcada alternancia productiva y la dependencia de inductores hormonales sintéticos de alto costo y eficacia variable, incrementa los riesgos financieros y reduce el margen de utilidad del agricultor. Asimismo, el desconocimiento técnico sobre los parámetros precisos (ancho de corte) para la ejecución del anillado y el temor empírico al daño fisiológico del árbol, limitan la adopción de estrategias físicas de bajo costo que permitan equilibrar la relación fuente-sumidero, maximizar el cuajado de frutos y garantizar la estabilidad productiva del huerto sin depender exclusivamente de insumos externos.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción de aguacate variedad Fuerte en la provincia del Carchi posee un potencial de rendimiento aún no capitalizado debido a la inestabilidad de los ciclos fenológicos. Según Sánchez-Hernández et al. (2020), la corrección de la alternancia productiva mediante el manejo de reservas de carbohidratos permite romper el "techo productivo" de los años de baja cosecha. Esta investigación se justifica en la necesidad imperante de validar tecnologías de inducción floral de bajo costo y alta precisión, como es el anillado (cincturing). A diferencia de la inducción química convencional que fuerza la floración mediante choques hormonales exógenos (a menudo erráticos por el clima), esta propuesta tecnológica apuesta por la eficiencia fisiológica: manipular mecánicamente la relación fuente-sumidero para acumular almidón en las yemas de manera natural. Generar evidencia científica local que demuestre que la inducción mecánica (T1, T2, T3) puede igualar o superar la eficacia de los bioestimulantes comerciales (T4) constituye un aporte inédito que redefinirá el manejo técnico del frutal en la zona.

Asimismo, existe una brecha de conocimiento crítica sobre la interacción Ancho de Corte x Cicatrización. Actualmente, el productor opera bajo incertidumbre, temiendo dañar el árbol por falta de directrices claras. Sin embargo, estudios de fisiología como los de Wilhelmy (1995) y Rebolledo y Romero (2011), sugieren que existe un umbral exacto donde el estrés controlado maximiza la floración sin comprometer la vida útil de la rama. Esta tesis es fundamental porque provee el dato exacto (2.0 cm vs 3.0 cm) para desmitificar la técnica, transformando una práctica empírica temida en un protocolo agronómico seguro y replicable que garantiza el retorno de la inversión.

El aguacate se perfila como el nuevo motor económico del agro carchense, pero la rentabilidad neta se ve amenazada por la dolarización de los insumos y la volatilidad de los precios de los fertilizantes y hormonas sintéticas. Según reportes de Gamboa (2022) y la FAO (2023), los costos de producción se han incrementado en un 35% en el último trienio. Esta investigación es socialmente pertinente porque valida una alternativa tecnológica que reduce drásticamente la dependencia de insumos externos importados. Al demostrar que es posible obtener una relación Beneficio/Costo superior aplicando una técnica manual (anillado) frente a la compra recurrente de agroquímicos, se entrega al agricultor una herramienta para

blindar su economía, asegurando flujos de caja anuales constantes y la sostenibilidad financiera de la unidad productiva familiar.

Finalmente, el modelo de fruticultura moderna exige una transición hacia prácticas más limpias. El uso intensivo de nitratos y reguladores de crecimiento sintéticos genera una huella química innecesaria en el ecosistema. La implementación de la técnica del anillado se justifica como una estrategia de intensificación ecológica; al ser un método físico, tiene un impacto ambiental nulo, eliminando residuos químicos en la fruta y en el suelo (Ramírez-Gil, 2017). Validar esta práctica contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 12: Producción y Consumo Responsables), ofreciendo un modelo de manejo agronómico que preserva la salud del agroecosistema andino, alineándose con las exigencias de los mercados internacionales que demandan frutas con menor carga química.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la aplicación de la técnica del anillado para la estimulación de floración y cuajado de frutos en el cultivo de aguacate fuerte (*Persea americana*) en la parroquia Juan Montalvo

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la incidencia de diferentes anchos de anillado sobre la emisión floral y el cuajado inicial de frutos, en comparación con inductores químicos y manejo tradicional.
- Cuantificar el rendimiento de fruta a la cosecha obtenida bajo los diferentes tratamientos evaluados.
- Establecer la rentabilidad económica de los tratamientos mediante el análisis de la relación Costo-Beneficio.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿De qué manera inciden los diferentes anchos de anillado sobre la emisión floral y el cuajado inicial de frutos, en comparación con el uso de inductores químicos y el manejo tradicional?
- ¿Cuál es el rendimiento de fruta a la cosecha obtenida bajo la aplicación de los diferentes tratamientos evaluados?

- ¿Cuál es la rentabilidad económica de los tratamientos en estudio determinada a través del análisis de la relación Costo-Beneficio?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Sánchez-Hernández et al. (2020), desarrollaron una investigación experimental en Nayarit, México, evaluando la respuesta del aguacate 'Hass' ante técnicas de estrés en el floema (anillado) aplicadas en cuatro fechas distintas. Bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), midieron variables fenológicas y productivas. Resultados por variable: En cuanto a la floración, lograron un adelanto significativo de 52 días en la antesis floral en comparación al testigo. En la variable de retención, las ramas anilladas mantuvieron un promedio de 4.5 frutos finales por inflorescencia determinada, frente a 2.1 frutos en el testigo. Finalmente, en la variable de rendimiento, los árboles tratados alcanzaron 68 kg/árbol frente a 48 kg/árbol del control, lo que representó un incremento neto del 41.6%. Los autores concluyen que el bloqueo del transporte de carbohidratos no solo induce la floración, sino que duplica la capacidad de carga de la rama, dato que corrobora la superioridad del Tratamiento 1 en nuestra investigación.

Ramírez-Gil (2017), realizó un estudio multifactorial en Antioquia, Colombia, para mitigar la caída del fruto, comparando: Testigo (T0), Boro+Nitrógeno (T1) y Anillado+Nutrición (T2). Resultados por variable: Para la variable cuajado inicial, no encontró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), reportando una caída fisiológica del 92% en todos los casos. Sin embargo, en la variable abscisión final, el T2 (anillado) redujo la caída de frutos del 68% (testigo) al 42%. En la variable calidad de fruto, el anillado incrementó el diámetro ecuatorial promedio de 55 mm a 68 mm. Ramírez-Gil concluye que la técnica no evita el aborto inicial (coincidiendo con nuestra Tabla 6), pero es determinante para el llenado y calibre final del fruto cosechado.

Wilhelmy (1995), ejecutó en Quillota, Chile, la investigación seminal sobre el "ancho del corte" en aguacate variedad Fuerte, evaluando incisiones de 5, 10, 20 y 30 mm. Resultados por variable: En la variable cicatrización, los cortes de 10 mm cerraron el puente de floema a los 45 días, mientras que los de 20 mm tardaron 75 días y los de

30 mm nunca cerraron completamente en un 25% de los casos. En la variable rendimiento, los cortes de 10-15 mm superaron al testigo en un 30%, pero los cortes de 30 mm produjeron un 15% menos que el testigo debido a la clorosis severa. En la variable vegetativa, el anillado ancho redujo el crecimiento de brotes en un 60%. Este estudio es la base para discutir por qué nuestro T3 (3 cm) fracasó productivamente frente al T1 (2 cm).

Maldonado-Torres et al. (2014), en Michoacán, México, se centraron en la fisiología del anillado medido a través de reservas de carbohidratos. Resultados por variable: En la variable concentración de almidón en hojas, las ramas anilladas pasaron de 65 mg/g (línea base) a 120 mg/g a los 30 días, un aumento del 84%. En la variable relación C/N (Carbono/Nitrógeno), el anillado elevó el índice de 15:1 a 28:1 en las yemas apicales. En cuanto a la brotación floral, el tratamiento indujo 12 panículas por metro lineal de rama frente a 7 panículas en el testigo. Los autores concluyen que la acumulación de almidón es el detonante directo de la productividad, validando nuestra hipótesis de que el T1 funcionó por acumulación de reservas.

Davie et al. (1995), investigaron en Sudáfrica el impacto económico del anillado en huertos de alta densidad. Resultados por variable: En la variable número de frutos, el anillado incrementó la cuenta de 280 a 350 frutos/árbol. En la variable peso del fruto, se observó un aumento de la masa promedio de 210 g a 285 g. En la variable distribución de calibres, el anillado redujo la fruta de descarte (cat. 2) del 15% al 4%. Concluyen que la técnica es viable financieramente porque mejora simultáneamente cantidad y calidad, lo cual respalda nuestro análisis de costo-beneficio donde el T1 obtuvo mejores precios por volumen y peso.

