



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad en cosecha y poscosecha del fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.) variedad “Horvin”.

Mayerlin Orjuela Angulo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Línea de Fisiología Vegetal.
Bogotá, Colombia
2023.

Influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad en cosecha y poscosecha del fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.) variedad “Horvin”.

Mayerlin Orjuela Angulo

Tesis de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Fisiología vegetal.

Director:

Helber Enrique Balaguera López

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Codirector

Alfonso Parra Coronado

Ingeniero Agrícola, Ph.D.

Línea de Investigación:

Fisiología Vegetal.

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias.

Bogotá, Colombia

2023.

A Dios, a mis padres y hermanos.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el acuerdo 035 de 2003 del consejo académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso de autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta académica, definida por la universidad

Mayerlin Orjuela Angulo

Fecha 1/08/2023

Fecha

Agradecimientos

Se expresa gratitud a mi director **Helber Enrique Balaguera** y al codirector **Alfonso Parra Coronado**, por sus valiosos aportes y constante dedicación a lo largo de todo el doctorado. De igual manera un especial agradecimiento a la señora Blanca Aponte, y Ana Lucia Porras, propietarios de los cultivos de ciruela, por el suministro de los frutos y el acceso a las fincas, por su valioso apoyo y colaboración en el trabajo de campo. A la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ciencias Agrarias, por facilitar sus instalaciones y equipos para el respectivo análisis. Agradezco a mis colegas y amigos por su estímulo y apoyo a lo largo del doctorado.

Resumen

Influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad en cosecha y poscosecha del fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.) variedad “Horvin”.

El crecimiento y desarrollo del fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.), variedad Horvin son procesos que requieren de condiciones climáticas específicas como la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y la radiación. El objetivo de este estudio fue estudiar la Influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad en cosecha y poscosecha del fruto de ciruela y a su vez formular algunos modelos de pre cosecha y cosecha del fruto, en función de las condiciones climáticas de las localidades donde se adelantó el estudio, para lo cual, se marcaron veinte árboles por finca, en dos localidades del municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá, Colombia. Las mediciones se realizaron durante tres cosechas (años 2021-2022), cada 7 días hasta la madurez de la cosecha.

Para la formulación de los modelos en estado pre cosecha, se consideró la temperatura de las localidades seleccionadas en términos del tiempo térmico (GDC), donde se propuso un modelo fenológico, determinando la temperatura base (T_b), para los cuatro periodos fenológicos del cultivo y la cuantificación de los grados días de crecimiento (GDC). Para el desarrollo del fruto se determinó una $T_b = 1.78$ °C, para la determinación de los modelos se utilizó la herramienta solver de Excel®. Los resultados mostraron que, durante el crecimiento del fruto de ciruela, en las características fisicoquímicas, las variables que más tienen incidencia son la altitud, la precipitación y la altitud. Los modelos de peso fresco, sólidos solubles totales y firmeza de la pulpa son los que mejor predicen la evolución de la calidad del fruto de ciruela durante su desarrollo. Se obtuvieron ecuaciones de crecimiento para la longitud y el diámetro en función del peso del fruto, así como para los días transcurridos desde la anthesis en función de los grados-día de crecimiento y la altitud. Los modelos para determinar la calidad del fruto de ciruela muestran que las condiciones climáticas del cultivo y su altitud inciden en las características fisicoquímicas del fruto durante la poscosecha, así como el análisis de regresión mostró que los modelos predicen de buena forma las propiedades del fruto; la

validación cruzada arrojó un buen ajuste mediante ecuaciones entre los valores observados y los valores estimados.

Palabras clave: temperatura base, propiedades fisicoquímicas, grados día de crecimiento, altitud, variables climáticas, pérdida de peso.

Abstract

Influence of climatic conditions on the growth and quality in harvest and post-harvest of the plum fruit (*Prunus salicina* L.) variety “Horvin”.

The growth and development of the plum fruit (*Prunus salicina* L.), var. Horvin are processes that require climatic conditions such as temperature, relative humidity, precipitation and radiation. The objective of this research was to study the influence of climatic conditions on growth and quality at harvest and postharvest of plum fruit. And in turn, to formulate some models of pre-harvest and harvest of the fruit, depending on the climatic conditions of the localities where the study was carried out, for which, twenty trees per farm were marked in two localities of the municipality of Nuevo Colon, Boyaca department, Colombia. Measurements were made during three harvests (years 2021-2022), every 7 days until harvest maturity. For the formulation of the models in the pre-harvest state, the temperature of the selected localities was considered in terms of thermal time (GDC), where a phenological model was proposed, determining the base temperature (T_b), for the four phenological periods of the crop and the quantification of the degree days of growth (GDC). For the development of the fruit, a $T_b = 1.78$ °C was determined, for the determination of the models the Excel® solver tool was used. The results showed that, during the growth of the plum fruit, in the physicochemical characteristics, the variables that have the most incidence are altitude, precipitation and altitude. The models of fresh weight, total soluble solids and pulp firmness are the best ones to predict the evolution of the quality of the plum fruit during its development. Growth equations were obtained for length and diameter as a function of fruit weight, as well as

for days elapsed since anthesis as a function of growth degree-days and altitude. The models to determine the quality of the plum fruit show that the climatic conditions of the crop and its altitude affect the physicochemical characteristics of the fruit during postharvest. The regression analysis showed that the models predict the properties of the fruit in a good way, the cross validation showed a good fit through equations between the observed values and the estimated values.

Keywords: base temperature, physicochemical properties, growing degree days, altitude, climatic variables, weight loss.

Contenido

Contenido

1.1	Características del cultivo.	11
1.2	Crecimiento y desarrollo de la planta	18
1.3	Cambios fisiológicos a través de la cosecha.....	21
1.4	Influencia de las condiciones climáticas en la calidad de los frutos.....	26
1.5	Influencia de la temperatura en el cultivo y frutos de ciruela.	28
1.6	Influencia de la humedad relativa en el cultivo y frutos de ciruela.	30
1.7	Influencia de la intensidad y radiación solar en el cultivo y frutos de ciruela. ..	32
1.8	Influencia de la altitud en el cultivo y frutos de ciruela.....	32
2. Temperatura base y tiempo térmico para el crecimiento y maduración del fruto de ciruela variedad "Horvin" (<i>Prunus salicina</i> L.).....		48
2.1	RESUMEN	48
2.2	INTRODUCCIÓN	50
2.3	MATERIALES Y MÉTODOS	53
2.3.1	Localización y caracterización de las zonas de estudio	53
2.3.2	Estimación de la temperatura base (Tb)	55
2.3.3	Estimación del tiempo térmico (GCD)	56
2.4	RESULTADOS.....	58
2.4.1	Condiciones Climáticas.....	58
2.4.2	Estimación de la temperatura base (Tb)	59
2.4.3	Estimación del tiempo térmico (GDC).....	62
2.5	DISCUSIÓN	64
2.5.1	Estimación de la temperatura base (Tb)	65
2.5.2	Estimación del tiempo térmico (GDC)	67
2.6	CONCLUSIONES.....	68
2.7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	70
3. Incidencia de las condiciones climáticas en calidad precosecha del fruto de ciruela.		75
3.1	INTRODUCCIÓN	77
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	78
3.2.1	Localización y caracterización de las zonas de estudio.	78
3.2.2	Diseño experimental	79
3.2.3	Toma de muestras.....	79
3.2.4	Variables medidas	80
3.2.5	Análisis estadístico	82
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
3.3.1	Crecimiento del fruto.....	82
3.3.3.1.	La firmeza de la epidermis.....	85
3.3.3.2.	La firmeza de la pulpa	88

3.3.3.3.	Sólidos solubles totales	90
3.3.3.4.	Matiz de la epidermis (^o h).	92
3.3.3.5.	Características físicas y químicas al momento de cosecha.	94
3.4	CONCLUSIONES.....	96
3.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
4.	Calidad poscosecha de frutos de ciruela (<i>Prunus salicina</i> L.) provenientes de dos localidades altitudinales.....	102
4.1	RESUMEN	102
4.2	INTRODUCCIÓN	104
4.3	MATERIALES Y MÉTODOS	105
4.4	Diseño experimental.....	107
4.5	Variables medidas.....	107
4.6	Análisis estadístico.....	108
4.7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	109
4.7.1	Incidencia de las condiciones climáticas en la firmeza de la epidermis y de la pulpa	109
4.7.2	Afectación de las variables de clima en el contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT) y relación de madurez (RM),.....	113
4.7.3	Contenido de sólidos solubles totales (SST),.....	114
4.7.4	Acidez total titulable (ATT).....	116
4.7.5	Relación de madurez (RM)	118
4.7.6	Pérdida de peso.....	121
4.8	CONCLUSIONES.....	124
4.9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS,	125
5.	Modelos matemáticos de calidad de los frutos de ciruela, en respuesta a las condiciones climáticas de las localidades de producción.....	130
5.1	RESUMEN	130
5.2	INTRODUCCIÓN	132
5.3	MATERIALES Y MÉTODOS	134
5.3.1	Localización y caracterización de las zonas de estudio,	134
5.3.2	Diseño experimental	135
5.3.3	Toma de muestras.....	136
5.3.4	Variables medidas	137
5.3.5	Análisis estadístico	138
5.3.5.1.	Estimación del tiempo térmico (GCD)	139
5.3.6.	Evaluación de los modelos	140
5.4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	142
5.4.5.	Modelos matemáticos en tiempo térmico para la longitud y diámetro del fruto,.....	142
5.4.6.	Modelos matemáticos para las variables de calidad del fruto de ciruela en función de las condiciones climáticas.....	150
5.4.	CONCLUSIONES.....	154
5.5.	AGRADECIMIENTOS	156
5.6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS,	156
6.	Modelo de calidad poscosecha de frutos de ciruela (<i>Prunus salicina</i> L.) en función de las condiciones climáticas.....	161
6.1	RESUMEN	161
6.2	INTRODUCCIÓN	163
6.3	MATERIALES Y MÉTODOS,	165

6.3.1	Localización y caracterización de las zonas de estudio,	165
6.3.2	Diseño experimental	165
6.3.3	Variables medidas	166
6.3.4	Evaluación de modelos matemáticos.....	166
6.3.5	Análisis estadístico	167
6.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	168
6.4.1	Características fisicoquímicas de los frutos en la cosecha.....	168
6.4.2	Análisis multivariado	169
6.4.3	Modelos matemáticos para las variables de calidad poscosecha en frutos de ciruela,	173
6.5	CONCLUSIONES.....	177
6.6	AGRADECIMIENTOS	178
6.7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	179

Introducción.

“La ciruela variedad “Horvin” (*Prunus salicina* L.) es una planta originaria de Japón; esta especie se caracteriza por poseer aclimatación en diferentes altitudes, que varían entre 1800 y 2450 msnm” (Amado et al., 2021). “A nivel nacional, el departamento de Boyacá cuenta con aproximadamente 3.000 hectáreas plantadas de cultivos de frutales caducifolios (peral, duraznero, ciruelo y manzano)” (Serrano et al., 2020), mientras que, en el departamento de Caldas, se encuentran establecidas aproximadamente 310 hectáreas de árboles de hoja caduca (Amado et al., 2021). Boyacá es considerado el departamento más importante en la explotación de los cultivos de caducifolios en el país, debido a las ventajas comparativas que posee, entre las cuales se pueden mencionar clima, suelos, precipitación, vocación frutícola de los productores y la experiencia acumulada por más de 50 años (Serrano et al., 2020). Según Cendales y Guío (2015), “el cultivo de ciruela creció un 57% en diferentes regiones del territorio colombiano, especialmente en el departamento de Boyacá, región que actualmente registra la mayor oferta del fruto, con un 74% del total de la producción nacional”. Algunos agricultores de la zona manifiestan que este fruto permite una mayor rentabilidad (Yamberla, 2019). El clima ejerce una influencia fundamental en el desarrollo de los frutos de ciruela. Las temperaturas, la humedad, la cantidad de luz solar y otros factores climáticos afectan directamente el crecimiento y maduración de las ciruelas en los árboles. La altitud a la que se encuentre un cultivo puede generar diferencias importantes en estos aspectos climáticos (Fisher et al., 2012).

La asimilación de nutrientes por parte de las plantas tiene una influencia significativa en los procesos fisicoquímicos de los frutos que serán cosechados. Los nutrientes que las plantas toman del suelo son esenciales para su crecimiento, desarrollo y reproducción (Corcino et al., 2014). La asimilación de nutrientes es un factor de suma importancia que tiene un impacto significativo en los procesos fisicoquímicos de los frutos que son

cosechados (Solís, 2016). Las características fisicoquímicas de un fruto corresponden directamente con su composición y su etapa de evolución. Estas características están determinadas por una serie de procesos bioquímicos y cambios fisiológicos que ocurren a lo largo del desarrollo del fruto, desde su formación hasta su completa madurez. (Ayala et al., 2013).

De acuerdo con las características anteriores, los modelos matemáticos permiten tener una relación entre algunas variables, tales como las variables climáticas y las características fisicoquímicas de los frutos. Además, se pueden incluir la evaluación de otros aspectos tales como la disponibilidad hídrica, el ámbito económico, el estado social y de adaptación de las especies, entre otros. "Dichos modelos permiten realizar algunas proyecciones de rendimientos, costos y beneficios con base en el uso de diversas prácticas agrícolas" (Lozano, 2008).

Con el fin de predecir las fases de crecimiento y desarrollo de los cultivos, se ha empleado el tiempo calendario (Jiménez Jiménez, 2011). La acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base (T_b) es considerada el método más acertado para medir el tiempo térmico o fisiológico. Este método se conoce también como unidades de calor o grados días de crecimiento (GCD). La determinación de GCD se basa en la acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base (T_b) específica para especie. Esta temperatura base representa el grado mínimo de temperatura requerido para que la planta pueda crecer y desarrollarse de manera óptima. (Orjuela-Angulo et al., 2022). Teniendo en cuenta lo anterior, se planteó como Hipótesis de investigación: si las condiciones climáticas influyen en el crecimiento y calidad en cosecha y poscosecha del fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.) variedad "Horvin". Por lo anterior, los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- **OBJETIVO GENERAL.**

Proponer un modelo que relacione el efecto producido por las condiciones climáticas de cultivo (altitud, tiempo térmico, humedad relativa, precipitación y radiación), en el crecimiento de los frutos de ciruela y en su calidad en poscosecha.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar la temperatura base y el tiempo térmico para el crecimiento y maduración del fruto de ciruela variedad “Horvin”.
- Estimar el efecto de la altitud (msnm), el tiempo térmico, la humedad relativa, la precipitación y la radiación solar, en el crecimiento de los frutos de ciruela y en su calidad hasta el momento de la cosecha.
- Determinar el comportamiento fisiológico poscosecha de los frutos de ciruela cultivados a dos condiciones ambientales diferentes, almacenados a temperaturas de 6 y 17°C.
- Proponer un modelo matemático que correlacione las condiciones climáticas registradas en el cultivo (periodo precosecha) para las diferentes altitudes estudiadas, con la calidad del fruto de ciruela en el periodo poscosecha.

Para el cumplimiento de los objetivos en la presente investigación, se realizaron artículos cortos, donde se describen los diferentes procesos de la siguiente forma: capítulo 2 determina la temperatura base y tiempo térmico para el crecimiento y maduración del fruto de ciruela variedad “Horvin” (*Prunus salicina* L.), capítulo 3 presenta una descripción y análisis en la Incidencia de las condiciones climáticas en calidad poscosecha del fruto de ciruela. En el capítulo 4 se describe la Calidad poscosecha en ciruela (*Prunus salicina* L.) en respuesta a dos localidades altitudinales en Nuevo Colón Boyacá, Colombia. Por su parte el capítulo 5, determina modelos matemáticos de calidad de frutos de ciruela en función de las condiciones climáticas, y finalmente el capítulo 6, presenta Modelo de calidad poscosecha fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.) en función de las condiciones climáticas.

1. Revisión de literatura.

1.1 Características del cultivo.

Generalidades

En Colombia el 80% de los cultivos de ciruela son variedad "Horvin", que es comercializada a nivel nacional en ciudades como Cali, Popayán y Bogotá, entre otras (Álvarez Plazas 2018). Este cultivo ha sido establecido como alternativa de una economía sostenible, por agricultores que en su mayoría son pequeños y medianos productores. No obstante, en todo el país y particularmente en Boyacá, los procesos de beneficio poscosecha son aún artesanales y existe poca tecnificación, así como carencia de modelos que permitan determinar el manejo adecuado del cultivo y el momento oportuno de cosecha, que son actividades que afectan la calidad final del producto (Rodríguez et al., 2021). Los productores del departamento de Boyacá, mencionan que las condiciones de clima actuales se manifiestan en la baja producción o en productos de baja calidad (Becerra, 2017), disminuyendo la demanda y por lo tanto el precio del mercado, lo cual se ve reflejado en el desánimo de los agricultores para establecer nuevos cultivares. De igual manera, la propuesta de investigación se encuentra articulada con el objetivo de incrementar la productividad actual de los sistemas agropecuarios para el cambio y la generación de valor en soluciones enfocadas en las ofertas producidas por los pequeños y medianos agricultores (Cárdenas, 2016), que den respuesta a las prioridades afines señaladas en los ámbitos de cadenas, regiones y áreas temáticas (Gómez, 2015).

En Colombia, entre el 2012 y 2020, la cantidad de ciruela cosechada aumentó un 52% alcanzando una producción de 16.807 toneladas en un área de 1.322 hectáreas

cosechadas, en donde Boyacá es el primer departamento productor con un 78% de participación (Agronet, 2021). “En el municipio de Nuevo Colón (Boyacá), ubicado en la región andina colombiana, está conformado por 16 veredas, en las que predomina la vocación agrícola (predios de minifundio)” (Parra Coronado, 2014), para el año 2005 existían 2.165 ha dedicadas a frutales caducifolios, de los cuales la ciruela variedad Horvin ocupa el segundo lugar en importancia, con un área cultivada de 500 ha y rendimientos de 3.000 a 4.500 kg ha⁻¹, este municipio cuenta con variedades cultivadas como reina Claudia, fortuna, angelino entre otras debido a su variedad de climas y diferentes alturas que predominan en la zona.

- **Altitud**

El cultivo de ciruela en Colombia se destaca por su capacidad de adaptación en diversas regiones del país. En general, esta fruta se establece para actividades comerciales como para consumo local en áreas comprendidas entre 1800 y 2450 metros de altitud. (Amado et al., 2021).

- **Temperatura.**

Las altas temperaturas durante el verano tienen un impacto significativo en la propagación de ramas y, por ende, en la formación de flores en las plantas. Sin embargo, investigaciones realizadas por Fischer et al., (2013), demuestran que esta situación cambia con el incremento de las temperaturas en la primavera. Se ha encontrado que las ciruelas cultivadas en climas fríos tienen un sabor notablemente superior en comparación con las que se producen en climas cálidos. (Battle et al., 2018)

Según investigaciones llevadas a cabo por Orjuela-Angulo (2017), los frutos de ciruela demuestran una capacidad de adaptación a áreas donde las temperaturas superan los

12°C. Sin embargo, se ha encontrado que las ciruelas cultivadas en climas fríos exhiben un sabor más agradable en comparación con las que se producen en climas cálidos.

California Rare Fruit Growers Association (2022), Las heladas representan un factor climático adverso que puede tener un impacto negativo en el desarrollo de las plantas y los frutos. Cuando las temperaturas bajan lo suficiente, las heladas pueden afectar la floración de las plantas, lo que conlleva a una serie de problemas en el crecimiento y maduración de los frutos. Es importante tener en cuenta que la capacidad de adaptación del árbol y las condiciones específicas del entorno en el que se encuentre. Sin embargo, se ha encontrado que los árboles desarrollan mecanismos de resistencia a medida que envejecen.

- **Requerimientos Hídricos y precipitación**

Los cultivos de ciruelo requieren precipitaciones superiores a los 1400 mm anuales (sobre todo los ubicados en el trópico). "El cultivo de ciruela se puede desarrollar en regiones con precipitaciones entre 700 y 2700 mm anuales, siendo el valor óptimo alrededor de 1.000 mm" (Linlin Wang., 2021). En ambientes semiáridos y subhúmedos, es común observar la presencia de hidroperiodicidad, la cual está estrechamente relacionada con los patrones de floración, fructificación y desarrollo foliar de las plantas. En áreas semiáridas y subhúmedas, la hidroperiodicidad es un fenómeno que se manifiesta a través de los patrones de floración, fructificación y desarrollo foliar de las plantas. (Orjuela - Angulo, 2017). Durante periodos prolongados de sequía, la planta de ciruela puede experimentar una respuesta específica a las condiciones secas. Una de las respuestas más comunes es la interrupción en el desarrollo de nuevas hojas, lo que resulta en una reducción del crecimiento de la planta (Cárdenas & Fischer, 2013).

- **Humedad relativa y vientos**

La ciruela se desarrolla en zonas climáticas con humedad relativa del 70-85% (Batoul Essalimi, 2022). “Es de suma importancia la ubicación del terreno de siembra con relación a la presencia de vientos fuertes, ya que puede ocasionar la ruptura de ramas finas y propiciar la caída de flores y frutos” (Navarro, 2018). Los frutos de ciruela se destacan por su notable capacidad de tolerar condiciones secas, lo que les permite enfrentar períodos de déficit hídrico con cierta adaptabilidad. Durante épocas de escasez de agua prolongada, la planta de ciruela muestra una respuesta positiva ante estas condiciones de déficit hídrico. (Flórez et al., 2012), la ubicación de los cultivares de esta especie desempeñan un papel importante, ya que los fuertes vientos pueden ocasionar caída de flores y fruto además de la ruptura de algunas partes de la planta (Calvo, 2009).

- **Radiación solar.**

“Los mejores resultados en floración, polinización, cuajamiento y llenado del fruto se presentan en plantas con libre exposición, adaptándose bien a la plena luminosidad, siempre y cuando no existan condiciones secas y temperaturas altas” (Cárdenas & Fischer, 2013). De acuerdo a lo observado en el municipio de Nuevo Colon cuando se presentan altas temperaturas, estas temperaturas hacen que el área foliar y los frutos presenten algunas quemaduras. La capacidad de los frutos de ciruela para tolerar condiciones secas se debe a la capacidad de la planta para conservar agua y recursos en sus tejidos. Durante los periodos de sequía, la planta puede cerrar parcialmente los estomas, las pequeñas aberturas presentes en las hojas, para reducir la pérdida de agua por transpiración (Valdés 2021). La actividad fotosintética de la planta está estrechamente relacionada generalmente con una alta radiación solar, lo que contribuye

a una mayor translocación de carbohidratos hacia el fruto, que incrementa el ácido ascórbico, los Sólidos Solubles Totales (SST), y el contenido de materia seca (Parra-Coronado, 2014). Según Gárgano (2013), a nivel mundial se cuenta con los cultivares de ciruela que se presentan en la tabla 1:

Tabla 1. Cultivares y descripción de ciruela encontrados a nivel mundial.

Cultivar	Descripción
Laroda	Características del fruto: -Tamaño: medio a pequeño (80-85 g). -Forma: redonda. -Color: púrpura-violáceo, oscuro, uniforme. Lenticelas visibles. Pulpa: amarilla, teñida de rojo en la zona cercana a la piel. A medida que se acerca a la madurez esta zona teñida se va extendiendo hacia el carozo.
Betty Anne	Características del fruto: -Tamaño: medio a grande (100-120 g). -Forma: oblongo-alargada, acorazonada. Diámetro mayor hacia el pedúnculo. -Color: rojo-rosado. Lenticelas muy marcadas. -Pulpa: amarilla, teñida levemente de rojo desde la piel.
Flavor King-(Pluot)	Características del fruto: -Tamaño: medio (90 g). -Forma: acorazonada, diámetro mayor hacia el cáliz. Sutura levemente hundida. -Color: rojo bordó. Lenticelas grandes, amarillas. -Pulpa: amarilla.
Horvin	Características del fruto: El crecimiento y desarrollo del fruto del ciruelo japonés presenta un comportamiento de doble sigmoide (Orjuela-Angulo 2022 b) -Tamaño: medio (20-40 g). -Forma: redondeada. - La coloración del fruto es un aspecto determinante en la calidad del ciruelo japonés (Fischer, 2013)., -Pulpa: vino tinto. Firme. -Calidad organoléptica: buen sabor. (Parra-Coronado et al., 2007), cultivos en el trópico requiere un periodo de 1538 GDC y 81 días desde el cuajado del fruto hasta el punto óptimo de cosecha (Orjuela-Angulo et al, 2022a), adaptación entre 1800 y 3000 m s.n.m, temperatura entre 14 y 27°C, suelos francos con alta densidad aparente. (Orjuela - Angulo 2017).

- **Producción.**

“El sistema de producción de frutales caducifolios en este departamento, se enmarca básicamente en el subsector de la economía campesina, con predominio de pequeñas agro-empresas con extensiones de 2,8 ha, en promedio” (Orjuela Angulo, 2017).

En la actualidad, la importancia de Boyacá en la explotación de los cultivos de caducifolios en el sector nacional, (Patiño & Miranda, 2015). Una de las técnicas que se utiliza para garantizar la sostenibilidad de la producción de caducifolios es la planificación de las cosechas, la cual consiste en planificar los frutales en épocas distintas a las habituales. (Cárdenas & Fischer, 2013). Según Agronet (2021); los municipios que cuentan con mayor producción de ciruela en el departamento de Boyacá son Nuevo Colón, con una producción de 19 t ha⁻¹, que representa 40% del total, seguido por Tibana y Jenesano, que producen 17 t ha⁻¹, y entre los dos suman 30% del total cosechado.

- **Cosecha y Poscosecha.**

Para el establecimiento y producción de un cultivo en una zona determinada, se debe considerar las condiciones del entorno, ya que los factores climáticos y edáficos predominantes en la zona incidirán en el medio agroecológico y, por lo tanto, en el sistema productivo. (Mosquera, 2018).

En el caso de la ciruela variedad “Horvin”, algunos estudios realizados por Amado et al., (2021), reportan que las condiciones para un desarrollo óptimo en climas tropicales se encuentran en altitudes comprendidas entre 1800 y 2450 m.s.n.m, altitudes que concuerdan con lo reportado por Parra-Coronado et al., (2007). Según Amado et al., (2021), las temperaturas para un adecuado desarrollo del cultivo se encuentran entre 12

y 22°C; algunas variedades soportan temperaturas por debajo de 9°C, lo que concuerda con los rangos reportados por Orjuela Angulo (2017).

De acuerdo con Parra-Coronado et al. (2007), algunas características encontradas para el cultivar de ciruela cv. "Horvin" en el momento de la cosecha son: valores medios de firmeza de 50,66 N, acidez titulable de 0,78%, sólidos solubles de 11,8 ° Brix, intensidad respiratoria de 19,64 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y relación de madurez (SST/ATT) de 15,25. La ciruela variedad "Horvin" al momento de la recolección, presenta un tamaño medio de 30,59 mm, peso de 22,44 g, esfericidad y redondez de 0,84 y 0,85 respectivamente, densidad real de 1095,65 kg.m⁻³, densidad aparente de 572,70 kg.m⁻³, porosidad de 49,89% y área superficial de 32,79 cm² (Parra-Coronado et al., 2007). Algunas alteraciones experimentadas en ciertos cultivos de ciruela presentan variables que afectan su peso, tamaño, color, entre otras, así como también afectan su cantidad de azúcares y turgencia. Las ciruelas son frutos que pertenecen a la categoría de frutos climatéricos. Este término, describe una característica sorprendente en su habilidad para perseverar en el proceso de maduración incluso después de ser cosechados, Estas cualidades serán las responsables de determinar la calidad en los frutos de ciruela. (Álvarez et al., 2015).

