

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna en Guachapala - Azuay

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Fabricio Xavier Priori Zamora

Director:

Segundo Moisés Maita Supliguicha.

ORCID: 0000-0003-2716-6978

Cuenca, Ecuador

2023-02-08

Resumen

Al ser el Ecuador un país tropical, la temperatura es el principal factor climático que limita el proceso de fructificación en manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna. La falta de acumulación de horas frío causa en el manzano una brotación deficiente. En este contexto, se hace necesaria la búsqueda de alternativas capaces de compensar el frío requerido en el manzano con el fin de quebrar la dormancia y generar una brotación y cuajado uniformes. El objetivo principal fue evaluar compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna. La investigación se realizó en la granja experimental El Romeral de la Universidad de Cuenca. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 16 tratamientos y 3 repeticiones. Las variables evaluadas fueron porcentaje de yemas brotadas a los 30 y 60 días después de aplicados los tratamientos y el porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de aplicados los tratamientos. Para la variable porcentaje de yemas brotadas a los 30 días, los árboles tratados con aceite mineral al 6 % (T9) presentaron los mejores resultados (67.79 %) en comparación con el tratamiento control T16 el cual presentó el menor porcentaje (13.46 %). De forma similar a los 60 días de aplicados los tratamientos, el tratamiento T9 (Aceite mineral 6 %) obtuvo el mayor porcentaje de yemas brotadas (75.55 %) en comparación con el tratamiento control T16 que obtuvo (17.02 %). En cuanto al cuajado de frutos, los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, los árboles tratados con ácido salicílico 400 mg/L (T1) mostraron el mayor porcentaje de frutos cuajados (29.44%). La investigación indicó que el uso de compensadores químicos de horas frío mejora la brotación de yemas y el cuajado de frutos en manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna.

Palabras clave: *malus domestica*, anna, compensadores de frío, brotación, dormancia

Abstract

As Ecuador is a tropical country, the temperature is the main climatic factor limiting the fruiting process in apple trees (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna. The lack of accumulation of chilling hours causes deficient sprouting in apple trees. In this context, it is necessary to search for alternatives capable of compensating for the required cold in apple trees in order to break dormancy and generate a uniform bud break and fruit set. The main objective was to evaluate chemical compensators of chilling hours in apple (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna. The research was carried out at the experimental farm El Romeral of the University of Cuenca. A completely randomized block design with 16 treatments and 3 replications was used. The variables evaluated were the percentage of buds sprouted 30 and 60 days after application of the treatments and the percentage of fruit set 90 days after application of the treatments. For the percentage of buds sprouted at 30 days, the trees treated with 6% mineral oil (T9) showed the best results (67.79%) compared to the control treatment T16, which showed the lowest percentage (13.46%). Similarly, 60 days after the application of the treatments, the T9 treatment (6 % mineral oil) obtained the highest percentage of sprouted buds (75.55 %) compared to the control treatment T16 (17.02 %). Regarding the fruit set, the results did not show statistically significant differences, however, the trees treated with salicylic acid 400 mg/L (T1) showed the highest percentage of fruit set (29.44 %). The research indicated that the use of chemical chilling hour compensators improves bud break and fruit set in apple (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna.

Keywords: malus domestica, anna, cold compensators, sprouting, dormancy

Índice de contenido

1	INTRODUCCIÓN	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GENERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	HIPOTESIS	13
4	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
4.1	EL MANZANO.....	13
4.1.1	<i>Origen del manzano.....</i>	13
4.1.2	<i>Distribución del manzano.....</i>	13
4.1.3	<i>El cultivo de manzano en el Ecuador.....</i>	14
4.1.4	<i>El manzano cv. Anna.....</i>	14
4.1.5	<i>Morfología del árbol de manzano.....</i>	15
4.1.6	<i>Manejo Agronómico del manzano.....</i>	18
4.1.7	<i>Procesos fisiológicos del manzano.....</i>	20
4.1.8	<i>Horas frío.....</i>	22
4.1.9	<i>Requerimiento de frío en manzano cv. Anna.....</i>	23
4.1.10	<i>Problemas relacionados a la insuficiencia de frío en manzano.....</i>	23
4.2	PRODUCTOS CAPACES DE COMPENSAR EL FRÍO EN FRUTALES	24
4.2.1	<i>Aceite Mineral.....</i>	24
4.2.2	<i>Cianamida Hidrogenada (H₂CN₂).....</i>	24
4.2.3	<i>Cianamida Hidrogenada + Aceite mineral.....</i>	25
4.2.4	<i>Nitrato de potasio (KNO₃).....</i>	25
4.2.5	<i>Ácido salicílico.....</i>	26
5	MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1	ÁREA EXPERIMENTAL Y CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA LOCAL	26
5.2	MATERIAL VEGETAL.....	28
5.3	SELECCIÓN DE ÁRBOLES Y RAMILLAS DE MANZANO CV. ANNA.....	28
5.4	MANEJO DE LOS ÁRBOLES SELECCIONADOS PREVIO A LA APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	29

5.5	TRATAMIENTOS UTILIZADOS.....	29
5.6	CÁLCULO DE CONCENTRACIONES Y APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	30
5.7	EVALUACIÓN DE CAMPO PARA IDENTIFICAR EL COMPENSADOR QUÍMICO DE HORAS FRÍO Y LA CONCENTRACIÓN ADECUADA PARA LA BROTACIÓN Y CUAJADO ÓPTIMO EN MANZANO CV. ANNA.....	31
5.8	METODOLOGÍA SEGUIDA PARA DETERMINAR LOS COSTOS DE APLICACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS.....	32
5.9	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
6	RESULTADOS	33
6.1	PORCENTAJE DE YEMAS BROTADAS	33
6.2	PORCENTAJE DE YEMAS BROTADAS A LOS 30 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE LOS COMPENSADORES QUÍMICOS DE HORAS FRÍO.....	33
6.3	PORCENTAJE DE YEMAS BROTADAS A LOS 60 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE LOS COMPENSADORES QUÍMICOS DE HORAS FRÍO.....	35
6.4	PORCENTAJE DE FRUTOS CUAJADOS A LOS 90 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE LO COMPENSADORES QUÍMICOS DE HORAS FRÍO.....	37
6.5	COSTOS DE APLICACIÓN DE LOS COMPENSADORES QUÍMICOS DE HORAS FRÍO	38
7	DISCUSIÓN.....	39
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
9	REFERENCIAS	43
10	ANEXOS.....	55

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación a nivel nacional y provincial del área de estudio	27
Figura 2 Horas frío acumuladas entre los meses de junio a septiembre 2021 y 2022 ...	28
Figura 3 Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los frutales de pepita.....	31
Figura 4 Porcentaje de yemas brotadas a los 30 días de la aplicación de los tratamientos en el cultivo de manzana (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	35
Figura 5 Porcentaje de yemas brotadas a los 60 días de la aplicación de los tratamientos en el cultivo de manzana (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	36
Figura 6 Porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de la aplicación de los tratamientos en el cultivo de manzana (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	37

Índice de tablas

Tabla 1 Descripción de tratamientos aplicados en la investigación	30
Tabla 2 Porcentaje de yemas brotadas a los 30 y 60 días y porcentaje de frutos cuajados a los 90 días observados en manzano cv. Anna mediante la aplicación de diferentes compensadores químicos de horas frío.....	34
Tabla 3 Descripción del requerimiento por hectárea y costos de aplicación de los compensadores químicos de horas frío en base a los tratamientos propuestos	38

Índice de anexos

Anexo 1. Prueba de Shapiro – Wilk para la variable porcentaje de yemas brotadas en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	55
Anexo 2. Prueba de Levene para la variable porcentaje de yemas brotadas en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	55
Anexo 3. Análisis de varianza para la variable porcentaje de yemas brotadas a los 30 días de evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	55
Anexo 4. Análisis de varianza para la variable porcentaje de yemas brotadas a los 60 días de evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	56
Anexo 5. Prueba de Shapiro – Wilk para la variable frutos cuajados en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	56
Anexo 6. Prueba de Levene para la variable frutos cuajados en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna.....	56
Anexo 7. Prueba de Kruskal – Wallis para la variable porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh) cv. Anna	57
Anexo 8. Fotos que detallan el trabajo realizado a nivel de campo	57

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por todo el apoyo y fortaleza brindada en mi etapa estudiantil. A mi madre por siempre apoyarme a pesar de todo. A mi padre por inculcar en mi el respeto, el trabajo, el amor al campo y acompañarme en cada decisión. A mi abuela por enseñarme a amar el estudio. A mi tutor de tesis Ing. Segundo Moisés Maita PhD. por guiarme durante el desarrollo de esta investigación y por apoyarme con su conocimiento. Por último, hago extenso mi agradecimiento, a mis tías Adriana y Mónica por su inmenso apoyo, sin el cual no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

Fabricio Xavier Priori Zamora.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a la memoria de mi padre Renatto Romeo Priori Dávila quién a pesar de no estar físicamente siempre estará presente en mi vida y en mi corazón. A mi madre Juana Catalina Zamora Astudillo por acompañarme en cada paso de mi vida y ser mi pilar. A mi abuela Guillermina Astudillo cuyo ejemplo me mantiene soñando y me anima a no rendirme. A mi hermano Leonardo Priori por acompañarme en este proceso y, por último, a la comunidad científica y a la población en general ya que espero que los resultados obtenidos sirvan para bien.

Fabricio Xavier Priori Zamora.

1 Introducción

El manzano (*Malus domestica* Borkh) es un frutal caducifolio, perteneciente a la familia de las rosáceas, originario de Asia (Spengler, 2019). Esta especie ha sido cultivada desde el año 4000 A.C. (Milošević et al., 2018). En el año 2020 el área total de cultivo de manzano a nivel mundial fue de 4.622 millones de ha, de las cuales se obtuvieron cerca de 86.443 toneladas de producción (FAO, 2022). Actualmente en el año 2022 este frutal se encuentra posicionado como el cuarto árbol frutal mayormente cultivado a nivel mundial, siendo superado únicamente por los cítricos, las uvas y el banano (Ru et al., 2023). La característica principal que le confiere al manzano la capacidad de ser cultivado al rededor del mundo es su fuerte adaptabilidad ecológica, esto le permite a este frutal ser cultivado en zonas del mundo en donde se evidencian las cuatro estaciones climáticas, así como en zonas tropicales en las cuales no hay una época marcada de frío (Liu et al., 2022).

En el Ecuador la producción nacional de manzano es de 7.262 ha (FAO, 2022). Lo cual contribuye en un 21.7 % a la demanda total del país, es decir que para suplir la demanda nacional se requiere producir al menos 56.000 toneladas, por ende, existe un déficit de producción de cerca de 49 mil toneladas, este déficit se debe a que los picos de producción nacional de este frutal, no logran suplir la demanda constante que se tiene a lo largo del año (Viera et al., 2020).

Este bajo rendimiento en la producción de manzano específicamente en zonas tropicales como el Ecuador se ve fuertemente influenciado por varios factores entre los cuales se puede mencionar el uso de portainjertos que no garantizan la calidad y uniformidad de nuevas plantaciones, el poco uso de nuevas variedades, el manejo inadecuado de la fruta tanto antes como después de la cosecha y por sobre todo el incremento paulatino de la temperatura a nivel mundial el cual según expertos será de 1.5 °C entre los años 2021 y 2040 (Juillion et al., 2022).

En el Ecuador para hacer frente al bajo rendimiento productivo de manzano, se ha generalizado el uso de cultivares de bajo requerimiento de horas frío, como es el caso del cultivar Anna, el cual ha sido obtenido de la cruce entre las variedades Golden Delicious y Hadassiya Red (Eissa et al., 2012). Este cultivar fue introducido en el Ecuador en el año 1981, sobre todo en provincias ubicadas en el corredor interandino del país, es decir en la región sierra, como es el caso de las provincias de Azuay, Tungurahua y otras (Viteri et al., 1995). La principal característica por la que se seleccionó este cultivar como óptimo para el país, es que requiere de pocas horas de frío

para romper la dormancia y completar sus actividades fenológicas durante su ciclo productivo. Este requerimiento es de alrededor de 150 – 300 horas frío por ciclo (Alayón & Rodríguez, 2010).

Sin embargo, a pesar de ser un cultivar con bajo requerimiento de frío, presenta dificultades para los productores locales, debido a que la cantidad de horas frío de los valles de la sierra interandina no logran suplir los requerimientos mínimos de frío del cultivo para que pueda romper la dormición, por ende, no se obtiene un rendimiento productivo óptimo (Yehia et al., 2016).

Es por esto que se ha vuelto necesario el uso de sustancias químicas capaces de compensar de forma parcial la falta de frío en el manzano con el fin de romper la dormancia y promover una brotación balanceada (González & Quiñones, 2018). Soto et al. (2019) indican que estas sustancias presentan un efecto positivo en las variables brotación, crecimiento vegetativo, salida de dormición y producción en manzano, pudiendo mejorar hasta en un 90.7 % la brotación de yemas.

Entre las principales características que deben presentar los químicos capaces de compensar el frío en frutales están su eficacia, su bajo costo y su baja toxicidad para el ambiente, para la planta y sobre todo para el ser humano (Pasa et al., 2018). Es de suma importancia mencionar que con el fin de que el resultado de la aplicación de los compensadores de frío de síntesis química sea el esperado y para evitar resultados imprevistos como es el caso de fitotoxicidad o secado de yemas, es necesario conocer las concentraciones óptimas y las etapas fenológicas del cultivar en las cuales se pueden aplicar los productos (Vivian et al., 2008).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar diferentes compensadores químicos de horas frío y sus concentraciones en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna en Guachapala - Azuay con el fin de mejorar la brotación y cuajado óptimo de este cultivar.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna en Guachapala – Azuay

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el compensador químico de horas frío y la concentración adecuada para la brotación y cuajado óptimo en manzano cv. Anna.
- Determinar los costos de aplicación en función de los tratamientos aplicados en el manzano cv. Anna.

3 HIPOTESIS

H0: La aplicación de productos químicos compensadores de horas frío no causa efecto sobre la brotación y cuajado de frutos en el cultivo de manzano cv. Anna.

H1: Al menos un tratamiento aplicado tiene efecto sobre la brotación y cuajado de frutos en el cultivo de manzano cv. Anna.