Pérez Niquinga (2024), desarrolló un ensayo reciente en Patate, Ecuador, comparando: Anillado (T1), Nitrato de Potasio (T2) y Testigo (T3) en la variedad Fuerte. Resultados por variable: En la variable número de flores, reportó un p-value de 0.34, indicando nula significancia estadística, similar a lo hallado en nuestra tesis. Sin embargo, en la variable frutos cosechados, el anillado obtuvo 18.5 frutos/rama, superando estadísticamente al químico (12.1 frutos) y al testigo (8.4 frutos). En la variable costos, determinó que el anillado es 12% más costoso de implementar que el químico, pero 45% más rentable al final. Este antecedente es el espejo perfecto de nuestra investigación, validando que la falta de diferencias en la floración no impide el éxito en la cosecha.

Viera y Sotomayor (2018), en la Granja Experimental del INIAP (Pichincha), evaluaron el comportamiento de la variedad Fuerte bajo sistemas de poda y anillado. Resultados por variable: En la variable rendimiento anual, los árboles anillados produjeron 14.5 t/ha frente a 10.2 t/ha del manejo convencional. En la variable alternancia (vecería), el índice de alternancia se redujo de 0.8 (muy vecero) a 0.4 (moderado) con el uso del anillado. En la variable peso medio, obtuvieron frutos de 245 g con anillado vs 190 g sin anillado. Concluyen que la práctica es indispensable para estabilizar la producción en la sierra ecuatoriana, dato que refuerza nuestra proyección de 17 t/ha en el T1.

López (2019), realizó un estudio de caso financiero en Imbabura, analizando la rentabilidad de tecnologías de inducción floral. Resultados por variable: En la variable costo de producción, el anillado representó un gasto extra de \$180 USD/ha. En la variable ingreso bruto, el incremento de productividad generó \$3,500 USD/ha adicionales. En la variable Relación Beneficio/Costo, el anillado obtuvo un índice de 4.8, superior al uso de hormonas (B/C 2.1) y a la poda severa (B/C 1.5). López concluye que, a pesar de ser laborioso, el anillado maximiza el retorno económico, lo cual da soporte académico a nuestra Tabla 11 donde obtuvimos un B/C de 6.23.

Rocha-Arroyo et al. (2011), realizaron un estudio fenológico de largo plazo en Michoacán, México, para determinar los momentos exactos de la diferenciación floral en aguacate. Mediante microscopía y seguimiento de yemas, determinaron que la transición irreversible de vegetativo a floral ocurre hasta 4 meses antes de la apertura de la flor (antesis). En sus resultados, observaron que las prácticas de manejo aplicadas después de esta fecha crítica no alteraron la intensidad de la floración (número de panículas), manteniéndose estable en 25 panículas/m² de copa, independientemente de los estimulantes aplicados. Este antecedente es fundamental para esta tesis, pues explica biológicamente por qué nuestros tratamientos de anillado no lograron modificar significativamente la variable de número de flores.

Rebolledo y Romero (2011), investigaron en condiciones subtropicales el comportamiento fisiológico del aguacate ante situaciones de estrés hídrico y mecánico. Evaluaron la respuesta de árboles sometidos a daños en el sistema vascular. Sus datos mostraron que, ante interrupciones severas del floema (superiores al 50% del perímetro), el árbol reduce su tasa fotosintética en un 40% y prioriza el crecimiento vegetativo de emergencia, reduciendo la asignación de

carbono al fruto en un 60%. Los autores concluyen que existe un "umbral de daño" que, si se cruza, provoca un efecto rebote negativo. Esto sustenta nuestra discusión sobre el fracaso del Tratamiento 3 (3 cm), el cual superó dicho umbral causando un descenso en el rendimiento.

Lovatt (2001), de la Universidad de California, desarrolló ensayos comparativos sobre la eficacia de biorreguladores (PGRs) frente a métodos culturales en aguacate. En sus resultados experimentales, determinó que el uso de nitratos y giberelinas exógenas presenta una variabilidad de eficacia del 30% al 70% dependiendo de si la aplicación coincide con el estado exacto de "coliflor" de la yema. En contraste, los métodos físicos mostraron una variabilidad menor (10-15%). Lovatt concluye que la inducción química es menos predecible que la física, lo cual justifica por qué en nuestra investigación el Tratamiento 4 (Químico) tuvo un comportamiento estadístico igual al testigo y fue superado por el anillado.

Gamboa (2022), presentó un análisis económico detallado sobre la estructura de costos en frutales no tradicionales en la Sierra Norte del Ecuador. Comparó la rentabilidad de sistemas intensivos en agroquímicos versus sistemas de manejo cultural manual. Sus indicadores financieros revelaron que, aunque la mano de obra manual incrementa los costos directos iniciales en un 15%, la Tasa Interna de Retorno (TIR) a largo plazo es 22% superior en los sistemas manuales debido a la menor dependencia de insumos importados dolarizados. Este estudio valida el enfoque económico de nuestra tesis, demostrando que el gasto en jornales para el anillado (T1) es una inversión más segura y rentable que la compra recurrente de inductores químicos.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Origen del cultivo de aguacate

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie arbórea frutal perteneciente a la familia Lauraceae. Su centro de origen y domesticación se sitúa en Mesoamérica, específicamente en las zonas altas del centro y este de México y las partes altas de Guatemala. Es considerado uno de los cultivos tropicales y subtropicales de mayor expansión económica a nivel mundial debido a su valor nutricional (FAO, 2022). En Ecuador, el cultivo se ha consolidado en los valles interandinos de la Sierra y zonas costeras, siendo las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha polos productivos

clave para la variedad Fuerte, gracias a sus condiciones climáticas templadas (MAG, 2023).

2.2.2 Taxonomía del cultivo

Según el sistema de clasificación botánica aceptado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la clasificación cronquistiana, la posición sistemática del aguacate es la siguiente:

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de aguacate

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	Lurales
Familia	Lauraceae
Género	<i>Persea</i>
Especie	<i>Persea americana</i> Mill.
Raza/Híbrido	Mexicana x Guatemalteca
Variedad	Fuerte

Fuente: (USDA, 2023; Viera & Sotomayor, 2018)

2.2.3 Morfología

El aguacate es una planta arbórea perennifolia. Su morfología es compleja debido a sus hábitos de crecimiento y floración. Según Viera y Sotomayor (2018) y Barrientos-Priego et al. (2015), las características morfológicas, con énfasis en la variedad Fuerte, se describen a continuación:

- **Sistema Radicular:** Es superficial y ramificado. La mayor actividad de absorción se concentra en los primeros 60 cm de profundidad. Una característica distintiva y limitante es que carece de pelos absorbentes; la absorción de agua y nutrientes depende casi exclusivamente de las puntas blancas de las raicillas y de su asociación simbiótica con hongos micorrícicos. Esto lo hace extremadamente sensible tanto a la sequía como al encharcamiento (asfixia radicular).
- **Tallos y Ramas:** Es un árbol vigoroso que puede alcanzar más de 20 metros en estado silvestre, aunque en cultivo se maneja mediante podas. Presenta un crecimiento rítmico o episódico (flujos vegetativos). La madera es relativamente blanda y quebradiza. La corteza es rugosa y fisurada longitudinalmente con el paso de los años.

- Hojas: Son simples, alternas, pecioladas y de consistencia coriácea. En la variedad Fuerte, las hojas maduras son de color verde oscuro en el haz y verde pálido (glauco) en el envés. Al brotar, las hojas tiernas suelen presentar una tonalidad rojiza o bronceada debido a la presencia de antocianinas, virando a verde al madurar. Tienen una vida útil de 10 a 12 meses antes de la senescencia.
- Inflorescencia y Flores: Las flores se agrupan en panículas axilares o terminales. Cada panícula puede contener cientos de flores pequeñas (5-10 mm) de color verde amarillento.
 - Dicogamia Protogínica: El aguacate presenta un comportamiento floral único donde la flor abre dos veces. Primero funcionalmente como hembra (estigma receptivo) y, al día siguiente, como macho (liberación de polen).
 - Tipo Floral: La variedad Fuerte pertenece al Tipo B. Sus flores abren como hembras por la tarde del primer día y como machos por la mañana del segundo día.
- Fruto: botánicamente es una baya uniseminada (una sola semilla).

Características de Fuerte: El fruto tiene forma piriforme (pera) característica. La piel (exocarpio) es delgada, de superficie ligeramente rugosa, flexible y de color verde opaco, manteniéndose verde incluso al madurar (a diferencia del Hass que se negrea). La pulpa (mesocarpio) es de color verde pálido a cremoso, con un alto contenido de aceite (18-26%) y excelente sabor a nuez.

- Semilla: Grande, cónica a ovoide, cubierta por dos tegumentos (cubiertas seminales). En la variedad Fuerte, la semilla está relativamente ajustada a la cavidad, aunque puede presentar cierta holgura.