En los cultivos de ciruela se presentan cambios en peso, tamaño, color, etc., también sufre modificaciones en el porcentaje de grados Brix, y turgencia. Las ciruelas son frutos climatéricos, esta característica es la responsable de que el fruto continúe con su proceso de maduración una vez cosechado, el cual presenta aumento en la actividad respiratoria y etileno (Acero 2006).

Para cuantificar el índice de cosecha se puede medir la firmeza de la pulpa con un penetrómetro para determinar un índice de madurez máxima. Otra de las características de poscosecha es el color, uno de los factores en el proceso de maduración que más se modifica durante la maduración es el color. El cual es considerado como el índice de madurez más relevante y ampliamente utilizado en la recolección y comercialización

(Solís, 2016). Román (2013), investigó las diferencias en el desarrollo de rasgos cualitativos de frutos en dos cultivares de *Prunus salicina*, "Bluefre" y "President", bajo cielo abierto, en cultivos de aproximadamente 15 años de producción, donde afectaron la calidad de la fruta madura. La micro morfología, anatomía y ultra estructura de los ovarios durante la fase de antesis, así como el pericarpio de frutos de 28 días de estos cultivares, se analizaron mediante microscopía de luz electrónica de barrido y electrónica de transmisión. Los resultados mostraron que el inicio del desarrollo de algunas características de calidad del fruto, así como el crecimiento celular, se determinó en gran medida en el ovario durante la fase de antesis y en la fase de fructificación.

Además, en el mismo estudio de *Prunus salicina*, "Bluefre" y "President" se encontró que existían algunas similitudes y algunas diferencias cuantitativas y cualitativas entre los dos cultivares en ambas fases de desarrollo. Las diferencias detectadas en las capas de células externas e internas, se asociaron con el tiempo de inicio y la tasa de desarrollo de rasgos que pueden determinar la calidad y la capacidad de almacenamiento de los frutos maduros. Los rasgos de calidad del fruto más importantes que se analizaron fueron producción de flor, desarrollo de estomas, engrosamiento de la cutícula y de las paredes epidérmicas e hipodérmicas, así como la deposición de compuestos fenólicos, principalmente taninos (Román, 2013).

1.2 Crecimiento y desarrollo de la planta

El ciruelo es un árbol de hoja caduca mediana, aunque puede alcanzar una altura de 5 metros, con tronco y ramas grisáceas y corte piramidal. Su producción comienza a partir de los cinco años y puede durar hasta 30 años. (Asagrin, 2014).

- **Relación fuente vertedero.**

La materia seca de algunos árboles frutales podría ser considerada, como el 65% de los carbohidratos totales (García, 2015). Cuando aumenta la relación hoja-fruto, el contenido de carbohidratos aumenta y por tanto el crecimiento y desarrollo del fruto (Leoncelli, 2021). La relación hoja-fruto depende de las condiciones ambientales y geográficas de la zona así como, de la variedad y de la especie (Cárdenas & Fischer, 2013), Mantener un balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo del árbol frutal es importante para el desarrollo y la producción, la carga de frutos influye en su calidad en el mismo año y asegura la acumulación de reservas para los años posteriores. La relación entre los tejidos fotosintéticos y no fotosintéticos, generalmente va a ser menor árboles en frutales debido a la estructura del mismo, lo que implica un gasto alto de energía para mantener una cantidad notable del tejido no fotosintético (Fischer, 2011). Durante el desarrollo de las hojas, los metabolismos de los carbohidratos sufren cambios notorios, dependiendo en parte de los que son transportados desde otras partes de la planta, mientras que las hojas en estado de madurez producen exceso de fotoasimilados (Paye- Huaranca, 2015).

- **Sistema radical**

Las raíces se desarrollan a una profundidad de aproximadamente 50-60 cm, según el tipo de terreno. Las raíces jóvenes son de tonalidad naranja claro y exhiben grandes lenticelas. (Cayambe & Wilfrido, 2014). Por otro lado, en sistemas de producción continua las temperaturas del suelo no deben bajar de los 10°C para que las raíces no reduzcan

su actividad, y así dificultan la entrada al reposo profundo (Ma et al., 2022). Cuando las temperaturas nocturnas son altas, la respiración de mantenimiento es elevada, aumentando el costo energético de la planta y disminuyendo el balance neto de carbono diario (Fischer et al., 2011).

- **Hojas**

Las hojas del árbol de ciruela tienen de 2-7 cm de largo son simples, alternas, ovaladas y elípticas. Generalmente las ramas son abiertas, son caducas, la hoja posee un borde aserrado con ápice agudo y son glabras, a excepción del nervio central en el envés, generalmente de color verde (Morales, 2020).

- **Flores**

Las yemas en las flores generalmente son reproductivas y vegetativas, se producen aproximadamente cada año, las ramas son cortas. Las flores se encuentran en racimos de 2 a 5, de sépalos y pedicelos largos, con un carpelo singular. Según (Miranda et al., 2013), un árbol maduro puede producir hasta 100.000 flores, de las cuales solamente el 1% debe cuajar para una cosecha económica, siendo, en muchos casos el raleo químico (o manual) necesario.

“Los requerimientos de polinización en los ciruelos son variables y complicados. Algunos cultivares son auto fértiles mientras que otros requieren una variedad polinizadora específica” (Guerra et al., 2020). Ryugo (1993) por su parte clasifica los ciruelos japoneses, en su mayoría, como auto incompatibles y menciona las variedades Santa Rosa, Beauty y Climax como parcial o completamente auto fértil.

- **Fruto**

El fruto es una drupa glabra que suele tener cera (pruina) en la piel. El fruto tiene una longitud de entre 2 y 8 cm, y su forma puede ser globosa, oblonga o elíptica. Los colores son muy variables entre azules, verdes y morados. (Cárdenas & Fischer, 2013).

El crecimiento del fruto presenta una curva doble-sigmoide y el hueso madura durante el estancamiento del crecimiento de la pulpa (Konarska, 2015). El ciclo desde la floración hasta la cosecha o madurez fisiológica en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá es de 82 días.

1.3 Cambios fisiológicos a través de la cosecha.

Según Ma et al., (2022), durante la cosecha se produce en los frutos una serie de cambios, tanto de síntesis como de degradación, que son controlados genéticamente y que conducen a la senescencia. Los cambios, aunque son muy variables entre las especies, incluyen generalmente, la modificación de la ultraestructura y textura de la pared celular, así como cambios en: turgencia, jugosidad, conversión de almidones en azúcares, incremento en la susceptibilidad a patógenos en la poscosecha, alteraciones en la biosíntesis de pigmentos y de compuestos responsables del sabor (Gwanpua et al., 2013). Los cambios efectuados son los que determinarán la calidad de cosecha y poscosecha de los frutos. (Parra Coronado, 2014).

- **Cambios físicos.**

Firmeza de fruto.

La textura es uno de los aspectos más importantes que determinan la calidad de las frutas, y uno de los rasgos clave en este sentido es la firmeza. La firmeza se refiere a la resistencia que ofrece la fruta al ser presionada o tocada, y está estrechamente relacionada con el momento óptimo de cosecha (Basanta, 2013).

La firmeza de las frutas después de la cosecha es un atributo crítico que guarda estrecha relación con los cambios fisicoquímicos y estructurales que experimenta el material biológico. Una vez que las frutas son recolectadas, mantener un nivel adecuado de resistencia mecánica se vuelve esencial para evitar daños durante su manipulación y lograr una óptima calidad en el producto final (Seminario - Luján, 2022). Un fruto firme es signo de frescura, Por el contrario, se sabe que el ablandamiento aumenta la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos (Zapata et al., 2010). La pared celular de la fruta cambia al hacerse más blanda a medida que alcanza su maduración fisiológica. La textura está en función de la estructura de los tejidos, la turgencia y la composición de la pared celular en la célula. (Zapata et al., 2010).

Según los estudios de almacenamiento en frutos de ciruela realizados por Álvarez et al. (2015), se obtuvieron algunos datos respecto a la firmeza de las ciruelas en diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos: Almacenamiento a 18 °C, la firmeza inicial al momento de la cosecha fue de 70,80 N, mientras que, a los 11 días de almacenamiento, la firmeza mostró una disminución considerable, hasta alcanzar valores de 3,24 N (González Pérez 2017).

- **Cambio de color**

Según Martínez-González et al. (2017), "el cambio de color durante la poscosecha se presenta por degradación de la clorofila y por la síntesis de otros pigmentos como antocianinas y carotenoides". "El color es uno de los parámetros que más cambia durante la maduración, pues es el índice de madurez más utilizado en la cosecha y comercialización del fruto de ciruela" (Álvarez et al., 2015). "Teniendo en cuenta este aspecto, el etileno es el responsable de acelerar los cambios de color relacionados con la producción de pigmentos antocianos y la pérdida de clorofila", (Montalvo et al., 2009). Así como "de la cianidin-3-galactosidasa es la principal antocianina responsable de la coloración de los frutos de ciruela durante la maduración" (Paliyath, 2008) por tanto, un rápido desarrollo del color característico puede producir una calidad superior en el fruto.

- **Cambios bioquímicos.**

Sólidos solubles totales (SST).

Los carbohidratos, en particular los azúcares, son constituyentes muy importantes en las plantas ya que forman parte de la estructura de las células y funcionan como reservas de energía; "algunos carbohidratos simples como sacarosa y fructosa, se consideran atributos de calidad de algunos productos como las frutas" (Solarte et al., 2010). Según algunos estudios realizados en el municipio de Nuevo Colon, para las dos zonas de observación (alta, baja). Durante el proceso de crecimiento de los frutos, se produce un fenómeno interesante y relevante conocido como el aumento de los Sólidos Solubles Totales (SST). Estos SST, que incluyen azúcares, ácidos orgánicos y otras sustancias solubles, son determinantes para el sabor y la calidad de las frutas (Orjuela-Angulo et al., 2016). El almacenamiento de frutos de ciruela puede plantear un desafío cuando se busca determinar el punto de cosecha preciso basándose únicamente en el contenido de

Sólidos Solubles Totales (SST). A diferencia de otras frutas, durante el proceso de almacenamiento, los niveles de SST en las ciruelas pueden mostrar un incremento poco significativo, lo que dificulta el uso de esta característica para evaluar el sabor y la calidad con precisión. (Crisosto et al.,2004).

Acidez total titulable (ATT).

Estudios en ciruela muestran que “la acidez titulable (ATT) disminuye a medida que los frutos se desarrollan y crecen en la planta; esta afirmación la sustenta la correlación inversa existente entre el tamaño y el peso del producto y su acidez total titulable durante el periodo pre cosecha” (Pacheco & Cabrera 2023).

La madurez fisiológica es una etapa crucial en el ciclo de vida del fruto, ya que es en este momento cuando ocurren cambios internos importantes. La concentración de azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos solubles en el fruto aumenta, lo que contribuye a su dulzor y sabor característico. También indica que a medida que el fruto madura su acidez total titulable disminuyó. La pérdida de turgencia de los frutos a medida que estos crecen permite establecer una relación directa entre la variación de la firmeza y la acidez titulable e inversa con el peso, es decir, a medida que el fruto crece disminuye su firmeza y su acidez titulable” (Orjuela-Angulo et al., 2016).

- **Color**

Villalba-Campos et al. (2014), realizaron un estudio sobre los cambios de calidad durante la maduración de la fruta después de la aparición del color de cuatro cultivares de ciruela (*Prunus salicina* L.), "Jojo", "Valor", "Čačanska rodna" y "Čačanska najbolja", durante períodos de 25 y 33 días a campo abierto. Se analizaron muestras poscosecha de frutos para determinar su peso, firmeza, contenido de sólidos solubles, color de frutos, contenido de azúcares (glucosa, fructosa, sorbitol y sacarosa), ácidos orgánicos (ácidos málicos, fumárico y shikímico), fenólicos (ácido neoclorogénico, ácido p-cumaroilquínico, ácido clorogénico y rutina) y antocianinas (cianidin-3-rutinósido y peonidin-3-rutinósido). (Sota &Urima 2022). La maduración resultó en un aumento estadístico del peso de la fruta y de los sólidos solubles, disminución de la firmeza, color más oscuro, aumento de

la concentración de azúcares totales, disminución de la concentración de ácidos totales y aumento de la concentración de antocianinas (Álvarez 2020). No hubo influencia de la maduración sobre el contenido de fenoles. Los resultados muestran influencias significativas del cultivar en el peso del fruto, contenido de sólidos solubles, firmeza, color del fruto, concentración de ácidos totales, concentración de fenoles totales y antocianinas en ciruelas europeas (Buelvas 2018).

- **Firmeza.**

Mahmoud (2013), muestra la viabilidad del análisis basado en la textura, para desarrollar mejores modelos para predicción en las propiedades mecánicas (firmeza de la pulpa de la fruta o módulo elástico) de los productos hortícolas. Con imágenes de manzanas, ciruelas, tomates y hongos utilizando una configuración de imágenes de retro dispersión que capturaba 660 nm, se desarrollaron modelos adaptativos de sistemas de inferencia neuro-difusos para la predicción de firmeza o elasticidad. Los resultados mostraron que la fusión de los conjuntos de características seleccionados del análisis de la textura de la imagen y las técnicas del dominio espacial proporcionan un medio eficaz para mejorar el rendimiento de los sistemas de imágenes de retro dispersión en la predicción de las propiedades mecánicas de los productos hortícolas. El valor máximo del coeficiente de correlación en la etapa de predicción fue de 0.88, 0.79 0.89 y 0.91 para los productos de manzana, ciruela, tomate y champiñones, respectivamente (Mahmoud, 2013).

- **Almacenamiento**

De acuerdo con lo investigado por López-Blancas et al. (2014), "Se realizaron estudios sobre los frutos de *Prunus salicina*, encontrando que son altamente perecederos debido a su intensa actividad metabólica. Para aumentar el tiempo de almacenamiento y preservar la calidad, se investigaron los efectos del almacenamiento poscosecha a temperatura cercana al congelamiento. Los resultados mostraron que las tasas de pérdida de peso (4,04%), contenido de sólidos solubles (1,08%), diferencia de color (18,27%), tasa de respiración (23,90%), contenido de antocianinas (41,13%), en

Figura 1. Interrelación entre factores y variables de Incidencia del cambio climático en la adaptación de cultivos, software VOSviewer versión 1.6.7. herramienta software para construir y visualizar redes bibliometricas.

Se observa que la figura 1 está conformada por 7 clúster principales (colores azules, verde, amarillo), que indican como incide en el desarrollo de modelos de simulación en cultivares de frutales, los cuales está directamente relacionado con la calidad de la fruta; la temperatura, tasas de respiración, contenidos de solidos solubles totales, color, etileno, optimización de procesos etc (Balaguera López, 2011).

Cada uno de estos clústeres presenta mayor correlación con diferentes variables; así, por ejemplo, "los modelos de simulación" se correlaciona fuertemente con los otros clústeres (calidad de la fruta, temperatura, tasas de respiración, color entre otros) y con otras variables (poscosecha, actividad antioxidante, compuestos de bio-activos, producción en fresco, etc.) (Aguirre, 2016).

Algunos autores como Cosmulescu et al. (2010), identificaron las respuestas fisiológicas (tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración) de algunos cultivares de ciruela bajo la influencia de factores ambientales, tales como la temperatura y la luz. Encontrando, que el crecimiento y el fructificación están influenciados por vínculos complejos entre múltiples procesos fisiológicos que operan a nivel de órganos en los ciruelos, según las características genéticas, hereditarias y procesos fisiológicos, que se reflejan en el crecimiento de órganos y en el cuajado de frutos de las plantas. La variabilidad climática se encuentra entre los problemas más relevantes asociados al cambio climático. La producción y la calidad de los cultivos de ciruela pueden verse de forma directa e indirecta afectadas por la presencia de temperaturas elevadas y niveles elevados de dióxido de carbono (CO²) y ozono (O³). (Rodoni, 2014).

1.5 Influencia de la temperatura en el cultivo y frutos de ciruela.

La temperatura en aumento, afecta de forma exponencial la velocidad de los procesos fisiológicos, especialmente sobre el incremento de la energía del movimiento (cinética), esto ocurre siempre y cuando la temperatura se encuentra dentro de un rango óptimo, ya que en un rango superior (Coronado y González 2021), las respuestas fisiológicas serán menores. En el caso del cultivar de ciruela, cuando las temperaturas son más elevadas que las recomendadas, el crecimiento en la planta, la producción y calidad de los frutos se verá afectada (García 2014). En la planta los tejidos blandos no tendrán suficiente resistencia ante el ataque de plagas y enfermedades, ante temperaturas elevadas los frutos presentan un desarrollo morfológico y bioquímico acelerado, lo que propenderá a su degradación rápida en el almacenamiento, en comparación a los frutos desarrollados en condiciones óptimas (Llano & Traslaviña 2014).

Algunas investigaciones muestran que, en países como Brasil, en regiones con mayor cantidad de horas frío, como se presenta en el caso de São Joaquim-SC y Vacaria, en Río Grande do Sul, es posible la adaptación del cultivo de ciruelas (Dela, 2019).

La perspectiva es que el aumento del cultivo de esta especie vaya en crecimiento, principalmente para reemplazar las importaciones que ocurren hoy en día en Brasil, donde la ciruela ocupa la tercera posición en importaciones de fruta fresca. De acuerdo con lo anterior, se busca que el cultivar se extienda hacia regiones con aún más horas frío de crecimiento, para de esta manera contribuir a satisfacer la creciente demanda, implementando cultivos con variedades resistentes a condiciones de mayores horas frío (Albino, 2017).

Mavuso et al. (2017), investigaron los efectos de las condiciones ambientales en cultivares de ciruela mariana (*bouea macrophylla griffith*), los resultados mostraron que los árboles de todos los huertos florecieron en respuesta a bajas temperaturas (por debajo de 18 °C), a pesar de los diferentes niveles de estrés hídrico y humedad relativa. Estos resultados indicaron que las temperaturas nocturnas de 18°C o menos son esenciales para la inducción de la flor del ciruelo mariano.

Cosmulescu et al. (2010), estudiaron los cambios fenológicos en especies de ciruelos (*Prunus domestica* L.) de reciente aparición en la región de Oltenia (Rumania). Se encontró que: en los años con primavera temprana y altas temperaturas, las fases fenológicas se presentaron mucho antes que en años normales. El análisis de los datos obtenidos mostró que la "duración del tiempo de floración" es una característica que está influenciada por el factor climático y el factor genético. La influencia del factor meteorológico se manifiesta en diferentes años, provocando así, en un mismo cultivar, diferentes duraciones de tiempo entre el inicio y el final de la floración. En general, cuanto antes se desarrolla la floración, menor es su tiempo de duración. Los estudios sobre el impacto de los factores ambientales en la fenología de las especies de árboles frutales están permitiendo tomar decisiones sobre la formación de cultivares adecuados para las diferentes zonas, dependiendo de las condiciones ecológicas locales.

Los árboles de hoja caduca detienen su crecimiento durante el período más frío del año para evitar daños (Rodríguez et al., 2021). Para permitir un crecimiento y una producción exitosa de frutos, estas a su vez necesitan acumulación de frío (Almanza Merchán, 2011). Se espera que el calentamiento global disminuya la disponibilidad de frío invernal con impactos negativos sobre la viabilidad y el rendimiento; algunos cultivos estudiados serían viables en un futuro, siempre y cuando se utilicen variedades con bajos índices de temperaturas (Aiassa, 2009). En estos casos, la aclimatación sería posible cambiando el cultivo a áreas adyacentes, junto a una cuidadosa selección de variedades en términos de requisitos de cambios de temperaturas mínimas extremas (Rodríguez et al., 2021).

La temperatura puede afectar la respiración y también puede acelerar la vida útil del producto. El cultivo de ciruela, es un proceso que está directamente influenciado por las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Cuando estos cultivos experimentan cambios en su temperatura ambiente o se ven expuestos a niveles elevados de dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2), se producen alteraciones significativas en sus características fisiológicas (Moretti et al., 2009). La temperatura juega un papel fundamental en la conservación y calidad de los frutos. Sin embargo, cuando la temperatura se eleva más allá de ciertos límites, puede causar daños significativos en los

cultivos. Uno de los efectos negativos más comunes de la temperatura elevada es la aparición de sabores alcohólicos desagradables (Castellanos, 2012).

Doving et al. (2005) realizaron un estudio en el oeste de Noruega con ciruela, donde la zona de producción es conocida por su clima más frío y húmedo. Estos autores encontraron que, en el mes de julio, siendo un mes más cálido y seco, circunstancialmente mejoró la calidad de la fruta. En este estudio se determinaron las correlaciones entre rendimiento del cultivo, factores climáticos (temperatura media mensual, precipitación total mensual) y la calidad del fruto de la ciruela, representada por el contenido de sólidos solubles totales. El estudio mostró un buen ajuste en los resultados obtenidos y una buena correlación entre las variables estudiadas, pero la característica más importante fue el aumento de la producción manteniendo la calidad en climas cálidos de prolongadas sequías. Según Fischer et al. (2012). En los frutos que logran resistir la caída causada por las heladas, se ha observado que pueden presentar pardeamiento interno. Esta condición puede afectar la apariencia y calidad de la fruta, lo que puede disminuir su valor comercial. Sin embargo, es interesante destacar que, a medida que la fruta madura el pardeamiento interno puede intensificarse (Fisher et al., 2012).

1.6 Influencia de la humedad relativa en el cultivo y frutos de ciruela.

La humedad atmosférica influye sobre la temperatura del aire, la presencia de vientos, nieblas, lloviznas, y disminuye la insolación. Cuando la humedad relativa es mayor al 90%, se dificulta la transpiración, y por tanto una absorción de nutrientes, mientras que una humedad relativa por debajo del 40%, causa marchitez en las flores, muerte de brotes internos y cese general en la fotosíntesis (Fischer & Orduz-Rodríguez 2012).

La disponibilidad hídrica está estrechamente relacionada con la actividad metabólica, estructura y turgencia de la planta, influyendo marcadamente en el transporte de nutrientes y el rajado del fruto esto ocurre principalmente por disminución de agua en el

suelo (Cárdenas & Fischer 2013), si se alargan los periodos de sequía se verán afectados procesos como producción y calidad de fruto (Fischer & Orduz-Rodríguez 2012).

Según Theron (2015), la pérdida de humedad de los productos perecederos se manifiesta principalmente como disminución de su corteza exterior, debido a una pérdida en la turgencia de las células superficiales del fruto, o pérdida de peso. En la revisión del estudio por medio de microscopía fluorescente para grietas y aberturas en la epidermis del fruto de ciruela, se encontró que solo 'African Delight™' tenía grietas finas abiertas en su epidermis; las grietas se asociaron con mayores permeabilidades al vapor de agua. La fecha y el cultivar contribuyeron a la variación en el vapor de agua total contenido en la epidermis de ciruela. Las permeabilidades de 'African Delight™', 'Laetitia' y 'Songold' fueron determinadas semanalmente desde la semana 4, antes de la cosecha y la respectiva poscosecha. El número de frutos se incrementó con respecto a la variación total en su humedad relativa, con un valor mayor del 45% al valor de referencia, seguido por el periodo de recolección con un valor superior al 20%, mientras los efectos en el cultivo mantuvieron con un valor inferior al 15%; la humedad relativa en todos los cultivares se duplicó a medida que la fruta se maduró. Las diferencias en la humedad de la epidermis de la fruta variaron considerablemente en los periodos entre el 2013 y 2014.

La influencia de la humedad relativa es un parámetro de importancia en la conservación de ciertas especies, debido a que cuando se realizan buenas prácticas agrícolas como la conservación de cadenas de frío por largos periodos de tiempo, este parámetro debe ser casi preciso, ya que de esta precisión dependerá la disminución en el deterioro de los tejidos y una temprana senescencia que se verán reflejadas en pérdidas económicas (Mendoza et al., 2012).

1.7 Influencia de la intensidad y radiación solar en el cultivo y frutos de ciruela.

La fotosíntesis determina la síntesis de carbohidratos y la producción de biomasa, cuando la radiación solar influye en estos procesos se verá afectado el crecimiento y desarrollo de la planta (Montero-Torres, 2022).

Cuando se tiene una alta luminosidad esta característica favorece el color ya que se aumenta la síntesis de pigmentos antocianicos, y mejora el porcentaje de grados Brix, elevando el contenido de sólidos solubles (García, 2015).

En contraste con radiaciones solares prolongadas y acompañadas de un período seco, ocurrirá que éstas prolongaciones puedan causar quemaduras sobre los frutos. Una prolongada insolación puede causar una degradación en la epidermis, y por tanto el daño irreversible en los tejidos. “La duración, intensidad y calidad de la luz inciden de manera directa en la calidad del producto en la cosecha. Entre más baja sea la intensidad luminosa, dicha intensidad será nociva para los frutos en cosecha” (Parra-Coronado, 2014). De igual forma, se alteran las características fisiológicas como cantidad de ácido y color (Fischer & Orduz-Rodríguez 2012).

1.8 Influencia de la altitud en el cultivo y frutos de ciruela.

Debido a las condiciones climáticas en la altitud, la temperatura es la variable que tiene un impacto en el incremento del crecimiento de las plantas.

A medida que se asciende en altitud, la presión atmosférica disminuye, lo que afecta la disponibilidad de oxígeno y otros gases esenciales para el desarrollo de las plantas. Las plantas adaptadas a un ambiente de baja altitud pueden tener dificultades para obtener la cantidad adecuada de oxígeno y otros nutrientes en zonas más elevadas. (Torres-Flores, 2012). Esto se evidencia en un crecimiento más lento y en una menor eficiencia en la fotosíntesis y otros procesos metabólicos. La luz UV-B (280-320 nm) en plantas sensibles

La alta radiación influye en la anatomía, la biomasa y el nivel de los carbohidratos (Fischer & Pérez, 2012).

En Colombia, en el altiplano Cundiboyacense, " las plantas poseen una cutícula más gruesa, hojas más pequeñas para filtrar la mayor radiación ultravioleta, y resistir largos periodos de sequía" (Fischer & Pérez, 2012). "Las antocianinas en hojas recién desenvueltas actúan como un filtro de absorción y rodean el mesófilo foliar, bajo intensidades lumínicas altas los pigmentos como el caroteno y el luteno incrementan en los cloroplastos, las plantas pueden incrementar su producción en flavonoides epidémiales, absorbiendo la luz ultravioleta y ceras epicuticulares protectoras" (Ligarreto et al., 2012).