4 Revisión bibliográfica

4.1 El manzano

4.1.1 Origen del manzano

Lo que actualmente conocemos como manzano doméstico (*Malus x domestica* Borkh) es el resultado de la hibridación de cerca de 27 especies de manzano de origen silvestre, entre las cuales se incluye *M. orientalis* la cual es una especie nativa del norte de Anatolia, *M. baccata* la cual crece sobre todo en Mongolia y *M. sylvestris* la cual es nativa de la región de los Balkanes, siendo entre estas, *Malus sieversii* cuyo origen se ha establecido en el continente asiático, la principal especie donadora de genes (Brite, 2021). A su vez Spengler (2019) confirma que la totalidad del proceso de domesticación del manzano tuvo inicio en Asia central.

4.1.2 Distribución del manzano

Actualmente el manzano es el frutal perteneciente a la familia de las rosáceas, más ampliamente cultivado y con mayor rendimiento productivo alrededor del mundo (Feng et al., 2022).

Liu et al. (2022) indican que para el año 2020 a nivel mundial se destinaron alrededor de 4.622 millones de ha únicamente para la producción de manzana, lo cual generó un rendimiento

productivo de cerca de 86.443 millones de toneladas distribuidas en alrededor de 100 países situados en los diferentes continentes. Se indica además que la principal ventaja del manzano es que presenta una fuerte adaptabilidad ecológica.

4.1.3 El cultivo de manzano en el Ecuador

En el Ecuador a partir del año 1981 se introdujeron materiales vegetales capaces de adaptarse a las condiciones climáticas de los valles presentes en el corredor interandino del país, sobre todo en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Azuay y Loja (Viteri et al., 1995).

Actualmente el cultivo de manzano, tiene lugar en las zonas altas (2200-2500 m.s.n.m.) cuya principal característica son los climas templados debido a que las temperaturas se mantienen relativamente constantes a lo largo del año y esto genera que el manzano presente gran estacionalidad (Viera et al., 2020). Pudiendo llegar a cosechar hasta dos veces al año cada 6 meses siempre y cuando el cultivo se encuentre manejado bajo un sistema de producción forzado (Viteri et al., 1995).

En cuanto a producción nacional se refiere, varios autores (Viera et al., 2020; Viteri et al., 1995) concuerdan que en el país se producen cerca de 10.000 toneladas / año de manzana, lo cual contribuye en un 21.7 % a la demanda total en el país, esto indica que se estaría generando un déficit productivo de cerca de 46.000 toneladas de fruta, siendo el causante de este déficit el hecho de que los picos de producción nacional de este frutal no logran suplir la constante demanda comercial que se tiene a nivel nacional a lo largo del año.

4.1.4 El manzano cv. Anna

El manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna es una selección originaria de Israel, obtenida en el año 1967 (Abdel & Kotb, 2021). Este cultivar proviene de la cruce entre las variedades Golden Delicious y Hadassiya Red (Eissa et al., 2012).

En cuanto a requerimiento de horas frío se refiere, Casierra et al. (2008) mencionan que “Anna” requiere de aproximadamente 300 horas frío y 5731 unidades acumuladas de calor para lograr florecer de forma plena. Siendo requerimientos relativamente bajos para tratarse de un cultivar perteneciente a esta especie (Gioushy et al., 2019). Lo cual según Casierra et al. (2008) hace posible que se dé el cultivo de esta variedad desde los 1700 a los 2800 m.s.n.m. Además, los

autores indican que “Anna” presenta también un periodo corto para el desarrollo de sus frutos el cual se estima dura alrededor de 120 días.

Garcés & Soto (2000) mencionan que el cultivar Anna al igual que muchas otras rosáceas presenta autoincompatibilidad con su polen. Por ende, al momento de plantarla es siempre necesario la presencia de un cultivar que sirva como donador de polen (polinizante) como es el caso de Dorset Golden, ya que se ha comprobado que este cultivar es el mejor polinizante para el caso específico de Anna (Anwar et al., 2020).

A su vez Garcés & Soto (2000) también mencionan que en caso de que el cultivar Anna sea plantado sin el acompañamiento de una variedad productora de polen, el rendimiento productivo de los árboles se vería totalmente afectado debido a que los frutos obtenidos a más de presentarse en bajas cantidades, tendrían un tamaño reducido.

4.1.5 Morfología del árbol de manzano

El árbol de manzano se caracteriza principalmente por ser caducifolio, este presenta una altura entre 1.5 a 7 m. Siendo esta altura dependiente del portainjerto seleccionado para el emplazamiento del cultivo, a su vez presenta una copa de 1 a 4.5 m (Cárdenas & Fischer, 2013).

Gariglio et al. (2015) expresan que el leño del manzano generalmente presenta coloraciones pardas o verdosas.

En cuanto al hábito de crecimiento del vegetal, Okada & Honda (2022) indican que el manzano presenta cuatro diferentes tipos de crecimiento, siendo los siguientes (i) columnar, (ii) tipo espuela, (iii) estándar, (iiii) inclinado. Cabe mencionar que Cárdenas & Fischer (2013) expresan que en zonas tropicales las ramas del árbol crecen de forma recta, esto debido a que bajo estas condiciones específicas se presenta un fenómeno de dominancia apical.

4.1.5.1 Brotes

Urbina (2001) describe al brote como una formación originada por un ramo que al lignificarse ha cesado su crecimiento y ha formado una yema apical. En estas formaciones se encuentran las yemas que darán origen a nuevos brotes.

4.1.5.1.1 Clasificación de los brotes

Según Urbina (2001) los brotes se clasifican en dos grandes grupos (i) vegetativos y (ii) fructíferos. Los primeros únicamente conteniendo yemas vegetativas y los segundos conteniendo yemas fructíferas respectivamente.

4.1.5.2 Yemas

Urbina (2001) define a las yemas como, aquellos órganos vegetativos de forma cónica u ovalada capaces de dar lugar a brotes o flores según su naturaleza.

4.1.5.2.1 Partes de las yemas

Las yemas se encuentran formadas por un ápice vegetativo en su parte superior, seguido de hojas rudimentarias las cuales a medida que se alejan del ápice se van transformando en catafilos (Rivas, 2009).

Urbina (2001) menciona que por lo general las hojas rudimentarias presentes en el cono vegetativo suelen presentarse en número de nueve a once y esta estructura da lugar a la parte preformada del nuevo brote. En las yemas existe la presencia de escamas las cuales reciben el nombre de pérula y su objetivo es proteger el órgano. Por último, se menciona que las brácteas y la pérula se encuentran cubiertas por la borra la cual es una pubescencia capaz de aislar y proteger los primordios foliares.

4.1.5.2.2 Tipos de yemas

En el árbol de manzano es complicado realizar una distinción a simple vista de los diferentes tipos de yemas, ya que estas no suelen presentar diferencias obvias lo cual resulta en una apariencia muy similar. Las yemas pueden ser divididas en dos grandes categorías las yemas de flor o florales y las yemas de madera o vegetativas (Xia et al., 2021).

Las yemas de flor, dan origen a una flor o inflorescencia. Estudios sobre la formación de yemas florales indican que la principal característica de estas es que presentan una contextura gruesa y una forma globosa y que su formación ocurre en una secuencia definida la cual inicia con la inducción floral, luego ocurre la transformación histológica y por último la etapa de diferenciación morfológica, momento en el que la yema se transforma en flor (Koutinas et al., 2006).

En cuanto a las yemas vegetativas se refiere, Urbina (2001) menciona que son todas aquellas que dan origen a un brote y presentan una forma cónica - puntiaguda característica.

4.1.5.3 Hojas

Las hojas son los principales órganos fotosintéticos de las plantas (Guo et al., 2022). En el caso del manzano estas presentan diferentes características dependiendo del cultivar y condiciones ambientales como humedad, luz y temperatura (Chao et al., 2020). Pudiendo presentar formas desde elípticas, redondeadas, onduladas y en algunos casos pueden llegar a ser irregularmente aserradas (Domínguez, 2008). El tamaño de las hojas en manzano puede variar desde los 4.25 cm de longitud como mínimo hasta 12.88 cm (Kumar et al., 2018). En cuanto al color, estas suelen presentar coloraciones verdes, siendo un color más intenso en el haz, mientras que en el envés el color se atenúa y se presenta pubescencia (Domínguez, 2008).

Con respecto a la estructura interna de las hojas, Urbina (2001) indica que en la parte superior o haz se sitúa el parénquima de empalizada el cual cuenta con gran capacidad fotosintética, mientras que, en el envés se encuentran el parénquima esponjoso y los estomas. Por último, como recubrimiento de la epidermis se encuentra la cutícula la cual protege y aísla el interior de la hoja.

4.1.5.3.1 Funciones principales de las hojas

Las hojas son consideradas la maquinaria de tipo biológico ideal para realizar el proceso de fotosíntesis, por ende, entre sus principales funciones están la elaboración de productos fotosintéticos y la fijación de CO₂ durante la fotosíntesis (Kumar et al., 2022). Estos órganos también cumplen funciones como el intercambio gaseoso o respiración a través de los estomas, el transporte de productos a través de su red vascular y determinan el rendimiento y la calidad de la producción (Li et al., 2023).

4.1.5.4 Área foliar del manzano cv. Anna

El área foliar determina la capacidad de crecimiento del árbol, la tasa fotosintética y la capacidad de fructificación del manzano (Tsoulas et al., 2022). Según Melke & Fetene (2014) en el manzano cv. Anna el área foliar y el tamaño del fruto son influenciados por la altitud a la cual se ha plantado el vegetal.

4.1.5.5 Flores del manzano cv. Anna

Las flores del manzano cv. Anna son de gran tamaño, cortamente pedunculadas y de tipo hermafrodita. Por lo general exhiben un color rosa pálido y en ocasiones blanco (Vargas, 2018). Estas presentan 5 estigmas y 20 – 25 estambres. La principal característica de la flor es que es

auto incompatible, además tanto el número de flores como la calidad de estas determinan el rendimiento potencial del cultivo (Bareke et al., 2018; Rivero et al., 2016).

4.1.5.6 Fruto del manzano cv. Anna

El fruto del manzano cv. Anna, es un pomo de aspecto globoso, tamaño medio y forma elongada, que presenta tres fases de crecimiento, las cuales están reguladas por fitohormonas y por la disponibilidad de recursos metabólicos en el árbol (Cepeda et al., 2021). La primera fase corresponde al periodo de multiplicación celular, seguida del periodo de crecimiento acelerado por elongación celular y como fase final la maduración. Esta última etapa culmina con la aparición de las características organolépticas propias de la manzana cv. Anna (Casierra et al., 2003).

En cuanto a las características organolépticas del fruto, este presenta una epidermis con rayas rojas y coloraciones amarillentas. La pulpa exhibe una textura cremosa de color blanco y una textura media con un sabor característicamente dulce con toques ácidos (Cepeda et al., 2021)

Con respecto a las características nutricionales del fruto Khalifa et al. (2017) indican que el fruto de cv. Anna presenta gran cantidad de sustancias bioactivas tales como polifenoles, flavonoides, vitaminas y pigmentos lo cual le confiere un alto valor nutracéutico.

4.1.5.7 Sistema radicular del manzano

En general el sistema radicular del manzano representa entre el 25 al 30 % de la masa del árbol y se encuentra entre los primeros 25 a 100 cm de profundidad en el suelo (Tanasescu & Paltineanu, 2004).

Cárdenas & Fischer (2013) mencionan que el sistema radicular del manzano consta de una raíz principal relativamente corta y varias raíces laterales grandes que se ramifican. Las raíces apicales forman parte fundamental del sistema radicular debido a que estas se encuentran involucradas en la absorción de nutrientes y agua (Zhao et al., 2016).

4.1.6 Manejo Agronómico del manzano

4.1.6.1 Portainjertos

Con el fin de evitar problemas como el crecimiento excesivo de los árboles de manzano relacionado al uso de patrones francos. Se han desarrollado diferentes portainjertos que contribuyen a facilitar el manejo del cultivo (Andersen, 2019). Zhang et al. (2021) confirman que el portainjerto juega un rol importante en el reconocimiento y resistencia a los patógenos, además

de incidir de forma directa en el desarrollo de distintas propiedades del árbol y del fruto. Los portainjertos pueden influir en el crecimiento del árbol, la precocidad, la productividad, la tolerancia al frío, la tolerancia al encharcamiento, tiempo de brotación y composición química de los frutos (Milošević et al., 2018).

Melke & Fetene (2014) reportaron que los portainjertos clonados se dividen en tres grandes grupos. Los de crecimiento fuerte, de crecimiento semi – fuerte y los enanos. De estos grupos se derivan diferentes series de origen, siendo la más popular a nivel mundial la serie M.

4.1.6.1.1 Portainjerto Malling Merton 106 (MM106)

Este portainjerto es de crecimiento semi – enanizante y presenta ciertas características como la mejora en el rendimiento productivo, raíces mejor distribuidas y buena compatibilidad con variedades comerciales (Yavari et al., 2022).

Viteri et al. (1995) indican que MM106 se adapta bien a suelos profundos y fértiles, así como a suelos secos. Entre otras características de este portainjerto se menciona que es susceptible a la pudrición del cuello producida por *Phytophthora* y es sensible a contraer agallas radiculares.

4.1.6.2 Poda

La poda consiste en descartar ciertas ramas del árbol con el objetivo principal de controlar su crecimiento, mejorar la calidad de la fruta, aumentar el rendimiento y en ocasiones resulta útil para el manejo y control de plagas y enfermedades (Zahid et al., 2021). Para el caso del manzano, este requiere por lo mínimo una poda anual al final del ciclo productivo (Brand & Jacinto, 2020). Lo que se trata de hacer en esta poda es retirar el exceso de vegetación con el fin de mantener una arquitectura de la planta que favorezca el ingreso de luz y aire (Glenn & Campostrini, 2011). Es importante mencionar que la poda es una manera eficaz de estimular la acumulación de hormonas como giberelinas, auxinas y citoquininas esenciales para la brotación de las yemas (Fischer, 2013).

Con respecto a la arquitectura del manzano Liu et al. (2022) indican que esta es el resultado de la interacción entre las plantas y el ambiente en el que estas se desarrollan. Siendo esta una de las características de tipo morfológico del árbol que influyen sobre la calidad del fruto y el rendimiento y la intercepción de luz. Por esta razón es necesario mantener una arquitectura óptima en los árboles de manzano mediante la poda con el fin de beneficiar el rendimiento general del vegetal (Zhang et al., 2021).