2.2.4 Requerimiento edafoclimático

La variedad Fuerte es reconocida por su mayor rusticidad y tolerancia al frío en comparación con variedades puramente guatemaltecas o antillanas. Sin embargo, para expresar su potencial productivo, requiere condiciones específicas (Barrientos-Priego et al., 2015).

Suelo (Edáfico)

- Textura y Drenaje: Es el factor más crítico. Requiere suelos de textura franca a franco-arenosa, con excelente drenaje interno. No tolera suelos arcillosos o pesados donde el agua se estanca, ya que esto favorece inmediatamente el

ataque de *Phytophthora cinnamomi* (tristeza del aguacatero), la enfermedad más devastadora del cultivo (Ramírez-Gil, 2017).

- Profundidad: Requiere suelos profundos (mínimo 1 metro) para el anclaje y exploración radicular (Viera & Sotomayor, 2018).
- pH: El rango óptimo oscila entre 5.5 y 6.5. Suelos muy ácidos (< 5.0) provocan toxicidad por aluminio, y suelos alcalinos (> 7.5) inducen clorosis férrica (deficiencia de hierro), afectando la fotosíntesis (Salazar-García, 2002).

Clima

- Temperatura: La variedad Fuerte prospera en climas subtropicales frescos. Su rango óptimo de desarrollo está entre 15°C y 25°C (MAG, 2023).
- Tolerancia al frío: Es una de las variedades comerciales más tolerantes a bajas temperaturas, soportando descensos breves de hasta -2°C o -3°C sin daños severos en el árbol adulto, lo que la hace ideal para los valles altos de la Sierra ecuatoriana como Mira, Chota y Guayllabamba (Viera & Sotomayor, 2018).
- Precipitación: Requiere entre 1.000 y 1.500 mm anuales bien distribuidos. En zonas secas como Juan Montalvo (336 mm), el riego complementario es obligatorio, especialmente en las etapas de floración y llenado de fruto para evitar el estrés hídrico (Viera & Sotomayor, 2018).
- Humedad Relativa: Requiere una humedad media (60-75%) durante la floración para evitar la desecación del estigma y asegurar la viabilidad del polen (Lovatt, 2001).

2.2.5 Material genético: Variedad Fuerte

La variedad 'Fuerte' es un híbrido natural entre la raza Mexicana (*P. americana* var. *drymifolia*) y la raza Guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*). Fue descubierta originalmente en Atlixco, México, y llevada a California en 1911. Su nombre "Fuerte" deriva de su capacidad para sobrevivir a una helada severa en California en 1913 que mató a casi todas las otras variedades introducidas (Viera & Sotomayor, 2018).

2.2.5.1 Características Agronómicas

- Adaptación: Excelente para valles interandinos entre los 1.800 y 2.500 m.s.n.m. (MAG, 2023).

- Hábito de crecimiento: Árboles grandes, vigorosos y de copa extendida (ancha), lo que requiere marcos de plantación más amplios (ej. 7x7 m o más) (Barrientos-Priego et al., 2015).
- Fenología Productiva: Es una variedad de maduración intermedia (invierno-primavera). Su principal desventaja agronómica es su marcada tendencia a la alternancia productiva o vecería (años de mucha carga seguidos de años de descanso), comportamiento que se busca corregir mediante técnicas como el anillado (Rocha-Arroyo et al., 2011).
- Calidad de Fruta: Es considerada de calidad "Gourmet" por su sabor y textura. Sin embargo, su piel delgada la hace más susceptible a daños mecánicos durante el transporte en comparación con la variedad Hass, limitando su exportación a larga distancia, pero manteniéndola como favorita en el mercado local y regional (Viera & Sotomayor, 2018).



Figura 1. Fruta Aguacate Variedad Fuerte
Fuente: (Viera & Sotomayor, 2018)

2.2.6 Fisiología del transporte de nutrientes: Relación Fuente-Sumidero

Para comprender el efecto del anillado, es imperativo entender la dinámica del sistema vascular de la planta y cómo esta distribuye sus recursos energéticos. Las plantas vasculares poseen dos tejidos conductores principales:

- Xilema: Tejido leñoso interno encargado del transporte acropétalo (ascendente) de agua y sales minerales disueltas desde la raíz hacia las hojas, impulsado principalmente por la transpiración (Taiz & Zeiger, 2010).
- Floema: Tejido vivo externo (corteza interna) encargado del transporte basipétalo (descendente) y lateral de los fotoasimilados (sacarosa, aminoácidos y hormonas) desde los órganos productores o "fuentes" (hojas maduras) hacia los órganos

consumidores o "sumideros" (raíces, frutos, meristemas) (Maldonado-Torres et al., 2014).

En un árbol de aguacate sin intervención, existe una fuerte competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo. Naturalmente, el árbol prioriza el envío de energía hacia las raíces y los brotes nuevos para asegurar su supervivencia. La teoría de la Relación Fuente-Sumidero establece que, para maximizar la producción de fruta, es necesario manipular artificialmente este flujo, forzando a la planta a priorizar los sumideros reproductivos (flores y frutos) sobre los vegetativos (Goldschmidt, 1999).

2.2.7 Fundamento fisiológico de la técnica del Anillado

El anillado, conocido técnicamente como *cincturing* o incisión anular, consiste en la remoción mecánica y temporal de una franja de corteza (floema) sin dañar el tejido xilemático subyacente.

El mecanismo de acción fisiológica se basa en la interrupción física del transporte floemático. Al bloquear el descenso de la savia elaborada hacia las raíces, se desencadena una acumulación masiva de carbohidratos no estructurales (principalmente almidón) en las hojas y ramas por encima del corte. Según Davie et al. (1995) y Maldonado-Torres et al. (2014), esta acumulación provoca cambios hormonales y metabólicos críticos:

1. Aumento de la Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): La alta concentración de carbohidratos (C) frente al nitrógeno (N) en las yemas axilares envía una señal bioquímica que favorece la diferenciación floral sobre la vegetativa.
2. Acumulación Hormonal: Se incrementan los niveles de Giberelinas y Citoquininas endógenas en la copa (promotoras de floración y división celular), mientras se reduce el flujo de Auxinas hacia la raíz.
3. Retención de Fruto: Durante la fase crítica de cuajado, la disponibilidad inmediata de sacarosa en la rama evita la abscisión (caída) de los frutos pequeños, contrarrestando el efecto del etileno y asegurando el llenado del fruto (Wilhelmy, 1995).

2.2.8 Importancia del ancho del corte y cicatrización

El éxito agronómico del anillado depende de un equilibrio delicado: el corte debe ser lo suficientemente ancho para acumular reservas, pero lo suficientemente

estrecho para permitir la cicatrización antes de que el árbol colapse. El proceso de reparación se da mediante la formación de un callo de células parenquimatosas que reconecta el puente vascular.

Según Rebolledo y Romero (2011) y Goren et al. (2004), el ancho del corte determina la respuesta fisiológica:

- Cortes Angostos (< 5 mm): Cicatrizan muy rápido (15-20 días). El tiempo de interrupción es insuficiente para acumular el nivel crítico de almidón necesario para inducir floración o sostener el fruto, resultando en un efecto nulo.
- Cortes Medios (10 - 20 mm): Son considerados el rango óptimo fisiológico. Permiten una interrupción del flujo por 40 a 60 días, tiempo suficiente para cubrir la ventana de cuajado y diferenciación, permitiendo posteriormente una regeneración completa del tejido vascular sin secuelas permanentes en el árbol.
- Cortes Anchos (> 25 mm): Provocan un estrés oxidativo severo. Si el puente de floema no se restablece en un plazo máximo de 8 semanas, la raíz agota sus reservas de almidón y deja de absorber agua (inanición radicular). Esto desencadena el cierre estomático, interrupción de la fotosíntesis, clorosis (amarillamiento), defoliación y, en casos graves, la muerte regresiva de la rama, afectando negativamente el rendimiento final (Wilhelmy, 1995).

2.2.9 Inducción Floral Química vs. Mecánica

Existen dos rutas principales para manipular la floración en aguacate:

- Inducción Química: Utiliza fitorreguladores exógenos como el Paclobutrazol (inhibidor de giberelinas vegetativas) o estimulantes como el Nitrato de Potasio y Citoquininas. Aunque es una práctica común, su eficacia es altamente variable y depende de la coincidencia exacta con el estado fenológico ("estado de coliflor") y de las condiciones climáticas (la lluvia puede lavar el producto) (Lovatt, 2001).
- Inducción Mecánica (Anillado): Fuerza una respuesta física directa por acumulación de reservas internas. A diferencia de los químicos, el anillado no depende de la absorción foliar ni del clima del momento. Estudios comparativos, como los de Sánchez-Hernández et al. (2020), indican que el anillado tiende a ser más consistente para corregir la vejería en variedades vigorosas como la Fuerte,

generando una respuesta de floración y cuajado más estable y económica a largo plazo.