Según estudios en algunos frutos de ciruela, fresa, mango y manzanas, producidos a menor altitud, mayores registros de temperatura y humedad relativa, menores registros de Radiación (Villalobos-Acuña, 2009). Presentan mayor firmeza y menor sólidos solubles totales al momento de la cosecha y durante el almacenamiento. Esto significa que los cultivos fríos producen frutos más ricos y tienen menos peso que los que están en clima más cálido. (Fischer et al., 2019). Los frutos cultivados en altitudes elevadas con temperaturas más frescas pueden presentar un contenido de sólidos solubles totales y acidez total titulable, así como un peso, inferiores en comparación con aquellos cultivados en áreas con temperaturas más elevadas. Estos efectos pueden deberse a las diferencias en la síntesis de azúcares y ácidos, así como al ritmo de desarrollo y crecimiento de los frutos en condiciones más frías. (Africano et al., 2016). Las condiciones climáticas durante el cultivo pueden tener un impacto significativo en la calidad de las cosechas, especialmente en lo que respecta al contenido de sólidos solubles totales y la firmeza de los frutos. Un aspecto crucial es la precipitación y la humedad relativa, ya que desempeñan un papel importante en el desarrollo de las plantas y la formación de los frutos. (Parra-Coronado, 2014).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Acero, E. (2006). Nayarit: reforma y desarrollo (Vol. 2). Univ. Autónoma de Nayarit.
- Agronet. (2021). Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>.
- Africano, K. L., Almanza-Merchán, P. J., Criollo, H., Herrera, A., & Balaguera-López, H. E. (2016). Caracterización poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Dorado producido bajo condiciones de trópico alto. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 232-240.
- Aiassa, P. (2009). La jatropha como cultivo industrial en Argentina Tesis de grado para obtener el título de ingeniería Industrial, Universidad.p.(15-16).
- Álvarez Proaño, C. M. (2020). Evaluación de diferentes tipos de embalaje e índices de madurez en babaco (*Vasconcellea pentagona*) (Bachelor's thesis).
- Álvarez-Herrera, J. Roza-Romero, X. & Reyes, A. J. (2015). comportamiento poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* Lindl.) en cuatro estados de madurez tratados con etileno. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1: 46-59.
- Albino, B. (2017) Qualidade pós colheita e incidência de danos por frio em ameixas 'Pluma 7' submetidas a condicionamento térmico. *Anais: Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul, Criciúma*, 6: 46-53.
- Alvarez Plazas, A. (2018). La vida social de la pera en la construcción del desarrollo rural de Nuevo Colón, Boyacá.
- Amado, A. Montañéz, G, & Viasús, A. (2021). La planificación de cosecha en ciruela variedad "Horvin", estudio de caso. Tuta, Boyacá, Colombia. *Criterio Libre*, p. (126-145).
- Andrade, S. (2016). Eficácia de revestimentos de goma arábica incorporados com óleo essencial de *Origanum vulgare* L. e *Rosmarinus officinalis* L. no controle da podridão mole em ameixas. *Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição)* - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,2-5.

- Asagrin (2014). Contratación de asesoría técnica para el estudio de factibilidad de incorporación de dos nuevas especies frutales al seguro agrícola: ciruelo. Santiago de Chile.
- Ayala, L. C.; Valenzuela, C. P.; y Bohorquez, Y. (2013). Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) en seis estados de madurez. Revista de Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 1(2): páginas 2,4.
- Basanta, M. F. (2013). Estudio químico y funcional de pectinas y glicanos entrecruzantes de paredes celulares de prunoideas (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).
- Batlle, I., Iglesias, I., Cantin, C. M., Badenes, M. L., Ríos, G., Ruiz, D., & García-Brunton, J. (2018). Frutales de hueso y pepita. Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas, 77-130.
- Buelvas Muñoz, Y. P. (2018). Estudio de las propiedades fisiológicas, fisicoquímicas y nutraceuticas en el periodo postcosecha de la papaya (carica papaya L.) tainung f1 tipo exportación del departamento de córdoba.
- Becerra, E. (2017). Cultivos promisorios y cambios productivos en fincas campesinas boyacenses. El caso de la vid en floresta y socha (colombia). la ciencia y la educación escenario para la construcción de paz, pp. (383-384)
- Cárdenas, J. & Fischer, G. (2013). Clasificación botánica y morfología. Los frutales caducifolios en Colombia. Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Bogotá, Colombia, Revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 8 - No. 2 - pp. 314-327, julio-diciembre 20142013, p. (21-29).
- Cárdenas Pinzón, I. (2016). Agricultura y desarrollo rural en Colombia una aproximación. Apuntes del Cenes, pp.87-123.
- Calvo, V. (2015). Manejo integrado de cultivos- frutales de altura, Instituto Nacional de Innovación, Instituto Nacional de Innovación y transferencia Costa Rica, 29.

- California Rare Fruit Growers Association. (2022). <https://crfg.org/home/chapters/california/central-coast/>. Obtenido de <https://crfg.org/>, consultada 2 de Mayo de 2022.
- Castellanos, M. (2012). Manual de cosecha y mercadeo, url: <http://hdl.handle.net/11036/1355>, Zamorano honduras, consultada 23 de noviembre de 2022.
- Cayambe, U., & Wilfrido, P. (2014). Evaluación de medios de cultivo para la micropropagación "in vitro" de capulí (*Prunus serotina* ssp capulí Cav) a partir de segmentos nodales. Quito, Pichincha.
- Cendales Reyes, C. A. y Guio Vanegas, M. L. (2015). Sustitución de cultivos tradicionales por cultivos de frutas como factor de desarrollo humano de los habitantes de la vereda Naguata del municipio de Ramiriquí, proyecto de grado para optar al título de magister en planeacion para el desarrollo pp. (75-78).
- Cobo, M. y Demetrio, A. (2013). Desarrollo de un producto alimenticio: láminas de fruta deshidratada, utilizando pulpa de mora y manzana para Frozen Tropic. Disertacion de tesis, Escuela superior tecnica del chimborazo, p. (11-13).
- Corcino-López, E. (2014). Elaboración y aceptabilidad de licor a base de melocotón (*prunus persica*)" huayco. Obtenido de repositorio.unjfsc.edu.pe, <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/1590>", Peru, consultado el 2 de Mayo de 2022.
- Coronado Jiménez, L. A., & González Moya, V. (2021). Evaluación de la producción de la Taq polimerasa en un biorreactor de 1 L en la Corporación Corpogen (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Cosmulescu, S. Baciú, A. Marius, G. (2010). Environmental factors and their influence on some physiological processes in plum tree. *Acta Horticulturae* , 874(874):175-182.
- Crisosto, C. Garner, D. & Crisosto, G. (2004). Increasing "Blackamber" plum (*Prunus salicina* Lindell). Amsterdam: Postharvest Biology and Technology.
- Dela, F. (2019). Influência do grau de maturação no armazenamento refrigerado sobre características físico-química de ameixa CV.'Pluma 7'. Repositorio institucional,

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Urupema, Brasil, 11-14

- Doving, A. (2005). Prediction of Fruit Quality of Plums (*Prunus domestica* L.), Department of Plant and Environmental, . Sciences Norwegian University of Life Sciences, P.O. Box 5003, NO-1432.
- Essalimi B, Esserti S, Rifai L, Koussa T, Makroum K, Malika Belfaiza, Saida Rifai, Jean Stéphane Venisse, Lydia Faize, Nuria Albuquerque, Lorenzo Burgos, Siham El Jadoumi, Mohamed Faize (2022), Enhancement of plant growth, acclimatization, salt stress tolerance and verticillium wilt disease resistance using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) associated with plum trees (*Prunus domestica*), *Scientia Horticulturae*, Volume 291.
- Fischer, G. (2011). La relación hoja/fruto en especies frutícolas. In Proc. 4th Colombian Congress of Horticulture, Palmira, Colombia (pp. 40-53).
- Fischer, G., & Pérez, C. P. (2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. In *Memorias del Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico* (en CD) (pp. 28-30).
- Fischer, G. & Orduz-Rodriguez, J. (2012). Manual para el cultivo de frutales en el tropico, *Ecología en frutales*, Promumedios, Bogotá, 54-57
- Fischer, G. Ramírez, F., & Almanza-Merchán, P. (2012). Inducción floral, floración y desarrollo del fruto. . *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, Bogotá, p. 120-140.
- Fischer, G. (2000). Fisiología del cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.).
- Flórez, L. M. Pérez, L. V. Melgarejo, L. M. y Hernández, S. (2012). Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. .

Ecofisiología del cultivo de la gulupa *Passiflora edulis* Sims. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, p. (33-51).

Flores, A. G., Marquina, R. V., Morales, M. D., (2022). Ciruela mexicana: de Mesoamérica para el mundo: Mexican plum: from Mesoamerica to the world. *Inventio*, 18(44), 1-13.

García Lozano, J. (2014). Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

García Ávila, A. (2015). Descripción varietal, potencial productivo y calidad de fruto de nuevos genotipos de durazno en el subtrópico (Master's thesis).

García, M. (2015). Estudio de vigilancia tecnológica e Inteligencia competitiva aplicado al cultivo y comercialización del durazno (*Prunus Persica* L) cv. Amarillo Jarillo en la Provincia de Pamplona. [Proyecto Aplicado o Tesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3746>.

Gárgano, C. (2013). Ciencia y Dictadura: producción pública y apropiación privada de conocimiento científico-tecnológico. Dinámicas de cooptación y transferencia en el ámbito del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires Argentina. p. (45-48).

Gomez., A. (2015). Estudio de vigilancia tecnológica e Inteligencia competitiva aplicado al cultivo y comercialización del durazno (*Prunus persica* L.) cv. "Amarillo Jarillo" en la Provincia de Pamplona, Trabajo de grado para optar al título de Magister en Administración de Organizaciones, repository.unad.edu.co, Pamplona Santander, p. (2-4).

González Pérez, J. S. (2017). Fenología y desarrollo de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl cv Methley) en Texcoco, Estado de México (Master's thesis).

Guerra-Velo, M., Gharbi, O., Andrés, M. V., & Rodrigo García, F. J. (2020). Crecimiento y caída de flores no polinizadas en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) y ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.).

- Guevara, D. (2017). Modelado y simulación de sistemas climáticos: desde la escala global hasta los microclimas. Modelado y simulación de sistemas naturales, Trabajo para Optar por el Título de Magister en Administración de Organizaciones. Modalidad Proyecto Aplicado, Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogota Colombia, p.(11-12).
- Gutiérrez Osorio, C. (2018). Evaluación de la calidad del fruto de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) cv Gran Jarillo, durante la cosecha en dos localidades de la provincia de Pamplona, Norte de Santander.
- Gwanpua, S., Verlinden, B. E., Hertog, M. Van Impe, J., Nicolai, B, & Geeraerd, A, (2013). Towards flexible management of postharvest variation in fruit firmness of three apple cultivars. *Postharvest biology and technology*, 85, 18-29.
- Hui Li, Zexuan Huang, Keren Agyekumwaa Addo, Yigang Yu, (2022) Evaluation of postharvest quality of plum (*Prunus salicina* L. cv. 'French') treated with layer-by-layer edible coating during storage, *Scientia Horticulturae*, Volume 304, 2022, 111310, ISSN 0304-4238, <https://doi.org/10.1016/j.scienta..111310>.
- Jackson, L. (1999). Stonefruit. En: Jackson, D.I. y N.E. Looney (eds.). *Temperate and subtropical fruit production*. 2a ed. CABI . Publishing: Wallingford.UK. 171-188p.
- Jalali, A.; Seiiedlou, S.; Linke, M. & Mahajan, P. (2017). A comprehensive simulation program for modified atmosphere and humidity packaging (MAHP) of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Engineering*, 206: 88-97.
- Jiménez Jiménez, J. (2011). Factores endógenos que controlan el crecimiento del brote y la floración del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cv. Algerie en respuesta al riego deficitario. Tesis doctoral, Universidad de Almería, España, p 26-30.

- Konarska, A. (2015). Micromorphological, anatomical and ultrastructural analyses of ovaries and fruitlets indicate early qualitative differences in two *Prunus domestica* cultivars. *Scientia Horticulturae*, 189, 112-121.
- Leonzcelli, G. I. (2021). Reducción de la floración en ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.) con ácido giberélico como alternativa para mejorar el tamaño del fruto (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral).
- Ligarreto, G., Fischer, G., Rodríguez, J. O., Miranda, D., Perea, M., Ramírez, F., & Flórez, A. (2012). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Particularidades de los frutales. *Produmedios*.
- Linlin Wang, W. (2021). Effects of different drip irrigation modes on water use efficiency of pear trees in Northern China. *Agricultural Water Management*, Elsevier, vol. 263(C). 78, p.
- López-Blancas, E. Martínez-Damián, M. T. Colinas-León, M. T. Bautista-Bañuelos, C. Martínez-Solís, J. Y Rodríguez-Pérez, J. E. (2014). Actividad antioxidante y enzimática de albahaca Nufar (*Ocimum basilicum* L.) almacenada en refrigeración. *Editorial Agronomía Mesoamericana*, Chapingo Mexico, p. (256-265).
- López, G. (2011). Desarrollo de un método de manejo postcosecha para la comercialización en fresco de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea*) y su aprovechamiento industrial . Trabajo de investigación para obtener el título de: ingeniero bioquímico, repositorio digital tuxtla, Chiapas, Mexico. p. (25-27).
- López, M. (2011). Modelos de cultivos y modelos fenológicos. Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. *Editorial Universidad Nacional de Colombia*, Bogotá, Primera Edición. pp.(153-177).
- Lozano, M. (2008). El protocolo en las empresas de propiedad familiar. *Estudios Gerenciales*, pp. (49-67), Recuperado en [http://dspace.icesi.edu.co/dspace/bitstream/10906/235/1/mlozano_ proto-emp-familiar.pdf](http://dspace.icesi.edu.co/dspace/bitstream/10906/235/1/mlozano_proto-emp-familiar.pdf). *Estudios Gerenciales*, vol. 27, núm. 121, octubre-diciembre, 2011, p 159-173.

- Llano Puerta, L. F., & Traslaviña Medina, T. (2012). Obtención de un no tejido apartir de la pulpa de mango.
- Ma, Y., Zhang, W., Cheng, S., Liu, Y., Yang, W., Wang, Y.,& Chen, G. (2022). Postharvest storage at near-freezing temperature maintained the quality and antioxidant properties of *Prunus domestica* L. cv. Ximei fruit. *Scientia Horticulturae*, 293, 110720.
- Mahmoud, F.A. (2013). Analysis of texture-based features for predicting mechanical properties of horticultural products by laser light backscattering imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volumen 98(1), 34 -45.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4075-4087.
- Mellisho, C., Egea, I., Galindo, A., Rodríguez, P., Rodríguez, J., Conejero, W., Torrecillas, A. (2012). Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. *Agric. Water Manage.* . 114: 30-36.
- Mendoza, F.; Lu, R. y Cen, H. (2012). Comparison and fusion of four nondestructive sensors for predicting apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, volumen (73): 89-98.
- Mera Bajaña, C. R. y Sánchez Vélez, O. S. (2017). Influencia de los carbohidratos en la nutrición de los niños de tercer grado de educación general básica de la Unidad Educativa Manabí, Universidad de Guayaquil. Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, pp.(50-66).

- Miranda Diego, F. G, Fischer. G, Carranza. C, (2013). Los frutales caducifolios en Colombia: Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo . *Sociedad Colombiana de ciencias Hortícolas* , 26.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Revista Agro sur*, Volumen 42(2), 57-66.
- Montalvo-González, E., González-Espinoza, N. García-Galindo, H. Tovar-Gómez, B., & Mata-Montes de Oca, M. (2009). Efecto del etileno exógeno sobre la desverdización del chile 'Poblano' en poscosecha. *Revista Chapingo. Serie horticultura*,15(2), 189.
- Montero Torres, J. (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1), 48-62.
- Morales, Á. G. (2020). Resultados y lecciones en Maquinaria para automatización de cosecha de ciruela para secado: Proyecto de innovación en Región de O'Higgins/Frutales de Hoja caduca.
- Moretti, C. Mattos, L. Calbo, A. y Sargent, S. (2009). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops. A review. *Food Res*, vol. (43): 1824-1832.
- Mosquera, D. (2018). Análisis de la distribución potencial de cultivo de papa (*Solanum Tuberosum*) bajo un escenario de cambio climático al año 2050 y sus potenciales conflictos con áreas del sistema nacional de áreas protegidas (SNAP), . Repositorio de tesis de grado y posgrado, Pontificie universidad Católica del Ecuador., 12-15.
- Navarro, J. (2018). Aprovechamiento de recursos y manejo de suelo ecológico. Capítulo de libro ISBN: 978-84-16758-09-8. Editorial IC, Antequera España. (14-16).
- Orjuela-Angulo, M. Dussán-Sarria, S., y Camacho-Tamayo, J. H. (2022). Effect of some edaphic conditions on physicochemical and physiological characteristics of

'Horvin' plum fruit. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 16(3), e15180.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15180>

Orjuela-Angulo, M. (2017). Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad "Horvin", en el municipio de Nuevo Colón Boyacá. Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola [428], <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58751>.

Orjuela-Angulo, M.; Parra-Coronado, A., and Camacho-Tamayo, J. (2016). Evaluación de algunos parámetros de calidad durante el desarrollo del fruto de ciruela (*Prunus domestica* L.), variedad Horvin, en el municipio de Nuevo Colón Boyacá, Colombia. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/309352778>.

Pacheco, Y. E. G., & Cabrera, D. (2023). Determinación de los grados de maduración de la ciruela (*Spondias purpurea* L.) cultivada en Baranoa-Colombia. *Prospectiva*, 21(1).

Parra-Coronado, A., Fischer, G., Camacho-Tamayo, J. (2016), Growth model of the pineapple guava fruit, *Ingeniería e Investigación*. vol. 36 n.º 3, december (06-14).

Parra-Coronado, A., Miranda, D. (2016), La calidad poscosecha de los frutos en respuesta a los factores climáticos en el cultivo, *Agronomía Colombiana*, 34 (1Supl.), S1415-S1418.

Parra-Coronado, A., Fischer, G., Camacho-Tamayo, J. (2015). Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia, *Bragantia, Campinas*, v. 74, n. 3, p.359-366.

Parra-Coronado, A. (2014). Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Doctor en Ciencias

Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

- Parra-Coronado, A; Camacho T.H.; Hernández-Hernández, J.E. (2013). Estudio fisiológico poscosecha y evaluación de la calidad de la ciruela variedad Horvin (*Prunus domestica* L.) bajo tres condiciones de almacenamiento refrigerado, Ingeniería e Investigación, *Print version* ISSN 0120-5609,
- Parra-Coronado, A; Camacho T.H.; Hernández-Hernández, J.E. (2007). Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la ciruela variedad "Horvin". *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29: 431-437.
- Patiño L., & Miranda, D. de los frutales caducifolios. los frutales caducifolios, 9.
- Paye Huaranca, V. (2015). Evaluación del comportamiento productivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a diferentes niveles de nitrógeno con fertirriego y su efecto residual en los frutos comerciales (Doctoral dissertation).
- Puentes, G. (2008). Análisis de grupo de las empresas productoras de frutales caducifolios del departamento de Boyacá. Agron. Colombia.
- Puerta-Gomez, A. F., & Cisneros-Zevallos, L. (2011). Postharvest studies beyond fresh market eating quality: Phytochemical antioxidant changes in peach and plum fruit during ripening and advanced senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 220-224.
- Rodoni, L. M. (2014). Evaluación de metodologías no contaminantes para mantener la calidad y extender la vida poscosecha de pimientos (*Capsicum annuum* L.) frescos cortados. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Rodríguez, A. Rodríguez, A., Pérez-López, D., Centeno, A., & Ruiz-Ramos, M (2021). Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. *Agricultural Systems*, 186, 102961.
- Rosero, L. D., Hernández, D. A., & Ortiz, D. P. (2020). Propiedades fisicoquímicas y nutricionales en la pre y poscosecha de la guayaba feijoa (*Acca sellowiana*). # ashtag, 1(16), 32-43.

- Ruiz Perilla, D. L. (2019). Investigación acción participativa con una comunidad de platanicultores para el procesamiento de plátano en el departamento del Casanare, Universidad de la Salle, Yopal, Colombia. p (24).
- Ryugo, K.(1993). Fructicultura: Ciencia y arte . Mexico DF: AGT Editor.
- Sánchez L. y G. Saavedra. (2013). Comportamiento poscosecha de frutos de ciruelo (*Prunus domestica* L.) Horvin cosechados en diferentes grados de madurez. Trabajo final. Programa de Especialización [Libro]. - Duitama. : Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia., 2013.
- Seminario Luján, L. C. (2022). Efecto del tiempo de almacenamiento con anhídrido sulfuroso sobre la firmeza, crecimiento de mohos y levaduras y aceptabilidad general de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) variedad Ventura.
- Serrano, A., Puentes, G., & Cleves-Leguizamo, J. A.. (2020), Representaciones sociales de los productores de ciruela (*Prunus salicina* L.) var. "Horvin", en el departamento de Boyacá, Colombia. . Revista Espacios. ISSN, 798, 1015.
- Solarte, M. Hernández, M., Morales, A., Fernández, J., & y Melgarejo, L. (2010). Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante laEn: Morales, A.L.; Melgarejo, L.M. (eds.). 2010. Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena prod. Bogota.: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional.
- Solís Mateos, M. (2016). Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha . Disertacion Doctoral Universitat Politècnica de València. Revista Dialnet.
- Sota, O., & Urima, A. (2022). Análisis fitoquímico y efecto antioxidante in vitro E in vivo de dos genotipos de *Sechium edule* (Jacq.) Sw (Doctoral dissertation).

- Theron, J. (2015). Moisture loss studies in Japanese plums. (*Prunus salicina* Lindl.). Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Agriculture (Horticultural Science) at the University of Stellenbosch, Dept. of Horticultural Science University of Stellenbosch., 12-58.
- Torres Flores, R. (2012). Evaluación ambiental de la influencia de las condiciones climáticas en 3 densidades de siembra del (*cucumis sativus* L.)“Pepinillo” fundo Miraflores–San Martín.
- Usenik, V., Kastelec, D., Veberič, R., & Štampar, F. (2008). Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.). *Food chemistry*, 111(4), 830-836.
- Valdés, J. O. (2021). El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en condiciones de cielo abierto e invernadero.
- Valero, D, & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC press.
- Vásquez B. (2020). Estudio de la biodiversidad funcional vegetal en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) bajo sistemas convencionales y en conversión agroecológica, en el municipio de Andes, Universidad de Antioquia, Colombia, <https://lccn.loc.gov/sh85027724>. p (56-82).
- Velho, A. C., Amarante, C. V. T. D., Argenta, L. C., & Steffens, C. A. (2011). Influência da temperatura de armazenamento na qualidade pós-colheita de goiabas serranas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 014-020.
- Villalba-Campos, L. (2014). Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco). *Gobernación de la Orinoquia*. 18(1), 21-34.
- Villalobos-Acuña, L. (2009). Metodologías de análisis de factores de calidad en frutas tropicales y subtropicales, implementadas por el laboratorio de postcosecha de la Universidad de California en Davis, Estados Unidos.
- Yamberla, J. (2019). Estudio de las potencialidades de agronegocios en las unidades de producción agrícola (UPAS) . sector rural del cantón Otavalo (Bachelor's thesis), Repositorio Universidad Técnica del Norte,

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9420>, consultada Octubre de 2021.

Zapata, L. M., Malleret, A. D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O., Rivadeneira, M. F., & Gerard, J. A. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, docencia y tecnología*, (41), 159-171.

2. Temperatura base y tiempo térmico para el crecimiento y maduración del fruto de ciruela variedad “Horvin” (*Prunus salicina* L.)

Base temperature and thermal time for the growth and maturation of the plum fruit variety "Horvin" (*Prunus salicina* L.)

Mayerlin Orjuela Angulo¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Colombia).

2.1 RESUMEN

El cultivo de ciruela (*Prunus salicina* L), es afectado por factores climáticos. El desarrollo en términos de tiempo térmico o grados de crecimiento en días (GCD), es más preciso que el tiempo cronológico para la programación de labores culturales y en la estimación de eventos fenológicos en el cultivo. El objetivo de este estudio fue determinar la temperatura base y el tiempo térmico para el crecimiento y maduración del fruto de ciruela variedad “Horvin”, donde se estimó la temperatura base (Tb) para los estados fenológicos reproductivos de la ciruela de botón floral- anthesis (2.84°C), anthesis-cuaje de fruto (3.05°C), cuaje de fruto-cosecha (1.76°C). Se marcaron por localidad, veinte árboles, diez árboles por surco a dos altitudes diferentes 2567 y 2195, en el municipio de Nuevo Colón Boyacá, durante los años 2021 y 2022, se hizo el registro de la aparición en cada uno de los estados fenológicos, desde botón floral hasta cosecha, donde se

estimó la T_b usando el método de coeficiente mínimo de variación; en términos de GCD. Los resultados muestran que se requiere una media de 85 y 119 GCD, para llegar desde anthesis hasta la cosecha del fruto de acuerdo con las altitudes seleccionadas. Los parámetros estadísticos muestran que el método de desviación estándar es el que mejor se ajusta, mostrando un grado de correlación pertinente.

Palabras claves: grados días de crecimiento, temperatura base, periodos fenológicos.

ABSTRACT

Plum (*Prunus salicina* L) cultivation is affected by climatic factors. The development in terms of thermal time or degrees of growth in days (GCD) is more precise than the chronological time for the programming of cultural tasks and in the estimation of phenological events in the crop. The objective of this study was to determine the base temperature and the thermal time for the growth and maturation of the fruit of the plum variety "Horvin", the base temperature (T_b) was estimated for the phenological reproductive states of the floral bud-anthesis. plum (2.84°C), anthesis-setting (3.05°C), setting-harvest (1.76°C). Twenty trees were marked, per farm, ten trees per furrow at two different altitudes 2,567 and 2,195, in the municipality of Nuevo Colón Boyacá during the years 2021 and 2022, the record of the appearance was made in each of the phenological states since flower bud to harvest, where T_b was estimated using the method of the minimum coefficient of variation; in terms of GCD. The results show that an average of 85 and 119 days are required in GCD to go from anthesis to fruit harvest according to the selected altitudes. The statistical parameters show that the standard deviation method is the best fit, showing a relevant degree of correlation.

Keywords : degrees of growth in days, base temperature , phenological period.

2.2 INTRODUCCIÓN

El registro de la fenología se realiza mediante observaciones periódicas y sistemáticas de una variedad de especies vegetales a lo largo del tiempo. Esta información se utiliza para comprender las tendencias y patrones de los ciclos de vida de las plantas y su relación con los cambios estacionales y climáticos. (Montesdeoca, 2017). Los estudios fenológicos, permiten evaluar la adaptación de los cultivos frutales según algunas condiciones determinantes del lugar. De tal forma que permita mejores prácticas de cultivo como podas, fertilización, polinización, raleo, cosecha entre otras (Guerrero et al., 2012).

Las observaciones fenológicas, las fechas probables de las diferentes fases del desarrollo, la duración de los diversos sub-períodos, las fechas límites y la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos biológicos realizadas durante largos periodos de tiempo permiten establecer conclusiones útiles en el campo de la investigación científica y en la práctica agrícola e industrial (Orjuela-Angulo 2017).

El tiempo calendario es utilizado para la predicción de las etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Lescano-Vega, 2016). Sin embargo, en la actualidad se han propuesto y mejorado algunos modelos en el uso del tiempo calendario en la predicción del desarrollo en cultivos, los cuales describen como factor predominante el efecto de la temperatura sobre el desarrollo fenológico (Criollo-Escobar et al., 2020).