4.1.6.3 Defoliación

La defoliación consiste en la eliminación de las hojas del árbol ya sea de forma natural en especies caducifolias o de forma artificial, con el objetivo de eliminar ciertos inhibidores de crecimiento como el ácido abscísico, el cual se acumula en las hojas y tiene la capacidad de inhibir la brotación de yemas. A su vez la defoliación también aumenta la actividad de fitohormonas en las yemas como es el caso de las citoquininas y giberelinas (Fischer, 2013). Lee et al. (2023) mencionan que una defoliación anticipada puede provocar una pérdida de carbohidratos en las yemas y otros órganos vegetativos afectando el correcto desarrollo del vegetal. Por otro lado, muchos agricultores utilizan la defoliación como un sistema para mejorar ciertas propiedades del fruto como el color (Lim et al., 2019).

Según Urbina (2001) la defoliación natural se da debido a que en la base del peciolo se forma una zona caracterizada por presentar haces vasculares estrechos y tanto el colénquima como el esclerénquima menos desarrollados. Greene et al. (2011) nombran esta área como zona de abscisión y es en dicho punto en donde la presencia de ácido abscísico (ABA) incrementa los niveles de etileno lo cual causa que se degrade la pared celular y se dé la caída natural de la hoja.

4.1.7 Procesos fisiológicos del manzano

4.1.7.1 Dormancia

La dormancia o periodo de reposo invernal es un mecanismo de tipo fisiológico el cual tiene como objetivo principal permitir a las especies caducifolias resistir condiciones climáticas desfavorables mediante el detenimiento o inactividad general del vegetal (Delgado et al., 2021; Pertille et al., 2022). De acuerdo con Lang et al. (1987) la dormancia se caracteriza por presentar tres fases específicas, siendo la primera la paradormancia, etapa en la cual la brotación se inhibe debido al crecimiento de otros tejidos, la segunda etapa denominada endodormancia, conocida también como la etapa en la cual el crecimiento vegetativo se reduce, esta etapa se caracteriza por que el contenido de agua en los tejidos disminuye y por último se evidencia la etapa de ecodormancia, fase en la cual la actividad meristemática disminuye y se ve determinada por condiciones ambientales externas a la planta como por ejemplo las bajas temperaturas.

En el caso específico del manzano, Mesa et al. (2019) mencionan que, durante el periodo de dormancia, las yemas del manzano continúan desarrollándose con una tasa metabólica mínima.

Esto debido a que en el manzano los carbohidratos que se encuentran en los órganos de reserva generan energía útil durante el estado de inactividad vegetal (Breen et al., 2020).

4.1.7.2 Brotación

La brotación es considerada la fase fenológica de los vegetales que continua después del periodo de latencia o dormancia. Urbina (2001) se refiere a la brotación como la fase en la cual las yemas continúan con su proceso evolutivo normal dando lugar a la aparición de brotes completamente nuevos.

Rady & Seif (2013) manifiestan que cuando existe una época de frío marcado, la brotación en manzano cv. Anna es alta, llegando a alcanzar cerca del 50 % de sus yemas, mientras que cuando el frío no es suficiente, la brotación llega a ser máximo del 20 %.

4.1.7.3 Floración

La floración es la continuación de la evolución de las yemas tanto fructíferas como mixtas que da lugar a la aparición de las flores. Este proceso fenológico comprende cuatro etapas, siendo la primera la inducción floral, en esta etapa se emiten señales meristemáticas en las yemas, paso seguido ocurre la etapa dos denominada iniciación del botón floral, en esta etapa ocurre una serie de cambios histológicos en el botón floral, la tercera etapa se denomina diferenciación floral, en esta, los cambios en el botón floral son de tipo morfológico y son evidentes, por último la etapa final se denomina floración y es cuando la flor se abre por completo y exhibe la totalidad sus características morfológicas y sexuales (Reddy et al., 2022).

Cabe recalcar que las flores son sumamente vulnerables a las temperaturas frías, las cuales pueden ocasionar diferentes daños, siendo el más leve una coloración café en la base de la flor y la más grave el aborto o caída de la flor (Chen et al., 2023).

4.1.7.4 Cuajado de frutos

Gariglio et al. (2015) indican que el cuajado de frutos es la evolución acelerada que sufre el ovario de la flor a un fruto en desarrollo.

Por lo general el proceso de cuajado está determinado por la calidad del brote sobre el cual se asienta la flor. Berlanga et al. (2012) mencionan que para que una cosecha sea rentable comercialmente, se requiere que el manzano tenga un cuajado de frutos de entre el 5 al 30 % del total de sus flores.

4.1.8 Horas frío

Las horas frío hacen referencia al número de horas que debe estar un vegetal de hoja caduca bajo un umbral de temperatura determinado (0 – 7.2 °C), el principal objetivo de las horas frío, es cuantificar el número de unidades de tiempo expresadas en horas que una zona determinada ha estado a cierta temperatura que se la puede considerar como fría en base a los diferentes modelos propuestos (Jiménez et al., 2020).

Actualmente según Mendoza (2020) las horas frío son consideradas como uno de los factores climáticos más relevantes en la adaptación, aclimatación y producción de los árboles frutales.

4.1.8.1 Modelos de horas frío

El primer modelo, llamado Modelo de Horas frío propuesto por (Weinberger, 1950). Indica que las temperaturas comprendidas en el rango de 0 a 7.2 °C son las que pueden ser contabilizadas como temperaturas frías que generan un impacto en el frutal, según este modelo una hora en un ambiente cuya temperatura se encuentre en el rango antes mencionado, representa una hora de frío (Chhetri et al., 2018; Pertille et al., 2019).

El segundo modelo el cual se basa en unidades de frío es conocido como modelo “Utah” y fue propuesto por (Richardson et al., 1974). Este modelo asigna diferentes eficiencias de enfriamiento a diferentes rangos de temperatura y a su vez incluye las contribuciones negativas de las altas temperaturas. Este modelo define que 1 unidad de frío es cuando el árbol está expuesto a temperaturas entre los 2.5 a 9.1 °C, siendo la temperatura óptima los 6 °C. Cuando la temperatura esta entre 9.2 y 12.4 °C, el modelo asigna 0.5 unidades de frío y cuando está en 18 °C la unidad de frío es equivalente a -1 (Pertille et al., 2019).

4.1.8.2 Cálculo de horas frío

Para el cálculo de las horas frío, se pueden utilizar instrumentos tales como los termógrafos, sin embargo, su uso resulta tedioso y su costo elevado. El método más común para el cálculo de horas frío en ambientes tropicales según Mendoza (2020) es la fórmula propuesta por Damota a través de la ecuación:

$$HF = 485.1 - 28.52 (x)$$

Donde:

H.F. = Horas frío

X = Temperatura media mensual

485.1 = Intercepto de la línea de regresión con el eje de la Y

-28.52 = Pendiente de la línea de regresión

4.1.9 Requerimiento de frío en manzano cv. Anna

El manzano cultivar Anna, es uno de los frutales pertenecientes a la familia de las rosáceas capaz de ser explotado en regiones tropicales donde hay una baja acumulación de frío (Viteri et al., 1995). Esto debido a que una de las características principales de este cultivar es su bajo requerimiento de horas frío (Yehia et al., 2016). Alayón & Rodríguez (2010) indican que el requerimiento de horas frío del manzano cv. Anna es de entre 150 a 300 horas.

4.1.10 Problemas relacionados a la insuficiencia de frío en manzano

Una cantidad reducida o insuficiente de horas frío durante la época invernal provoca en los frutales una serie de alteraciones en sus procesos fisiológicos y fenológicos (Mendoza, 2020). La falta de frío genera una serie de problemas, algunos de estos pudiendo llegar a ser graves, comprometiendo de esta forma la vida del árbol. Entre las principales afecciones relacionadas a la falta de frío se pueden mencionar que el frutal presenta dificultad para salir de su estado de reposo lo cual provoca una apertura tardía de las yemas, por consiguiente, provocaría una floración tardía generando así un desfase en la época de floración entre la variedad productora y su polinizante, resultando en un bajo rendimiento productivo, una deficiente formación de frutos, reducción de crecimiento vegetativo y una fuerte dominancia apical (Ashebir et al., 2010; Jiménez et al., 2020). En algunos casos, cuando la insuficiencia de frío es severa las flores del manzano pueden abortar (Castro et al., 2016).

Kassem et al. (2016) Indican que, para el caso específico de Anna, cuando existe insuficiencia de frío, este cultivar presenta un porcentaje insignificante de yemas abiertas durante el proceso de floración.

4.2 Productos capaces de compensar el frío en frutales

El uso de productos de síntesis química, capaces de compensar la falta de horas frío en cultivos con bajo, medio y alto requerimiento de frío es muy común a nivel mundial, debido a que su aplicación actualmente se considera como la medida más efectiva y rápida para controlar los problemas causados por la falta de frío y a su vez mitigar fallas en la apertura de yemas y floración (González & Quiñones, 2018; Marques et al., 2022).

La aplicación de determinados productos químicos a más de suplir de forma parcial el efecto de la acumulación de frío en árboles caducifolios, puede generar fitotoxicidad lo cual puede comprometer la vida del frutal, esto en caso de ser aplicados de forma tardía o si se utilizan concentraciones excesivas (Pasa et al., 2018; Vivian et al., 2008).

4.2.1 *Aceite Mineral*

El Aceite mineral, como su nombre lo indica es un aceite sumamente refinado proveniente del petróleo, cuyo uso agrícola convencional suele ser el manejo de insectos plaga y sus huevos ya que tiene la capacidad de matarlos debido a que causa asfixia. Este aceite también puede ser aplicado con el fin de compensar el frío e inducir la brotación, sobre todo en especies de hoja caduca. Su método de acción para lograr inducir la brotación es que tiene la capacidad de aumentar la tasa respiratoria de las yemas que se encuentran en estado de latencia lo cual genera un incremento metabólico sobre la yema obligándola a salir de su estado de dormición (Carvajal et al., 2007).

Maged et al. (2019) mencionan que el momento más efectivo para aplicar el aceite mineral en manzano es cuando las yemas entran en dormancia profunda. A su vez Seif El (2019) concluye que la concentración óptima de aceite mineral a aplicar en manzano debe ser de 5 %.

4.2.2 *Cianamida Hidrogenada (H₂CN₂)*

De acuerdo con Bound et al. (2022) y Seif El & Rady (2012), la cianamida hidrogenada es el biorregulador más utilizado a nivel mundial para compensar la falta de frío y promover la brotación en cultivos caducos.

Su efecto esta dado por la generación de un estrés subletal en la planta, ya que tiene la capacidad de inhibir la actividad de las catalasas, las cuales son las enzimas encargadas de la degradación del peróxido de hidrógeno (H₂O₂), por lo tanto, se produce una sobreacumulación de H₂O₂ en las yemas, lo cual estimula a que estas salgan de su estado de latencia. A su vez, el efecto de la

sobreacumulación de peróxido de hidrógeno provoca un aumento en el contenido de aminoácidos y hormonas en las yemas, cuya principal función es promover el crecimiento del vegetal, como es el caso de las auxinas y giberelinas (Ferreira et al., 2022).

Subhadrabandhu (1995) menciona que la cianamida en manzano cv. Anna puede ser aplicada en concentraciones de 0.5 a 10 %. Sin embargo, concentraciones mayores a 5 % causan un porcentaje alto de brotes secos, el autor menciona que las concentraciones óptimas se encuentran en el rango de 1 a 2.5 %.

4.2.3 Cianamida Hidrogenada + Aceite mineral

La cianamida hidrogenada es un químico con dos problemas fundamentales, su elevado costo y su alta tasa de toxicidad tanto para el ambiente como para el ser humano, pudiendo llegar a ser cancerígeno (Lin et al., 2022). Es por esto que para hacer factible su uso en el campo, su concentración debe reducirse, esto se logra realizando mezclas con otros compuestos como es el caso del aceite mineral (Uber et al., 2020).

De acuerdo con Soria (2009) el uso de aceite mineral al 3 % más cianamida al 0.25 % proporciona un buen porcentaje de brotación en yemas laterales y terminales en manzano, a su vez menciona que la concentración del aceite puede variar entre 3 y 4 % y de la cianamida entre 0.15 y 0.5 % dependiendo del cultivar y las condiciones de la dormición.

4.2.4 Nitrato de potasio (KNO₃)

El nitrato de potasio forma parte de los compensadores químicos de horas frío mayormente utilizados debido a su bajo costo y su eficacia al momento de romper la dormancia e inducir la brotación (Burhanettin et al., 2016).

Según lo menciona Seif El & Seif El (2021) la importancia en la aplicación de nitrato de potasio para inducir brotación radica en que el nitrógeno (N) y el potasio (K) presentan un rol importante en la planta ya que estimulan la formación de la molécula de clorofila. En el caso del nitrógeno (N), a más de formar parte de la clorofila, este forma parte esencial de aminoácidos, ácidos nucleicos y proteínas. A su vez el nitrógeno también actúa como precursor de hormonas vegetales como las auxinas, las cuales cumplen la función de activar la brotación (Vanegas et al., 2016).

4.2.5 Ácido salicílico

El ácido salicílico es una fitohormona esencial para el correcto desarrollo de los vegetales, su concentración y localización dentro de las plantas varía de una especie a otra, más sin embargo siempre está presente (Arif et al., 2020). Su esencialidad radica en que esta hormona forma parte de varios procesos fisiológicos como por ejemplo el crecimiento de la planta, la floración, el rendimiento y la productividad y en ciertas características organolépticas del fruto como la coloración (Gacnik et al., 2021; Hayat et al., 2010).

En cuanto a su capacidad como inductor de brotación, Orrantia et al. (2021) mencionan que esta capacidad se confiere al ácido salicílico debido a que induce a la acumulación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la planta, debido a que reduce la actividad de las enzimas catalasas. Esta acumulación de peróxido de hidrógeno provoca que se genere un estrés subletal en la planta, el cual sería el causante de que se estimule el rompimiento de la dormición y se induzca una brotación uniforme. Elall (2019) menciona que, en frutales caducifolios, esta fitohormona se la puede proporcionar de forma externa, realizando aplicaciones del ácido en concentraciones de 300 mg/ litro.