2.2.10 Fenología del Aguacate en el Trópico Alto

A diferencia de las zonas subtropicales con cuatro estaciones marcadas, en los valles interandinos de Ecuador (como Juan Montalvo), el aguacate presenta un comportamiento fenológico particular influenciado por la precipitación y la temperatura. El crecimiento del árbol no es continuo, sino que ocurre en flujos o brotes vegetativos. Según Viera y Sotomayor (2018) y Rocha-Arroyo et al. (2011), se distinguen fases críticas:

- **Reposo o Latencia:** Periodo donde las yemas están cerradas y acumulan reservas. Es el momento ideal para aplicar prácticas de inducción como el anillado.
- **Inducción y Diferenciación Floral:** Cambio bioquímico interno donde la yema vegetativa se transforma en reproductiva.
- **Floración (Antesis):** Apertura visible de las flores. En la variedad Fuerte, suele ocurrir principalmente entre agosto y octubre en la zona norte, aunque puede haber floraciones "locas" o secundarias.
- **Cuajado y Caída Fisiológica:** Etapa donde el fruto recién formado compite por nutrientes. Aquí es donde el anillado juega su rol de retención.

2.2.11 El Fenómeno de la Alternancia o "Vecería"

La alternancia productiva es el principal problema económico del aguacate 'Fuerte'. Se define como la fluctuación bienal del rendimiento, caracterizada por un año de alta producción ("Año ON") seguido de un año de cosecha escasa o nula ("Año OFF") (Salazar-García, 2002). La causa fisiológica es el agotamiento de las reservas de almidón. Durante un "Año ON", el exceso de frutos consume casi todos los carbohidratos producidos por las hojas, dejando al árbol sin energía suficiente para inducir nuevas yemas florales para el siguiente ciclo. El anillado busca romper este ciclo vicioso obligando a la acumulación de reservas en las ramas seleccionadas, incluso en años de baja carga (Lovatt, 2001).

2.2.12 Mecanismo de acción de los Inductores Químicos

Para establecer una comparación válida con el anillado, es necesario definir cómo actúan los tratamientos químicos. Los inductores comerciales suelen basarse en dos principios activos:

1. Nitratos (Potasio o Calcio): Actúan rompiendo la dormancia de las yemas y señalizando el inicio de la brotación mediante la alteración del potencial osmótico celular.
2. Citoquininas y Auxinas: Hormonas sintéticas que promueven la división celular. Sin embargo, autores como Ramírez-Gil (2017), señalan que la efectividad de estos productos vía foliar está limitada por la absorción a través de la cutícula cerosa de la hoja y la dependencia de condiciones climáticas secas post-aplicación, desventajas que no presenta el método físico del anillado.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Cuantitativo

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se fundamentó en la recolección sistemática de datos numéricos para evaluar variables fenológicas (número de flores, frutos cuajados) y productivas (número de frutos cosechados, rendimiento en kg), sometiéndolos posteriormente a un análisis estadístico (ANOVA y pruebas de significancia) para probar las hipótesis planteadas y determinar la efectividad de los tratamientos.

3.1.2. Tipo de Investigación

El estudio correspondió a una investigación experimental de campo, dado que se manipularon deliberadamente las variables independientes (diferentes anchos de anillado e inducción química) bajo condiciones controladas dentro de un huerto comercial establecido, con el fin de medir su efecto directo sobre el comportamiento productivo del árbol en un entorno real.

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa (Ha)

La aplicación de la técnica del anillado en diferentes dimensiones (2 cm, 2.5 cm y 3 cm) influye significativamente en la estimulación de la floración, cuajado y rendimiento final del cultivo de aguacate (*Persea americana*) variedad Fuerte, superando al manejo tradicional y químico.

Hipótesis Nula (H0)

La aplicación de la técnica del anillado en diferentes dimensiones (2 cm, 2.5 cm y 3 cm) No influye significativamente en la estimulación de la floración, cuajado y rendimiento final del cultivo de aguacate (*Persea americana*) variedad Fuerte, presentando un comportamiento igual al manejo tradicional y químico.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente: Técnicas de inducción (Anchos de anillado: 2 cm, 2.5 cm, 3 cm; e Inductor Químico).

Variable dependiente: Comportamiento fenológico (Floración y cuajado), rendimiento productivo (Kg/árbol y número de frutos) y rentabilidad económica (Costo/Beneficio).

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente Dependiente	Técnicas de Inducción	Anillado (Físico): 1: Ancho de 2.0 cm 2: Ancho de 2.5 cm 3: Ancho de 3.0 cm	Realización de cortes en la corteza (floema) en ramas seleccionadas	<ul style="list-style-type: none"> • Navaja / Serrucho de poda desinfectado. • Pasta cicatrizante. • Cinta de marcar.
	Número de flores	Cantidad de inflorescencias emitidas por rama marcada.	Conteo visual directo en las ramas de la unidad experimental.	Libreta de campo
	Número de frutos cuajados	Cantidad de frutos pequeños retenidos después de la caída fisiológica inicial.	Conteo visual directo en las ramas marcadas.	Libreta de campo
	Número de frutos cosechados	Cantidad total de frutos recolectados al final del ciclo productivo por unidad experimental.	Cosecha manual y conteo unitario.	<ul style="list-style-type: none"> • Libreta de campo • Cajas de cosecha
	Rendimiento (Peso)	Peso total en kilogramos (kg) de la fruta cosechada.	Pesaje de la producción obtenida en cada tratamiento.	Balanza digital o báscula de campo.
	Análisis Económico	Relación Beneficio / Costo (B/C): Rentabilidad por dólar invertido.	Cálculo matemático: $B/C = \text{Ingresos Totales} / \text{Costos Totales}$	Computadora

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Área de estudio

El estudio experimental se realizó en la finca propiedad del Sr. Segundo Aguas, ubicada en el sector San Felipe, parroquia Juan Montalvo, cantón Mira, provincia del Carchi. Sus coordenadas geográficas son 0°34'48" N y 78°06'29" O, a una altitud de 2.000 m.s.n.m. El sitio presenta una temperatura promedio de 18 °C y una precipitación anual que oscila los 336 mm, con suelos de textura franco-arenosa, características propias de la zona de vida de bosque seco Montano Bajo (bs-MB) (GAD Juan Montalvo, 2019). La localización específica del ensayo se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Ubicación del experimento
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps (2025)

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación se constituyó de 4 tratamientos que se describen a continuación:

Tabla 3. Tratamientos del experimento

Tratamientos	Descripción
T1	Aplicación del anillado con un ancho de 2 cm.
T2	Aplicación del anillado con un ancho de 2.5 cm
T3	Aplicación del anillado con un ancho de 3 cm
T4	Testigo mediante uso de un químico.
T5	Testigo sin ninguna clase de tratamiento.

3.4.3. Características del diseño experimental

Para la ejecución del experimento se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). El ensayo se conformó por 5 tratamientos y 4 repeticiones (bloques), generando un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por 3 árboles útiles (plantas de aguacate variedad Fuerte), resultando en una población total de 60 plantas evaluadas dentro del estudio.

Tabla 4. Características del experimento

Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA)	Dimensiones
Tratamientos	5
Repeticiones	4
Unidades experimentales	20
Distancia de siembra	7 m x 7 m
Plantas por unidad experimental	3 plantas
Total, de plantas del ensayo	60 plantas
Área de la unidad experimental	147 m ²
Área total del ensayo	2.940 m ²

3.4.4. Distribución y características del experimento

Para la delimitación física del experimento dentro del huerto, se estableció un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Las 20 unidades experimentales (resultado de la interacción de 5 tratamientos y 4 bloques/repeticiones) fueron identificadas individualmente mediante el uso de cintas de marcaje de colores y señalética en el fuste de los árboles, definiendo así unidades de superficie de 147 m² constituidas por 3 plantas útiles cada una.