Existen varios métodos de GCD, encaminados a determinar los GCD, como el cálculo de la suma de la diferencia entre la temperatura media y la temperatura base calculada a partir de la temperatura media de las temperaturas máximas y mínimas diarias (Pinzón-Sandoval et al., 2022). El método GCD, es uno de los más precisos para describir el crecimiento del fruto, ya que este tipo de modelos es independiente del medio ambiente o de una fecha en particular (Orjuela-Angulo 2017).

Para aplicar este método, se establece un valor de temperatura base, que generalmente está por encima de la temperatura mínima requerida para el

desarrollo de los cultivos. En otras palabras, se considera que los cultivos sólo avanzarán en su crecimiento si la temperatura diaria supera ese valor base. Esto se debe a que las plantas necesitan una cierta cantidad de calor acumulado para activar sus procesos de crecimiento y desarrollo. La acumulación de temperatura media diaria es un procedimiento fundamental y ampliamente utilizado en el ámbito agrícola. Este método se basa en cuantificar la cantidad de grados día necesario para dar fin a una fase fenológica (Parra-Coronado, 2014). Es importante determinar el requisito en cuanto a temperatura se refiere en cada cultivo, y de esta forma predecir en qué tiempo el estado fenológico cambia.

Las exactitudes de los modelos de tiempo térmico permiten predecir la fecha de las diferentes etapas de desarrollo (Salazar et al., 2013), dichas predicciones son parcialmente dependientes de la exactitud de la temperatura base, lo que indica que es necesario determinar la temperatura crítica en cada etapa o temperatura base (Díaz, 2020), a partir del conocimiento de estas temperaturas base se conocerá el momento en el cual las etapas cesan sus procesos metabólicos (Orjuela Angulo et al., 2022). A partir de algunos modelos ya creados se han generado diversos tipos para la predicción de climas y cultivos, que interactúan de diversas formas con la fenología de cultivo y a su vez el tiempo térmico fisiológico de cada planta (Pinzón-Sandoval et al., 2022),

Los grados días son una medida que combina el tiempo y la temperatura en el desarrollo de cualquier ser vivo, a medida que aumenta la temperatura generalmente los ciclos de estos seres vivos disminuyen. El tiempo térmico entonces es expresado como el número de calor requerido para completar el desarrollo (Orjuela-Angulo et al., 2022). En el ámbito agrícola, los grados días han demostrado ser una herramienta útil y confiable para determinar la fecha de maduración de frutos. Este método se basa en el seguimiento y acumulación de unidades térmicas a lo largo del tiempo, lo que permite predecir con mayor precisión el momento en que los frutos alcanzarán su madurez óptima. El modelo

de grados días, que se basa en la acumulación de unidades térmicas por encima de un umbral de temperatura base, es una herramienta sencilla y valiosa para predecir el desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas. Sin embargo, este modelo también presenta ciertas limitaciones asociadas al impacto de temperaturas extremadamente altas o bajas en el crecimiento de los cultivos (Woznicki et al., 2019).

Algunos autores calculan los requerimientos de acumulación térmica, que tienen en cuenta un mínimo de crecimiento o temperatura base (T_b), (Parra-Coronado, 2014), donde los modelos adaptados hacen relación a diversas fenologías en los cultivos, en función del tiempo térmico fisiológico. La ciruela es considerada como el cultivo más prometedor para la región de Boyacá y, por tanto, base fundamental para nuevos modelos y estudios de producción (Amado, 2021). De acuerdo con lo anterior el objetivo de este estudio fue determinar la temperatura base y el tiempo térmico para el crecimiento y maduración del fruto de ciruela variedad "Horvin".

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio

El estudio se realizó en dos localidades (fincas), en las cuales se encontraron patrones de durazno blanco común, injertados con púas de ciruela variedad Horvin (*Prunus salicina* L), sembrados en diferentes años (entre 20 y 30 años aproximadamente). Se tomaron 10 árboles por surco y 2 surcos por finca, para un total de 80 árboles para el estudio, las fincas se encuentran ubicadas en el municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá de la siguiente forma: finca Ana, entre las coordenadas 5° 21' 26.5" N y 73° 28' 10.8" mayor altura 2567 m.s.n.m, y finca Blanquita (localidad A) 5° 20' 17.56" N y 73° 27' 53.85" (localidad B), menor altura 2195 m.s.n.m.

La zona se caracteriza por tener un clima húmedo frío. B2d B1, de la “clasificación de Thornthwaite”, con temperatura media entre un mes y el siguiente de 8°C y entre el mes más frío y el más cálido es de 32°C. La humedad relativa es alta, a mayor altitud alcanza un 98% como valor máximo y un 24% como valor mínimo. La precipitación presentada en esta zona tiene un comportamiento de tipo monomodal, con valores de precipitación media anual de 877,2 mm, concentrada en los meses de abril a julio (Orjuela-Angulo 2017).

El estudio de las fechas inicio y de terminación de las diferentes fases del desarrollo, que se aplicó para la ciruela variedad “Horvin”, está compuesto en dos partes; en la primera se calculó la temperatura base para un periodo fenológico y la segunda fue la estimación de la duración en grados día para predecir botón floral- antesis, antesis-cuaje de fruto, cuaje de fruto-cosecha. El estudio incluye el

registro de la fecha de botón floral (día real de la cosecha), y datos meteorológicos diarios como humedad relativa, temperatura, precipitación, radiación incluyendo las temperaturas máximas y mínimas (°C) para cada localidad. A continuación, se describen las fechas de etapas fenológicas: botón floral- antesis, antesis-cuaje de fruto y cuaje de fruto-cosecha. Se obtuvieron en diferentes altitudes en el municipio de Nuevo Colón (Tabla 1), en un período de 2021-2022.

Tabla 1. Fechas de registro para estado fenológico de botón floral- antesis, antesis-cuaje de fruto, cuaje de fruto-cosecha para ciruela variedad “Horvin”.

FECHAS DE CAMBIO DE ESTADO			
	No.	Localidad A	Localidad B
Marcación botones florales	1	Junio 20 de 2021	Agosto 6 de 2021
	2	Marzo 27 de 2022	Marzo 12 de 2022
	3	Agosto 20 de 2022	Agosto 24 de 2022
Aparición flor	1	Julio 18 de 2021	Agosto 26 de 2021
	2	Abril 7 de 2022	Abril 4 de 2022
	3	Septiembre 13 de 2022	Septiembre 26 de 2022
Cuaje fruto	1	Agosto 3 de 2021	Septiembre 15 de 2021
	2	Abril 22 de 2022	Abril 25 de 2022
	3	Septiembre 29 de 2022	Octubre 17 de 2022
Fruto cosecha	1	Septiembre 25 de 2021	Noviembre 29 de 2021
	2	junio 25 de 2022	Junio 30 de 2022
	3	Noviembre 24 de 2022	Diciembre 11 de 2022

La fecha de aparición de cuaje de fruto se realizó 17 días después de observar el brote. Se tomaron registros de datos meteorológicos de temperatura y humedad relativa cada 20 minutos. Para los registros de temperatura y humedad relativa en

cada localidad se utilizaron dataloggers-USB, en los cuales se programó la frecuencia de toma de datos (cada media hora). Para determinar la precipitación en cada uno de los lotes, se instalaron pluviómetros en cada una de las localidades, en los cuales se hizo una medición cada vez que ocurre un evento de lluvia; por su parte, la radiación solar, se midió en cada una de las localidades por medio de un pirheliómetro, el cual posee una superficie receptora que captura los rayos solares que inciden perpendicularmente en su superficie.

Del mismo modo, se llevó a cabo la trazabilidad de las labores culturales en cada localidad, con el fin de observar si se asumen o no, como variables de entrada, las cuales incidirán en las variables de salida o respuesta. El manejo de los cultivos se realizó de forma similar en cuanto a actividades como: fertilización, podas, control de plagas y enfermedades, entre otros, ya que las diferentes actividades afectan la calidad del fruto.

2.3.2 Estimación de la temperatura base (T_b)

En el presente estudio se estimó la temperatura base (T_b) de cada una de las etapas fenológicas del cultivo de ciruela, desde botón floral- anthesis, anthesis-cuaje de fruto, cuaje de fruto-cosecha. Se realizó la suma de las temperaturas registradas en cada localidad estudiada, para cada etapa fenológica desde botón floral. Luego se minimizó el Coeficiente de Variación (CV) de las cantidades de calor calculado (GCD), a partir de un rango de temperaturas entre 0 y 12 °C, para cada una de las diferentes etapas consideradas en este estudio (Parra-Coronado et al, 2015).

La temperatura óptima (T_b) para cada etapa, corresponde a la temperatura con la cual se obtiene el CV más bajo, utilizando un modelo de regresión de segundo grado (Orjuela-Angulo et al., 2022). La herramienta Solver para Excel®, se utilizó para la estimación de la (T_b); Solver es un procedimiento no lineal iterativo. El proceso comienza utilizando un

conjunto de valores iniciales para los parámetros de la ecuación. Luego, mediante el uso de la herramienta Solver, se ajustan gradualmente estos valores, ya sea aumentándolos o disminuyéndolos, con el objetivo de encontrar el valor mínimo de las desviaciones. La desviación se refiere a la diferencia entre los valores obtenidos a partir de la ecuación y los valores reales o esperados. (Parra-Coronado, 2014).

2.3.3 Estimación del tiempo térmico (GCD)

Un grado día se acumula cuando la temperatura media diaria es de un grado por encima de T_b , para un período de 24 horas. (Parra-Coronado, 2014). Para este estudio se hizo necesario conocer el día en el que el cultivo se empieza a desarrollar, en este caso la fecha de inicio fue cuando el fruto se hizo visible (cuajado) o aparecen las yemas en cada localidad y cada cosecha.

El tiempo térmico se calculó a partir de la resta entre la temperatura base y la temperatura media y de allí se deduce la sumatoria diaria. (Ecuación 1).

$$TT = \sum_{i=1}^n GCD_i = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b) \rightarrow TT = \sum_{i=1}^n (T_i - nT_b) \quad (1)$$

Donde, TT es el tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulado durante los n días hasta que aparezca el estado, de cuaje de fruto a cosecha: T_i es la temperatura media diaria ($^{\circ}\text{C}$) para el día i y T_b es la temperatura base ($^{\circ}\text{C}$). Los GCD, para la acumulación de TT se calculan utilizando las siguientes consideraciones:

$$T_i = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (2)$$

$$\text{Si } T_i > T_b, \quad GCD_i = T_i - T_b \quad (3)$$

$$\text{Si } T_i < T_b, \quad GCD_i = 0 \quad (4)$$

Donde T máx es la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para el día i y Tmin es la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para el día i (Orjuela-Angulo *et al.*, 2022).

El modelo fue concebido mediante la aplicación del conjunto de datos necesarios para la identificación del botón floral, antesis, cuaje de fruto y cosecha. Con la estimación de la T_b estimada, se ha obtenido el tiempo térmico (GCD) de un botón floral a una cosecha, para cada cosecha y para cada localidad (finca) (Parra-Coronado, 2014).

Los cuales se promediaron para la fase considerada. En el desarrollo de este estudio, se utilizó la media de tiempo térmico obtenido de dos áreas de estudio distintas para evaluar el modelo propuesto. La media de tiempo térmico se calculó a partir de los datos recolectados en ambas áreas, lo que permitió obtener un valor representativo de la temperatura acumulada durante el período de estudio. Posteriormente, este valor medio de tiempo térmico se determinó con base en una serie de ecuaciones y parámetros para simular el comportamiento de ciertos fenómenos o variables. El objetivo era evaluar la precisión y confiabilidad del modelo al comparar los valores simulados con los valores observados en ambas áreas de estudio.

Esta validación cruzada (este es un método donde se realiza una doble muestra, basada en "dejar un dato fuera" que primero utiliza todos los puntos de entrada para estimar los parámetros de un modelo de interpolación y posterior el resto). A su vez este tipo de validaciones permite visualizar la bondad del ajuste de datos en el modelo propuesto. El coeficiente de determinación (R^2) y el Índice de Concordancia (Ecuación 5), se calcularán para determinar la aceptación del modelo general (Orjuela-Angulo et al., 2022).

$$d = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (P_i + O_i')^2 \right]}, \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (5)$$

donde (n) es el número de observaciones, (P_i) el valor predicho para la i -ésima fecha y (O_i) el valor observado para la i -ésima fecha, $P_i' = P_i - \bar{O}$ y $O_i' = O_i - \bar{O}$, la media general de los valores observados es \bar{O} (Parra-Coronado, 2014).

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Condiciones Climáticas

La producción de botones florales que se presenta (tabla 2), en las localidades, difiere de la localidad A, a la localidad B: En la localidad B se observa menos producción de botones florales y por tanto menor número de unidades fecundadas (2726 botones florales y 246 unidades fecundadas, para las tres cosechas), mientras que la producción de botones florales para las 3 cosechas fue de 3070 y de 282 unidades fecundadas en la localidad A.

Durante la primera cosecha, en la localidad A (junio 2021- septiembre 2021), se registró una temperatura media de 20.14 °C, la humedad relativa de 86.6 %, y precipitación total acumulada de 1285.19 mm. Para la segunda cosecha, los datos registrados fueron (marzo 2022- junio 2022), temperatura media de 24.57 °C, humedad relativa de 79.8 %, y precipitación total acumulada de 1122.15 mm. Mientras que para la tercera cosecha se obtuvieron datos con respecto a temperatura 25.36, humedad relativa de 73.4 %, y precipitación 850.15 mm.

En cuanto a la precipitación media, se presentó una disminución en la localidad A, cosecha 1 (Tabla 2), en comparación con la cosecha 2 y 3, donde se observa que disminuye un 12.68% para la segunda cosecha y para la tercera un 33.85%. Mientras que para la localidad B, cosecha 1 y en contraste con la cosecha 2 y 3 se tiene una disminución de 17.88% y 9.65% respectivamente. La precipitación se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Precipitación media (mm) para el estado desde botón floral hasta cosecha, producción de botones florales y número de unidades fecundadas para cada localidad.

	Cosecha No.	Precipitación (mm)	Producción de botones florales	No de unidades Fecundadas
Localidad A (finca Blanca)	1	1285.19 mm	880-1100	80
	2	1122.15 mm	895-1126	92
	3	850.15 mm	920-1220	110
Localidad B (finca Ana)	1	1489.25 mm	850-950	91
	2	1222.85 mm	870-950	84
	3	1345.56 mm	905-928	71

Se observó que en el periodo de estudio las temperaturas medias presentaron una variación significativa para cada periodo fenológico, en donde se presenta una diferencia de 7.39 °C, entre la localidad A y la localidad B.

2.4.2 Estimación de la temperatura base (Tb)

La temperatura base es esencial para diversos desarrollos fenológicos, para algunas investigaciones se han empleado algunos métodos estadísticos que permiten su obtención de una manera más sencilla. En esta investigación se implementó el método de mínimo coeficiente de variación; varianza y desviación estándar, lo que permite una aproximación más confiable del dato de la Tb final. Los valores que mejor tuvieron ajuste fueron los hallados por el método de coeficiente de variación, los cuales fueron de: para botón floral a flor 2,84°C ($r^2=0,99$), flor a cuaje 3.05 °C ($r^2=0,99$); cuaje cosecha 1.76°C ($r^2=0,99$), con lo

cual se puede determinar que el dato que más se ajusta es el método estadístico de coeficiente de variación con valor de $T_b = 1.76$ para las localidades A y B (Fig. 1, 2, 3 y 4).

Figura 1. Temperatura base (T_b), estimada por coeficiente de variación, en cantidades de grados calor día (GCD), desde botón floral hasta la aparición de la flor en ciruela.

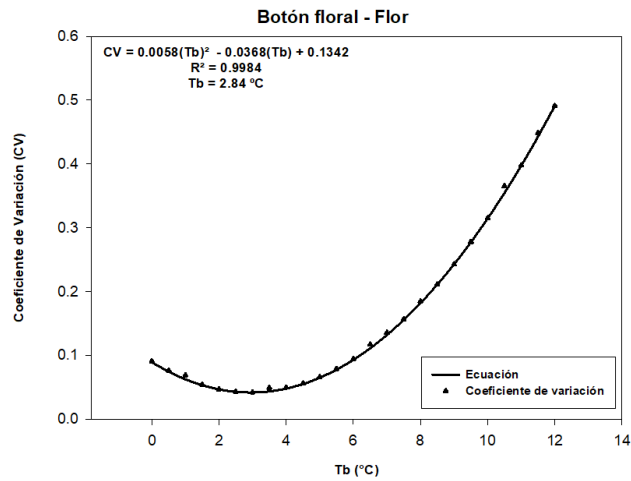


Figura 2. Temperatura base (T_b), estimada por coeficiente de variación, en cantidades de grados calor día (GCD), desde flor hasta cuajado de fruto de ciruela.

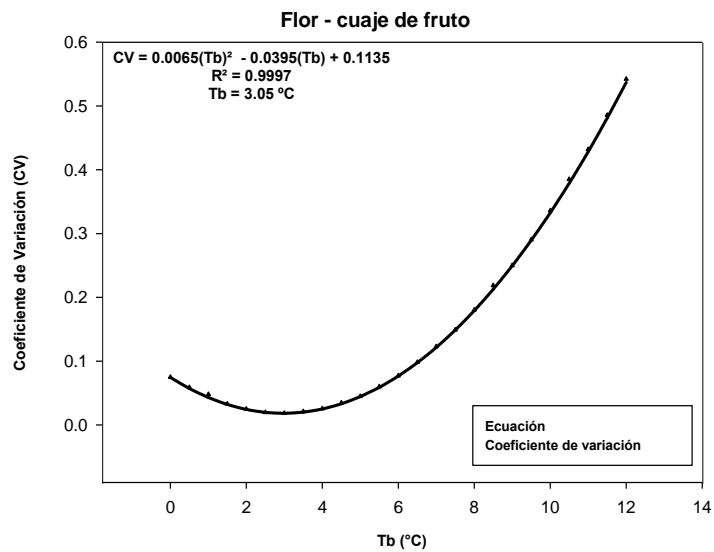


Figura 3. Temperatura base (Tb), estimada por coeficiente de variación, en cantidades de grados calor día (GCD), desde cuajamiento del fruto hasta fruto maduro.

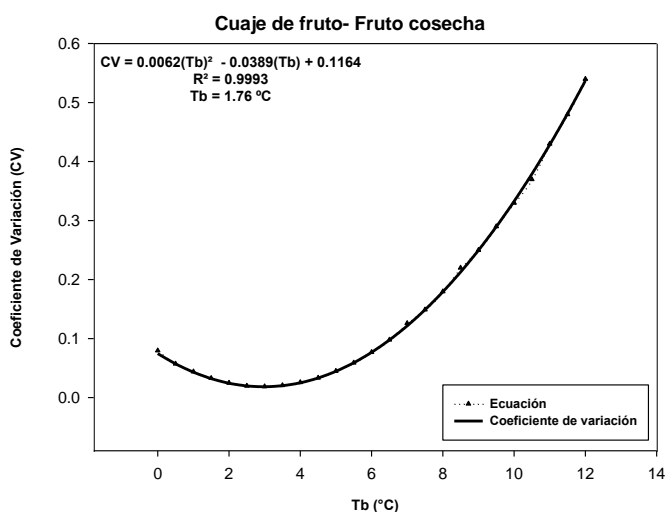
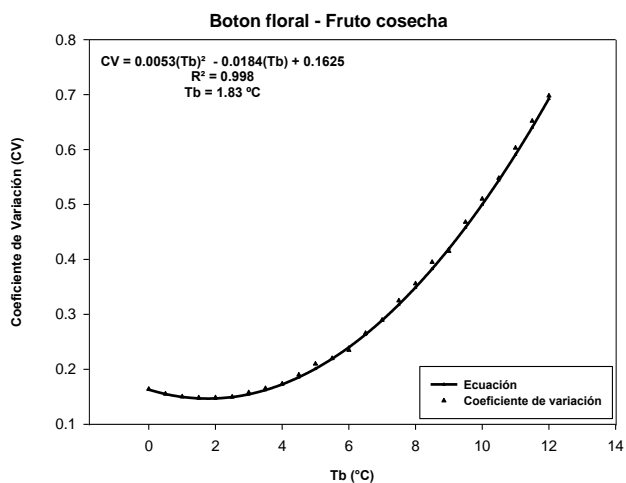


Figura 4. Temperatura base (Tb), estimada por coeficiente de variación, en cantidades de grados calor día (GCD), desde botón floral hasta fruto cosecha.



Considerando la Tb para el periodo desde botón floral hasta cosecha de fruto, el cultivo de ciruela requiere una media de 2044.2 GCD, el tiempo para llegar a la cosecha varía de acuerdo con cada localidad, entre la localidad A y B las diferencias fueron significativas (Tabla No 3), se encontró una variación de 17 días aproximadamente. La localidad A tuvo una duración de $94,1 \pm 3$ días (Tabla No 3), mientras que la localidad B tuvo una duración de $110,3 \pm 3$ días, de acuerdo a lo observado en campo se puede demorar o adelantar de 1 a 8 días.

2.4.3 Estimación del tiempo térmico (GDC).

El cultivo de ciruela varía en función del tiempo térmico y el número de días necesarios para alcanzar cada uno de los estados fenológicos representados. Los valores de Tb estimados para cada una de las cuatro fases de crecimiento consideradas fueron calculados usando los valores de Tb estimados para cada una de las cuatro fases de crecimiento consideradas. Se determinaron valores medios para las fases desde botón floral a cosecha, para las localidades estudiadas A y B (tabla 3).

La Tb para cada una de las fases fenológicas en el cultivo de ciruela se necesita una media de 465.31 para llegar de botón floral a antesis, 322.75 para ir de antesis ha cuajado de fruto, 1207.64 GCD de cuajado de fruto a la cosecha y 2044.2 GDC para llegar de botón floral a cosecha de fruto. Lo que indica que el tiempo requerido para llegar desde botón floral a cosecha en días calendario varía de 94.1 para la localidad A en contraste con la localidad B 110.3 días

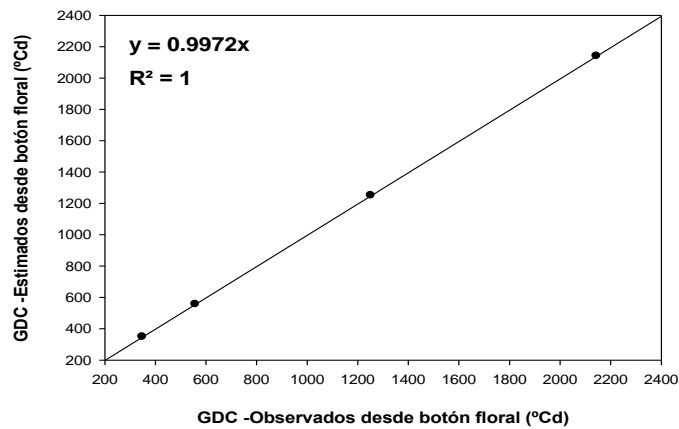
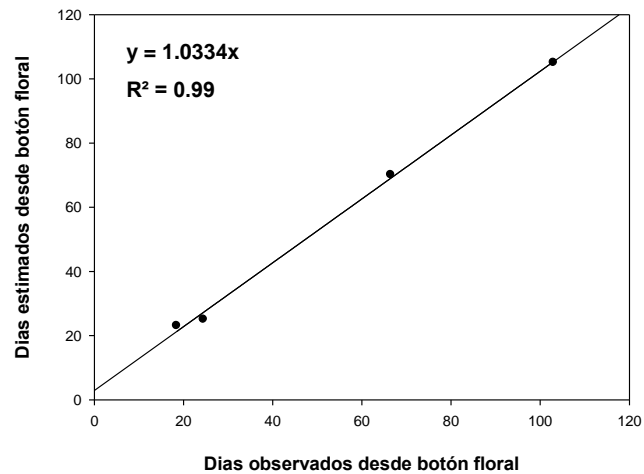
El número de días necesarios para ir de botón floral a la antesis varía de 21 días (localidad A) a 20.3 días (Localidad B); de antesis al cuajado de fruto, varía de 15.3 días (localidad A) a 20.33 días (Localidad B) y de cuajado de fruto a la cosecha, varió de 57.6 días (localidad A) a 69.9 días (Localidad B).

Tabla 3. Tiempo Térmico (GCD) y tiempo calendario (Días) para los estados fenológicos del cultivo de ciruela en las localidades de estudio.

Etapa de desarrollo	Tb (°C)	Tiempo Térmico (°C)		Tiempo calendario (días)	
		Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
De botón floral a Antesis	2.84	459,09± 130,22	471,54 ± 91,14	21± 7,25	20,3± 0,47
De Antesis a Cuaje fruto	3.05	306,82 ± 42,90	338,69 ± 32,20	15,33± 0,47	20,33 ± 0,48
De Cuaje fruto a Cosecha	1.76	1243,17 ± 199,92	1172,12± 41,43	57,66 ± 4,92	69,6 ± 3,39
De Botón Floral a Cosecha	1.83	2054,78± 221,40	2033,62 ± 86,033	94,1 ± 2,82	110,3 ± 2,86

La validación de los modelos empleando el método de validación cruzada entre los días predichos y los días observados (Figura 5a), muestra que el modelo predice acertadamente el número de días, para llegar a cada estado fenológico cuando se determinó el valor de la temperatura base estimada para cada una de las etapas, se observó que la intercepción y la pendiente es cercana a 1, estos resultados muestran una buena bondad de ajuste concordante entre los valores estimados (y) y los observados (x), al igual que un alto coeficiente de determinación. Para la validación de los modelos se utilizó el método de validación cruzada entre los GCD observados y los estimados (Figura 5b), los análisis muestran que el modelo predice acertadamente los GCD, para llegar a cada estado fenológico. También se observó que la intercepción no es significativamente diferente y la pendiente es igual a 1. Estos resultados muestran una buena bondad de ajuste concordante entre los valores estimados (y) y los observados (x), al igual que un alto coeficiente de determinación.

Figura 5. Validación cruzada para la ciruela usando las temperaturas base específicas y comparación de los días estimados y observados desde botón floral hasta la cosecha. y comparación de los GCD estimados y observados.



2.5 DISCUSIÓN

Algunas condiciones ambientales de cada localidad, podrían mostrar variaciones en los números de días necesarios para llegar de botón floral a cosecha, en cultivares de ciruela según los comportamientos entre las localidades estudiadas

A y B, como se ha reportado previamente (Tribic *et al.*, 2020). Donde variables como temperatura, precipitación, radiación solar, evapotranspiración también inciden al momento de la toma de datos para calcular T_b . Como lo indica Ramírez-Jiménez, (2021); las condiciones climáticas influyen sobre la fenología del cultivar, la maduración del fruto, las épocas de cosecha, el tiempo de crecimiento sobre todos los cultivos que se encuentran sobre el trópico. La producción de botones flores para cada localidad estuvieron en proporciones similares, pero donde hubo predominancia de días secos, los racimos presentaron mayor número de individuos fecundados, lo cual concuerda con lo indicado por Orduz-Ríos *et al.*, (2020), quienes manifiestan que la producción de flores está determinada por la temperatura que se presenten en las zonas de cultivo además de la velocidad de vientos que se presenta.