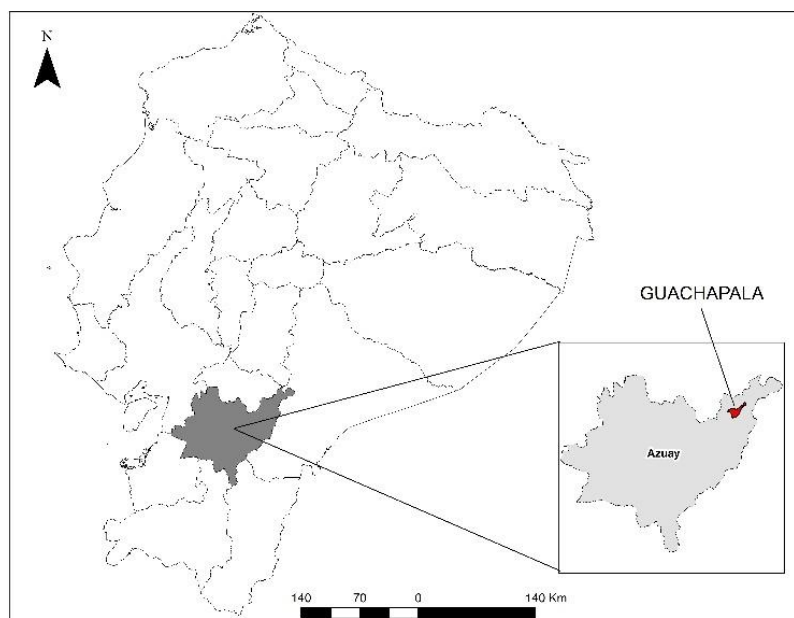
5 Materiales y métodos

5.1 Área experimental y caracterización del clima local

La investigación se llevó a cabo entre los meses de septiembre a diciembre del año 2022, en una plantación experimental de manzano cv. Anna ubicada en la granja Romeral, perteneciente a la Universidad de Cuenca. La granja se ubica en el Cantón Guachapala provincia del Azuay, Ecuador, las coordenadas espaciales son 2 °45.910' S y 78 °42.981'O (Figura1). La altitud a la cual se encuentra la granja es de 2.200 m.s.n.m, el clima de la zona es de carácter subtropical, la temperatura media anual oscila entre 15 a 18 °C, la humedad relativa media del ambiente es de 82 % y el promedio de precipitación anual varía entre 500 y 1000 mm. Esta zona presenta predominantes lluvias en época de invierno entre los meses de enero a mayo (Díaz, 2010).

Figura 1

Ubicación a nivel nacional y provincial del área de estudio

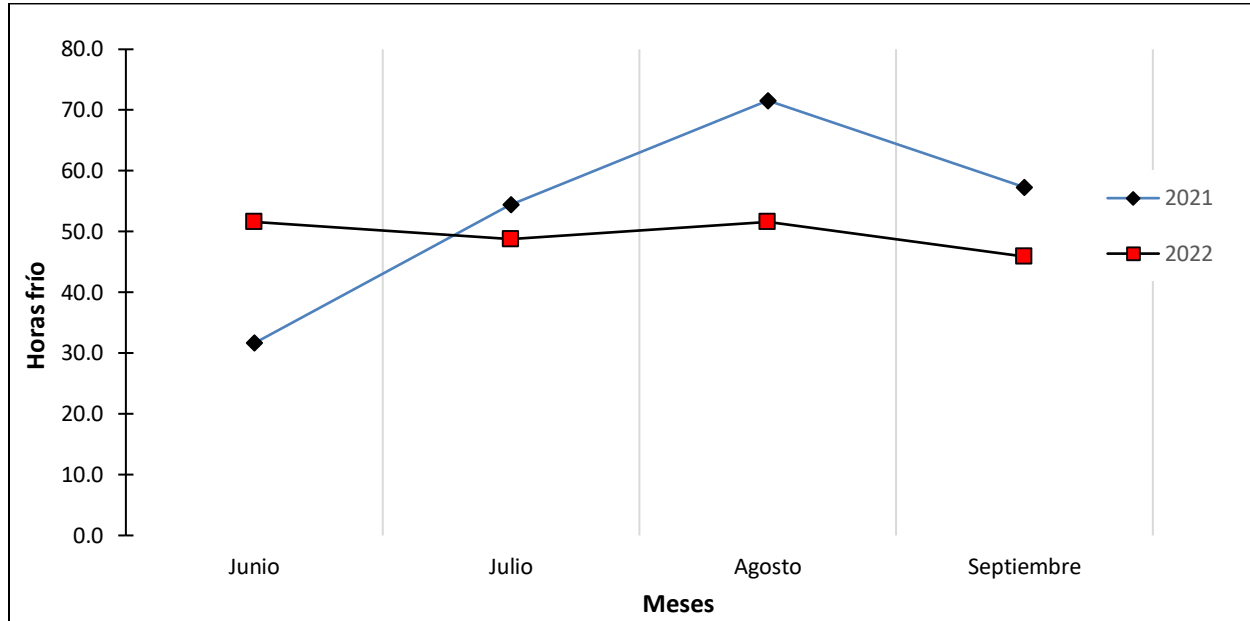


Fuente: Elaboración propia del autor

Los datos meteorológicos proporcionados por el Departamento de Geomática de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, mostraron que 214.9 horas frío se acumularon entre los meses de junio a septiembre del año 2021 y 197.8 en el 2022 (Figura 2).

Figura 2

Acumulación de horas frío calculadas por el método de Damota en los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2021 y 2022 en la granja El Romeral – Universidad de Cuenca



5.2 Material vegetal

El material vegetal usado en esta investigación consistió en un huerto de árboles de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna, de 35 años de edad, injertados sobre el portainjerto MM-106, conducidos en copa abierta. El sistema de plantación de los árboles fue cuadrado (3 x 3 m). Árboles de manzano de la variedad Dorset Golden fueron utilizados en este huerto como polinizante.

5.3 Selección de árboles y ramillas de manzano cv. Anna

Se seleccionaron 48 árboles de manzano cv. Anna con características morfológicas y de crecimiento similares. Se procedió a escoger ramillas de un ciclo de edad (6 meses) por cada árbol. Las ramillas seleccionadas se ubicaron en los cuatro puntos cardinales del árbol, es decir, Norte, Sur, Este y Oeste, esto con el fin de optimizar el acceso a la luz de todas las ramillas seleccionadas. Con el fin de homogenizar la muestra, únicamente se seleccionaron ramillas con características similares cuya longitud fue entre 25 – 35 cm y una vez seleccionadas las ramillas se procedió a eliminar la yema apical, lo cual recibe el nombre de despunte y por último se realizó el respectivo etiquetado.

5.4 Manejo de los árboles seleccionados previo a la aplicación de los tratamientos

Los árboles de manzano cv. Anna se seleccionaron luego de terminada la cosecha. Previo a la aplicación de los tratamientos, se procedió a realizar la defoliación en los primeros días del mes de septiembre. La defoliación y poda de fructificación fueron realizadas de forma manual.

5.5 Tratamientos utilizados

Se utilizó como compensadores químicos de horas frío en la presente investigación: Cianamida hidrogenada (Dormex ®), aceite mineral (Microblen plus ®), nitrato de potasio granulado (13.5 – 0 – 45) y ácido salicílico con pureza del 99 %.

Los diferentes tratamientos con sus respectivas concentraciones utilizados en la investigación se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1*Descripción de tratamientos aplicados en la investigación*

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTO
T1	Ácido salicílico 400 mg / L
T2	Ácido salicílico 300 mg / L
T3	Ácido salicílico 200 mg / L
T4	Cianamida Hidrogenada (Dormex) 0.5 %
T5	Cianamida Hidrogenada (Dormex) 1.0 %
T6	Cianamida Hidrogenada (Dormex) 1.5 %
T7	Aceite mineral 4 %
T8	Aceite mineral 5 %
T9	Aceite mineral 6 %
T10	Aceite mineral 3 % + Cianamida hidrogenada 0.20 %
T11	Aceite mineral 3 % + Cianamida hidrogenada 0.25 %
T12	Aceite mineral 3% + Cianamida hidrogenada 0.30 %
T13	Nitrato de potasio 5 %
T14	Nitrato de potasio 6 %
T15	Nitrato de potasio 7 %
T16	Control - agua

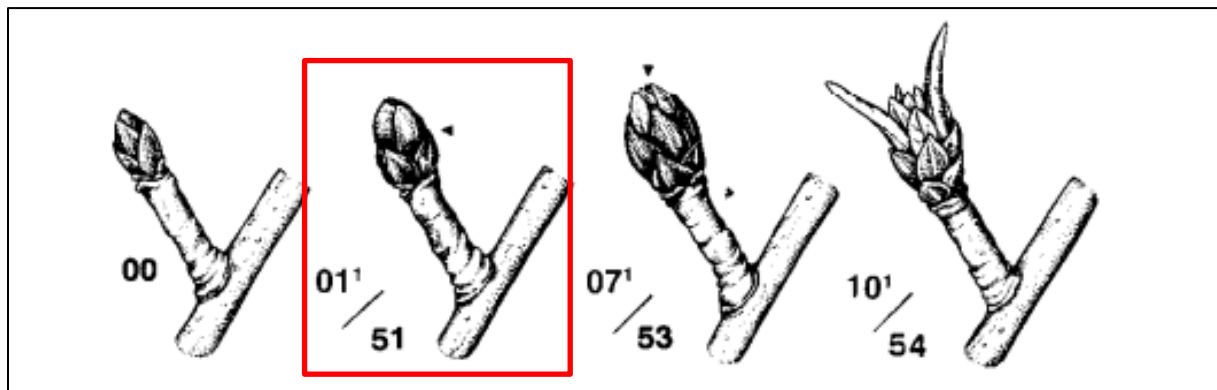
5.6 Cálculo de concentraciones y aplicación de los tratamientos

La aplicación de los diferentes tratamientos se realizó por una única vez cuando las yemas del manzano se encontraban en el estado fenológico 51 (yema hinchada) según la codificación BBCH para frutales de pepita (Figura 3). La aplicación se realizó por la mañana, antes del mediodía, la temperatura ambiental fue 17 °C y no había viento excesivo. El pesaje de los compensadores químicos de horas frío cuya presentación era sólida como fue el caso del nitrato de potasio y el ácido salicílico se lo realizó en el laboratorio de la granja El Romeral, se utilizó una balanza de precisión (Ohaus, Adventurer™, USA) y una balanza digital (Camry, EK3351, USA), para el caso de los químicos cuya presentación era líquida como es el caso de la cianamida hidrogenada y el aceite mineral, se calcularon sus concentraciones mediante el uso de pipetas, vaso de precipitación, jeringas y probetas. Posterior al pesaje y cálculo de

concentraciones, se procedió a preparar la solución para cada tratamiento en un recipiente independiente con 5 L de agua potable cuyo pH fue de 7.8. Para la aplicación de los tratamientos, se utilizaron recipientes atomizadores de 1 L de capacidad y se utilizó un recipiente para cada tratamiento con el objetivo de evitar contaminación de los productos. Todas las partes aéreas de las plantas se pulverizaron con los diferentes tratamientos respectivos para cada una hasta llegar al punto de goteo.

Figura 3

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los frutales de pepita



Nota. Estadio fenológico 51 (yema hinchada) del manzano (*Malus domestica* Borkh), según la codificación BBCH para frutales de pepita (Enz & Dachler, 1998).

5.7 Evaluación de campo para identificar el compensador químico de horas frío y la concentración adecuada para la brotación y cuajado óptimo en manzano cv. Anna

En cada ramilla de un ciclo de edad previamente seleccionada y etiquetada, una vez aplicados los tratamientos, de forma inmediata el mismo día se procedió a contar el número total de yemas que contenía cada una, esto con el fin de ir observando el desarrollo fenológico de las yemas y poder de esta forma calcular los porcentajes de yemas brotadas y cuajado de frutos. Una vez realizado este conteo de yemas preliminar, se dio seguimiento al experimento durante 90 días de forma semanal. Treinta días después de la aplicación de los tratamientos se realizó la primera toma de datos en la cual se contó el número de yemas brotadas y el número de flores abiertas en cada ramilla, la segunda toma de datos se realizó a los 60 días después de aplicados los tratamientos y se contabilizó el número de yemas brotadas y flores abiertas, por último, la toma de datos final se la realizó a los 90 días después de la aplicación de los tratamientos y se

contabilizó el número de frutos cuajados en las ramillas seleccionadas. Para el cálculo del porcentaje de brotación se utilizó la siguiente ecuación [(número de yemas brotadas / número inicial de yemas) *100]. Mientras que el porcentaje de frutos cuajados fue determinado mediante el conteo del número de flores presentes en cada ramilla y al final se lo comparó con el número de frutos cuajados a los 90 días después de la aplicación de los tratamientos.

5.8 Metodología seguida para determinar los costos de aplicación en función de los tratamientos aplicados.

Los costos de aplicación de los compensadores químicos de horas frío, fueron analizados en base al precio actual de mercado en el Ecuador de los productos utilizados y la mano de obra requerida para la aplicación de cada uno de estos. El cálculo fue realizado en base a una distancia de plantación de 3 x 3 m entre filas y entre columnas respectivamente, es decir 1.111 árboles / ha.

5.9 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento fue realizado bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) en el cual se utilizó la pendiente como factor de bloqueo. Se utilizaron 48 árboles de manzano cv. Anna. Las plantas ubicadas en los bordes no fueron seleccionadas con el fin de evitar errores. Dentro de los árboles elegidos se seleccionaron cuatro ramillas de un ciclo de edad ubicadas según los cuatro puntos cardinales. Sobre las ramillas seleccionadas se aplicaron 16 tratamientos incluidos el tratamiento control y se realizaron tres repeticiones para cada uno, siendo la unidad experimental cada ramilla de un ciclo de edad.

Las variables consideradas para el análisis fueron:

- Porcentaje de brotación de yemas a los 30 y 60 días de aplicados los tratamientos.
- Porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de aplicados los tratamientos.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el software estadístico INFOSTAT®. Se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de los datos, concluyendo que los datos de porcentaje de yemas brotadas a los 30 y 60 días se ajustaron a la normalidad, no siendo igual para los datos de porcentaje de frutos cuajados. En el caso de las variables cuantitativas como el porcentaje de yemas brotadas y el porcentaje de frutos cuajados, los valores porcentuales fueron transformados mediante la expresión $\arccos\sqrt{x/100}$ con el fin de poder aplicar la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para cumplir los supuestos del ANOVA.

Para el caso de las variables que si cumplieron los supuestos tanto de normalidad como de homocedasticidad se realizó el ANOVA y para los resultados que mostraron variabilidad se empleó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Para las variables que no cumplieron se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis ($\alpha = 0.05$). Cabe mencionar que los resultados presentados se encuentran en su escala porcentual original.