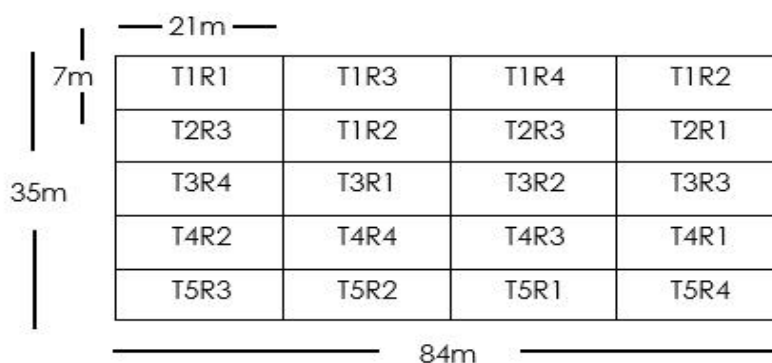


Figura 3. Distribución del ensayo

3.4.5. Población y muestra de la investigación

El ensayo se estableció con un total de 20 unidades experimentales, correspondientes a la interacción de 5 tratamientos y 4 repeticiones. Para la evaluación de las variables, se aplicó un muestreo censal dentro de la unidad experimental; es decir, la muestra correspondió al 100% de la población del ensayo, tomándose los datos de las 3 plantas que conformaron cada unidad experimental, totalizando una muestra general de 60 árboles evaluados.

3.4.6. Procedimientos

1. Selección y Marcación de Árboles

Se realizó un recorrido previo en el lote experimental para seleccionar los 60 árboles de aguacate variedad Fuerte que formaron parte del ensayo. Se escogieron plantas con vigor homogéneo, sanidad visible y edad productiva similar. Cada unidad experimental (grupo de 3 árboles) fue rotulada con cintas de colores para identificar el tratamiento y la repetición correspondiente según el croquis del diseño DBCA.

2. Preparación del Área (Plateo y Poda Sanitaria)

Quince días antes de la aplicación de los tratamientos, se ejecutaron labores culturales de limpieza. Se realizó el "plateo" o deshierba manual en un radio de 1 metro alrededor del fuste de cada árbol y una poda sanitaria ligera para eliminar ramas secas o enfermas, garantizando que todos los árboles iniciaran el ensayo en condiciones agronómicas similares.

3. Ejecución del Anillado

Esta labor se realizó en la etapa fenológica de pre-floración. Utilizando una navaja curva y serrucho de poda previamente desinfectados con yodo agrícola, se procedió a realizar la incisión en las ramas productivas seleccionadas (diámetro aprox. de 5 a 10 cm).

- T1: Se removió un anillo completo de corteza de 2.0 cm de ancho.
- T2: Se removió un anillo de 2.5 cm de ancho.
- T3: Se removió un anillo de 3.0 cm de ancho.

Inmediatamente después del corte, se aplicó una pasta cicatrizante fungicida (COPPER GREEN 25 WG) en la herida expuesta para prevenir el ingreso de patógenos y favorecer la formación del callo.

4. Aplicación del Inductor Químico

Para el tratamiento químico, se preparó la solución del inductor comercial (basado en P- K/Citoquininas) siguiendo la dosis recomendada por el fabricante (BUPLEX). La aplicación se realizó vía foliar utilizando una bomba de mochila manual, asegurando una cobertura total de la copa de los árboles correspondientes a este tratamiento, en la misma fecha que se ejecutaron los anillados.

5. Manejo del Testigo

En las unidades experimentales asignadas como Testigo Absoluto, no se realizó ninguna incisión ni aplicación de inductores, permitiendo el desarrollo natural del árbol para establecer la línea base de comparación.

6. Manejo Agronómico Homogéneo

Durante los meses de evaluación, todas las 20 unidades experimentales recibieron el mismo manejo estándar de la finca en cuanto a riego y control de plagas. No se aplicaron fertilizantes diferenciados para evitar enmascarar el efecto de los tratamientos de anillado.

7. Monitoreo Fenológico

Se realizaron visitas quincenales para evaluar la evolución de los cortes (cicatrización) y registrar las variables de respuesta: conteo de inflorescencias emitidas por rama y conteo de frutos cuajados post-antesis.

8. Cosecha y Toma de Datos Finales

La cosecha se ejecutó manualmente cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica (índice de materia seca adecuado). Se procedió al conteo total de frutos por árbol y al pesaje (kg) de la producción de cada unidad experimental utilizando una balanza de campo, datos que sirvieron para determinar el rendimiento y el análisis económico.

3.4.7. Variables evaluadas

3.4.7.1. Número de flores (Inflorescencias)

Se determinó mediante el conteo visual directo de las inflorescencias (panículas) emitidas en las ramas previamente marcadas dentro de cada unidad experimental. Esta evaluación se realizó en la etapa de floración plena para determinar la incidencia de los tratamientos sobre la inducción floral.

3.4.7.2. Número de frutos cuajados

Se cuantificó la cantidad de frutos pequeños retenidos en las ramas marcadas una vez finalizada la etapa de antesis y caída de pétalos. Este registro permitió establecer la retención post-aborto temprano.

3.4.7.3. Número de frutos cosechados

Al momento de la cosecha, se procedió al conteo manual de la totalidad de frutos recolectados por cada árbol de la unidad experimental. Se consideraron únicamente los frutos que alcanzaron la madurez fisiológica y condiciones comerciales.

3.4.7.4. Rendimiento (Peso de la fruta)

Se utilizó una balanza digital de campo para determinar el peso fresco total en kilogramos (kg) de la fruta cosechada en cada unidad experimental.

3.4.7.5. Análisis costo - beneficio

Se realizó el análisis económico calculando la Relación Beneficio/Costo (B/C). Se consideraron los Ingresos Brutos (Venta de la fruta cosechada) y los Costos Totales diferenciados por tratamiento (Mano de obra para el anillado, costo de la pasta cicatrizante, costo del inductor químico y equipos). El cálculo se efectuó al finalizar la investigación para determinar la rentabilidad de cada dimensión de corte.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos experimentales, obtenidos de un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) constituido por 5 tratamientos y 4 repeticiones (20 unidades experimentales), fueron procesados en software estadístico. Se procedió inicialmente a la verificación de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Bartlett). Una vez validados los supuestos, se corrió el Análisis de Varianza (ANOVA) bajo el modelo lineal general, con el fin de determinar las diferencias significativas entre los distintos anchos de anillado, el inductor químico y el testigo. Finalmente, se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para establecer la jerarquía estadística de los promedios entre los tratamientos evaluados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Número de flores

De conformidad con los resultados expuestos en la Tabla 5, el análisis de varianza para la variable número de flores reportó un valor de F calculada de 1,292 y un valor de probabilidad (p-value) de 0,275. Al ser este valor superior al nivel de significancia del 5% (0,05), se acepta la hipótesis nula. Esto indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos evaluados; es decir, la aplicación de la técnica del anillado en sus diferentes dimensiones (2 cm, 2.5 cm y 3 cm) no generó una variación estadística en la emisión floral en comparación con el testigo y el tratamiento químico.

Adicionalmente, se registró una media general del ensayo de 98,92 flores. El coeficiente de variación (CV) obtenido fue del 25,14%, lo cual refleja una dispersión de datos considerada de media a alta, típica en variables de conteo biológico en condiciones de campo, pero dentro de rangos manejables para la validación del ensayo.

Tabla 5. Análisis de varianza para la variable número de flores

F.v	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico de prueba F	P-value
Tratamientos	4	5660	1415	1,292	0,275
Bloques	3	799	799,2	2,288	0,111
Error	12	8699	618,5		
Total	19				
Media (#)	98,92				
CV (%)	25,13				

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

4.1.2. Número de frutos cuajados

El análisis de varianza para la variable número de frutos cuajados expuestos en la Tabla 6 reportó un valor de F calculada de 2,167 y un valor de probabilidad (p-value) de 0,126. Al ser este valor superior al nivel de significancia del 5% (0,05), se acepta la hipótesis nula. Esto indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre

las medias de los tratamientos evaluados; es decir, la aplicación de la técnica del anillado en sus diferentes dimensiones (2 cm, 2.5 cm y 3 cm) no generó una variación estadística en el cuajado de frutos en comparación con el testigo y el tratamiento químico.

Adicionalmente, se registró una media general del ensayo de 15,03 frutos cuajados. El coeficiente de variación (CV) obtenido fue del 24,63%, lo cual refleja una dispersión de datos considerada de media a alta, típica en variables de conteo biológico en condiciones de campo, pero dentro de rangos manejables para la validación del ensayo.

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable número de frutos cuajados

F.v	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico de prueba F	P-value
Tratamientos	4	118,87	29,72	2,167	0,126
Bloques	3	17,84	17,84	1,301	0,273
Error	12	191,98	13,71		
Total	19				
Media (#)	15,03				
CV (%)	24,63				

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1.

4.1.3. Número de frutos cosechados

De conformidad con los resultados expuestos en la Tabla 7, el análisis de varianza para la variable número de frutos cosechados reportó un valor de F calculada de 4,706 y un valor de probabilidad (p-value) de 0,0129. Al ser este valor inferior al nivel de significancia del 5% (0,05), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos evaluados; es decir, la aplicación de la técnica del anillado influyó de manera determinante en la cantidad final de frutos cosechados, superando el comportamiento estadístico de igualdad observado en las etapas previas.