Para las temperaturas registradas en las localidades estudiadas, los tiempos calendario en la transición de las etapas fenológicas muestran que los resultados obtenidos fueron: menor temperatura media para la finca con menor altitud, pero mayor temperatura media (localidad A), en comparación con la localidad B, menor temperatura media, mayor altitud. Esta caracterización se presentó como se observa en la tabla 3 donde el tiempo (días) calendario, fue mayor para la localidad B, y por tanto la acumulación de tiempo térmico también. Este comportamiento es similar a lo indicado por Salazar Gutiérrez *et al.*, (2020).

2.5.1. Estimación de la temperatura base (T_b)

Para la estimación de la temperatura base (T_b) en las distintas etapas de su desarrollo, el valor no es constante para ninguna de las características descritas. Se muestra que para llegar de botón floral a antesis, la temperatura base fue de 2.84 °C, mientras que para llegar de antesis a cuaje de fruto fue de 3.05 °C, y

para ir de cuaje de fruto a cosecha se requerirán solo 1.76 °C, estos resultados concuerdan con los estudios reportados por Pinzón -Sandoval *et al.* (2022), quienes indican que el conocer las condiciones del lugar de adaptación del cultivar más la temperatura base en cada una de las etapas del cultivo permite una mejor aplicación de buenas prácticas agrícolas, y por tanto un mejor manejo del mismo. Para alcanzar los periodos mencionados anteriormente se calcula el tiempo calendario, los cuales presentaron los siguientes valores; de botón floral a antesis de 21 días a 20,3; mientras que para antesis a cuaje de fruto requiere de 15,33 y 20,33 y de cuaje a cosecha se requieren 57,66 a 69,6 días respectivamente.

Es posible deducir que tanto los botones florales, como las flores y el fruto recién cuajado son susceptibles a las bajas temperaturas, mientras que etapas como cuaje de fruto y cosecha son más tolerantes a las bajas temperaturas (Fisher *et al.*, 2022). Lo que se observó en cada una de las localidades estudiadas es que cuando la temperatura ambiente está por debajo de la T_b , como ocurre en la localidad A, donde se presentaron heladas en los meses de enero y febrero, algunos de estos órganos sufrieron desprendimientos repentinos. Este comportamiento lo describe Fischer *et al.* (2013), como la característica que algunos frutales tienen a reaccionar a las heladas y a las temperaturas bajas, las cuales pueden afectar las flores y los frutos recién cuajados, así como los brotes y hojas recién cuajados.

Autores como, Cepeda *et al.* (2021), utilizan únicos valores de temperaturas, para el cálculo de los GCD, en todas las fases fenológicas del cultivo de manzana cv. Anna, pero de acuerdo a los resultados en la presente investigación se recomienda no usar un único valor para la determinación de los GCD. El conocer el valor de la T_b para cada etapa de desarrollo en el cultivo, permite la implementación de modelos en el cultivo de ciruela. Determinar la T_b proporciona saber cuándo y cómo regar, cuándo y cómo fertilizar, cuando programar la cosecha, y cuando programar el cultivo.

En ciruela se han encontrado algunos valores, pero no para todas las etapas fenológicas, sino para algunas zonas de producción (Lizaso *et al.*, 2022), lo que permite tener una buena aproximación del modelo actual, es muy importante

conocer la T_b , ya que para poder realizar modelos y simular algunas etapas se hace necesario conocer este valor y de esta forma garantizar un buen ajuste (Pinzón Sandoval *et al.*, 2021). Los resultados mostraron que es importante conocer el valor la temperatura base en las diferentes etapas del cultivo y no tomar un solo valor como referente del periodo reproductivo (Norman & Toward 2006), ya que tomar un único valor es inapropiado debido a que según el modelo propuesto, evidencia que los valores de cada una de las temperaturas bases encontradas son distintos.

2.5.2. Estimación del tiempo térmico (GDC)

Es importante precisar que la temperatura en cada localidad no varía drásticamente diariamente, pero si se presentan cambios de una localidad a otra, estas temperaturas determinadas en cada cosecha para cada periodo de estudio fueron diferentes. Lo cual concuerda con lo reportado por Anchico-Jojoa *et al.*, (2021), el cual observa que, en cultivos como quinua, la temperatura de cada localidad influirá en la calidad y desarrollo de los frutos. Mientras que Parra-Coronado *et al.*, (2013), describe que los frutos de ciruela variedad Horvin, cosechados a diferentes altitudes influyen en la calidad del fruto. Lo que concuerda con el presente estudio donde el período de diferenciación floral y floración en la localidad A, ubicada a 2195 m.s.n.m. se demora entre 15 a 21 días; mientras que en la localidad B a 2567 m.s.n.m, demora de 22 a 20 días. En cuanto al crecimiento del fruto se obtuvo que para la localidad A, fue de 94 a 99 días en cambio para la localidad B fue entre 110 y 125 días.

El cultivar de ciruela difiere en el tiempo térmico requerido, para alcanzar cada uno de los estados fenológicos, similar a lo obtenido por diferentes autores donde se determinan los GCD, a partir de cada etapa fenológica de distintos cultivares.

Parra Coronado (2014), determinó los GCD, para cada una de las etapas fenológicas en el cultivar de feijoa requiriendo de botón floral a antesis de 196, mientras que de antesis a cuaje de fruto requirió de 116, y de cuaje de fruto a cosecha de 2651 GCD. En manzanas 'Sampion' y 'Ligol' se requieren 2550 GCD y 2600 GCD respectivamente, para llegar a la cosecha desde plena floración, utilizando T_b de 0 °C (Lysiak, 2012). Stenzel et al. (2006) consideran una T_b de 12,8 ° C encontrando que la suma térmica para el crecimiento y la maduración del fruto de naranja 'Folha Murcha' en Londrina y Paranaíba, se encuentra en el rango de 4462 a 5090 GCD.

De acuerdo con Pérez et al., (2015), los parámetros del análisis de regresión y la validación cruzada, muestran que los modelos propuestos pueden llegar a predecir los días exactos de cambio de fase. De acuerdo a las gráficas obtenidas por fase y los GCD, se evidencia una buena bondad de ajuste entre los valores estimados y los observados.

2.6 CONCLUSIONES

El valor de T_b determinada, varía dependiendo de la etapa de fenológica del cultivo al igual que los GDC, se determinó de botón floral a antesis una temperatura de 2.84 °C, de antesis a cuaje de fruto de 3.05 °C, y de cuaje de fruto a cosecha 1.76 °C.

Las localidades estudiadas difieren en los días que se realiza la recolección de la cosecha de 15 a 21 días para la localidad A y de 20 a 22 días para la localidad B. Los parámetros del análisis de regresión mostraron que el modelo predice adecuadamente las fechas de cuando se utilizó la T_b estimada y observada para las diferentes etapas, además se evidencia un buen ajuste estadístico.

Las localidades estudiadas difieren en los días que se desarrolla el fruto de ciruela, desde botón floral hasta cosecha. En cuanto al crecimiento del fruto se

obtuvo que para la localidad A, fue de 94 a 99 días, desde el cuaje de fruto hasta la cosecha del mismo, y para la localidad B de 110 a 125 días. En cuanto a los valores en GCD, se encontraron valores para la localidad A de 1470,05, mientras que para la localidad B fueron de 1835,35.

Es importante conocer el día exacto de recolección permitiendo dar pautas de cuándo se va a realizar la cosecha, tomando como criterios los grados día de crecimiento y la temperatura base, mas no los días calendario, ya que este tiempo no tiene en cuenta la fisiología del cultivo, ni las variables climáticas en cada lugar.

2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Álvarez Herrera, J. G., Deaquiz, Y. A. & Rozo-Romero, X. (2021). Effect of storage temperature and maturity stage on the postharvest period of 'Horvin' plums (*Prunus domestica* L.). *Ingeniería e Investigación*, 41(2), e82530. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n2.82530>
- Amado, A. M. S., Montañés, G. A. P., & Viasus, A. C. (2021). La planificación de cosecha en ciruela variedad Horvin, estudio de caso. Tuta, Boyacá, Colombia. *Criterio Libre*, 19(34), 126-145.
- Anchico-Jojoa, W., J.R. Peixoto, C.R. Spehar, and M.S. Vile-la. (2021). Calculation of the thermal units for 13 codes of the BBCH scale of 12 progenies of quinoa in the growing conditions of the Brazilian savanna. *Rev. Co-lomb. Cienc. Hortic.* 15(3), e13109. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i3.13109>
- Cepeda M., A., J.E. Vélez-Sánchez, and H.E. Balague-ra-López. (2021). Analysis of growth and physicochemi-cal changes in apple cv. Anna in a high-altitude tropical climate. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 15(2), e12508. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12508>.
- Díaz Trapiella, J. (2020). Predicción de la temperatura del arrabio y evaluación de su impacto en las emisiones de CO2 mediante el desarrollo conjunto de procesos y modelos.
- Criollo-Escobar, H., M.-F. Moncayo-Palacios, and T.C. La-gos-Burbano. (2020). Phenology and growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam) plants grafted onto *Solanum hirtum*Vahl. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 14(3), 291-300. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.11005>

- Fischer, G. (2013) Comportamiento de los frutales caducifolios en el trópico. pp. 31-46. En: Miranda, D., G. Fischer, and C. Carranza (eds.). Los frutales caducifolios en Colombia: Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Sociedad Colombiana Ciencias Hortícolas, Bogotá
- Fischer, G., A. Parra-Coronado, and H.E. Balaguera-López. (2022). Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A re-view. *Agron. Colomb.* 40(2), 212-227. Doi: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101854>.
- Guerrero, E., Rubio, W., Torres, W., Saavedra, S. H., Muñoz, L. M. M., Reyes, C., & Dallos, M. P. (2012). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios.
- Lysiak G (2012). The sum of active temperatures as a method of determining the optimum harvest date of 'Sampion' and 'Ligol' apple cultivars. *Acta Sci Pol.*11(6):3-13.
- Lescano Vega, F. J. (2016). Determinación de grados días desarrollo en el cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis*) (Bachelor's thesis, Iatacunga/utc/2016).
- Lizaso, J.I., M. Ruiz-Ramos, L. Rodríguez, C. Gabaldon-Leal, J.A. Oliveira, I.J. Lorite, D. Sánchez, E. García, and A. Rodríguez. (2018). Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Res.* 216, 129-140. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>.
- Miranda, D. & Carranza, C. (2013). Caracterización, clasificación y tipificación de los sistemas de producción de caducifolios: ciruelo, duraznero, manzano y peral en zonas productoras de Colombia. En: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. (eds). Los frutales caducifolios en el trópico: Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. pp. 87-114. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. 232p.

- Montesdeoca Montesdeoca, M. S. (2017). Estudio fenológico de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad INIAP-Victoria y de su producción en la finca de la UCE, Sede Galápagos (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Normand F, Léchaudel M (2006). Toward a better interpretation and use of thermal time models. *Acta Hort.*;707:159-164.
- Orjuela-Angulo, M, Parra-Coronado A, Camacho-Tamayo, J. H. (2022), Base temperature for a phenological stage in plum cultivar Horvin (*Prunus salicina* Lindl.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(3), e15179. <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15179>
- Orjuela Angulo, M. (2017). Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad "Horvin", en el municipio de Nuevo Colón Boyacá. *Ingeniería Agrícola*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola [428], <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58751>.
- Orduz-Ríos, F., K. Suárez-Parra, P. Serrano-Cely, P. Serrano-Agudelo, and N. Forero-Pineda (2020). Evaluation of N-P-K-Ca-Mg dynamics in plum (*Prunus salicina* Lindl.) var. Horvin under nursery conditions. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 14(3), 334-341. Doi: 10.17584/rcch.2020v14i3.11941.
- Parra-Coronado, A. (2014). Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret.). PhD thesis. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- Parra-Coronado, A. Fischer, G. Camacho-Tamayo, J. (2015). Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia, *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 3, p.359-366 *Bragantia* 74(3), 359-366. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0459>.
- Parra-Coronado, A; Camacho T.H.; Hernández-Hernández, J.E. (2013). Estudio fisiológico poscosecha y evaluación de la calidad de la ciruela variedad Horvin (*Prunus domestica* L.) bajo tres condiciones de almacenamiento refrigerado, Ingeniería e Investigación, Print version ISSN 0120-5609.

- Pérez-Planells, L., Delegido, J., Rivera-Caicedo, J. P., & Verrelst, J. (2015). Analysis of cross-validation methods for robust retrieval of biophysical parameters. *Revista de Teledetección*, (44), 55-65.
- Piao, S., Q. Liu, A. Chen, I.A. Janssens, Y. Fu, J. Dai, L. Liu, X. Lian, M. Shen, and X. Zhu. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biol.* 25(6), 1922-1940. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Pinzón-Sandoval, E.H., Balaguera-López H.E, and Becerra-Gonzalez M.E. . (2022). Phenological and physicochemical changes during fruit development in two peach cultivars in the high tropics. *Rev. U.D.C.A Act. Div. Cient.* 25(1), e1942. Doi: <https://doi.org/10.31910/ru-dca.v25.n1.2022.1942>
- Pinzón-Sandoval, E. . Pineda-Ríos, and P. Serrano-Cely. (2021). Mathematical models for describing growth in peach (*Prunus persica* [L.] Batsch.) fruit cv. Dorado. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 15(3), e13259. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i3.13259>
- Ramírez-Jiménez, J.A., L.M. Hoyos-Carvajal, and O.J. Córdoba-Gaona. (2021). Phenology growth and yield of grafted tomato plants in the high Andean region of Colombia. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 15(1), e11667. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11667>
- Salazar-Gutierrez, M.R., J. Johnson, B. Chaves-Cordoba, and G. Hoogenboom. (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *Int. J. Plant Prod.* 7(4), 741-762
- Stenzel N, Neves C, Marur C, Scholz M (2006). Maturation curves and degree-day accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. *Sci Agric.*;63(3):219-225.
- Trbic, G., T. Popov, V. Djurdjevic, I. Milunovic, T. Dejanovic, S. Gnjata, and M. Ivanisevic. (2022). Climate change in Bosnia and Herzegovina according to climate

scena-rio RCP8.5 and possible impact on fruit production. Atmosphere 13(1), 1. Doi: <https://doi.org/10.3390/atmos13010001W>

Woznicki, T.L., Heide, A., Sønsteby, F. Måge, and Remberg G. (2019). Climate warming enhances flower formation, earliness of blooming and fruit size in plum (*Prunus domestica* L.) in the cool Nordic envi-ronment. Sci. Hortic. 257, 108750. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.1087508>.

3. Incidencia de las condiciones climáticas en calidad precosecha del fruto de ciruela.

3. Crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de ciruela (*Prunus salicina* L.) en dos localidades altitudinales contrastantes en Boyacá, Colombia

Growth, development and quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.) in two contrasting altitudinal localities in Boyacá, Colombia.

Mayerlin Orjuela Angulo¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Colombia).

RESUMEN

Las condiciones climáticas son factores determinantes de la calidad de los frutos en el momento de la cosecha, El objetivo fue determinar la influencia de las condiciones climáticas en algunas propiedades fisicoquímicas importantes durante el crecimiento del fruto de la ciruela en dos localidades altitudinales contrastantes. La toma de muestras se realizó en 10 árboles de cada surco, tomando al azar un fruto por cada árbol, con una

frecuencia de 7 días. Para el crecimiento del fruto, se realizó el muestreo a partir del día 94 después de anthesis hasta la cosecha, en las dos localidades. Para la determinación de SST, ATT, °h y firmeza del fruto. Se realizó el muestreo a partir del día 18 y 26 después de botón floral, hasta la cosecha para las localidades A y B respectivamente. Tanto la radiación como la precipitación y la temperatura presentaron alguna incidencia sobre las características de calidad en los frutos de ciruela. En la localidad B (mayor altitud), se presentaron frutos con pesos entre 9 y 14 g. La firmeza de la epidermis presenta valores mayores a la pulpa, para las tres cosechas. El comportamiento de SST indica que a medida que los frutos se desarrollan este comportamiento es creciente para las dos localidades, Para la cosecha 2 en el análisis de varianza permite observar que las condiciones climáticas como precipitación, radiación, temperatura, tienen incidencia en algunas variables de calidad con respecto al fruto el día de cosecha.

Palabras clave: clima, peso del fruto, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable, ángulo hue.

ABSTRACT

Climatic conditions are determinant factors of the quality of the fruits at harvest time. The objective was to determine the influence of climatic conditions on some important physicochemical properties during the growth of the plum fruit in two contrasting altitudinal locations. Sampling was carried out in 10 trees from each row, randomly taking a fruit from each tree, with a frequency every 8 days. For the growth of the fruit, sampling was carried out from day 94 after anthesis until harvest, in the two locations. For the determination of SST, ATT, °h and firmness of the fruit. Sampling was carried out from day 18 and 26 after flower bud, until harvest for locations A and B respectively. The weight and size of the fruits at harvest time presented a direct relationship with the altitude of the production location. Both radiation, precipitation and temperature have some incidence on the quality characteristics of plum fruits. In locality B (higher altitude), fruits with weights between 9 and 14 g were presented. The firmness of the epidermis presents higher values than the pulp, for the three harvests. The behavior of SST indicates that as the fruits develop, this behavior is increasing in the two locations. For

harvest 2, in the analysis of variance, it is possible to observe that climatic conditions such as precipitation, sunlight, temperature, have an impact on some quality variables with respect to the fruit on the day of harvest.

Keywords: climate, fruit weight, firmness, total soluble solids, total titratable acidity, hue angle.

3.1 INTRODUCCIÓN

La ciruela variedad (*Prunus Salicina* L.) Horvin, es una planta originaria de Asia. Esta especie se caracteriza por poseer una alta adaptación en diferentes altitudes, que varía entre 1800 y 2560 msnm (Orjuela-Angulo 2017). En las comunidades rurales colombianas, la producción y el consumo de este ciruelo han venido en aumento en los últimos años, fomentando el empleo y desarrollo productivo. Entre el 2012 y 2020, la cantidad de ciruela cosechada aumentó un 52% a nivel nacional, alcanzando una producción de 16.807 toneladas en 1322 ya cosechadas (12.71 t ha^{-1}), para el 2020 (Agronet, 2021). Boyacá es considerado el departamento más importante en la explotación de los cultivos de caducifolios en el país, es el primer departamento productor con un 78% de participación, debido a las ventajas comparativas que posee, entre las cuales se pueden mencionar; clima, suelos, precipitación, acumulación de horas frío. El sistema de producción de frutales caducifolios, en este departamento, se enmarca básicamente, en el subsector de la economía campesina, con predominio de pequeñas agro empresas con extensiones de 2,8 ha en promedio (Orjuela-Angulo 2017).

Los cultivos de ciruela, al igual que en otras especies, presentan ciertos estados fenológicos de crecimiento entre el cuajamiento y la recolección. El término "desarrollo" se refiere al proceso continuo e irremediable de incremento en el material seco o volumen de un organismo, así como a los cambios en su forma, tamaño y masa a lo largo de su ciclo de vida. (Ardila et al., 2011). Es de suma importancia tener en cuenta la época de recolección, con el fin de determinar las tareas culturales que pueden programarse a lo largo de toda la cosecha, así como el manejo adecuado que se le debe

efectuar. Los caducifolios están influidos por la climatología del trópico, ya que provienen y se adaptan en zonas templadas. (Fischer, 2013). Uno de los mayores riesgos actuales en cuanto a la producción de ciruela es el cambio climático, donde los cambios en la temperatura han venido afectando la fenología y producción de estos frutales.

El crecimiento de los frutos se puede cuantificar y cualificar realizando seguimientos en parámetros como peso, firmeza, sólidos solubles totales, color, parámetros que generalmente se utilizan con este propósito. La calidad, es el reflejo del comportamiento en el crecimiento y desarrollo en frutos de ciruela. Es indispensable conocer las zonas donde se desarrollan los cultivares, para obtener una respuesta óptima al momento de la cosecha. La literatura consultada no reporta estudios relacionados, razón por la cual, el objetivo de este estudio fue determinar la influencia de las condiciones climáticas de cultivo sobre la calidad de frutos de ciruela variedad "Horvin" (desde la floración hasta la cosecha), bajo las condiciones de diferentes altitudes, cultivadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá).

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio.

El estudio se realizó en dos localidades (fincas), ubicadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá), en las localidades observadas se encuentran patrones de durazno cv blanco común, injertados con púas de ciruela variedad Horvin (*Prunus salicina* L), sembrados en diferentes años. Se tomaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 80 árboles para el estudio, las localidades se encuentran ubicadas en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá de la siguiente forma: localidad B (finca Ana), entre las coordenadas 5° 21' 26.5" N y 73° 28' 10.8" mayor altura 2567 m.s.n.m, y localidad A (finca Blanquita) 5° 20' 17.56" N y 73° 27' 53.85" menor altura 2195 m.s.n.m, la zona se caracteriza por tener un clima húmedo frío B2d B1. De la "clasificación de Thornthwaite", la humedad relativa es alta, a mayor altitud alcanza un 98% como valor máximo y un 24% como valor mínimo. La precipitación presentada en esta zona tiene un comportamiento de tipo monomodal, con valores de precipitación

media anual de 877.2 mm concentrada en los meses de abril a julio (Orjuela-Angulo *et al.*, 2022).

3.2.2 Diseño experimental

Se tomaron 10 árboles por surco y 2 surcos por localidad (cada localidad se tomó como un tratamiento), para un total de 40 árboles para el estudio. Los árboles objeto de la investigación se ubicaron en el centro del lote de cultivo, tratando de mantener uniformidad de las condiciones climáticas y eliminar el efecto de borde. Cada uno de los árboles (unidad de muestreo) fue enumerado, realizándose la marcación de botones florales, la marcación se realizó de forma manual, con numeración de fecha para cada uno de los racimos presentes en el tercio medio del dosel, con el fin de realizar el seguimiento al crecimiento y desarrollo del fruto. El diseño estadístico fue enteramente casualizado, con diez repeticiones por tratamiento.

3.2.3 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó en los 10 árboles de cada surco, tomando al azar un fruto por cada árbol, con una frecuencia de 8 días. Para el crecimiento del fruto se realizó el muestreo a partir del día 94 después de antesis hasta la cosecha, en las dos localidades. Para la determinación de SST, ATT, °h y firmeza del fruto. Se realizó el muestreo a partir del día 18 y 26 después de botón floral, hasta la cosecha para las localidades A y B respectivamente, cuando los frutos tuvieron suficiente tamaño para poder realizar los respectivos análisis. Este procedimiento se realizó durante 2 años consecutivos, para tres cosechas. Debido a las condiciones climáticas predominantes durante el periodo de investigación, los cultivos objeto de estudio producen dos cosechas al año.

Las condiciones climáticas de las zonas consideradas en el estudio, para llegar desde la antesis hasta la cosecha del fruto de ciruela (Tabla 1) se obtuvieron de las dos localidades en un período de registro de 2 años (2021 a 2022). Durante esta fase, se tomaron registros de la variación periódica y de las variables climáticas de las localidades en estudio (temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa, precipitación). Para los registros de temperatura y humedad relativa en cada localidad se utilizarán dataloggers-USB, en los cuales se pudo programar la frecuencia de toma de datos (cada media hora) y posteriormente realizar su respectiva descarga. Para determinar la precipitación en cada uno de los lotes se instalaron pluviómetros en cada una de las localidades, en las cuales se hizo una medición cada vez que ocurría un evento de lluvia; la radiación solar se cuantificó en cada una de las localidades por medio de un pirheliómetro, el cual posee una superficie receptora que captura los rayos solares que inciden perpendicularmente en su superficie.

3.2.4 Variables medidas

Las variables de crecimiento medidas en el estudio para el fruto de ciruela fueron: (tamaño y peso), para la determinación de sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT), ángulo hue ($^{\circ}$ h) y firmeza. Se consideró un surco por localidad y por cosecha. Para la determinación del peso unitario se utilizó una balanza electrónica marca OHAUS, con capacidad de 2500 g, (precisión: 0,01 g). La determinación de los diámetros se realizó por medio de un calibrador Vernier (12 pulgadas).

Para la caracterización fisiológica de variables como intensidad respiratoria (IR), acidez total titulable, firmeza, color, sólidos solubles totales, se realizaron 4 repeticiones por ensayo, en periodos precosecha cada 15 días. La ATT se determinó por medio de un titulador METROHM Ti touch- 916. Para la determinación de SST se utilizó un refractómetro HANNA HI 96801 con rango de medida hasta 85% ($^{\circ}$ Brix). La firmeza se determinó utilizando un texturómetro LLOYD LS1. El peso de los frutos y el volumen de la cámara fueron tenidos en cuenta para convertir los datos a miligramos de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para la variable color

se utilizó un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA) donde se midieron 10 frutos por muestra, el modelo cromático fue hue pero se determinó por a^*b , donde los tres parámetros en el modelo representan la luminosidad de color (L^* , $L^*=0$ rendimientos negro y $L^*=100$ indica blanca), su posición entre rojo y verde (a^* , valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo) y su posición entre amarillo y azul (b^* , valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo), luego por ecuaciones matemáticas Croma ($c = \sqrt{a^2 + b^2}$; y tono angular $h = \arctg\left(\frac{b}{a}\right)$), la toma de muestras se determinó en unidades de h° . La relación de madurez (RM) se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT).

Tabla 1. Condiciones climáticas de la zona durante el desarrollo de las diferentes cosechas.

	Cosecha No,	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación (kw/m ²)
Localidad A (finca Blanca, 2195 m.s.n.m.)	1	1285,19 mm	20,14	86,60%	6,6
	2	1122,15 mm	24,57	79,80%	6,7
	3	850,15 mm	25,36	73,40%	6,5
Localidad B (finca Ana, 2567 m.s.n.m)	1	1489,25 mm	15,61	91,60%	7,2
	2	1222,85 mm	15,92	92,50%	7,4
	3	1345,56 mm	16,36	91,14%	7,6

3.2.5 Análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico IBM-SPSS v,20 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA), con el cual se realizó el análisis de la distribución de probabilidad de la t –student ($P < 0,05$), utilizando el conjunto de datos de las localidades A y B. Los resultados fueron analizados mediante estadísticos descriptivos, considerando la media y el error estándar, el cual cuantifica las oscilaciones de la media muestral alrededor de la media poblacional.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

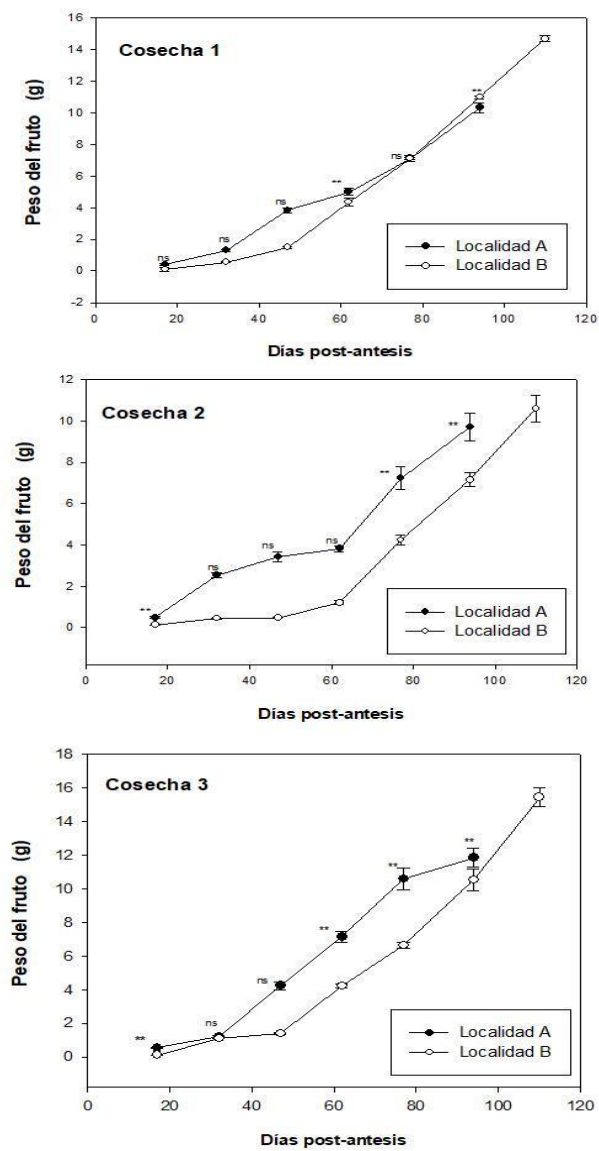
3.3.1 Crecimiento del fruto

Se encontró que la primera etapa de crecimiento lento va hasta los 60 y 78 días para la localidad A y B respectivamente, de acuerdo a la figura 1, se puede observar que a partir del día 22 para la localidad A y de 32 días para la localidad B, tiene un crecimiento constante progresivo, mientras que desde el día 48. Para la localidad A y 60 para la localidad B, tiene un crecimiento rápido hasta su madurez fisiológica. Estos resultados concuerdan con algunos estudios realizados en frutos con drupas. Según lo anterior, las diferencias se pueden explicar por la altitud de las localidades estudiadas y por consiguiente por las condiciones climáticas (Campos, 2013).