6 Resultados

6.1 Porcentaje de yemas brotadas

Mediante la prueba de Shapiro – Wilk (Anexo 1), se pudo comprobar que los resultados de yemas brotadas obtenidos a los 30 y 60 días después de la aplicación de los diferentes compensadores químicos de horas frío, se distribuyen de forma normal ($p > 0.05$). Además, mediante la prueba de Levene (Anexo 2), se verificó que existe homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$).

6.2 Porcentaje de yemas brotadas a los 30 días de la aplicación de los compensadores químicos de horas frío.

En el ANOVA realizado (Anexo 3), se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0.0001$). El coeficiente de variación obtenido fue de $CV= 12.72 \%$.

Por medio de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se pudieron determinar 5 rangos. Como se muestra en la tabla 2. Los árboles tratados con aceite mineral al 6 % (T9) mostraron el mayor porcentaje de yemas brotadas (67.69 %). Seguido por los árboles tratados con aceite mineral al 3 % + cianamida hidrogenada al 0.25 % (T11) y nitrato de potasio al 6 % (T14) los cuales forman parte del mismo rango. El tratamiento que menor porcentaje de yemas brotas mostró fue el tratamiento control (T16) con 13.46 % de yemas brotadas tal como se muestra en la figura 4.

Tabla 2

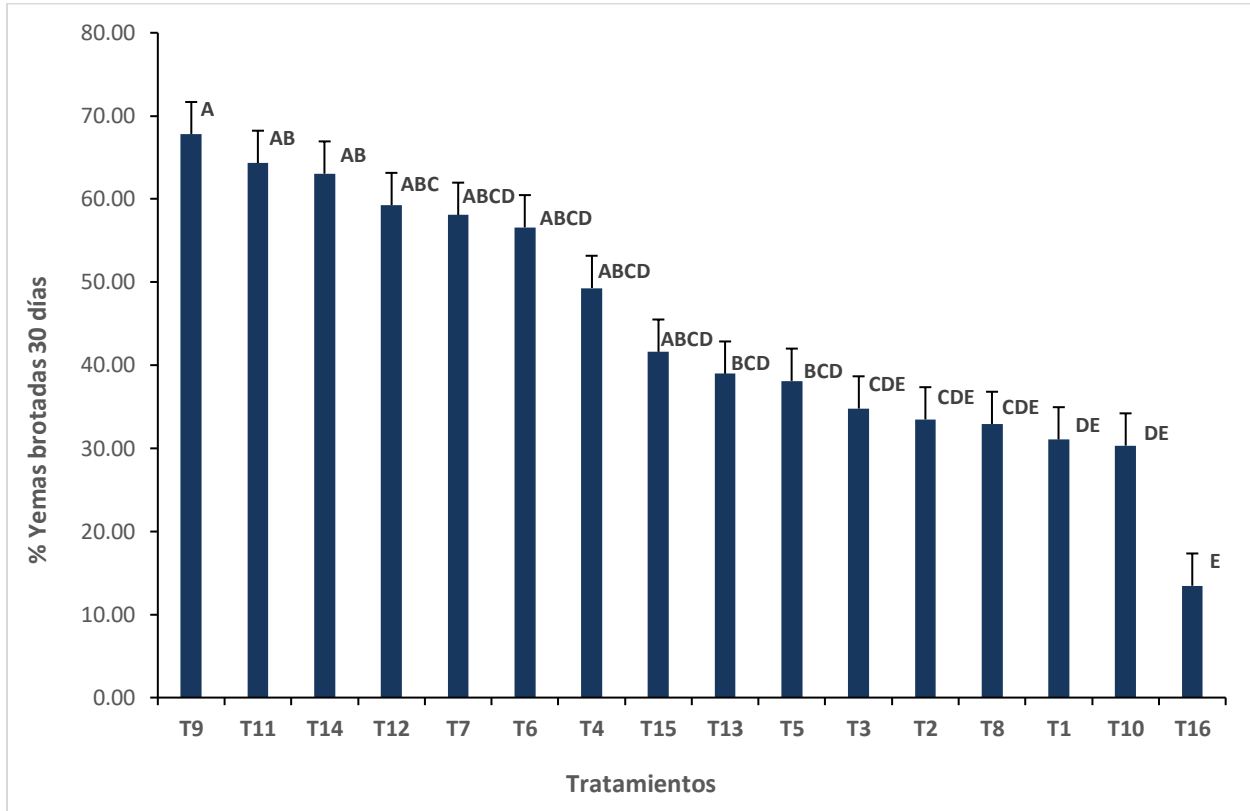
Porcentaje de yemas brotadas a los 30 y 60 días y porcentaje de frutos cuajados a los 90 días observados en manzano cv. Anna con la aplicación de compensadores químicos de horas frío

Tratamientos	Yemas brotadas		Frutos cuajados
	p – valor (< 0.0001)		p – valor (0.439)
	30 días	60 días	90 días
Ácido salicílico 400 mg / L	31.06 de	32.56 cd	29.44
Ácido salicílico 300 mg / L	33.47 cde	41.41 bcd	11.81
Ácido salicílico 200 mg / L	37.44 cde	43.31 bcd	3.7
Cianamida Hidrogenada (Dormex) 0.5 %	49.28 abc	48.7 abc	2.38
Cianamida Hidrogenada (Dormex) 1.0 %	38.11 bcd	38.22 bcd	1.59
Cianamida Hidrogenada (Dormex) 1.5 %	56.58 abcd	57.91 abc	3.92
Aceite mineral 4 %	58.08 abcd	46.15 bc	22.69
Aceite mineral 5 %	32.92 cde	43.29 bcd	1.75
Aceite mineral 6 %	67.79 a	75.55 a	14.55
Aceite mineral 3 % + Cianamida hidrogenada 0.20 %	30.32 de	35.85 cd	4.17
Aceite mineral 3 % + Cianamida hidrogenada 0.25 %	64.33 ab	68.18 ab	17.74
Aceite mineral 3% + Cianamida hidrogenada 0.30 %	59.26 abcd	58.48 abc	0.00
Nitrato de potasio 5%	38.97 bcd	42.28 bcd	17.31
Nitrato de potasio 6%	63.04 ab	66.97 ab	15.34
Nitrato de potasio 7%	41.61 abcd	44.31 bcd	5.56
Control - agua	13.46 e	17.02 d	16.67
CV (%)	12.72	13.75	/

Nota: Los valores seguidos por letras diferentes en las columnas de porcentaje de yemas brotadas difieren según el test de Tukey al 5 % de probabilidad. Para el caso del porcentaje de frutos cuajados se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

Figura 4

Porcentaje de yemas brotadas a los 30 días de la aplicación de los compensadores de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna



Nota. T1 = Ac. Salicílico 400 mg/L; T2 = Ac. Salicílico 300 mg/L; T3 = Ac. Salicílico 200 mg/L; T4 = Dormex 0.5 %; T5 = Dormex 1.0 %; T6 = Dormex 1.5 %; T7 = A. mineral 4 %; T8 = A. mineral 5 %; T9 = A. mineral 6 %; T10 = A. mineral 3 % + Dormex 0.20 %; T11 = A. mineral 3 % + Dormex 0.25 %; T12 = A. mineral 3 % + Dormex 0.30 %; T13 = KNO3 5 %; T14 = KNO3 6 %; T15 = KNO3 7 %; T16 = Control – Agua.

6.3 Porcentaje de yemas brotadas a los 60 días de la aplicación de los compensadores químicos de horas frío.

En el ANOVA realizado (Anexo 4), se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0.0001$). El coeficiente de variación obtenido fue de $CV= 13.75 \%$.

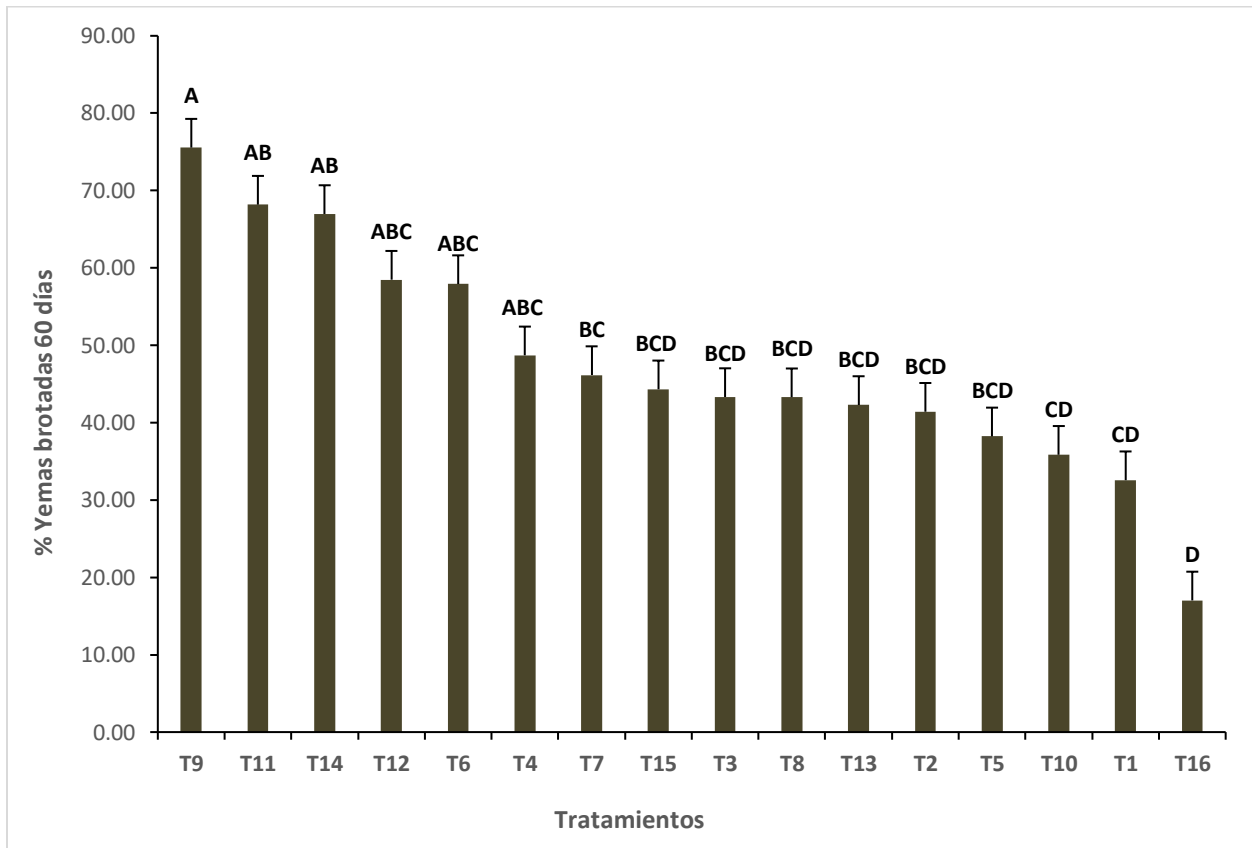
Por medio de la prueba post hoc de Tukey ($\alpha = 0.05$) se pudieron determinar 4 rangos.

Como se muestra en la tabla 2. Los árboles tratados con aceite mineral al 6 % (T9) mostraron el mayor porcentaje de yemas brotadas (75.55 %). Seguido por los árboles tratados con aceite

mineral al 3 % + cianamida hidrogenada al 0.25 % (T11) y nitrato de potasio al 6 % (T14) los cuales forman parte del mismo rango estadístico. El tratamiento que menor porcentaje de yemas brotadas mostró fue el tratamiento control (T16) con 17.02 % de yemas brotadas tal como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Porcentaje de yemas brotadas a los 60 días de la aplicación de los compensadores de horas frío en el cultivo de manzana (Malus domestica Borkh) cv. Anna



Nota. T1 = Ac. Salicílico 400 mg/L; T2 = Ac. Salicílico 300 mg/L; T3 = Ac. Salicílico 200 mg/L; T4 = Dormex 0.5 %; T5 = Dormex 1.0 %; T6 = Dormex 1.5 %; T7 = A. mineral 4 %; T8 = A. mineral 5 %; T9 = A. mineral 6 %; T10 = A. mineral 3 % + Dormex 0.20 %; T11 = A. mineral 3 % + Dormex 0.25 %; T12 = A. mineral 3 % + Dormex 0.30 %; T13 = KNO3 5 %; T14 = KNO3 6 %; T15 = KNO3 7 %; T16 = Control – Agua.

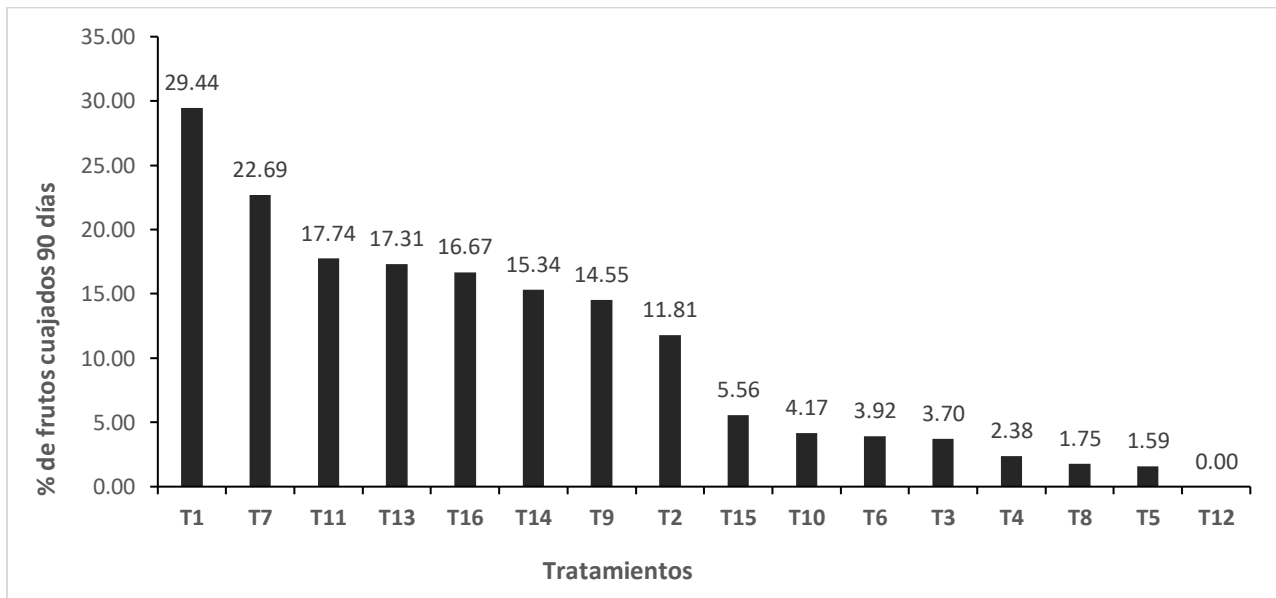
6.4 Porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de la aplicación de los compensadores químicos de horas frío.