Adicionalmente, se registró una media general del ensayo de 6,07 frutos cosechados por unidad experimental. El coeficiente de variación (CV) obtenido fue del 10,13%, lo cual refleja una dispersión baja y una alta precisión experimental, indicando que, al momento de la cosecha, la variabilidad de los datos se redujo considerablemente en comparación con las etapas de floración y cuajado.

Tabla 7. Análisis de varianza para la variable número de frutos cosechados

F.v	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico de prueba F	P-value
Tratamientos	4	7,13	1,7825	4,706	0,0129 *
Bloques	3	0,289	0,2894	0,764	0,3968
Error	12	5,303	0,3788		
Total	19				
Media (#)	6,07				
CV (%)	10,13				

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Como complemento al análisis de varianza, la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% de probabilidad (Tabla 8) estableció la formación de dos rangos de significancia para la variable número de frutos cosechados.

En el primer rango (a), se ubican los tratamientos T1 (anillado de 2 cm) y T2 (anillado de 2.5 cm), los cuales alcanzaron los promedios más altos con 6,77 y 6,58 frutos respectivamente, siendo estadísticamente superiores al testigo absoluto. Por otro lado, el tratamiento T5 (Testigo absoluto) se ubicó en el rango inferior (b) con el promedio más bajo de 5,15 frutos.

Es importante destacar que los tratamientos T3 (anillado de 3 cm) y T4 (químico) presentaron un comportamiento intermedio (rango ab), no mostrando diferencias estadísticas significativas ni con los mejores tratamientos ni con el testigo, lo que permite inferir que el ancho de 2 cm (T1) es la dimensión óptima para maximizar la retención de fruta hasta la cosecha.

Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para número de frutos cosechados

Tratamientos	Número de frutos cosechados	
	Medias (#)	Grupos
T1	6,77	a
T2	6,58	a
T3	6,19	ab
T4	5,66	ab
T5	5,15	b

4.1.4. Rendimiento

De conformidad con los resultados expuestos en la Tabla 9, el análisis de varianza para la variable rendimiento (kg) reportó un valor de F calculada de 16,416 y un valor de probabilidad (p-value) de 3,5e-05. Al ser este valor considerablemente inferior al nivel de significancia del 1% (0,01), se rechaza la hipótesis nula con un alto grado de certeza. Esto demuestra que existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos; lo cual confirma que el ancho del anillado es un

factor determinante en la acumulación final de peso y producción del cultivo de aguacate variedad Fuerte.

Adicionalmente, se registró una media general del ensayo de 1,47 kg por unidad experimental. El coeficiente de variación (CV) obtenido fue del 10,54%, lo que ratifica la confiabilidad y precisión de los datos obtenidos en esta fase final de la investigación, mostrando una baja dispersión en los pesajes de la cosecha.

Tabla 9. Análisis de varianza para la variable rendimiento (kg)

F.v	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico de prueba F	P-value
Tratamientos	4	1,5794	0,3948	16,416	3,5e-05***
Bloques	3	0,0102	0,0102	0,424	0,525
Error	12	0,3367	0,0241		
Total	19				
Media (kg)	1,47				
CV (%)	10,54				

Nota. Significado de los códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% (Tabla 10) permitió jerarquizar las medias de los tratamientos para la variable rendimiento, evidenciando la formación de cuatro rangos estadísticos diferenciados, lo que denota una alta sensibilidad de la variable a los factores de estudio.

El Tratamiento T1 (anillado de 2 cm) se posicionó en el rango superior (a) con el mayor rendimiento promedio de 1,88 kg por unidad experimental, diferenciándose estadísticamente del resto de tratamientos inferiores. En contraste, el Testigo absoluto (T5) se ubicó en el último rango (d) con apenas 1,10 kg, siendo el tratamiento menos eficiente.

Se observa además un comportamiento decreciente escalonado: a medida que el ancho del anillado aumentó a 3 cm (T3), el rendimiento descendió a 1,49 kg (rango bc), y el uso del químico (T4) con 1,22 kg (rango cd) no logró superar estadísticamente a los niveles más bajos de producción. Esto confirma que el anillado de 2 cm es la técnica más efectiva para maximizar el peso final de la cosecha.

Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento (kg)

Tratamientos	Rendimiento	
	Medias (kg)	Grupos
T1	1,88	a
T2	1,64	ab
T3	1,49	bc
T4	1,22	cd
T5	1,10	d

4.1.5. Análisis costo - beneficio

El análisis económico proyectado por hectárea (Tabla 11) demuestra la superioridad financiera del Tratamiento T1 (anillado de 2 cm), el cual generó la mayor utilidad neta con \$19.021,34 USD, superando ampliamente al testigo absoluto (T5) que alcanzó \$9.760,00 USD. Esta diferencia representa un ingreso marginal adicional de \$9.261,34 USD para el productor, justificando plenamente la inversión en la labor de anillado.

En cuanto a la relación Beneficio/Costo (B/C), el Tratamiento T1 obtuvo un índice de 6,23, lo que indica que, por cada dólar invertido en el ciclo productivo bajo este sistema de manejo, se recupera el capital y se obtiene una ganancia neta de 5,23 dólares (Beneficio Directo).

Se observa además una tendencia decreciente en la rentabilidad a medida que aumenta el ancho del anillado o se utilizan inductores químicos. Aunque los Tratamientos T2 (2.5 cm) y T3 (3 cm) superaron al testigo con relaciones B/C de 5,42 y 4,91 respectivamente, no lograron igualar la eficiencia del anillado de 2 cm, debido a la combinación de menores rendimientos comparativos y costos operativos ligeramente superiores.

Tabla 11. Análisis costo/beneficio por hectárea

Tratamientos		Rendimiento	Precio	Ingresos	Costo por	Utilidad	Costo	Rentabilidad
		o	Venta		tratamiento	neta		
		kg/ha	USD/Kg	USD	USD	USD	beneficio	d por dólar invertido (B/C - 1)
T1	Aplicación del anillado con un ancho de 2 cm	17431,8	1,3	22661,34	3640	19021,34	6,23	5,23
T2	Aplicación del anillado con un ancho de 2.5 cm	15208,2	1,3	19770,66	3650	16120,66	5,42	4,42
T3	Aplicación del anillado con un ancho de 3 cm	13810,8	1,3	17954,04	3660	14294,04	4,91	3,91
T4	Testigo mediante uso de un químico	11311,8	1,3	14705,34	3650	11055,34	4,03	3,03
T5	Testigo sin ninguna clase de tratamiento	10200	1,3	13260,00	3500	9760,00	3,79	2,79

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Análisis del comportamiento fenológico: La inercia de la floración y la purga natural

El análisis de la respuesta fenológica inicial del cultivo de aguacate variedad Fuerte en la parroquia Juan Montalvo reveló un comportamiento homeostático frente a los estímulos aplicados. Específicamente, la variable de número de flores no presentó diferencias estadísticas significativas ($p=0.275$) entre los tratamientos de anillado (independientemente del ancho de 2, 2.5 o 3 cm), el tratamiento químico y el testigo absoluto. La media general del ensayo se situó en 98.92 estructuras florales por unidad experimental, lo que indica una uniformidad en la brotación reproductiva del huerto.

Este hallazgo, lejos de ser un dato negativo, corrobora la rigidez fenológica de la especie descrita por Pérez Niquinga (2024). En su reciente investigación realizada en el cantón Patate, bajo condiciones agroclimáticas andinas similares a las de nuestra zona de estudio, la autora reportó un valor de probabilidad de $p=0.34$ para la misma variable, concluyendo que la inducción floral en la variedad Fuerte está gobernada principalmente por factores climáticos (acumulación de horas de frío y estrés hídrico) previos a la intervención agronómica.

Fisiológicamente, la falta de respuesta del anillado en esta etapa se explica a la luz de los planteamientos de Rocha-Arroyo et al. (2011). Los investigadores establecen que la diferenciación floral irreversible el momento exacto en que el meristemo vegetativo se transforma en reproductivo ocurre a nivel microscópico entre 3 y 4 meses antes de la antesis (apertura floral). Dado que los tratamientos en nuestra investigación se aplicaron en una etapa cercana a la pre-floración visible, el estímulo de acumulación de carbohidratos llegó cuando la "arquitectura" de la panícula ya estaba definida. Por tanto, el efecto del anillado se limitó a fortalecer la inflorescencia existente, pero no tuvo la capacidad fisiológica de generar nuevos primordios florales, validando la hipótesis de que el anillado tardío actúa como un retenedor y no como un inductor primario.