El peso obtenido a partir del día 18 respecto al peso de día de cosecha aumentó en un 81,05 % para la localidad A, mientras que el aumento fue de 74,0% para la localidad B. Este comportamiento del peso es similar al presentado por otros frutos (Parra-Coronado et al., 2006), donde se reconoce la importancia de realizar la cosecha en el día adecuado (Iglesias *et al*, 2012), pero debido al traslado de estos frutos a otros departamentos se hace necesario su recolección temprana, trayendo como consecuencia que los rendimientos en el agricultor se vean disminuidos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación indican que los frutos producidos a mayor temperatura (21.95 °C localidad A) alcanzan su crecimiento de manera más rápida, requiriendo menos días calendario para llegar desde la antesis a la cosecha, lo cual concuerda con lo encontrado por Ramírez - Jiménez, (2021), para tomates, donde las condiciones de temperatura, y algunas variables ambientales tienden a modificar las etapas fenológicas en las plantas.

Figura 1, Comportamiento del peso fresco de los frutos de ciruela para las localidades A y B, Barras verticales en cada promedio indican el error estándar la ns: no hay diferencias significativas, ** diferencias al 1% de acuerdo con la prueba t-student.



Algunos estudios relacionados en cultivares de manzana Anna muestran que el peso de frutos y ramas en el altiplano boyacense en Colombia aumentan, como también el peso fresco de los frutos hasta el día 46, después de plena floración, a partir de ese momento, los frutos ganan peso fresco hasta el momento de la cosecha, con excepción de un periodo de tiempo entre 62 y 74 días después de plena floración durante el cual el peso fresco de los frutos se estabiliza (Casierra-Posada et al 2003), la tendencia del crecimiento presenta una similitud con el peso encontrado en la presente investigación para ciruela.

Se observó, además, que las cosechas en las cuales se presentó la mayor precipitación acumulada (correspondiente a localidad B) y mayor humedad relativa promedio (Tabla 1), fueron las que produjeron frutos de mayor peso, lo que concuerda con Parra-Coronado *et al.*, (2007), quienes manifiestan que un cultivar de ciruela necesita precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anual, a su vez será tolerante en rangos de 1500 a 2500 mm para garantizar un buen desarrollo de fruto y buena calidad en cosecha.

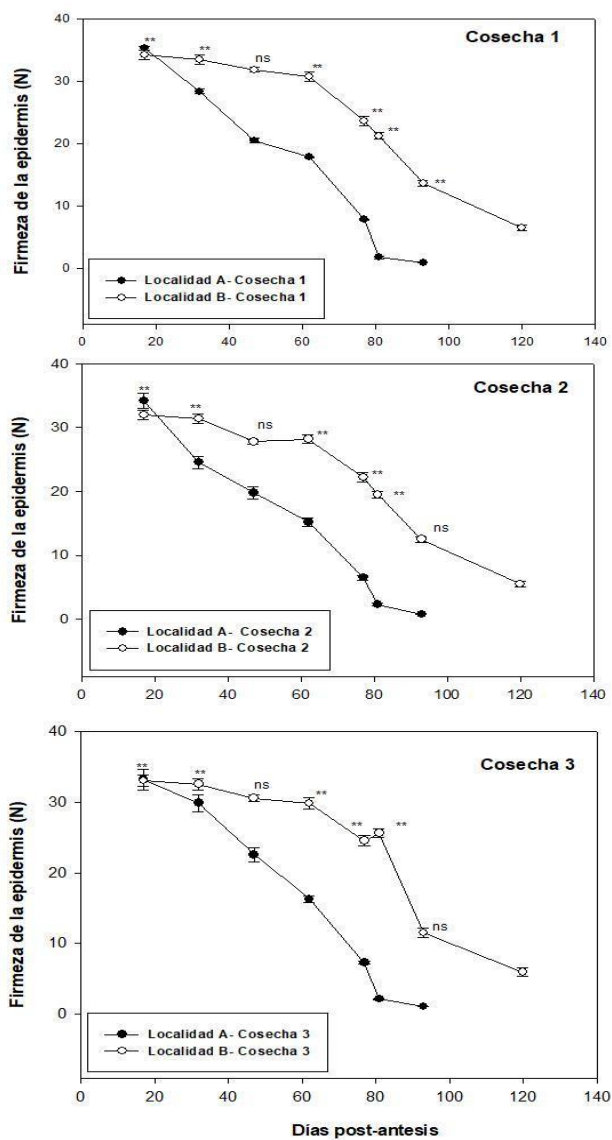
3.3.3.1. La firmeza de la epidermis

La firmeza de la epidermis presenta valores mayores a la pulpa, para las tres cosechas, y a su vez presenta la misma tendencia para las dos localidades. Para el día 19 cosecha 1, se tiene un valor de firmeza en la epidermis de 34 N para la localidad A, días después de antesis, mientras que para la localidad B se encontró un valor de 30 N. El comportamiento observado es decreciente para las dos localidades estudiadas, en los últimos días post antesis de cada cosecha se presenta en disminución más notoria que desde los primeros días (0,3 y 0,6 N), para la localidad A y B respectivamente (Figura 2).

Para la primera cosecha en las localidades A y B, se observa que se presentan diferencias significativas para el día 32, y para el día 79, en contraste con la cosecha 2, donde se evidencia, diferencias significativas para el día 32 hasta el día 82, estas diferencias se evidencian en el resultado obtenido de la firmeza en la epidermis. Con relación a la altitud se observa que los frutos producidos a mayor altitud (Localidad B), presentan una menor firmeza que los producidos a menor altitud (Localidad A).

Según la temperatura obtenida para la cosecha 2 en la localidad A, se puede afirmar que fue de 24.57°C en comparación con la obtenida para la localidad B, la cual es más baja con un valor de 15,92 °C, manteniendo la tendencia para la cosecha 1 y 3. En cuanto a la precipitación se observa que para la primera cosecha en la localidad A fue de 1285.01mm, mientras que para la localidad B, se obtuvo un valor de 1489.25mm. En relación con las condiciones climáticas encontradas tanto para la localidad A, como para la localidad B, se puede afirmar que la temperatura en conjunto con la precipitación, son factores fundamentales para el desarrollo de la firmeza en la epidermis de ciruela ya que intervienen con algunas modificaciones que ocurren en la pared celular primaria (Martínez - González et al., 2017). Según (Orjuela-Angulo 2022), en un estudio realizado para ciruela variedad "Horvin", en el mismo municipio (Nuevo Colon-Boyacá) para el año 2017, muestra que la relación de firmeza en epidermis está estrechamente relacionada con algunos componentes adicionales, tanto climáticos como edáficos. El estudio arroja como resultado la relevancia de la firmeza en la epidermis en el crecimiento y desarrollo en los cultivares de ciruela en esta región.

Figura 2. Variación de la firmeza en la epidermis de los frutos de ciruela para las localidades A y B. A: firmeza de la epidermis; según la prueba T-Student en cada punto de muestreo se observan diferencias estadísticas (**): donde $p < 0,01$, según la prueba, y ns si no las hay.



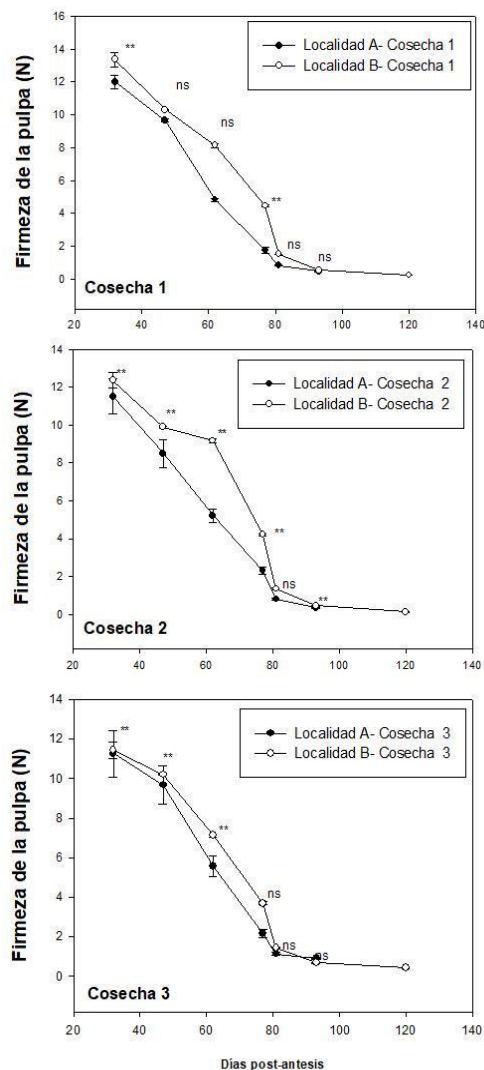
3.3.3.2. La firmeza de la pulpa

La firmeza de la pulpa presenta valores mayores para las tres cosechas, y a su vez presenta la misma tendencia para las dos localidades. Para el día 25 cosecha 1, se tiene un valor de firmeza en la pulpa de 12 N para la localidad A, días después de antesis, mientras que para la localidad B se encontró un valor de 13,5 N, el comportamiento observado es decreciente para las dos localidades estudiadas, similares a los datos encontrados para la cosecha 2 donde se obtuvieron valores de 12,3 N para la localidad A y de 12,4 N, para la localidad B, en los últimos días post antesis (día 94 y 120 localidad A y B respectivamente) de cada cosecha se presenta en disminución más notoria que desde los primeros días (0,3 y 0,4. N), para la localidad A y B respectivamente, Para la tercera cosecha se tuvieron valores entre una localidad y otra, similares, con valores de 12 N localidad A. Mientras que para la localidad B se obtuvieron datos de 12,2 N, para el día 19 después de antesis. Mientras que para el día 92 de la localidad A se obtuvo un valor de 0,7 N y para la localidad B en el día 120 se obtuvo un valor de 0,5 N (Figura 3).

Se observa que las diferencias significativas, son similares a las reportadas para la firmeza en la epidermis del fruto, en la cosecha No 2 se presenta mayores diferencias significativas para los días 32, 64, 42 y 78 respectivamente, mientras que para la cosecha No 3, se observa que las diferencias significativas solo se presentaron para los días 32 y 78. Según la temperatura obtenida para la cosecha 1 en la localidad A, se puede afirmar que fue de 20,14 °C en comparación con la obtenida para la localidad B, la cual es más baja con un valor de 15,61 °C, manteniendo la tendencia para la cosecha 2 y 3. En cuanto a la radiación se observa que para la primera cosecha en la localidad A fue de 6,6 (kw/m²), mientras que para la localidad B, se obtuvo un valor de 7,2 (kw/m²). Además de los valores de humedad relativa los cuales fueron mayores para la localidad B de 91,60%, y para la localidad A, valores de 86,60%. En relación con las condiciones climáticas encontradas tanto para la localidad A, como para la localidad B, se puede afirmar que la temperatura en conjunto con la radiación solar o intensidad lumínica y la humedad relativa son factores fundamentales para el desarrollo de la pulpa en los frutos de ciruela ya que intervienen con la actividad de algunas enzimas y construcción de tejidos. De acuerdo con Parra-Coronado *et al.*, (2007). En un

estudio realizado para ciruela variedad "Horvin", en el mismo municipio (Nuevo Colón-Boyacá) para el año 2007, se presenta que algunas condiciones climáticas pueden influir en el crecimiento y desarrollo de la producción de frutos.

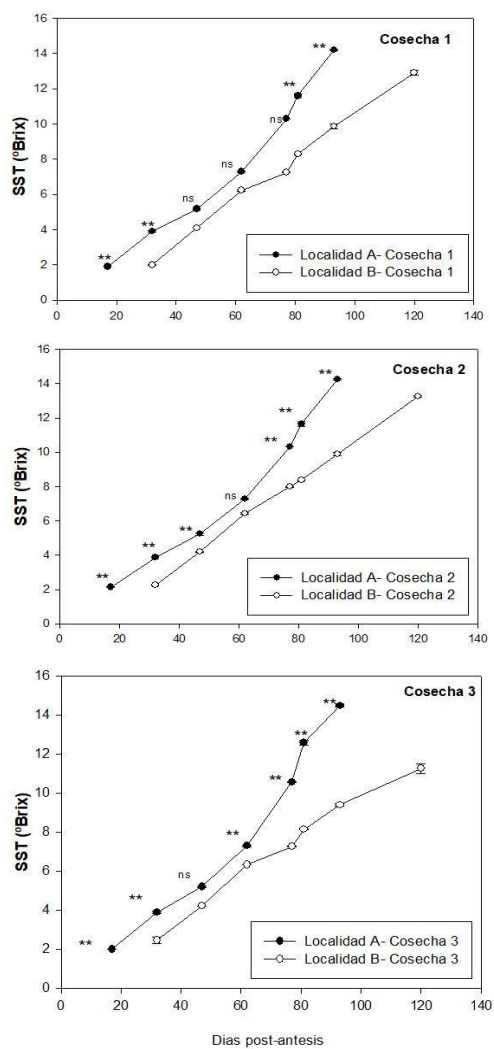
Figura 3. Variación de la firmeza en pulpa de los frutos de ciruela para las localidades A y B, para las 3 cosechas, según la prueba T-Student en cada punto de muestreo se observan diferencias estadísticas (**): donde $p < 0,01$, según la prueba, y ns si no las hay.



3.3.3.3. Sólidos solubles totales

El comportamiento de SST indica que a medida que los frutos se desarrollan este comportamiento es creciente en las dos localidades. Para la cosecha 1, la localidad A en el día 17, muestra que los sólidos solubles totales fueron de 1,7 °Brix, mientras que para el día 32 en la localidad B fue de 1,6 °Brix. (Figura 4). En comparación con el día 92 que para la localidad A se obtuvo un valor de 13.6 °Brix, mientras que para la localidad B en el día 112 se obtuvo un valor de 12,4 °Brix. Para la cosecha 2, se observa que las tendencias son similares: la localidad A en el día 17, muestra que el porcentaje de sólidos solubles totales fue de 1.9 °Brix, mientras que para el día 32 en la localidad B fue de 1.6 °Brix. En comparación con el día 92 que para la localidad A se obtuvo un valor de 14,3 °Brix, mientras que para la localidad B en el día 112 se obtuvo un valor de 12.3 °Brix. Mientras que para la cosecha 3, la localidad A en el día 17, muestra que el porcentaje de sólidos solubles totales fue de 1.9 °Brix, mientras que para el día 32 en la localidad B fue de 2.1 °Brix, en comparación con el día 92 que para la localidad A se obtuvo un valor de 14.4 °Brix, mientras que para la localidad B en el día 112 se obtuvo un valor de 10,4 °Brix. Aunque las tendencias fueron similares se puede apreciar que el porcentaje de SST, es mayor para la localidad A, pero el valor es mayor en la última cosecha, contrario a lo encontrado por Fischer *et al*, (2007) quienes encontraron que contenidos de SST y sacarosa en uchuva aumentan desde alturas de 2300 msnm (17.4°C, radiación de 1.294 mW m⁻²). De acuerdo al análisis comparativo con los datos de la presente investigación se puede precisar que para localidades con baja altitud se acentúa un mayor contenido de SST, La cantidad de SST se incrementa hasta el día de cosecha, debido a la hidrólisis del almidón almacenado en vacuolas y espacios intercelulares durante el crecimiento del fruto. (Guevara 2020). Este proceso ocurre debido al marcado incremento en la actividad de las enzimas α -amilasa, β -amilasa y almidón fosforilasa (Navarro 2019).

Figura 4. Variación de sólidos solubles totales de los frutos de ciruela para las localidades A y B, para las tres cosechas, según la prueba T-Student en cada punto de muestreo se observan diferencias estadísticas (**): donde $p < 0,01$, según la prueba, y ns si no las hay.



3.3.3.4. Matiz de la epidermis ($^{\circ}h$).

De acuerdo con las gráficas obtenidas se observa que se mantiene la misma tendencia para las 3 cosechas, tanto en la localidad A como en la localidad B. En la localidad B se observa que el ángulo hue ($^{\circ}h$), croma, luminosidad (tabla No 4.1) comparado con la localidad A es mayor para las tres cosechas. Para la primera cosecha en las localidades A y B. Se observa que se presentan diferencias significativas desde el día 63 hasta el día 91, mientras que para la cosecha No 2 se observa que las diferencias significativas se realizan desde el día 42 hasta el día 80, (Figura 5) y para la cosecha No 3 se observó que se presentan diferencias significativas desde el día 32 hasta el día 93 con excepción del día 43, donde se observa que no se presentan diferencias significativas. Según la temperatura obtenida para la cosecha 1 en la localidad A, se puede afirmar que fue de 20.14 °C en comparación con la obtenida para la localidad B, la cual es más baja con un valor de 15,61 °C, manteniendo la tendencia para la cosecha 2 y 3. En cuanto a la radiación se observa que para la primera cosecha en la localidad A fue de 6.6 (KW/m²), mientras que para la localidad B, se obtuvo un valor de 7,2 (kw/m²).

Figura 4.1. Variación de color (hue, Croma, Matiz) de los frutos de ciruela para las localidades A y B, para las tres cosechas.

Parámetro	Localidad - Cosecha					
	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
	localidad A	localidad B	localidad A	localidad B	localidad A	localidad B
Hue	330,5±35,7a	346,4±45,3b	332,6±4,5a	317,1±15,5a	341,1±5,5a	321,1±22,5a
Croma	24,0±4,09b	74,1±1,20b	33,1±24,3a	59,4±8.7a	39,9±50,7a	61,2±9,4a
Luminosidad	43,5±3,7a	46,9±11,3a	45,2±4,6a	46,2±14,2a	41,1±7,6a	47,2±12,4a

Media ± ds: Medias seguidas de letras distintas en el mismo parámetro para cada cosecha, indican diferencias significativas, según prueba de T- student ($P \leq 0,05$).

En relación con las condiciones climáticas encontradas tanto para la localidad A, como para la localidad B, el ángulo hue ($^{\circ}$ h), croma, y matiz, presentaron valores bajos: $330,5 \pm 35,7$, $24,0 \pm 4,09$, $43,5 \pm 3,7$, en la localidad a (altitud de 2449), mientras que en la localidad b (altitud 2195), $346,4 \pm 45,3$, $74,1 \pm 1,20b$, $46,9 \pm 11,3a$. Los valores de la cosecha dos en la localidad A presentan una tendencia similar a la cosecha uno, solo que esta se incrementa el cromo en un 0,5%, el parámetro hue. Este mismo comportamiento también se presenta para la cosecha No 3. Se puede afirmar que la temperatura en conjunto con la radiación solar o intensidad lumínica son factores fundamentales para el desarrollo del color en la ciruela ya que intervienen con la actividad de algunas enzimas en la biosíntesis de antocianinas. Según Orjuela-Angulo (2017), en un estudio realizado para ciruela variedad Horvin, en el mismo municipio (Nuevo Colón-Boyacá) para el año 2017, se presentan las mismas tendencias que las obtenidas para las localidades A y B, mostrando que en el día 35 el Ángulo hue ($^{\circ}$ h). El fenómeno de variación de tonalidad es un proceso fascinante que se observa en ciertas estructuras y objetos naturales, donde la coloración experimenta un cambio gradual desde el verde hasta el rojo. Este cambio en la tonalidad se produce a medida que los pigmentos y componentes químicos presentes en el objeto se van modificando. (Hernández et al., 2007). La radiación óptima favorece el color al permitir una síntesis mayor de pigmentos rojos, aumenta en proporción el ácido ascórbico, mientras que una radiación solar alta, las clorofilas de las antenas de los fotosistemas presentes en las membranas tilacoides de los cloroplastos absorben más energía lumínica de la que se puede utilizar en la fotosíntesis. Este estrés por luz conduce inicialmente a la foto inhibición de la fotosíntesis siendo el punto de saturación característico para los frutales en general (Fischer & Orduz 2012).

3.3.3.5. Características físicas y químicas al momento de cosecha.

Se presenta un mayor efecto para la localidad B, en los parámetros de SST, diámetro, relación de madurez, ángulo hue, firmeza de la epidermis y de la pulpa (Tabla 2). Este espectro de variación de tonalidad abarca un rango de 0° a 180°, lo que indica un cambio significativo y progresivo desde los tonos verdes hasta los rojos. Esta transición cromática puede ser especialmente apreciada en ciertos frutos como la ciruela, donde se pueden observar los diferentes matices que conforman esta interesante transformación.

Tabla 2. Valores medios de las características físicas y químicas en el fruto de ciruela al momento de la cosecha para las localidades A y B.

Parámetro	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
	localidad A	localidad B	localidad A	localidad B	localidad A	localidad B
Peso fresco (g)	5,65±0,77b	7,31±1,56a	5,76±1,36b	11,06±1,50a	7,31±1,55b	11,65±3,03a
Longitud (mm)	20,04±1,62a	18,82±1,42b	20,04±1,62b	23,11±2,99a	21,45±1,64a	26,76±2,06b
Diámetro (mm)	19,36±1,95a	17,9±1,35b	19,36±1,96b	28,75±1,77a	20,75±1,70b	25,38±1,90a
SST (°Brix)	7,75±0,10a	7,04±1,11b	7,78±1,0a	7,11±1,09b	7,80±0,12a	7,23±0,15b
Relación de madurez (%)	35,23±12,08a	28,56±13,25b	40,22±1,23a	31,25±2,9b	38,2±4,05a	29,58±2,56b
Ángulo hue (°h)	340,19±5,37b	324,12±26,26 a	340,22±5,38 a	318,77±24,58 b	340,74±5,24 a	318,23±15,32b
Firmeza cáscara (N)	25,67±1,13a	22,91±3,52b	22,41±2,03a	20,81±1,68b	24,88±6,23a	22,67±8,57b
Firmeza pulpa (N)	6,41±0,75a	5,22±0,44b	6,12±0,84a	5,07±1,98b	6,26±1,78a	4,99±9,54b

Media ± ds

Medias seguidas de letras distintas en el mismo parámetro para cada cosecha, indican diferencias significativas, según prueba de T-Student ($P \leq 0,05$).

En cuanto a SST, se presentan diferencias estadísticas de la tercera cosecha en la localidad B, junto con la cosecha 2 de la localidad A (Tabla 2), En la tercera cosecha de la localidad B, se obtuvo el peso más alto de las dos localidades, correspondiendo con los mayores registros de precipitación y humedad relativa y los mayores registros de radiación solar acumulada durante el periodo de crecimiento del fruto (Tabla 1), Lo que concuerda con lo registrado por Fischer *et al.*, (2017), quienes relacionan las variables climáticas encontradas en algunos cultivares con las características propias de la cosecha.

Para la variable firmeza se observa que se obtuvieron diferencias estadísticas para la localidad A, tanto para la epidermis como para la pulpa, los mayores valores de firmeza tanto para epidermis como para pulpa se obtuvieron en la localidad A (menor altura) (Valenzuela & Maldonado., 2022). De acuerdo a la radiación promedio obtenida para la localidad A (6.6 kw/m²), y para la localidad B (7.6 kw/m²). Se puede inferir que debido a que los frutales del trópico crecen en buenas condiciones con una precipitación constante, alta, distribuida, con abundante brillo solar, se pueden considerar estas condiciones como condiciones ideales. Pero cuando se carece de algún factor, o se disminuye, su rendimiento será bajo (Fischer et al., 2013). Para el crecimiento y la formación de frutos donde los datos obtenidos con respecto al peso y longitud, fueron 6,29 g y 20,5 mm localidad A y 10,0 g, 23, 6 mm para la localidad B, tienen una estrecha relación con el aprovechamiento lumínico. Donde se presenta menor disminución de este aprovechamiento afecta en mayor grado el cuajado y calidad de los frutos en el crecimiento del árbol. Se observó, además, que las cosechas en las cuales se presentó la mayor precipitación acumulada (correspondiente a localidad B) y mayor humedad relativa promedio (Tabla 1), fueron las que produjeron frutos de mayor peso, lo que concuerda con Parra-Coronado *et al.*, 2007, quienes manifiestan que un cultivar de ciruela necesita precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anual, a su vez será tolerante en rangos de 1500 a 2500 mm para garantizar un buen desarrollo de fruto y buena calidad en cosecha. En las especies frutales con floración, fructificación y cosecha con

crecimiento determinado exigen de 1000-2000 mm de precipitación anual, ya que las fases hídricas en la demanda es el cuajado y el llenado de fruto. Un adecuado suministro de agua asegura en el fruto un alto contenido de carbohidratos y ácidos, por ser el componente principal de casi todas las células, el agua mantiene la turgencia, además de ser el sustrato de reacción para todos los procesos bioquímicos (Fischer & Orduz 2012).

3.4 CONCLUSIONES

Las condiciones de lugar como menor altitud (localidad A), las variables climáticas como temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar, influyen de forma positiva si se encuentran en las medias determinadas, esto se evidencia en el comportamiento de algunas características físicas como SST, y firmeza, mientras que en mayores altitudes (localidad B), dichas variables se verán reflejadas en aumentos de peso y tamaño.

La temperatura es un factor fundamental en el desarrollo de los frutos de ciruela, a partir de este parámetro los agricultores podrían determinar parámetros de calidad y prácticas de manejo, donde a menor altitud los frutos tendrán mayor porcentaje en SST, pero en mayor altitud es posible que se pueda presentar golpes de sol por mayor radiación.

La firmeza es afectada en altitudes más bajas ya que los frutos se desarrollan más rápido con temperaturas más altas, mientras que los frutos desarrollados en zonas más altas tomarán más tiempo para su desarrollo.

El análisis de varianza muestra que se presentan mayores valores para la localidad B, en los parámetros de SST, diámetro, relación de madurez, ángulo hue, firmeza de la epidermis y de la pulpa.