Al ser realizada la prueba de Shapiro – Wilk. Esta variable no presentó normalidad de los datos ($p < 0.05$) (Anexo 5), a su vez tampoco presentó homogeneidad de varianzas ($p < 0.05$) (Anexo 6), por lo cual se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis ($\alpha = 0.05$) (Anexo 7).

La prueba no indicó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados ($p > 0.05$). Pese a no existir efecto significativo de los tratamientos evaluados, en la tabla 2 se puede observar que los mayores porcentajes de frutos cuajados fueron de 29.44 % y 22.69 % los cuales fueron obtenidos con los tratamientos T1 (Ácido salicílico 400 mg/L) y T7 (Aceite mineral 4 %) respectivamente. Por otro lado, el tratamiento T12 (Aceite mineral 3% + Dormex 0.30 %), presentó 0 % de frutos cuajados, como se puede observar en la figura 6.

Figura 6

Porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de la aplicación de los tratamientos en el cultivo de manzana (Malus domestica Borkh) cv. Anna



Nota. T1 = Ac. Salicílico 400 mg/L; T2 = Ac. Salicílico 300 mg/L; T3 = Ac. Salicílico 200 mg/L; T4 = Dormex 0.5 %; T5 = Dormex 1.0 %; T6 = Dormex 1.5 %; T7 = A. mineral 4 %; T8 = A. mineral 5 %; T9 = A. mineral 6 %; T10 = A. mineral 3 % + Dormex 0.20 %; T11 = A. mineral 3 % + Dormex 0.25 %; T12 = A. mineral 3 % + Dormex 0.30 %; T13 = KNO3 5 %; T14 = KNO3 6 %; T15 = KNO3 7 %; T16 = Control – Agua.

6.5 Costos de aplicación de los compensadores químicos de horas frío

El requerimiento por hectárea de los diferentes compensadores químicos de horas frío se realizó para un total de 1.111 árboles los cuales se encuentran distribuidos en un sistema de plantación cuadrado (3 x 3 m).

Tabla 3

Descripción del requerimiento por hectárea y costos de aplicación de los compensadores químicos de horas frío en base a los tratamientos propuestos

Tratamientos aplicados	Requerimiento / ha	Costo total / ha (\$)
Ácido salicílico 400 mg/ L	444.4 mg	15.50
Ácido salicílico 300 mg/ L	333.3 mg	15.50
Ácido salicílico 200 mg/ L	222.2 mg	15.50
Dormex 0.5 %	5.56 L	124.99
Dormex 1 %	11.11 L	249.98
Dormex 1.5 %	16.67 L	374.96
Aceite mineral 4 %	44.44 L	355.52
Aceite mineral 5 %	55.55 L	444.40
Aceite mineral 6 %	66.66 L	533.28
Aceite mineral 3 % + Dormex 0.20 %	35.55 L	316.64
Aceite mineral 3 % + Dormex 0.25 %	36.11 L	329.13
Aceite mineral 3 % + Dormex 0.30 %	36.66 L	341.63
Nitrato de potasio 5 %	55.55 L	166.65
Nitrato de potasio 6 %	66.66 L	199.98
Nitrato de potasio 7 %	77.77 L	233.31
Control - Agua	0	0

Nota: Los cálculos fueron realizados en base a que se requiere de 1 L de agua para pulverizar de forma correcta un manzano cv. Anna. Los costos se encuentran expresados en dólares americanos (USD). Para el caso específico del ácido salicílico se ha colocado el costo de un kg ya que es la única presentación a la cual se comercializa este producto.

Previo a la aplicación de cualquiera de los tratamientos, se debe tomar en cuenta el costo de la mano de obra. Para las condiciones específicas de este estudio, se ha estimado que se requiere un total de 4 jornales por hectárea. En el caso de que se desee aplicar algún tratamiento con el

fin de aumentar el porcentaje de brotación de yemas, el tratamiento a aplicar puede ser nitrato de potasio al 6 % (T 14) ya que este generó un 66.97 % de brotación y a su vez este tratamiento presenta el menor costo (199.98 USD) de entre los que mayor porcentaje de brotación de yemas obtuvieron, sumando los cuatro jornales al costo del nitrato de potasio al 6 % daría un total de 259.82 USD.

7 Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación infieren en que el uso de compensadores químicos de horas frío mejoran de forma significativa el porcentaje de brotación de yemas y el cuajado de frutos en el manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna.

El hecho de que en aquellos tratamientos en los cuales se incluye aceite mineral fueron los que mayor significancia obtuvieron en cuanto al porcentaje de yemas brotadas ha sido reportado en varios estudios. Seif El (2019) en un estudio realizado sobre el efecto de aplicar aceite mineral en manzana Barkhar menciona que el aceite mineral es el tratamiento más eficaz para completar la falta de horas frío y de esta forma lograr una correcta brotación del manzano y mejorar el rendimiento general del cultivo.

El aceite mineral al 6 % fue el tratamiento que mayor porcentaje de yemas abiertas presentó (67.69 %) y (75.55%) tanto a los 30 como a los 60 días respectivamente después de la aplicación de los tratamientos. Resultados similares fueron obtenidos por Sagredo et al. (2005) en su estudio sobre el efecto del aceite mineral en el rompimiento de la dormancia en manzana Golden Delicios, los autores concluyeron que el aceite mineral en concentraciones entre 4% a 6 % afecta de forma directa la brotación de yemas del manzano pudiendo llegar a obtener hasta 75.7 % de yemas brotadas. A su vez los resultados obtenidos en esta investigación varían con respecto a los resultados obtenidos por Seif El (2019) ya que el autor indica que la concentración óptima de aceite mineral para obtener los mejores resultados en cuanto a la brotación de yemas es de 5 %, sin embargo, como se mencionó con anterioridad en esta investigación se obtuvo que la concentración que mayor porcentaje de yemas brotadas provocó fue la de 6 %. Cabe recalcar que según Maged et al. (2019) y según Sagredo et al. (2005) la aplicación del aceite mineral en el manzano se puede realizar cuando este se encuentra en diferentes estadios de dormición, sin embargo, los resultados de la aplicación y la efectividad de las concentraciones aplicadas puede variar, esto dependerá también de las horas de frío que el vegetal tenga acumuladas al momento de la aplicación del aceite mineral.

Con respecto a la asociación de cianamida hidrogenada con el aceite mineral, según Soria (2009), la mezcla de aceite mineral al 3 % más cianamida hidrogenada al 0.25 % permite una correcta brotación de yemas en cultivares de manzano Gala y Fuji, estos resultados concuerdan con los obtenidos en esta investigación ya que el tratamiento de aceite mineral al 3 % más cianamida hidrogenada al 0.25 % fue el segundo mejor tratamiento en cuanto a brotación de yemas se refiere tanto a los 30 días generando un porcentaje de brotación de 64.33 % como a los 60 días con un porcentaje de 68.18 %. A su vez Sérgio et al. (2006) indican que la concentración óptima de aceite mineral cuando se usa en mezcla con cianamida hidrogenada es del 3 % y que la concentración de la cianamida puede variar entre 0.25 % y 0.50 %, sin embargo, los autores mencionan que concentraciones superiores a estas pueden generar una baja brotación de yemas en manzano.

Como tercer mejor tratamiento en cuanto a porcentaje de yemas brotadas, se obtuvo al nitrato de potasio al 6 % tanto a los 30 días con un porcentaje de brotación de 63.04 % como a los 60 días con un porcentaje de brotación de 66.97 %. Resultados similares fueron obtenidos por Burhanettin et al. (2016) ya que los autores reportan que con el uso de nitrato de potasio al 7 % lograron obtener un 64.85 % de brotación en árboles de manzana Modi la cual presenta requerimientos de frío similares a Anna.

En cuanto a las plantas tratadas con Dormex (0.5 %, 1 % y 1.5 %) estas no obtuvieron los mayores porcentajes de yemas brotadas tanto a los 30 como a los 60 días ya que los porcentajes obtenidos fueron de (49.28 %, 38.11 % y 56.58 %) respectivamente a los 30 días y (48.70 %, 38.22 % y 57.91 %) respectivamente a los 60 días, sin embargo, en comparación con el testigo – control cuyo porcentaje de yemas brotadas fue de 13.46 % a los 30 días y 17.02 % a los 60 días, las plantas tratadas con cianamida hidrogenada presentaron un aumento considerable en el número de yemas brotadas. Según Vanegas et al. (2016), el uso de cianamida hidrogenada (Dormex) puede verse afectado por posibles factores fisiológicos de la planta o por una aplicación tardía del producto.

Con respecto al porcentaje de frutos cuajados, los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí, sin embargo, el tratamiento que mejor porcentaje de frutos cuajados mostró a los 90 días fue T1 (ácido salicílico 400 mg/L) ya que presentó un 29.44 % en comparación con el tratamiento control T16 (16.67 %). Según Arif et al. (2020), el hecho de que el ácido salicílico aplicado de forma exógena al vegetal influya sobre el cuajado de frutos se

puede explicar de dos formas, la primera que es el ácido salicílico interfiere con la floración de los vegetales, los autores mencionan que el ácido salicílico tiene la capacidad de incrementar la floración, reducir la senescencia de las flores y mejorar la calidad de las flores, por otro lado los autores también menciona que el ácido salicílico interacciona con las giberelinas y las auxinas de forma directa en los vegetales pudiendo aumentar la productividad de los mismos. Zahid et al. (2023) concuerdan con lo antes expuesto ya que indican que los reguladores de crecimiento de las plantas entre ellos las auxinas, giberelinas y ácido salicílico interactúan entre sí y de estos las giberelinas forman parte importante en el desarrollo de los frutos en el manzano.

En cuanto al resto de tratamientos, se puede mencionar que aquellos tratamientos cuyo porcentaje de frutos cuajados resultó mayor a 5 % se encuentran dentro de un rango de cuajado de frutos aceptable ya que según Berlanga et al. (2012) para que el cultivo de manzano sea rentable debe existir un cuajado de frutos de entre el 5 al 30 % de sus flores.

8 Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de los diferentes productos de síntesis química capaces de compensar la falta de frío en manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna presentaron un efecto importante ya mostraron porcentajes altos en cuanto a brotación de yemas y cuajado de frutos en comparación con el tratamiento control.

El aceite mineral ya sea solo o en mezcla con cianamida hidrogenada fue el compensador químico de horas frío que presentó los mejores resultados en cuanto a yemas brotadas se refiere. La concentración de aceite mineral al 6 % se destacó entre todos los tratamientos generando un alto porcentaje de brotación de yemas tanto a los 30 como a los 60 días después de haberse aplicado los tratamientos.

En cuanto al cuajado de frutos a pesar de que los datos no mostraron diferencias estadísticamente significativas, el tratamiento con ácido salicílico T1 (400 mg/L) mostró un porcentaje alto de cuajado de frutos en comparación con otros compensadores de horas frío de uso común como por ejemplo el Dormex o el aceite mineral.

Se recomienda realizar más estudios sobre el uso de compensadores químicos de frío que no sean perjudiciales para la salud humana y que contengan nitrógeno en su composición y a su vez se recomienda realizar estudios sobre el momento adecuado de aplicación de los

compensadores de horas frío según el ambiente en el cual se desarrollan los frutales caducifolios en el Ecuador.

9 Referencias

- Abdel, M., & Kotb, H. (2021). Nutritional status and productivity of Anna apple trees in the year following autumn irrigation deterrent. *Agricultural Water Management*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106882>
- Abd-Elall, E. (2019). Spraying of Garlic Extract, Fructose and Salicylic Acid Accelerates Bud Burst and Improves Productivity and Fruit Quality of Superior Grapevines. *Journal of Plant Production*, 10(3). <https://doi.org/10.21608/jpp.2019.36257>
- Alayón, P., & Rodríguez, V. (2010). Análisis fenológico de cultivares de manzana (*Malus domestica* Borkh) de bajo requerimiento de horas de frío en San Luis Del Palmar (Corrientes). *Agrotecnia*, 20(1), 3–8.
- Andersen, P. (2019). *Low-Chill Apple Cultivars for North Florida and North Central Florida 1*. <https://edis.ifas.ufl.edu>
- Anwar, M., Ghany, A., Maklad, N., & Awad, N. (2020). Studies on compatibility, fruit set and fruit quality by different pollinators in Anna apple cultivar. *J. Agric. Sci., Ain Shams Univ*, 28(2), 537–545. <http://ajs.journals.ekb.eg>
- Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. In *Environmental and Experimental Botany* (Vol. 175). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104040>
- Ashebir, D., Deckers, T., Nyssen, J., Bihon, W., Tsegay, A., Tekie, H., Poesen, J., Haile, M., Wondumagegnehu, F., Raes, D., Behailu, M., & Deckers, J. (2010). Growing apple (*Malus Domestica*) under tropical mountain climate conditions in northern Ethiopia. *Experimental Agriculture*, 46(1), 53–65. <https://doi.org/10.1017/S0014479709990470>
- Bareke, T., Addi, A., & Wakjira, K. (2018). Role and Economic Benefits of Honey bees' Pollination on Fruit Yield of Wild Apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) in Central Highlands of Ethiopia. *Bee World*, 95(4), 113–116. <https://doi.org/10.1080/0005772x.2018.1522834>