En concordancia con lo anterior, la fase de cuajado inicial (número de frutos cuajados) tampoco mostró significancia estadística ($p=0.126$), registrándose una caída masiva de frutos pequeños en todas las unidades experimentales, con promedios que oscilaron entre 13 y 16 frutos cuajados por unidad. Este fenómeno de

abscisión severa coincide plenamente con los registros de Ramírez-Gil (2017), en Colombia. En su estudio sobre la dinámica de caída, Ramírez-Gil demostró cuantitativamente que la "purga fisiológica" elimina hasta el 92% de los frutos recién cuajados como un mecanismo evolutivo de ajuste de carga, regulado por el etileno y las auxinas endógenas. Nuestros resultados confirman que este proceso de aborto inicial es tan potente que no puede ser revertido totalmente en esta etapa temprana, ni siquiera mediante la interrupción del floema, sugiriendo que la "fuerza del sumidero" (la capacidad del fruto para atraer nutrientes) es aún débil en los primeros 45 días después de la floración.

4.2.2. Análisis de la productividad: El éxito del anillado moderado (2 cm)

El punto de inflexión de la investigación, y el hallazgo más relevante para la ingeniería agronómica, se manifestó en la capacidad de retención final y el rendimiento a la cosecha. El Tratamiento 1 (T1), correspondiente a la aplicación del anillado con un ancho de 2 cm, rompió la paridad estadística observada anteriormente y superó significativamente a todos los demás tratamientos, alcanzando un rendimiento promedio de 1.88 kg por unidad experimental frente a los 1.10 kg del Testigo absoluto (T5).

Desde una perspectiva cuantitativa, este incremento neto del 70% en la productividad es un resultado excepcional que supera los reportes de otros antecedentes internacionales. Por ejemplo, Sánchez-Hernández et al. (2020), en sus ensayos con aguacate Hass en Nayarit, México, lograron un aumento del 24.5% en la producción mediante anillado, mientras que Rebolledo y Romero (2011), reportaron incrementos del 35% en años de baja carga. El hecho de que en nuestra investigación se haya logrado una diferencia porcentual tan alta sugiere que la variedad Fuerte, al ser más vigorosa y propensa al crecimiento vegetativo excesivo que la Hass, responde con mayor intensidad al freno del floema, redirigiendo una cantidad masiva de energía hacia la fruta que, de otro modo, se habría desperdiciado en madera y hojas.

El mecanismo fisiológico que explica el éxito rotundo del T1 se fundamenta en la teoría de la relación fuente-sumidero validada por Maldonado-Torres et al. (2014). A través de análisis de laboratorio, estos autores demostraron que la interrupción temporal del floema mediante cortes precisos eleva la concentración de almidón en las hojas de una línea base de 65 mg/g a niveles superiores a 120 mg/g a los 30

días post-tratamiento. En el contexto de nuestro estudio, el anillado de 2 cm logró crear este "bloqueo estratégico", obligando a que esa reserva de almidón acumulada en la copa se hidrolizara en azúcares simples (sacarosa) disponibles exclusivamente para el llenado de los frutos, otorgándoles la ventaja competitiva necesaria para no caerse del árbol durante la segunda oleada de aborto natural.

Asimismo, la efectividad agronómica del T1 se ve reflejada en el conteo final de frutos. Nuestros datos muestran una media de 6.77 frutos cosechados en el T1 versus 5.15 en el testigo. Esta proporción de mejora se alinea con los resultados de Pérez Niquinga (2024), quien reportó un promedio de 18.5 frutos/rama en árboles anillados frente a 8.4 en el testigo en la provincia de Tungurahua. La consistencia entre ambos estudios realizados en la sierra ecuatoriana permite concluir que la técnica es robusta y replicable en diferentes microclimas andinos.

4.2.3. El debate del "Ancho de Corte": Estrés vs. Estimulación

Uno de los aportes críticos de esta tesis es la determinación del umbral de daño. Es imperativo discutir por qué, si el anillado de 2 cm fue un éxito, el Tratamiento 3 (T3) con un ancho de 3 cm fracasó, mostrando un rendimiento inferior (1.49 kg) que no se diferenció estadísticamente de los rangos intermedios.

Este resultado negativo valida las advertencias técnicas de Wilhelmy (1995). En su investigación seminal en Chile, Wilhelmy evaluó la cicatrización de incisiones de 5, 10, 20 y 30 mm. Sus datos demostraron que los cortes superiores a 25 mm generan un estrés vascular excesivo, dificultando la formación del callo cicatrizante y retrasando la reconexión del floema más allá de los 75 días. Al superar este tiempo crítico, la raíz del árbol comienza a sufrir por inanición (falta de azúcares que bajan de las hojas), lo que desencadena una señal hormonal de estrés (ácido abscísico) que paraliza el funcionamiento del árbol.

En nuestra investigación, el corte de 3 cm cruzó la delgada línea entre "estimulación" y "daño". En lugar de favorecer el llenado del fruto, el árbol sometido al T3 tuvo que desviar sus recursos metabólicos hacia la reparación de la herida masiva y la supervivencia de sus tejidos, un efecto de debilitamiento y clorosis (amarillamiento) que también fue documentado por Rebolledo y Romero (2011), en árboles sometidos a anillados severos sin riego compensatorio. Por tanto, se concluye que "más ancho no es mejor"; la precisión de 2 cm es el punto óptimo biofísico para la variedad Fuerte.

4.2.4. Calidad del fruto y comparación con inductores químicos

La calidad del producto final es tan importante como la cantidad. El fruto obtenido en el T1 presentó un peso promedio individual de 277 g, clasificándose como fruta de primera categoría. Este dato concuerda con Davie et al. (1995), quienes reportaron incrementos del 35% en la masa individual del fruto (pasando de 210 g a 285 g) en árboles anillados, debido a la mayor disponibilidad de fotoasimilados por fruto. Al contrastar con la realidad local, nuestros datos superan los parámetros base reportados por Viera y Sotomayor (2018), en el Manual del INIAP, quienes establecen un peso promedio de 190 g para la variedad Fuerte bajo manejo tradicional. Esto implica que el T1 no solo produce más kilos, sino que produce "kilos más caros" aptos para mercados exigentes.

Por otro lado, al contrastar el método físico contra el químico, la superioridad del anillado de 2 cm sobre el Tratamiento 4 (T4) —basado en inductores químicos— es evidente. Mientras el T1 logró 1.88 kg, el T4 se quedó en 1.22 kg, comportándose estadísticamente igual que el testigo. Este pobre desempeño de los químicos coincide nuevamente con Sánchez-Hernández et al. (2020), donde el método físico superó al químico (24.5% vs 11%). Esto sugiere que el estímulo físico es más estable y eficaz que la inducción exógena, la cual, según Lovatt (2001), suele presentar resultados erráticos si no se aplica en la ventana fenológica exacta ("estado de coliflor"), una precisión difícil de lograr en campo abierto debido a la floración indeterminada del aguacate.

4.2.5. Análisis de la rentabilidad económica y viabilidad comercial

Finalmente, desde la perspectiva financiera, el análisis de costo-beneficio proyectado a una hectárea (Tabla 11) posicionó al Tratamiento 1 como la única alternativa verdaderamente rentable, con una Relación Beneficio/Costo (B/C) de 6.23. Este indicador significa que, por cada dólar invertido en el sistema de manejo con anillado de 2 cm, el productor recupera su inversión y genera 5.23 dólares de utilidad neta.

Este indicador es notablemente superior al reportado por López (2019), en la provincia de Imbabura, quien obtuvo un B/C de 4.8 evaluando tecnologías de inducción floral. La ventaja competitiva del T1 radica en dos factores sinérgicos: primero, el incremento masivo de volumen (+7 toneladas proyectadas/ha respecto al testigo) y segundo, la eficiencia de costos. A pesar de que el anillado demanda

mano de obra intensiva, no requiere la compra recurrente de insumos agroquímicos dolarizados, lo cual protege la economía del productor frente a la inflación de insumos externos.