La altitud a la que se cultivan los frutos de ciruela, puede tener un impacto significativo en el tiempo necesario para que estos alcancen su madurez y estén listos para la cosecha. Se ha observado que los frutos cultivados a mayor altitud requieren un mayor número de días calendario para completar su desarrollo.

En el análisis de los valores medios se evidencia que a medida que aumenta el peso en el fruto de ciruela también aumenta su diámetro, longitud, la SST y su relación de

madurez, mientras que otras variables disminuyen como la firmeza en pulpa y epidermis, el comportamiento mantiene la tendencia, para las localidades estudiadas, para cada cosecha analizada.

3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Africano-Pérez, K., P, Almanza-Merchán, H, Criollo, A, Herrera, and H,E, Balaguera-López, (2016), Caracterización poscosecha del fruto de durazno [Prunus persica(L,) Batsch] cv, Dorado producido bajo condiciones de trópico alto, Rev, Colomb, Cienc, Hortic, 10(2), 232-240, Doi: 10,17584/rcch,2016v10i2,5212.

Agronet. (2021). Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>.

Ardila, G., Fischer, G., & López, E., (2011). Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 5(1), 44-56.

Bouzayen, M,; Latché, A,; Nath, P, and Pech, J, C, (2010), Mechanism of fruit ripening, In: plant developmental biology-biotechnological perspectives, Pua, E, C, y Davey, M, R, (Eds,), Springer-Verlag, Berlin, Germany, Vol, 1, 319-339 pp.

Brummell, D, A, Harpster, M, H, Civello, P, M, Palys, J, M,; Bennett, A, B, and Dunsmuir, P, (1999), Modification of expansin protein abundance in tomato fruit alters softening and cell wall polymer metabolism during ripening, The Plant Cell, 11(11):2203-2216.

Cárdenas, J., & Fischer, G. (2013). Clasificación botánica y morfología. Los frutales caducifolios en Colombia. Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia, 21-29.

- Campos, T, (2013), Especies y variedades de hoja caduca en Colombia, pp, 47-67, In: Miranda, D., G, Fischer, and C, Carranza (eds.), Los frutales caducifolios en Colombia Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo, Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.
- Carrasco-Ríos, L, (2009) efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas, Volumen 27, N° 3, Páginas 59-76 Idesia (Chile) Septiembre, diciembre 2009 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>.
- Casierra-Posada, F, Dora I, Hernandez, D, Lüdders P, y Ebert G (2003), Fruits and shoots growth of 'Anna' apple trees (*Malus domestica* Borkh) grown in the Colombian highlands, *Agronomía Colombiana*, 2003, 21 (1-2): 69-73 b.
- Cepeda M., A., Vélez-Sánchez, J, E., & Balaguera-López, H, E, (2021), Analysis of growth and physicochemical changes in apple cv, Anna in a high-altitude tropical climate, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2), e12508, <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12508>.
- Fischer, G., & Pérez, C. P. (2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. In *Memorias del Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico* (en CD) (pp. 28-30).
- Fischer, G. & Orduz-Rodriguez, J. (2012). Manual para el cultivo de frutales en el tropico, *Ecología en frutales*, Promumedios, Bogotá, 54-57
- Flórez, L. Pérez, L. Melgarejo, L. y Hernández, S. (2012). Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. *Ecofisiología del cultivo de la gulupa Passiflora edulis Sims*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, p. (33-51).
- Guevara, M. S. (2020). Metabolitos primarios y secundarios (bioactivos y aromáticos) durante la maduración post-cosecha de la Lúcumá (*Pouteria lucuma*).
- Iglesias, I, Echeverria, and Lopez, M, (2012), Fruit color development, anthocyanin content, standard quality, volatile compound emissions and consumer accepta-

bility of several 'Fuji' apple strains, *Sci, Hortic*, 137, 138-147, Doi: 10.1016/j.scienta.2012.01.029.

Ju, Z, Duan, Y, and Ju, Z, (1999), Effects of covering the orchard floor with reflecting films on pigment accumulation and fruit coloration in Fuji apples, *Sci, Hortic*, 82(1):47-56.

Leng, P, Itamura, H, Yamamura, H, and Deng, X, (2000), Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation, *Sci, Hortic*, 83(1):43-50.

Martínez-González, M, Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I, Cortes-Cruz, M, Palomino-Hermosillo, Y, & López-Gúzman, G, (2017), Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4075-4087.

Medina-Torres, L, Brito-De La Fuente, E, Torrestiana-Sanchez, B, & Katthain, R, (2000), Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*), *Food hydrocolloids*, 14(5), 417-424.

Navarro Paitán, G. L. (2019). Determinación de la cinética enzimática de la obtención de jarabe de glucosa a partir de papa.

Orjuela-Angulo, M, Parra-Coronado A, Camacho-Tamayo, J, H, (2022), Base temperature for a phenological stage in plum cultivar Horvin (*Prunus salicina* Lindl.), *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(3), e15179, <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15179>.

Orjuela Angulo, M. (2017). Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad "Horvin", en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá. *Ingeniería Agrícola*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola [428], <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58751>.

- Parra Coronado, A; Fischer, G, (2013), Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* (O, Berg) Burret), Una revisión, Rev, Colomb, Cienc, Hortic, 7(1): 98-11.
- Parra-Coronado, A, Hernández-Hernández, J, Camacho-Tamayo, J, (2006), Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la pera variedad Triunfo de Viena, Rev, Bras, Frutic, 28(1): 55-59.
- Parra-Coronado, Alfonso, Hernández-Hernández, José Eugenio, & Camacho-Tamayo, Jesús Hernán, (2007), Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la ciruela variedad Horvin, Revista Brasileira de Fruticultura, 29(3), 431-437.
- Perea, M, Fischer, G, Miranda, D, (2010), Feijoa, *Acca sellowiana* Berg, pp, 330-349, En: Perea, M, Matallana, L,P, Tirado, A, 2010, Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales, Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Piao, S, Q, Liu, A, Chen, I,A, Janssens, Y, Fu, J, Dai, L, Liu, X, Lian, M, Shen, and X, Zhu, (2019), Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges, *Global Change Biol*, 25(6), 1922-1940, Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>.
- Podestá, L. (2002). Ciruela japonesa: parámetros de madurez y calidad.
- Ramírez-Jiménez, J, Hoyos-Carvajal, M, and Córdoba-Gaona, O, (2021), Phenology growth and yield of grafted tomato plants in the high Andean region of Colombia, Rev, Colomb, Cienc, Hortic, 15(1), e11667, Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11667>.
- Sánchez, P, (2015), Influencia de la temperatura en etapas poscosecha sobre la calidad de diferentes variedades de ciruelas, Universidad politécnica de valencia escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio ambiente, 5-12.
- Valenzuela Valenzuela, I. G., & Maldonado, F. (2022). Efecto del uso de fitohormonas sobre la respuesta fisiológica en cerezo bajo condiciones de estrés ambiental en cámara de crecimiento (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.).

Vélez, J, Intrigliolo D, y Castel, J, (2007^a), Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage, *Agric, Water Manage*, 90(3), 197-20.

Villegas, C, (2009), El cultivo del ciruelo, Proyecto Planton, Revista Pacayas, [http://www,mag,go,cr/bibliotecavirtual/a00169,pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00169.pdf), Instituto nacional y tecnología, agraria y alimentaria de España, consulta mayo 2023.

4. Calidad poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* L.) provenientes de dos localidades altitudinales.

4. Postharvest quality in plum (*Prunus salicina* L.) in response to two altitudinal localities in Nuevo Colon Boyacá, Colombia.

Mayerlin Orjuela Angulo¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Colombia).

4.1 RESUMEN

La calidad de los frutos está directamente influenciada por las condiciones climáticas que se tienen en cada cultivar. El objetivo de este estudio fue determinar cómo influyen las condiciones climáticas en algunos parámetros de calidad durante el almacenamiento en poscosecha. Para lo cual se recolectaron frutos de dos localidades diferenciadas por altitud (entre 2567 y 2195 m.s.n.m), se registraron las condiciones climáticas durante el crecimiento de los frutos hasta la cosecha para tres cosechas, durante los años 2021 a 2022. Las localidades A: 2195 msnm, 23,36 °C, 79,93% HR, precipitación media anual 1085.83 mm, radiación solar 6,60 kw/m² Localidad B 2567 msnm, 15,96°C, 91.75% HR,

precipitación media anual 1352,55 mm, radiación solar 7.40 kw/m², respectivamente. Los frutos se almacenaron en dos condiciones (ambiente y refrigeración), las mediciones poscosecha de parámetros fisicoquímicos se realizaron cada 2 días. Los resultados muestran que los frutos que fueron almacenados a temperatura ambiente, sin tener en cuenta la localidad de donde provengan van a durar menos que los frutos refrigerados, el estudio muestra además que los frutos de la localidad A para las tres cosechas, tienen alto contenido de SST, menor peso, y mayor firmeza en poscosecha, estas variables, están directamente influenciadas por las condiciones climáticas presentes en cada una de las localidades, se observa que a mayor altura el contenido de sólidos solubles y la firmeza disminuye al igual que la pérdida de peso.

Palabras clave: pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable, relación de madurez

ABSTRACT

The quality of the fruits is directly influenced by the climatic conditions of each crop. The objective of this study was to determine how preharvest climatic conditions influence some quality parameters during postharvest storage. For which fruits were collected from two localities differentiated by altitude (between 2567 and 2195), the climatic conditions were developed during the growth of the fruits until harvest for three harvests, during the years 2021 to 2022. Localities A: 2195 m.s.n.m 23.36°C, 79.93% HR, average annual precipitation 1085.83, solar radiation 6.60 kw/m² Location B 2567 m.s.n.m, 15.96°C, 91.75% HR, average annual precipitation 1352.55 mm, solar radiation 7.40 kw/m², respectively. The fruits are stored under two conditions (ambient and refrigerated), postharvest measurements of physicochemical parameters are carried out every 2 days. The results show that the fruits that were stored were at room temperature, without taking into account the locality where they come from, they will last less than the

refrigerated fruits, the study also shows that the fruits of the locality A for the three harvests, have a high content of TSS, lower weight, and greater postharvest firmness, these variables are directly influenced by the climatic conditions present in each of the locations, it is observed that at higher altitudes the content of soluble solids and firmness decrease as well as the loss of weight.

Keywords: weight loss, firmness, total soluble solids, total titratable acidity, maturity ratio.

4.2 INTRODUCCIÓN

La ciruela variedad “Horvin” (*Prunus salicina* L.) es una planta originaria de Japón; esta especie se caracteriza por crecer en diferentes altitudes, que varían entre 1800 y 2450 msnm (Amado et al., 2021). A nivel nacional, el departamento de Boyacá cuenta con aproximadamente 3000 hectáreas plantadas de cultivos de frutales caducifolios (peral, duraznero, ciruelo y manzano) (Serrano et al., 2020), mientras que en el departamento de Caldas se encuentran establecidas aproximadamente 310 hectáreas de árboles de hoja caduca (Amado et al., 2021). Boyacá es considerado el departamento más importante en la explotación de los cultivos de caducifolios en el país, debido a las ventajas comparativas que posee, entre las cuales se pueden mencionar clima, suelos, precipitación, vocación frutícola de los productores y la experiencia acumulada por más de 50 años (Serrano et al., 2020). Según Cendales y Guio (2015), el cultivo de ciruela creció un 57% en cuanto a producción se refiere en diferentes regiones del territorio colombiano, especialmente en el departamento de Boyacá, región que actualmente registra la mayor oferta del fruto, con un 74% del total de la producción nacional. El comportamiento fisiológico de los caducifolios en el trópico está influenciado por las condiciones climáticas, en zonas templadas (Erez, 2000; Fischer, 2013), los requerimientos ecofisiológicos de las especies y el manejo agronómico del cultivo (Gutiérrez-Villamil et al., 2022). El fruto de ciruela presenta grandes diferencias en sus características fisicoquímicas en el momento de la cosecha, incluso entre los frutos cosechados en el mismo cultivo (Orjuela-Angulo 2016). Se ha reportado que las características fisicoquímicas del fruto son influenciadas por las condiciones climáticas de las zonas de producción que varían según su altitud (Fischer et al., 2012) y la humedad disponible en el suelo (Mellisho et al., 2012). De acuerdo algunas investigaciones, las

variables que más inciden en el desarrollo de un cultivo es la altura, temperatura y la precipitación, brillo solar y radiación, (Parra-Coronado 2007), estas variables inciden en los cambios físicos y fisiológicos que se presentan a lo largo de la maduración de las cosechas que se verán reflejadas en el fruto. Es indispensable conocer las condiciones óptimas a temperatura ambiente y refrigeración, para obtener parámetros de almacenamiento en poscosecha. La literatura consultada no reporta estudios relacionados razón por la cual, el objetivo de este estudio determinar la calidad poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* L.) provenientes de dos localidades altitudinales, cultivadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá).

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de ciruela se recolectaron en su estado de madurez de cosecha en dos localidades (fincas) ubicadas en la provincia de Márquez del departamento de Boyacá, Colombia, estas localidades se caracterizan por ser pequeñas extensiones de tierra (minifundios menores a 2,8 hectáreas), donde los árboles de las localidades fueron sembrados hace aproximadamente veinte años. En ambas localidades se realizaron las mismas prácticas agrícolas, en cuanto a poda, riego, fertilización, este manejo se realizó con el fin de garantizar condiciones de uniformidad. La primera localidad (A), se encuentra ubicada en el municipio de Nuevo Colón vereda tejar abajo entre las coordenadas geográficas 5° 21' 26.5" N y 73° 28' 10.8" W y altitud media de 2.567 m.s.n.m, con temperatura media de 23.3°C y humedad relativa que oscila entre 74 y 86%, y para la localidad B coordenadas geográficas 5° 20' 17,56" N y 73° 27' 53,85"W, altitud media de 2.195 m.s.n.m, con temperatura media de 25.3°C y humedad relativa que oscila entre 70 y 82%, la zona se caracteriza por tener un clima húmedo frío B2d B1, de la "clasificación de Thornthwaite". La precipitación presentada en esta zona tiene un comportamiento de tipo monomodal, con valores de precipitación media anual de 877.2 mm concentrada en los meses de abril a julio (Orjuela, 2017).

Las condiciones climáticas de las localidades consideradas en el estudio se obtuvieron en un período de registro que correspondió a los años 2021 a 2022. Durante esta fase se tomarán registros de la variación periódica de las variables climáticas de las localidades en estudio (temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa, precipitación). Para los registros de temperatura y humedad relativa en cada localidad se utilizaron dataloggers-USB, en los cuales se programó la frecuencia de toma de datos (cada media hora) y posteriormente realizar su respectiva descarga; para corroborar la información anterior se dispuso de la estación Agrometeorológica (cat) Nuevo Colón, ubicada en las coordenadas longitud 73°27'23.4"W y latitud 5°21'13.7"N, correspondiente al código 35075010. Para determinar la precipitación en cada uno de los lotes se instalaron pluviómetros en cada una de las localidades, en las cuales se hizo una medición cada vez que ocurrió un evento de lluvia; la radiación solar se midió en cada una de las localidades por medio de un pirheliómetro, (referencia: SKU-LPPYRHE16, Respuesta espectral: 200 a 4.000 nm, Rango: 0 a 2.000 w/m²), el cual posee una superficie receptora que captura los rayos solares que inciden perpendicularmente en su superficie.

Tabla 1. Condiciones climáticas de las localidades estudiadas en el estudio para llegar desde la antesis hasta la cosecha del fruto de ciruela

	COSECHA No.	PRECIPITACIÓN (mm)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	RADIACIÓN SOLAR (KW/m ²)
Localidad A (finca Blanca 2195 m.s.n.m)	1	1285,19mm	20,14 °C	86,60%	6,6
	2	1122,15 mm	24,57 °C	79,80%	6,7
	3	850,15 mm.	25,36 °C	73,40%	6,5
Localidad B (finca Ana 2567 m.s.n.m)	1	1489,25 mm.	15,61 °C	91,60%	7,2
	2	1222,85 mm	15,92°C	92,50%	7,4
	3	1345,56 mm.	16,36°C	91,14%	7,6

4.4 Diseño experimental

Se tomaron 10 árboles por surco (Fernández et al., 2010) y dos surcos por localidad, para un total de 40 árboles para la investigación, con el fin de hacer seguimiento al crecimiento y desarrollo del fruto desde la antesis hasta la cosecha, así como para obtener el registro de las condiciones climáticas. Se recolectaron 100 frutos libres de defectos y de daño mecánico durante tres cosechas por finca. El diseño experimental fue aleatorizado, con diez repeticiones por ensayo. Los frutos cosechados fueron conducidos al laboratorio, donde fueron desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio a 10.000 ppm. Los frutos se diferenciaron por el lugar de procedencia en cada cosecha y almacenados a temperaturas de $17\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($76\pm 5\%$ HR, durante 7 días) y $6\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($87\pm 5\%$ HR, durante 13 días).

4.5 Variables medidas.

En la evaluación de la calidad de los frutos, se tomaron en cuenta diversos atributos que proporcionan información clave sobre su estado y madurez. Entre los atributos medidos, se destacan la pérdida de peso (dW), la firmeza del fruto y el color de la epidermis, expresado en términos del ángulo hue ($^{\circ}\text{h}$). En el proceso de determinación del peso de los frutos durante el almacenamiento, se llevaron a cabo diez muestras, cada una consistiendo de dos frutos por árbol. Para obtener los datos de peso, se utilizó el método gravimétrico, que es ampliamente empleado en la medición de masa. Para la medición de peso, se usó una balanza de precisión, la cual tenía una aproximación de 0,0001 gramos. Esto significa que la balanza mide con exactitud hasta la cuarta cifra decimal, lo que asegura resultados muy precisos. Se utilizó un refractómetro HANNA HI 96801 con rango de medida hasta 85% ($^{\circ}\text{Brix}$). La firmeza se determinó utilizando un texturómetro LLOYD LS1. Para la variable color se utilizó un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA), el modelo cromático fue hue ($^{\circ}\text{h}$). Representa los colores primarios (rojo, verde, azul) con todos los matices intermedios que se percibe cuando se

situa en el círculo cromático (naranjas, amarillos, morado). Donde se sitúa a 0° el rojo, el verde primario a 120° y el azul primario a 240°, volviendo al rojo cuando regresamos al origen del círculo a 360°. La relación de madurez (RM) se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT).

4.6 Análisis estadístico.

Para el análisis del comportamiento de cada uno de los parámetros de calidad y su variación a través del tiempo, se utilizó el programa estadístico IBM-SPSS v.20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), con el cual se realizó el análisis de T-student ($p < 0,05$) entre los diferentes parámetros de calidad del fruto para cada una de las cosechas, para cada uno de los lugares de estudio.

4.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.7.1 Incidencia de las condiciones climáticas en la firmeza de la epidermis y de la pulpa

La firmeza del fruto siempre fue mayor que la de la pulpa para el mismo tiempo de almacenamiento. La firmeza de la epidermis y de la pulpa del fruto de ciruela, presentan un comportamiento similar a través del tiempo para las dos condiciones de precosecha y para las dos localidades durante las tres cosechas, con valores altos al inicio que tienden a disminuir a medida que el fruto madura (Tabla 2-a-2-b).

Tabla 2-a, Análisis de firmeza (N) en la epidermis de frutos de ciruela para la fase poscosecha para ambiente refrigerado (6°C; HR: 87%) Promedios seguidos de la misma letra en cada muestreo indican diferencias estadísticas de acuerdo con t-Student ($p < 0,05$) en cada cosecha.

Firmeza epidermis refrigerada (Temperatura: 6°C; HR: 87%)						
	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	11,20±1,14b	13,14±1,25a	10,1±1,52a	9,5±1,41b	11,68±1,4a	10,45±0,33a
3	11,69±0,53a	11,25±1,71b	11,78±0,25b	11,23±1,03a	10,02±2,23a	10,22±0,11a
5	10,11±2,54b	10,96±2,03a	10,52±0,10a	10,5±0,28b	10,87±1,14b	12,54±0,58a
7	11,20±1,56a	10,45±1,89b	10,11±0,21b	12,2±1,10a	11,68±0,89a	11,25±0,73b

Tabla 2-b. Análisis de firmeza (N) en la epidermis de frutos de ciruela para la fase poscosecha, temperatura ambiente (17°C; HR: 76%). Promedios seguidos de la misma letra en cada muestreo indican diferencias estadísticas de acuerdo con t-Student ($p < 0,05$) en cada cosecha.

Firmeza epidermis ambiente (Temperatura: 17°C; HR: 76%)						
	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	10,57±0,77a	5,5±3,25b	10,21±2,53a	5,97±4,88b	10,58±3,50a	5,81±2,41b
3	10,31±1,33a	6,36±2,55b	9,71±2,55a	5,23±6,33b	10,38±2,66a	5,56±2,54b
5	10,65±2,56a	4,25±4,28b	10,96±3,01a	5,24±3,55b	10,66±3,56a	4,61±3,54b
7	10,96±1,89a	6,36±3,25b	10,85±4,58a	5,23±4,32b	10,96±4,21a	5,91±3,21b

Tabla 3-a. Análisis de firmeza (N) en la pulpa de frutos de ciruela para la fase poscosecha para ambiente refrigerado (6°C; HR: 87). Promedios seguidos de la misma letra en cada muestreo indican diferencias estadísticas de acuerdo con t-Student ($p < 0,05$) en cada cosecha.

Firmeza pulpa refrigerada (Temperatura: 6°C; HR: 87%)						
	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	2,39±1,56b	3,44±a	2,47±1,11a	2,34±1,52b	2,42±2,5a	2,13±1,33b
3	1,59±0,22b	3,24±a	1,68±0,69b	1,77±0,33a	1,63±1,30b	2,09±0,22a
5	1,3±1,88b	2,1±a	1,27±0,91a	1,23±1,2b	1,37±0,88b	2,03±1,5a
7	0,52±0,56b	1,23±a	0,53±1,21b	1,07±0,67a	0,46±1,22b	1,80±0,55a

Tabla 3-b. Análisis de firmeza (N) en la pulpa de frutos de ciruela para la fase poscosecha temperatura ambiente (17°C; HR: 76%). Promedios seguidos de la misma letra en cada muestreo indican diferencias estadísticas de acuerdo con t-Student ($p < 0,05$) en cada cosecha.

Firmeza pulpa ambiente (Temperatura: 17°C; HR: 76%)						
	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	2,59±0,52a	2,39±0,54b	2,39±1,04b	2,46±0,23a	2,47±0,89b	2,67±1,33a
3	1,61±0,77a	1,39±0,22b	1,39±0,54b	2,56±0,47a	1,68±1,02b	2,65±0,54a
5	1,36±0,01a	1,36±0,20a	1,36±0,56b	2,56±1,02a	1,27±0,25b	1,50±0,69a
7	1,61±0,2a	1,36±0,44b	1,36±0,44b	2,54±1,21a	0,53±0,55b	1,03±0,55a

A medida que transcurría el tiempo la firmeza iba disminuyendo para las dos localidades, Para los frutos almacenados a 5°C, la firmeza en la epidermis alcanza un valor final de 9,2±1 (Tabla 3-a,3-b), para la localidad A y de 8,76±1,2 para la localidad B, mientras que los frutos a temperatura ambiente de 17 °C, presentaron valores medio de 8,95±1,3, para la localidad A y de 8,91±2,4 para la localidad B, La firmeza de la pulpa presentó valores medios de 1,9±2,0 N, para la localidad A y de 0,9 ±1,0 N, para la localidad B, La firmeza de la pulpa de los frutos en refrigeración a 6°C, alcanzó al final del almacenamiento valores medios de 2,24 ±1,4 N, para la localidad A y de 2,1±1,0 N para la localidad B, La variable firmeza en epidermis en ambiente refrigerado, reportó menores puntuaciones medias, para la cosecha 2 (10,82 N y 10,85 N respectivamente).

La variable firmeza en epidermis en ambiente, reportó mayores puntuaciones medias para la cosecha 1,2,3, La variable firmeza en pulpa en ambiente refrigerado, reportó menores puntuaciones medias para la cosecha 1,2,3, La variable firmeza en pulpa en ambiente, reportó menores puntuaciones medias para la cosecha 1,3, mientras que la cosecha 2 muestra diferencias significativas, De acuerdo a los datos obtenidos se puede

afirmar que uno de los principales factores asociados a la degradación en la calidad del fruto de ciruela es la disminución en los valores de la firmeza, a medida que el fruto madura, la turgencia del fruto se va perdiendo junto con las sustancias pécticas, lo que hace que la consistencia y la textura del fruto se altere (González, 2014). Generalmente la disminución en la firmeza se presenta a medida que transcurre su etapa de almacenamiento. La pérdida de firmeza del fruto es un proceso complejo que involucra tres pasos subsecuentes: 1) relajación de la pared celular mediada por expansinas; 2) despolimerización de hemicelulosas; y 3) despolimerización de poliuronidos por la poligalacturonasa u otras enzimas hidrolíticas, lo cual contribuye a una pérdida de firmeza y cambios en calidad de la textura (Ríos & Castillo, 2018). Para la presente investigación estos cambios tienen relación al efecto de las altitudes sobre la firmeza debido a que el cambio en la temperatura, la radiación y la humedad relativa, de una altitud a otra ejerce una mayor influencia sobre la abscisión en los frutos, mientras que en temperaturas y radiaciones reguladas se presenta una máxima acumulación de materia seca sobre todo en las noches frescas lo que hará que baje la respiración de mantenimiento de la planta lo que disminuye su costo energético y por tanto mantenga su firmeza tanto en epidermis como en la pulpa.

La temperatura de almacenamiento posterga o acorta la vida útil del fruto, esta variable tendrá influencia en el comportamiento fisiológico poscosecha en frutas y hortalizas (Gapper et al., 2013). El análisis de medias (Tabla 2-a,2-b, 3-a, 3-b) indica que se registran diferencias en cuanto a las condiciones de almacenamiento y al lugar de procedencia, más no entre las cosechas de la misma localidad. Según lo observado en el presente estudio la pérdida de firmeza en la epidermis durante el almacenamiento a temperatura ambiente y de refrigeración se presenta en la localidad B, (la cual presenta mayor altitud), donde la temperatura media es menor y la radiación acumulada es mayor, su producción necesita de más días calendario y menor tiempo térmico (GCD) (Tabla 1). En cuanto a la firmeza de la epidermis al final del almacenamiento a temperatura ambiente (17 °C), se observa que en la localidad B la pérdida media de la firmeza de la epidermis es de 38,4%, mientras que para la localidad A (menor altura) se presenta una tasa de 22,4%, Mientras que para la firmeza de la epidermis al final del almacenamiento a temperatura refrigerada (6 °C), la pérdida media fue de 21,2% y 25,3%.