- Berlanga, D., Rios, C., Romo, A., & Guerrero, V. (2012). Chemical thinning of apple (*Malus x domestica* Borkh.) flowers cvs. Golden Delicious and RedChief Delicious. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(3), 147–157.
- Bound, S. A., Foo, E., Gélinas-Marion, A., Nichols, D. S., & Nissen, R. (2022). The Impact of Dormancy Breakers on Hormone Profiles, Fruit Growth and Quality in Sweet Cherry. *Agriculture*, 12(270). <https://doi.org/10.3390/agriculture12020270>
- Brand, M. A., & Jacinto, R. C. (2020). Apple pruning residues: Potential for burning in boiler systems and pellet production. *Renewable Energy*, 152, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.037>
- Breen, K., Tustin, S., Palmer, J., Bolding, H., & Close, D. (2020). Revisiting the role of carbohydrate reserves in fruit set and early-season growth of apple. *Scientia Horticulturae*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109034>
- Brite, E. B. (2021). The Origins of the Apple in Central Asia. *Journal of World Prehistory*, 34(2), 159–193. <https://doi.org/10.1007/s10963-021-09154-8>
- Burhanettin, I., Kuden, A. B., Küden, A., & Çimen, B. (2016). Chemical applications affected dormancy breaking in “Modi” apple cultivar under subtropical conditions. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 15(6), 265–277. <https://www.researchgate.net/publication/312551866>
- Cárdenas, J., & Fischer, G. (2013). Clasificación botánica y morfología de manzano, peral, duraznero y ciruelo. In D. Miranda, G. Fischer, & C. Carranza (Eds.), *Los frutales caducifolios en Colombia- Situación actual, sistema de cultivo y plan de desarrollo* (Primera edición, pp. 21–30). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
- Carvajal-Millán, E., Gardea, A. A., Rascón-Chu, A., Orozco, J. A., de León, N. P., Márquez-Escalante, J. A., Chacón, A. R., & Guerrero, V. M. (2007). Respiratory response of apple buds treated with budbreaking agents. *Thermochimica Acta*, 457(1–2), 109–112. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2007.03.004>

- Casierra, F., Hernandez, D., Luders, P., & Ebert, G. (2003). Crecimiento de frutos y ramas de manzano "ANA" (*Malus domestica* Borkh) cultivado en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana*, 21(1–2), 69–73.
- Casierra, F., Sepúlveda, C., & Aguilar, Ó. (2008). Brotación del manzano (*Malus domestica* BORKH. CV. ANNA) en respuesta a la época de defoliación. *Actualidad y Divulgación Científica*, 11(1), 113–122.
- Castro, D. C., Cerino, M. C., Gariglio, N., & Radice, S. (2016). Study of reproductive behaviour in low-chill apples in warmer zones of Argentina. *Scientia Horticulturae*, 199, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.018>
- Cepeda, A., Vélez, J., & Balaguera, H. (2021). Analysis of growth and physicochemical changes in apple cv. Anna in a high-altitude tropical climate. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2), 1–11. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12508>
- Chao, X., Sun, G., Zhao, H., Li, M., & He, D. (2020). Identification of apple tree leaf diseases based on deep learning models. *Symmetry*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/sym12071065>
- Chen, R., Wang, J., Li, Y., Song, Y., Huang, M., Feng, P., Qu, Z., & Liu, L. (2023). Quantifying the impact of frost damage during flowering on apple yield in Shaanxi province, China. *European Journal of Agronomy*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126642>
- Chhetri, A., Ramjan, M., & Dolley, N. (2018). Various models to calculate chill units in fruit crops. *Indian Farmer*, 5(4), 439–442. <https://www.researchgate.net/publication/332209169>
- Delgado, A., Dapena, E., Fernandez, E., & Luedeling, E. (2021). Climatic requirements during dormancy in apple trees from northwestern Spain – Global warming may threaten the cultivation of high-chill cultivars. *European Journal of Agronomy*, 130, 126–374. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126374>
- Díaz, L. (2010). *Estudio de impacto ambiental producido en la granja agrícola "El romeral"* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2592/1/tm4365.pdf>
- Domínguez, M. (2008). *Estudio de la variabilidad morfológica en el banco nacional de germoplasma de manzano*. Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina.

- Eissa, R., Mansour, A., & Shaaban, E. (2012). Response of Anna Apple Trees to Four Antioxidants. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(7), 3155–3159.
- Enz, M., & Dachler, C. (1998). Frutales. In *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono-y dicotiledóneas cultivadas* (Primera, Vol. 1, pp. 48–57). Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. https://www.agro.basf.es/Documents/es_files/pdf_1_files/services_files/descarga.pdf
- FAO. (2022, February 17). *Crops and livestock products*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Feng, Z.-Q., Wang, X., Li, T., Wang, X.-F., Li, H.-F., & You, C.-X. (2022). Genome-wide identification and comparative analysis of genes encoding AAPs in apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Gene*, 832. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146558>
- Ferreira, R. B., Leonel, S., Lima, G. P. P., Leonel, M., Minatel, I. O., Souza, J. M. A., Monteiro, G. C., & Silva, M. S. (2022). Contents of nitrogen compounds during bud break and peach tree performance in response to budburst-inducing products. *Scientia Horticulturae*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111388>
- Fischer, G. (2013). Comportamiento de los frutales caducifolios en el trópico. In D. Miranda, G. Fischer, & C. Carranza (Eds.), *Los frutales caducifolios en Colombia* (Primera edición, Vol. 1, pp. 44–47). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. <https://www.researchgate.net/publication/259339482>
- Gacnik, S., Veberic, R., Marinovic, S., Halbwirth, H., & Mikulic, M. (2021). Effect of pre-harvest treatments with salicylic and methyl salicylic acid on the chemical profile and activity of some phenylpropanoid pathway related enzymes in apple leaves. *Scientia Horticulturae*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109794>
- Garcés, N. B., & Soto, G. (2000). Producción del manzano (*Malus* sp. cv Anna) en el oriente Antioqueño con la abeja melífera, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). In *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* (Vol. 53, Issue 1).
- Gariglio, N., Bouzo, C., & Travadelo, M. (2015). Manzano. In M. Sedrán (Ed.), *Cultivos frutales y ornamentales para zonas templado-cálidas* (Primera edición, Vol. 1, pp. 83–107).

Universidad Nacional del Litoral.

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/5536/cultivosfrutalesyornamentales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gioushy, S., Kareem, A., & Baiea, M. (2019). Pre-isolation, isolation and regeneration protoplasts from leaf mesophyll of in vivo *malus domestica* 'anna' cv. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(6). <https://doi.org/10.1590/0100-29452019561>

Glenn, D. M., & Campostrini, E. (2011). Girdling and summer pruning in apple increase soil respiration. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 889–893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.023>

González, M., & Quiñones, A. (2018). Efecto del extracto de ajo como compensador de frío en la brotación del manzano red delicious en la región de nuevo ideal durango México. *Ingeniería y Región*, 20, 19–24. <https://doi.org/10.25054/22161325.1935>

Greene, D., Schupp, J., & Winzeler, E. (2011). Effect of Abscisic Acid and Benzyladenine on Fruit Set and Fruit Quality of Apples. *HortScience*, 46(4), 604–609. <https://doi.org/10.21273/hortsci.46.4.604>

Guo, K., Huang, C., Miao, Y., Cosgrove, D. J., & Hsia, K. J. (2022). Leaf morphogenesis: The multifaceted roles of mechanics. *Molecular Plant*, 15(7), 1098–1119. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.05.015>

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>

Jiménez, M. A., Grau, A., & Cuxart, J. (2020). Generation of chilling hours maps using surface observations and satellite data. *Atmospheric Research*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104807>

Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2022). Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Scientia Horticulturae*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111434>

- Kassem, H., Marzouk, A., & El-Kobbia, A. (2016). Response of Anna apples yield, quality and storage potential to boron and/or zinc foliar sprays. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 3(5), 144–152. www.jsaer.com
- Khalifa, I., Barakat, H., El-Mansy, H. A., & Soliman, S. A. (2017). Preserving apple (*Malus domestica* var. Anna) fruit bioactive substances using olive wastes extract-chitosan film coating. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 90–99. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2016.11.001>
- Koutinas, N., Pepelyankov, G., & Lichev, V. (2006). Morphological differentiation of flower buds in own-rooted and budded apple trees. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 20(2), 24–28. <https://doi.org/10.1080/13102818.2006.10817338>
- Kumar, A., Hasija, V., Sudhaik, A., Raizada, P., van Le, Q., Singh, P., Pham, T. H., Kim, T. Y., Ghotekar, S., & Nguyen, V. H. (2022). Artificial leaf for light-driven CO₂ reduction: Basic concepts, advanced structures and selective solar-to-chemical products. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 430). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133031>
- Kumar, C., Singh, S. K., Pramanick, K. K., Verma, M. K., Srivastav, M., Singh, R., Bharadwaj, C., & Naga, K. C. (2018). Morphological and biochemical diversity among the *Malus* species including indigenous Himalayan wild apples. *Scientia Horticulturae*, 233, 204–219. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.037>
- Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., & Darnell, R. L. (1987). Endo-, Para-, and Ecodormancy: Physiological Terminology and Classification for Dormancy Research. *HortScience*, 22(3), 371–376. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.22.3.371>
- Lee, K. S., Ryu, S., Jeong, J. H., Cho, J. G., Lee, S. K., & Han, J. H. (2023). Effect of carbohydrate levels under autumn defoliation on cold tolerance during the subsequent flowering season in pear. *Scientia Horticulturae*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111530>
- Li, Y. M., Fei, T., Zhang, H. X., Xie, Z. sen, & Li, B. (2023). Observation of the development of leaf vein and stomata and identification candidate transcription factors related to vein/stoma development in grapevine leaf (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111518>

- Lim, H. K., Shin, H., Son, I. C., Oh, Y., Kim, K., Han, H., Oh, S., & Kim, D. (2019). Defoliation and fruit coloration in 'Fuji'/M.9 apple affected by Cu-EDTA and Fe-EDTA foliar spray. *Horticultural Science and Technology*, 37(4), 448–454. <https://doi.org/10.7235/HORT.20190045>
- Lin, M., Wang, S., Liu, Y., Li, J., Zhong, H., Zou, F., & Yuan, D. (2022). Hydrogen cyanamide enhances flowering time in tea oil camellia (*Camellia oleifera* Abel.). *Industrial Crops and Products*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114313>
- Liu, W., Chen, Z., Jiang, S., Wang, Y., Fang, H., Zhang, Z., Chen, X., & Wang, N. (2022). Research Progress on Genetic Basis of Fruit Quality Traits in Apple (*Malus x domestica*). In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 13, pp. 918–202). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.918202>
- Liu, Y., Xiang, H., Huang, Z., Xiang, X., Yu, Y., Wang, M., & Li, Z. (2022). Analysis of leaf-architecture characteristics and ecological adaptability of tree species in the upper reaches of the Chishui River. *Ecological Indicators*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108563>
- Maged, S. M., Mokhtar, H. M., & Sherif, H. M. (2019). Effect of Some Dormancy Breaking Agents on Flowering and Fruiting of Le-Conte Pear Trees under Giza Conditions. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 11(3), 222–231. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2019.222.231>
- Marques, L. O. D., Pasa, M. da S., Mello-Farias, P., & Herter, F. G. (2022). Influence of budburst inducers replacing hydrogen cyanamide on phenological parameters of 'Castel Gala' apple trees. *Scientia Horticulturae*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110867>
- Melke, A., & Fetene, M. (2014). Apples (*Malus domestica*, Borkh.) Phenology in Ethiopian Highlands: Plant Growth, Blooming, Fruit Development and Fruit Quality Perspectives. *American Journal of Experimental Agriculture*, 4(12), 1958–1995. <https://doi.org/10.9734/ajea/2014/9783>
- Mendoza, E. (2020a). Quantification and accumulation of cold hours and degree days in the Valle alto of Cochabamba. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 144–150.

- Mendoza, E. (2020b). Quantification and accumulation of cold hours and degree days in the Valle alto of Cochabamba. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 144–150.
- Mesa, K., Serra, S., Masia, A., Gagliardi, F., Bucci, D., & Musacchi, S. (2019). Preliminary study on effect of early defoliation on dry matter accumulation and storage of reserves on “Abbé Fétel” pear trees. *HortScience*, 54(12), 2169–2177.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI14465-19>
- Milošević, T., Milošević, N., & Mladenović, J. (2018). Role of apple clonal rootstocks on yield, fruit size, nutritional value and antioxidant activity of ‘Red Chief® Campspur’ cultivar. *Scientia Horticulturae*, 236, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.050>
- Okada, K., & Honda, C. (2022). Molecular Mechanisms Regulating the Columnar Tree Architecture in Apple. *Forest*, 13(1084). <https://doi.org/10.3390/f13071084>
- Orrantia, M. A., Martínez, M. Á., Rivera, M., Hernández, M. Á., & Vargas, I. (2021). Changes in the Endogenous Content and Gene Expression of Salicylic Acid Correlate with Grapevine Bud Dormancy Release. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), 254–262.
<https://doi.org/10.1007/s00344-020-10100-9>
- Pasa, M. da S., Felippeto, J., Nava, G., da Silva, C. P., Brighenti, A. F., & Ciotta, M. N. (2018a). Desempenho de macieiras ‘Fuji Suprema’ tratadas com indutores de brotação, em São Joaquim-SC. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(1). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018325>
- Pasa, M. da S., Felippeto, J., Nava, G., da Silva, C. P., Brighenti, A. F., & Ciotta, M. N. (2018b). Desempenho de macieiras ‘Fuji Suprema’ tratadas com indutores de brotação, em São Joaquim-SC. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(1). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018325>
- Pertille, R. H., Sachet, M. R., Guerrezi, M. T., & Citadin, I. (2019). An R package to quantify different chilling and heat models for temperate fruit trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105067>

- Rady, M. M., & Seif, M. A. (2013). Response of “Anna” apple dormant buds and carbohydrate metabolism during floral bud break to onion extract. *Scientia Horticulturae*, 155, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.025>
- Reddy, P., Plozza, T., Ezernieks, V., Stefanelli, D., Scalisi, A., Goodwin, I., & Rochfort, S. (2022). Metabolic Pathways for Observed Impacts of Crop Load on Floral Induction in Apple. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11). <https://doi.org/10.3390/ijms23116019>
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., & Walker, D. R. (1974). A Model for Estimating the Completion of Rest for “Redhaven” and “Elberta” Peach Trees. *HortScience*, 9(4), 331–332. <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/HORTSCI.9.4.331>
- Rivas, K. (2009). La Yema. In *Compendio de Botánica* (Primera edición, Vol. 1, pp. 31–33). Universidad Estatal de Cuenca.
- Rivero, R., Sønsteby, A., Heide, O., Måge, F., & Remberg, S. (2016). Flowering phenology and the interrelations between phenological stages in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) as influenced by the Nordic climate. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 67(4), 292–302. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1267256>
- Ru, X., Jiang, Y., Luo, Q., Wang, R., Feng, X., Wang, J., Wang, Z., Li, M., Qu, Z., Su, B., Feng, H., Zhang, D., Liu, D., Yu, Q., & He, J. (2023). Evaluating late spring frost risks of apple in the Loess Plateau of China under future climate change with phenological modeling approach. *Scientia Horticulturae*, 308, 111604. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111604>
- Sagredo, K. X., Theron, K. I., & Cook, N. C. (2005). Effect of mineral oil and hydrogen cyanamide concentration on dormancy breaking in “Golden Delicious” apple trees. *South African Journal of Plant and Soil*, 22(4), 251–256. <https://doi.org/10.1080/02571862.2005.10634716>
- Seif El Yazal, M. A. (2019). Effect of timing of mineral oil spraying on budburst and metabolic changes in “Barkhar” apple trees under conditions of inadequate winter chilling in Egypt. *Horticulture International Journal*, 3(2), 67–75. <https://doi.org/10.15406/hij.2019.03.00114>