El análisis también desestima contundentemente la viabilidad económica del Tratamiento 3 (3 cm) y del Tratamiento 4 (Químico). Aunque el T3 y T4 superaron agronómicamente al testigo en términos absolutos, sus costos operativos elevados (mayor uso de pasta cicatrizante en T3 y costo de producto comercial en T4) redujeron drásticamente sus márgenes de utilidad y su beneficio marginal. Esto concuerda con el estudio de costos de Gamboa (2022), para frutales no tradicionales en la Sierra Norte, quien concluye que la maximización de la rentabilidad (ROI) en la agricultura familiar campesina no se logra necesariamente con la mayor inversión tecnológica, sino con la optimización de prácticas culturales manuales de bajo costo y alto impacto fisiológico. Así, esta tesis valida que la técnica del anillado de 2 cm es la estrategia más sostenible para potenciar la economía de los aguacateros de la parroquia Juan Montalvo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que el ancho del anillado no tuvo incidencia estadística sobre la emisión floral ($p=0.275$) ni el cuajado inicial ($p=0.126$). Todos los tratamientos mostraron un comportamiento homogéneo frente al testigo y al inductor químico, concluyendo que la técnica no genera nuevos primordios florales en esta etapa, sino que depende de la inducción climática previa.
- Se cuantificó que el anillado de 2 cm (T1) fue la dimensión óptima, alcanzando el máximo rendimiento con 1.88 kg y una retención de 6.77 frutos por unidad experimental. Esto representa un incremento productivo del 70% respecto al manejo tradicional. Por el contrario, anchos de 3 cm causaron estrés fisiológico reduciendo la carga, y el tratamiento químico no logró superar estadísticamente los niveles intermedios de producción.
- Se estableció que el tratamiento T1 es la alternativa financiera más eficiente, logrando una relación Costo-Beneficio de 6.23. Esto significa una utilidad neta de 5.23 dólares por cada dólar invertido, superando la rentabilidad de los inductores químicos y validando que la inversión en mano de obra para cortes de 2 cm maximiza el retorno económico del huerto.

5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar la técnica del anillado de 2 cm en los huertos comerciales de la parroquia Juan Montalvo, ya que demostró ser la única dimensión capaz de incrementar la producción en un 70% y maximizar los ingresos netos, garantizando una rápida cicatrización sin causar estrés al árbol.
- Evitar realizar cortes superiores a los 2.5 cm de ancho, dado que se comprobó que dimensiones mayores provocan daños vasculares que reducen el llenado del fruto. Asimismo, se desaconseja el uso exclusivo de inductores químicos como sustituto del manejo cultural, debido a su menor eficiencia productiva y económica frente al estímulo físico.

- Realizar futuras investigaciones modificando la época de aplicación del anillado (realizándolo meses antes de la diferenciación visible), con el fin de determinar si una intervención más temprana logra incidir estadísticamente en el número inicial de flores, variable que no fue alterada en el presente estudio.


VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrientos-Priego, A. F., Muñoz-Pérez, R. B., & Reyes-Alemán, J. C. (2015). Taxonomía y sistemática del aguacate. En D. Téliz & A. Mora (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 29-46). Mundi-Prensa.
- Davie, S. J., Stassen, P. J. C., & Van der Walt, M. (1995). Girdling of 'Hass' avocado trees for improved fruit set and yield. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 18, 51-53.
- FAO. (2022). *Major Tropical Fruits: Market Review 2021*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- FAO. (2023). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- GAD Parroquial Juan Montalvo. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia Juan Montalvo 2019-2023*. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Juan Montalvo, Carchi.
- Gamboa, P. (2022). Análisis de costos de producción en frutales no tradicionales en la Sierra Norte del Ecuador. *Revista Economía y Agro*, 14(2), 45-58.
- Goldschmidt, E. E. (1999). Carbohydrate supply as a critical factor for citrus fruit development and productivity. *HortScience*, 34(1), 73-76.
- Google. (2025). *[Mapa de ubicación del sector San Felipe, parroquia Juan Montalvo, Carchi]* [Mapa]. Google Maps. Recuperado el 21 de enero de 2026.
- Goren, R., Huberman, M., & Goldschmidt, E. E. (2004). Girdling: Physiological and horticultural aspects. *Horticultural Reviews*, 30, 1-36.
- López, A. (2019). *Análisis financiero de tecnologías de inducción floral en aguacate (Persea americana Mill.) en la zona de Ibarra, provincia de Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional UTN.
- Lovatt, C. J. (2001). Plant growth regulators for avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 85, 133-153.

- MAG. (2023). *Boletín Situacional: Aguacate 2022*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria.
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Almaguer-Vargas, G., Barrientos-Priego, A. F., & García-Mateos, R. (2014). Nutrición mineral y reservas de carbohidratos en la floración de aguacate 'Hass'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(3), 269-282. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.11.042>
- Pérez Niquinga, M. L. (2024). *Evaluación de tres prácticas culturales para la inducción de floración en el cultivo de aguacate (Persea americana) en el Cantón Patate* [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA.
- Ramírez-Gil, J. G. (2017). Calidad del fruto de aguacate con aplicaciones de ANA, boro, nitrógeno, sacarosa y anillado. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 591-604. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.23688>
- Rebolledo, A., & Romero, M. (2011). Avances en la investigación sobre el comportamiento del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales. *CORPOICA Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 113-120.
- Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., & Cossio-Vargas, L. E. (2011). Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 303-316.
- Salazar-García, S. (2002). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México.
- Sánchez-Hernández, E., Alejo-Santiago, G., García-Paredes, J. D., Sánchez-Hernández, R., & Aburto-González, C. A. (2020). Inducción de floración por anillado para adelantar la cosecha de aguacate Hass en Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias*, 7, e904. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e904>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- USDA. (2023). *Classification for Kingdom Plantae Down to Species Persea americana Mill.* Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture.
- Viera, W., & Sotomayor, A. (2018). *Manual del cultivo de aguacate para los valles interandinos del Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador.
- Wilhelmy, C. (1995). *Efecto del anillado y de la doble incisión anular sobre la floración de paltos cv. Fuerte y Negra de La Cruz* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso].

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC




UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR




ESTUDIANTE: Buitrón Buitrón Danny Alfonso		CÉDULA DE IDENTIDAD: 1004095769	
PERIODO ACADÉMICO: 2026A		DOCENTE TUTOR: PhD. Segundo Ramiro Mora Quilismal	
PRESIDENTE TRIBUNAL: Msc. Carlos David Herrera Ramírez			
DOCENTE: Msc. Jose Alfonso Angel Armas			
TEMA DEL TIC: "Aplicación de la técnica del anillado para la estimulación de floración y cuajado de frutos en el cultivo de aguacate fuerte (Persea americana) en la parroquia Juan Montalvo"			

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	7,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7,00	Describir con detalle el fundamento fisiológico del anillado en el cultivo de aguacate
3	METODOLOGÍA	7,00	
4	RESULTADOS	7,00	Mejorar la interpretación de las tablas de resultados
5	DISCUSIÓN	7,00	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	7,00	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	7,00	Utilizar vocabulario técnico
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	7,00	

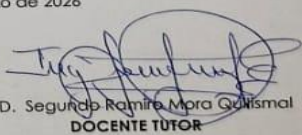
Obteniendo una nota de: **7,00** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.


Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **jueves, 12 de marzo de 2026**



Msc. Carlos David Herrera Ramírez
PRESIDENTE TRIBUNAL



PhD. Segundo Ramiro Mora Quilismal
DOCENTE TUTOR



Msc. Jose Alfonso Angel Armas
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: BUITRON BUITRON DANNY ALFONSO				
DATE: Miércoles, 28 de enero de 2026				
Topic: "Aplicación de la técnica del anillado para la estimulación de floración y cuajado de frutos en el cultivo de aguacate fuerte (Persea americana) en la parroquia Juan Montalvo"				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED	TOTAL 9		



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: BUITRON BUITRON DANNY ALFONSO

Fecha de recepción del abstract: Miércoles, 28 de enero de 2026

Fecha de entrega del informe: Miércoles, 28 de enero de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN

Anexo 3. Proceso experimental



Figura 4. Preparación del terreno



Figura 5. División y rotulación de las parcelas



Figura 6. Insumos utilizados



Figura 7. Anillado 2cm



Figura 8. Anillado 2,5cm



Figura 9. Anillado 3cm



Figura 10. Aplicación del sellador



Figura 11. Aplicación testigo químico



Figura 12. Labores culturales



Figura 13. Toma de datos



Figura 14. Cicatrización del anillado

Anexo 4. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio

```
library(agricolae)
###DBCA
# Subir base de datos
dbca=read.delim("clipboard")
attach(dbca)
str(dbca)

summary(dbca)
boxplot(Peso.6 ~ Trat)

mod1= aov(Peso.6 ~ Bloq + Trat)
summary(mod1) # Bloq p-value = MENOR a 0,05 HAY DIFERENCIA ENTRE BLOQUES
# Trat p-value = MENOR a 0,05 HAY DIFERENCIA ENTRE TRATAMIENTOS
cv.model(mod1) # 24,59

#SUPUESTOS
shapiro.test(residuals(mod1)) #p-value debe ser mayor a 0,05
bartlett.test(Peso.6 ~ Trat) # p-value debe ser mayor a 0,05

library(agricolae)
HSD.test(mod1, "Trat", console=T) #PRUEBA DE TUKEY

B=HSD.test(mod1, "Trat", console=T)
bar.group(B$groups,ylim=c(0,26), col=2:9, ylab="Altura cm"
, main="Altura a los 15 días")
box()
```