- Seif El-Yazal, M. A., & Rady, M. M. (2012). Changes in nitrogen and polyamines during breaking bud dormancy in “Anna” apple trees with foliar application of some compounds. *Scientia Horticulturae*, 136, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.001>
- Seif El-yazal, M. A., & Seif El-yazal, S. A. (2021). Impact of foliar - applied dormancy - braking agents on flowering behavior, yield, fruit quality, and some chemical constituents of “Ein Shamer” Apple trees. *Innovare Journal of Agricultural Science*, 9(1). <https://doi.org/10.22159/ijags.2021v9i1.40690>
- Sérgio, R., Kagueyama, M., & Criatiano, S. (2006). Shooting induction of “Eva” apple under low incidence of cold winter. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(1), 128–130. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100035>
- Soria, L. (2009). *Manejo químico de la salida de la dormición en manzano (Malus domestica Borkh) cv. Brasil Gala* [Universidad de la República]. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/20680/1/TTS_SoriaRondeauLuc%C3%ADa.pdf
- Soto, J., Flores, M., Leal, R., Piña, F., & Sánchez. Esteban. (2019). compensadores de frío en manzano “Golden Glory”: desarrollo y producción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 69–82.
- Spengler, R. N. (2019). Origins of the apple: The role of megafaunal mutualism in the domestication of Malus and rosaceous trees. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 10, pp. 1–18). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00617>
- Subhadrabandhu, S. (1995). Induction of budbrak in apple trees that received insufficient chilling by hydrogen cyanamide. *Acta Horticulturae*, 409, 171–178. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.409.21>
- Tanasescu, N., & Paltineanu, C. (2004). Root distribution of apple tree under various irrigation systems within the hilly region of Romania. *International Agrophysics*, 18, 175–180. <https://www.researchgate.net/publication/26552147>

- Tsoulias, N., Xanthopoulos, G., Fountas, S., & Zude, M. (2022). Effects of soil ECa and LiDAR-derived leaf area on yield and fruit quality in apple production. *Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.03.007>
- Uber, S. C., Kretzchmar, A. A., Correa, D., Botelho, R. v., Silveira, F. N., Fagundes, E., & Rufato, L. (2020). Alternatives to use of hydrogen cyanamide in bud breaking in apple “Maxi Gala.” *Acta Horticulturae*, 1281, 279–294. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1281.38>
- Urbina, V. (2001a). El tronco y la ramificación. In *Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales* (Primera, Vol. 1, pp. 83–142). Copitec.
- Urbina, V. (2001b). Fenología y vida de las plantas. In *Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales* (Vol. 1, pp. 165–210).
- Urbina, V. (2001c). Las Hojas. In *Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales* (Vol. 1, pp. 145–161).
- Vanegas, E., Encalada, C., Feicán, C., Gómez, M., & Viera, W. (2016). Cianamida hidrogenada y nitrato de potasio para manipular épocas de cosecha en chirimoya (*Annona cherimola* Mill). *INIAP*, 3, 31–37.
- Vargas, A. (2018). *Análisis de la cadena Agropecuaria de la manzana (Malus) en tres provincias de la sierra-centro Zona 3* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10406/1/27T0406.pdf>
- Viera, W., Merino, J., Martínez, A., Viera, A., Rueda, S., & Ron, L. (2020). Determinant aspects of the deciduous fruit production in the province of Tungurahua, Ecuador. *Manglar*, 17(3), 239–246. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.035>
- Viteri, P., Fuentes, L., Soria, N., & Díaz, D. (1995). *Manual del cultivo de manzano (Malus domestica B.) Para los valles interandinos temperados del Ecuador*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/826>
- Vivian, S., Héctor, A., Mercedes, A., Matías, M., & Alfredo, G. (2008). Manejo de la dormición de manzanos en el sur del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), 18–26. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v16n2/v16n2a03.pdf>

- Weinberger, J. (1950). Chilling requirements of Peach Varieties. *Proceedings. American Society for Horticultural Science*, 56, 122–128.
- Xia, X., Chai, X., Zhang, N., & Sun, T. (2021). Visual classification of apple bud-types via attention-guided data enrichment network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106504>
- Yavari, A., Habibi, F., Naseri, L., Rasouli, M., Sarkhosh, A., & Pessarakli, M. (2022). Responses of semi-vigorous apple rootstocks (MM106 and MM111) to different nitrate and ammonium ratios under soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071730>
- Yehia, M., el Bary, A., & Mohamed, A. (2016). Improving fruit quality of “Anna cv.” apple trees grown on Malus rootstock by some bio compounds. *Annals of Agric. Sci*, 54(4), 919–928. <http://annagricmoshj.com>
- Zahid, A., Mahmud, M. S., He, L., Heinemann, P., Choi, D., & Schupp, J. (2021). Technological advancements towards developing a robotic pruner for apple trees: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106383>
- Zahid, G., Iftikhar, S., Shimira, F., Ahmad, H. M., & Aka Kaçar, Y. (2023). An overview and recent progress of plant growth regulators (PGRs) in the mitigation of abiotic stresses in fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111621>
- Zhang, C., Serra, S., Quirós-Vargas, J., Sangjan, W., Musacchi, S., & Sankaran, S. (2021). Non-invasive sensing techniques to phenotype multiple apple tree architectures. *Information Processing in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.02.001>
- Zhang, Z., Li, M., Yao, J., Zhou, Y., Wang, Y., Zhang, X., Li, W., Wu, T., Han, Z., Xu, X., & Qiu, C. (2021). Root architecture characteristics of differing size-controlling rootstocks and the influence on the growth of ‘Red Fuji’ apple trees. *Scientia Horticulturae*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109959>
- Zhao, D., Yuan, J., Xu, K., Cheng, C., & Li, H. (2016). Selection of morphological, physiological and biochemical indices: evaluating dwarfing apple interstocks in cold

climate zones. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 44(4), 291–311.

<https://doi.org/10.1080/01140671.2016.1220398>

10 Anexos

Anexo 1. Prueba de Shapiro – Wilk para la variable porcentaje de yemas brotadas en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

Variable	n	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Brotación 30 días	48	4.24	0.95	0.184
Brotación 60 días	48	4.78	0.96	0.47

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 2. Prueba de Levene para la variable porcentaje de yemas brotadas en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

F.V.	gl	E		p - valor	
		30 días	60 días	30 días	60 días
Tratamientos	15	1.37	1.59	0.22	0.13
Error	30				
Total	47				

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 3. Análisis de varianza para la variable porcentaje de yemas brotadas a los 30 días de evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

F.V.	SC	gl	CM	F	p- valor
Tratamientos	4037.5	15	269.17	9.58	< 0.0001
Repeticiones	99.59	2	49.79	1.77	0.1874
Error	843.18	30	1.77		
Total	4980.27	47			

$R^2 = 0.83$ (R^2 ajustado = 0.73)

C.V. = 12.72 %

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 4. Análisis de varianza para la variable porcentaje de yemas brotadas a los 60 días de evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamientos	3726.15	15	248.1	6.93	< 0.0001
Repeticiones	79.45	2	39.72	1.11	< 0.0001
Error	1075.28	30	35.84		
Total	4880.87	47			

$R^2 = 0.78$ (R^2 ajustado = 0.65)

C.V. = 13.75 %

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 5. Prueba de Shapiro – Wilk para la variable frutos cuajados en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

Variable	n	D.E.	W*	P - (Unilateral D)
Cuajado 90 días	48	15.27	0.79	0.0001

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 6. Prueba de Levene para la variable frutos cuajados en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

F.V.	gl	F	p - valor
Tratamientos	15	2	0.048
Error	30		
Total	47		

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 7. Prueba de Kruskal – Wallis para la variable porcentaje de frutos cuajados a los 90 días de evaluación de compensadores químicos de horas frío en el cultivo de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Anna

Variable	H	p
Cuajado 90 días	13.27	0.439

$\alpha = 0.05$

Elaboración: Priori, 2023

Anexo 8. Fotos que detallan el trabajo realizado a nivel de campo

Imagen 1. Huerto de manzano cv. Anna



Imagen 2. Poda y deshoje de los árboles seleccionados



Imagen 3. Árbol de manzano cv. Anna defoliado y podado

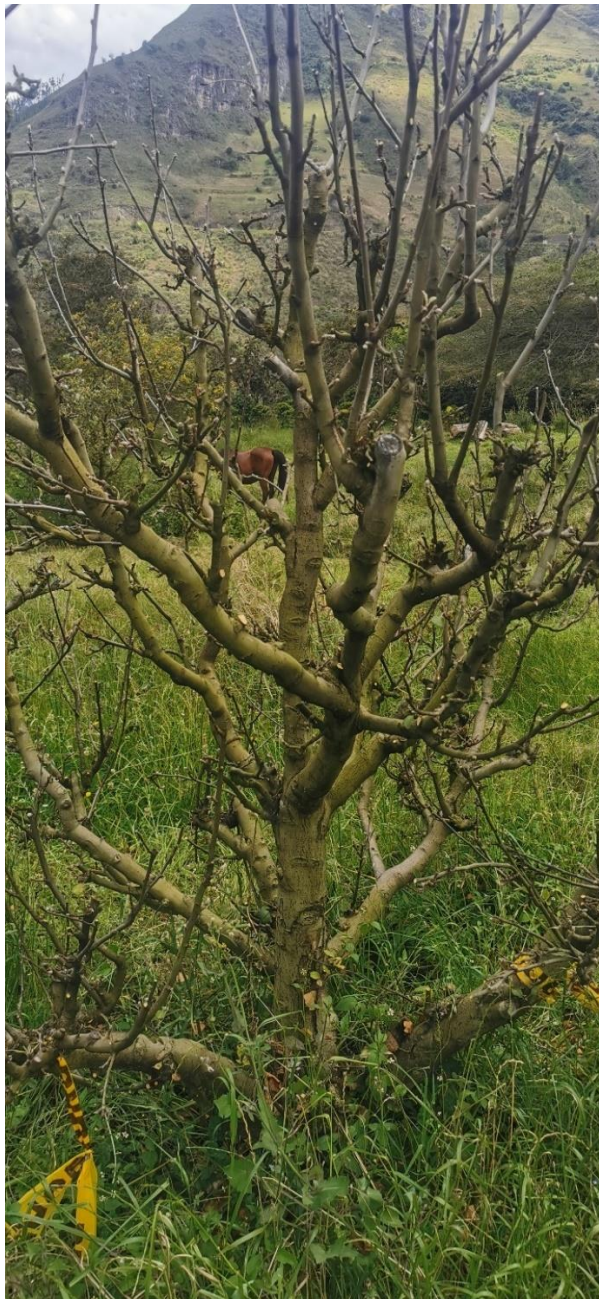


Imagen 4. Huerto listo para la aplicación de los tratamientos



Imagen 5. Cercado de los árboles de manzano seleccionados



Imagen 6. Árboles de manzano cv. Anna etiquetados



Imagen 7. Estado fenológico de las yemas.



Imagen 8. Ramas seleccionadas

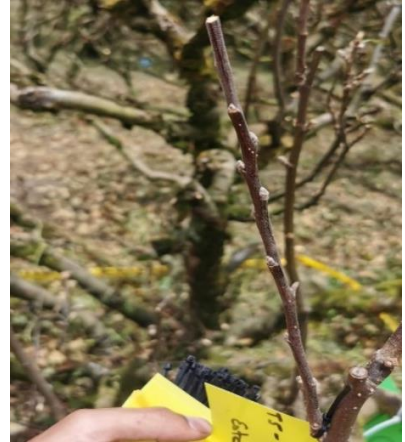


Imagen 9. Conteo inicial de yemas



Imagen 10. Preparación de los tratamientos

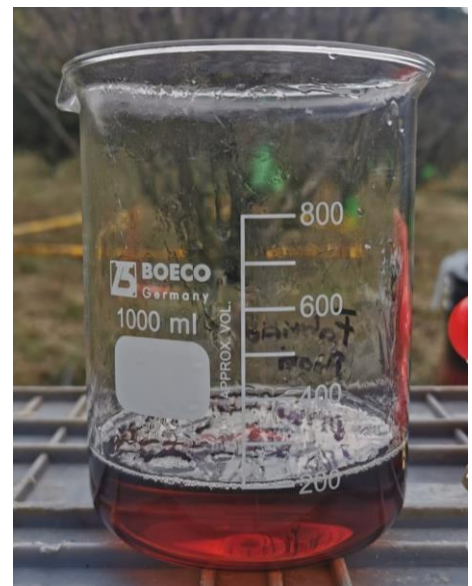


Imagen 11. Preparación de los tratamientos



Imagen 12. Aplicación de los tratamientos



Imagen 13. Toma de datos



Imagen 14. Ácido salicílico 400 mg/L 30 días



Imagen 15. Ácido salicílico 400 mg/L 60 días



Imagen 16. Nitrato de potasio 7 % 90 días



Imagen 17. Botón floral del manzano cv. Anna



Imagen 18. Flor del manzano cv. Anna



Imagen 19. Cuajado de frutos del manzano cv. Anna



Imagen 20. Llenado de frutos

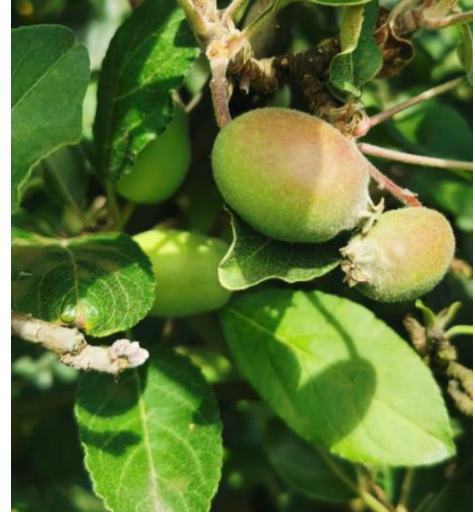


Imagen 21. Maduración del fruto manzano cv. Anna