Para los frutos de ciruela variedad Horvin se observa que las cosechas donde se presentó mayor tasa de precipitación acumulada fueron para la localidad A 1285,19 mm (cosecha No 1) y localidad B 1489,25 mm (cosecha No 1), en esta misma cosecha se obtuvieron valores de humedad relativa de 86,60% para la localidad A y de 92,50% para la localidad B, En esta cosecha se produjeron frutos con menor firmeza en epidermis y en pulpa para la localidad B, mientras que para la localidad A, se produjeron frutos con menor firmeza en epidermis y en pulpa en la cosecha No 3. Esto se debe a que el metabolismo de las plantas en la actividad metabólica de la planta está relacionada estrechamente con su contenido hídrico, en el proceso de la fotosíntesis. El agua es la fuente de oxígeno y el hidrogeno empleado en la reducción del CO₂, generalmente los frutos contienen entre un 80 y 90% de agua, Cuando se tienen condiciones de tasa de precipitaciones muy altas los suelos con drenajes insuficientes producen condiciones anaeróbicas para las raíces, donde se pueden presentar condiciones de toxicidad por acumulación de iones reducidos y de productos de organismos anaeróbicos, además se reduce la resistencia estomatal (Toledo 2016),

4.7.2 Afectación de las variables de clima en el contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT) y relación de madurez (RM),

Para el análisis de los frutos de ciruela almacenados a temperatura ambiente (17 °C) se obtuvo que para las tres cosechas la localidad A presenta mayores valores para STT, en comparación con las tres cosechas de la localidad B, la relación de madurez (RM) aumenta, mientras que la ATT (% de ácido ascórbico) disminuye a medida que los frutos alcanzan su madurez fisiológica. Los frutos almacenados en refrigeración (6°C) presentan una RM baja para las dos localidades (tabla No 3) y las tres cosechas en general, estas variaciones concuerdan con Quintero 2012, donde se consideran de acuerdo a la temperatura presentada en el lugar, aunque las variaciones son mínimas los frutos que se almacenan a mayor temperatura presentan un cambio en sus propiedades

físicas, esto se debe a reacciones de las enzimas presentes que aceleran los procesos metabólicos de forma exponencial con el aumento de su temperatura.

4.7.3 Contenido de sólidos solubles totales (SST),

Los SST para los frutos almacenados en refrigeración (6°C) presentaron valores medios de $12,2 \pm 0,2$ °Brix para la localidad A y de $10,16 \pm 0,5$ °Brix para la localidad B, estos valores evidencia una tendencia creciente, pero no presentan variaciones significativas, como se aprecia al comparar los valores finales e iniciales de cada cosecha (tabla 4a).

Para los frutos almacenados a 17°C, los SST se incrementan a medida que el fruto alcanza su madurez fisiológica, los frutos que presentan esta característica fueron los de la localidad A con valores medios de $14,67 \pm 0,9$ para la localidad A, mientras que para la localidad B se tuvieron valores de $10,38 \pm 0,6$, los datos analizados no presentan variaciones significativas, para ninguna de las cosechas estudiadas (tabla 4^a-4b).

Se observa que los frutos de ciruela almacenados a mayor temperatura presentan un incremento mayor y más acelerado de SST, Los SST para la cosecha A localidad 1 no mostraron variaciones, mientras que para la localidad B presenta diferencias numéricas inferiores al 10%. Este comportamiento puede deberse a que las velocidades en las reacciones enzimáticas no son constantes. La radiación solar óptima favorece el color al permitir una síntesis mayor de pigmentos antocianicos o rojos, mejora el índice de grados Brix, eleva el contenido de materia seca y de ácido ascórbico. Dichas reacciones también varían de acuerdo a la temperatura (Sánchez, 2015), ya que es un factor influyente, su aumento afecta de modo exponencial la velocidad de los procesos fisiológicos incrementando la energía cinética de los sistemas enzimáticos. Con el incremento en la temperatura durante las últimas semanas en el crecimiento del fruto, se favorece la degradación de los ácidos orgánicos (Ibarra 2012).

Tabla 4a, Análisis de medias para SST de frutos de ciruela en el periodo poscosecha bajo condiciones de almacenamiento en refrigeración.

Grados Brix Temperatura refrigeración (T: 6°C; HR: 87%)						
Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	12,1±2,05a	9,2±1,35b	12,1±0,23a	10,1±1,4b	12,1±0,58a	10,1±1,25b
3	12,1±0,58a	9,2±2,45b	12,1±0,58a	11,2±0,60b	12,1±0,58a	11,2±1,24b
5	12,1±1,02b	10,1±2,11b	12,1±1,25a	10,6±2,24b	12,1±1,25a	12,1±1,05a
7	12,5±2,15a	10,1±1,56 b	12,5±2,05a	10,4±2,21b	12,5±2,24a	10,4±9,8b

Tabla 4b, Análisis de medias para SST de frutos de ciruela en el periodo poscosecha bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente:

Grados Brix Temperatura ambiente (T: 17°C; HR: 76%)						
Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	13,2±0,65a	11,4±0,58b	13,2±3,56a	11,4±2,05b	15,2±1,38a	11,4±2,56b
3	15,2±1,4a	10,2±2,54b	15,2±4,25a	10,2±0,25b	13,2±2,25a	10,2±1,54b
5	15,1±1,24a	9,7±3,33b	15,2±2,22a	10,2±2,05b	10,5±0,58a	10,2±2,56b
7	15,2±2,24a	9,4±2,25b	10,5±1,56a	10,5±1,45a	13,5±1,88a	10,6±1,55b

4.7.4 Acidez total titulable (ATT)

La ATT para los frutos almacenados a temperatura ambiente (17°C) presentaron valores medios de $0,31 \pm 0,02$ para la localidad A y de $0,37 \pm 0,01$ Brix para la localidad B, estos valores evidencia una tendencia creciente, pero no presentan variaciones significativas, como se aprecia al comparar los valores finales e iniciales de cada cosecha (tabla 3d).

Se muestra que, aunque se presentan variaciones entre las cosechas, y entre las localidades estos valores no presentan variables significativas, en detalle se puede observar que la ATT para los frutos almacenados en refrigeración (6°C) presentaron valores medios de $0,23 \pm 0,01$ para la localidad A y de $0,26 \pm 0,01$ Brix para la localidad B, estos valores evidencia una tendencia creciente, pero no presentan variaciones significativas, Como se aprecia al comparar los valores finales e iniciales de cada cosecha (tabla 5^a-5b).

Los resultados encontrados en la presente investigación muestran un comportamiento similar registrado por Parra-Coronado (2017), el cual manifiesta que los ATT disminuyen a medida que la tasa de maduración aumenta debido a que los frutales pueden verse expuestos a condiciones adversas por exceso de la radiación y la temperatura, el exceso de la radiación UV que aumenta con la altitud induce fundamentalmente en el crecimiento y desarrollo del fruto, influyendo en la anatomía de su biomasa.

Tabla 5a, Análisis de medias para ATT de frutos de ciruela en el periodo poscosecha bajo condiciones de almacenamiento en refrigeración,

Acidez total titulable Temperatura ambiente (T: 6°C; HR: 87%)						
Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	0,27±1,23a	0,26±0,58b	0,32±1,23a	0,26±0,58b	0,25±0,58b	0,28±1,23a
3	0,25±0,96b	0,27±1,23a	0,21±1,25b	0,24±1,34a	0,24±0,54b	0,29±0,24a
5	0,25±1,25b	0,28±0,25a	0,21±0,41b	0,25±0,56a	0,21±0,32b	0,29±0,47a
7	0,24±0,25b	0,27±0,14a	0,21±0,25b	0,26±0,26a	0,21±0,11b	0,28±0,23a

Tabla 5b, Análisis de medias para ATT de frutos de ciruela en el periodo poscosecha bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente.

Acidez total titulable Temperatura refrigeración (T: 17°C; HR: 76%)						
Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	0,36±0,23a	0,35±0,22b	0,33±0,23b	0,37±0,21a	0,31±0,25b	0,54±0,14a
3	0,36±0,11a	0,36±0,10a	0,33±0,32b	0,36±0,15a	0,30±0,15b	0,45±0,25a
5	0,32±0,14b	0,36±0,15a	0,32±0,55b	0,35±0,15a	0,25±0,25b	0,36±0,45a
7	0,32±0,11b	0,36±0,13a	0,29±0,14b	0,32±0,11a	0,25±0,54b	0,42±0,26a

4.7.5 Relación de madurez (RM)

Durante el proceso de almacenamiento de los frutos, se ha observado un comportamiento creciente en la relación de madurez, tanto en condiciones de temperatura alta como baja, Sin embargo, se han identificado algunas diferencias numéricas entre las localidades A y B, siendo estas diferencias inferiores al 10%, Es importante destacar que, a medida que avanza el almacenamiento, la relación de madurez aumenta progresivamente en ambos casos, Esto indica que los frutos continúan madurando incluso después de su cosecha, y este proceso de maduración es más notorio en condiciones de temperatura más elevada (Bouzayen et al., 2010).

La RM presentó valores medios de $44,36 \pm 5,09$ para la localidad A y de $27,75 \pm 2,87$ para la localidad B (Tabla 3e), al inicio del almacenamiento en ambiente refrigerado, Aunque la RM de los frutos almacenados a 6°C presenta poca variación, en contraste con los frutos almacenados a temperatura ambiente los cuales presentaron valores medios de $51,85 \pm 2,90$, para la localidad A y de $37,9 \pm 1,38$ para la localidad B (Tabla 6^a-6b), en términos generales se observa una tendencia al incremento, aunque en la localidad B, se observa una variación en algunas cosechas en los últimos dos días. La RM es baja en donde la condición de almacenamiento es refrigerada, generalmente esta condición cambia cuando se presenta menor temperatura y mayor tiempo de almacenamiento.

Tabla 6a, Análisis de medias para relación de madurez (RM) de frutos de ciruela en el periodo poscosecha bajo condiciones de almacenamiento a ambiente refrigerado.

Relación de madurez Temperatura refrigeración (T: 6°C; HR: 87%)						
Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		
Día	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	36.66±16.55a	32.57±12.50b	40.02.56±a	30.81±4.56b	49.03±5.66a	21.11±4.55b
3	42.22±22.5a	28.33±18.5b	46.06±12.5a	28.33±10.5b	44.00±14.5a	22.67±10.5b
5	47.19±18.6a	26.54±12.5b	47.50±11.00a	29.14±4.5b	42.00±16.5a	28.33±9.88b
7	47.50±5.65a	26.11±4.55b	36.21±2.56a	32.81±5.69b	54.00±15.5a	25.24±10.56b

Tabla 6b, Análisis de medias para relación de madurez (RM) de frutos de ciruela en el periodo poscosecha bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente.

Relacion de madurez Temperatura ambiente (T: 17°C; HR: 76%)						
Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		
Dia	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B	Localidad A	Localidad B
1	44.81±12.2a	35.38±6.3b	37.81±12.5b	38.85±10.6a	48.4±18.2a	36.07±10.8b
3	48.40±9.8a	34.07±9.55b	57.62±11.4a	46.67±9.5b	50.41±12.4a	38.62±11.5b
5	48.80±17.2a	36.07±8.75b	57.63±13.7a	42.40±14.8b	57.62±12.5a	41.72±9.8b
7	52.08±12.5a	37.41±10.7b	59.52±9.8a	40.38±6.23b	59.62±11.5a	37.14±12.4b

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede indicar que la relación de madurez es directamente proporcional a la tasa ATT y de SST. Los contenidos de SST y ATT dependen de las variables climáticas del lugar donde se establecen los cultivos. Se observa que, durante el almacenamiento tanto en temperatura refrigerada como en temperatura ambiente, los frutos que provienen con altitud mayor (localidad B), donde la temperatura y la humedad relativa es menor, además de presentar una mayor radiación acumulada, presentan menor cantidad de SST, menor ATT y menor RM, indican que los frutos producidos a mayor altura son frutos más insípidos que los producidos en temperaturas más altas (Tabla 6^a-6b). Los resultados anteriores concuerdan con Podestá- Lidia (2002), quien manifiesta que a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento la ATT disminuye, mientras que los SST aumenta, como en el caso de variedades de ciruelas como Blackamber y president. Al momento de la recolección en la localidad B, se observan frutos con diferentes tonalidades, lo que indican que aún no se encontraban en su madurez fisiológica apta para su recolección, mientras que en la localidad A, la tonalidad es pareja, lo que puede indicar una relación de madurez por color es óptima.

Según Murray et al, (2005) para ciruelas, encontraron que los frutos cosechados en la parte interna del canopi presentan valores más bajos de STT, lo que concuerda con los datos en la presente investigación. En cuanto al menor contenido de SST, encontrado en la localidad B, pudo haber sido influenciado por la cantidad de precipitación determinada en este lugar (1085 mm, Localidad A, 1352 mm Localidad B). Según Cepeda et al, 2021, menciona que las altas y prolongadas precipitaciones (Tabla 1), disminuyen la producción de los SST en algunas frutas y hortalizas. En la Tabla 3c de acuerdo a los datos obtenidos se observa que los valores de ATT de los frutos de ciruela presentaron algunas diferencias mínimas en el momento de la cosecha, que permitan establecer la influencia de las condiciones climáticas en este parámetro, pero entre localidades si se presentan diferencias significativas en el día 13 de su condición de almacenamiento (17 °C), donde se observa que la ATT es mayor en los frutos producidos en la localidad B. Donde las condiciones climáticas están determinadas por menor radiación acumulada, menor temperatura media y menor humedad relativa (Tabla 1). Lo que concuerda con Fischer et al., 2011, quienes describen el efecto de la intensidad de la luz sobre la ATT para frutos de durazno, donde estas condiciones de baja intensidad de la luz inciden en donde los frutos presentaron mayor acidez. Esto se debe a que la fotosíntesis total

depende de la intensidad lumínica y el tiempo, es decir cuánto más largo el intervalo lumínico, más CO₂ será reducido y más carbohidratos producidos.

4.7.6 Pérdida de peso.

De acuerdo con Martínez-González et al., (2017), la disminución de masa en algunos frutos luego de cosecha se debe a la pérdida de agua y en alguna medida de sustratos en el gasto de energía cuando se realiza el proceso de respiración y transpiración. El peso en frutos de ciruela presenta un comportamiento decreciente para las dos condiciones de almacenamiento (Figura 4a y 4b). Donde se presenta mayor pérdida de peso es en los frutos almacenados a temperatura ambiente, esto concuerda con Sánchez (2015), el cual manifiesta que los frutos almacenados a mayores temperaturas tienden a perder mayor agua debido a sus procesos metabólicos luego de ser cosechados.

Para los frutos almacenados a 6 °C, la pérdida de peso al finalizar el almacenamiento presentó valores medios de 37,3% para la localidad A y de 20,4% para la localidad B, en comparación a los frutos almacenados a 17°C, los cuales tuvieron valores de 37,6% y de 23,8%, para las localidades A y B respectivamente.

El análisis de medias indica que para la pérdida de peso se presentan diferencias significativas en cuanto a las localidades de producción y a la cosecha estudiada, Los frutos almacenados a 6°C presentan diferencias estadísticas con respecto a la localidad y a la cosecha, en comparación a los frutos almacenados a 17°C. Sin embargo, se observa que para las dos condiciones de almacenamiento (Figuras 4a y 5), la pérdida de peso es menor, en aquellos frutos cosechados de la localidad ubicada a mayor altitud (localidad B), con mayor radiación solar acumulada y donde la temperatura media y la humedad relativa es menor (Tabla 1). Esto concuerda con Ligarreto et al., (2012) quienes manifiestan que la alta humedad relativa impide la transpiración y causa una presión alta en el interior del fruto por lo que se cuarteo la epidermis y forma ruptura o rajado, este porcentaje aumenta de manera drástica después de que hay una época seca extensa y

luego de forma abrupta se anega el suelo, o se humedece de forma drástica. Esto produce un desequilibrio en la cantidad de agua que ingresa al fruto, y hace que su epidermis se elongue, así mismo los frutos que presentan sobre maduración son más susceptibles al cuarteamiento debido a la senescencia de la epidermis.

Figura 4. Pérdida de peso almacenado en temperatura ambiente, para las localidades A y B, para las tres cosechas estudiadas, ns: No hay diferencias significativas, *Diferencias al 5%, **Diferencias al 1%, de acuerdo con el test t-Student, Barras verticales en cada promedio indican error estándar.

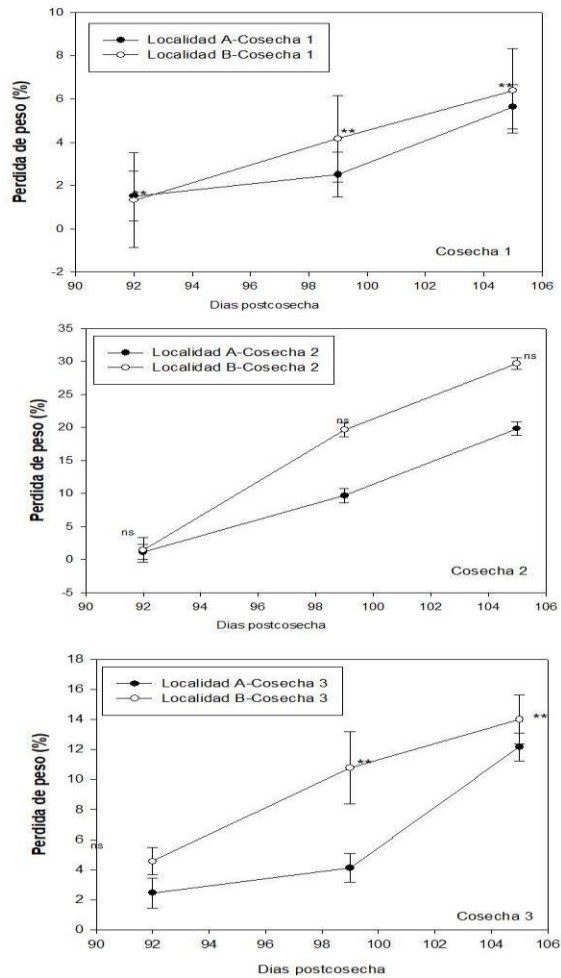
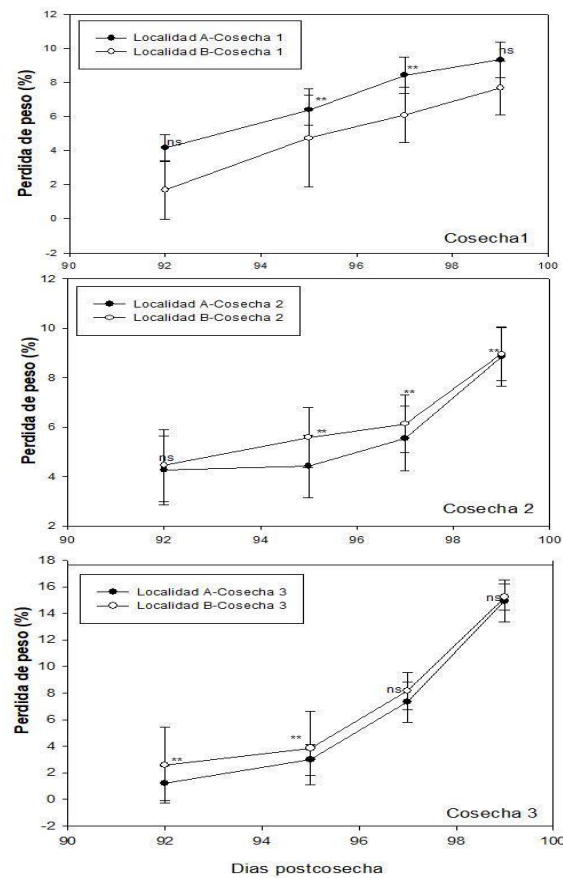


Figura 5b. Pérdida de peso almacenado en ambiente refrigerado, para las localidades A y B, para las tres cosechas estudiadas, ns: No hay diferencias significativas, *Diferencias al 5%, **Diferencias al 1%, de acuerdo con el test t-Student, Barras verticales en cada promedio indican error estándar.



4.8 CONCLUSIONES

Uno de los parámetros que afecta la conservación del fruto de ciruela es la temperatura de almacenamiento, este parámetro es directamente proporcional a la cantidad de SST, la RM y la pérdida de peso, pero a su vez es inversamente proporcional a la ATT, la firmeza y el tiempo de refrigeración o temperatura ambiente, los frutos almacenados a mayor temperatura tienen menos vida útil, al igual que menor firmeza, una vez son cosechados.

Los resultados muestran que las condiciones de almacenamiento y las localidades donde se encuentran establecidos los cultivos tienen gran influencia en el comportamiento en cuanto a firmeza, SST, ATT, RM, durante el periodo de poscosecha en frutos de ciruela, estos parámetros están directamente relacionados por las condiciones climáticas registradas durante el crecimiento de los frutos, Se observa que, a mayor altitud, es menor el contenido de sólidos solubles totales y la pérdida de firmeza aumenta, mientras que es mayor la acidez total titulable y la pérdida de peso.

4.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Herrera, J, Rozo-Romero, X, & Reyes, A, J, (2015), comportamiento poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* Lindl.) en cuatro estados de madurez tratados con etileno, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1: 46-59,
- Amado, A, Montañéz, G, & Viasús, A, (2021), La planificación de cosecha en ciruela variedad "Horvin", estudio de caso, Tuta, Boyacá, Colombia, *Criterio Libre*, p, (126-145),
- Ayala, L, C,; Valenzuela, C, P,; y Bohorquez, Y, (2013), Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) en seis estados de madurez, *Revista de Biotecnología en el sector*
- Bapat, V, A, Trivedi, P, K, Ghosh, A, Sane, V, A, Ganapathi, T, R, & Nath, P, (2010), Ripening of fleshy fruit: molecular insight and the role of ethylene, *Biotechnology advances*, 28(1), 94-107,
- Bouzayen, M,; Latché, A,; Nath, P, and Pech, J, C, (2010), Mechanism of fruit ripening, In: *plant developmental biology-biotechnological perspectives*, Pua, E, C, y Davey, M, R,
- Cendales Reyes, C, A, & Guio Vanegas, M, L, (2015), Sustitución de cultivos tradicionales por cultivos de frutas como factor de desarrollo humano de los habitantes de la vereda Naguata del municipio de Ramiriquí,
- Corcino López, E, (2014), Elaboración y aceptabilidad de licor a base de melocotón (*prunus persica*)“ huayco, Obtenido de repositorio,unjfsc.edu.pe, <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/1590>", Peru, consultado el 2 de Mayo de 2022,

- Crisosto, C,H.; Scott Johnson, R.; DeJong, T.; Day, K,R, (1997), Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality, HortScience 32(5): 820-823,
- Gapper, N, E.; McQuinn, R, P, and Giovannoni, J, J, (2013), Molecular and genetic regulation of fruit ripening, Plant Mol, Biol, 82(6) : 575-591,
- González Araiza, J, R, (2014), Impedancia bio-electrica como técnica no-destructiva para medir la firmeza de la fresa (*Fragaria x Ananassa Duch*) y su relación con técnicas convencionales (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València),
- Erez, A, (2000), Bud dormancy: phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics, En: Erez, A, (ed,), Temperate fruit crops in warm climates, pp, 17-48, Dordrecht: Springer, 464p, doi: https://doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2
- Fernandez-Mayer, A, (2017), Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles: aprovechamiento de especies arbóreas, arbustivas y forrajeras (gramíneas y leguminosas perennes) de clima templado-frío, tropical y subtropical, Centro regional Buenos Aires Sur, Estacion experimental Agropecuaria Bordenava, Ediciones INTA, p (12-45),
- Fischer, G, Casierra-Posada, F, y Villamizar, C, (2011), Producción forzada de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) en el altiplano tropical de Boyacá (Colombia), Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 4(1), 19–32, <https://doi.org/10.17584/rcch,2010v4i1,1223>,
- Fisher, G, & Orduz-Rodriguez, J, (2012), Manual para el cultivo de frutales en el tropico, Ecologia en frutales, Promumedios, Bogotá, 54-57,
- Fischer G, & Melgarejo L, (2022), Ecophysiological aspects of guava (*psidium guajava* l), a review, rev, colomb,cienc,hortic, vol,15 no,2 Bogotá May/Aug, 2021 Epub Dec 28, 2022, <https://doi.org/10.17584/rcch,2021v15i2,12355>,
- Gutiérrez-Villamil, D,; Álvarez-Herrera, J,; Fischer, G, (2022), Performance of the 'Anna' apple (*Malus domestica* Borkh,) in Tropical Highlands: A review, Revista de Ciencias Agrícolas, 39(1): 123-141,doi: <https://doi.org/10.22267/rcia,223901,175>,

- Ibarra Cantún, D, (2012), Calidad e inocuidad de jitomate (*Lycopersicon esculentum* L) fresco almacenado a diferentes temperaturas: relación del contenido de azúcares y ácidos orgánicos con la adherencia de *Escherichia coli* (ECET) (Master's thesis),
- Ladaniya, M,S, (2008), Preharvest factors affecting fruit quality and post harvest life, pp, 79-102, En: Ladaniya, M,S, (ed.), Citrus fruit, biology, technology and evaluation, Elsevier, Oxford, UK ,
- Leng, P,; Itamura, H,; Yamamura, H, and Deng, X, M, (2000), Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation, *Sci, Hortic*, 83(1):43-50,
- Ligarreto, G,, Fischer, G,, Rodríguez, J, O,, Miranda, D,, Perea, M,, Ramírez, F,, ,,, & Flórez, A, (2012), Manual para el cultivo de frutales en el trópico, Particularidades de los frutales, Produmedios,
- Martínez-González, M, E,, Balois-Morales, R,, Alia-Tejacal, I,, Cortes-Cruz, M, A,, Palomino-Hermosillo, Y, A,, & López-Gúzman, G, G, (2017), Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4075-4087,
- Mellisho, C,, Egea, I,, Galindo, A,, Rodríguez, P,, Rodríguez, J,, Conejero, W,, Torrecillas, A, (2012), Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions, *Agric, Water Manage*, 114: 30-36,
- Moretti, C,L,; Mattos, L,M,; Calbo, A,G,; Sargent, S,A, (2010), Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review, *Food Research International*, 43: 1824–1832,
- Murray, X,J,; Holcroft, D,M,; Cook, N,C,; Wand, S,J,E, (2005), Postharvest quality of 'Laetitia' and 'Songold' (*Prunus salicina* Lindell) plums as affected by preharvest shading treatments, *Postharv, Biol, Technol*, 37: 81-92,

- Orjuela Angulo, M, (2017), Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad "Horvin", en el municipio de Nuevo Colón Boyacá, Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola [428], <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58751>,
- Parra-Coronado, A, (2014), Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O, Berg) Burret), Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Doctor en Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá,
- Parra-Coronado, Alfonso, Hernández-Hernández, José Eugenio, & Camacho-Tamayo, Jesús Hernán, (2007), Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la ciruela variedad horvin, *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3), 431-437,
- Payasi, A,; Mishra, N, N,; Chaves, A, L, S, and Singh, R, (2009), Biochemistry of fruit softening: an overview, *Physiol, Mol, Biol, Plants*, 15(2):103-113,
- Podestá- Lidia (2002) "Ciruela japonesa: parámetros de madurez y calidad", En: *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol, 34, no, 1, p, 63-70, Dirección URL del artículo: <https://bdigital.uncu.edu.ar/3037>, Fecha de consulta del artículo: 29/04/23
- Quintero, O,C, (2012), Feijoa (*Acca sellowiana* Berg), pp, 443-473, En: Fischer, G, (ed,), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*, Produmedios, Bogotá,
- Ríos, G, J,, & castillo paredes, J, O, (2018), efecto del tratamiento hidrotérmico en el tiempo de maduración, características organolépticas y fisicoquímicas del mango (*mangifera indica* L,),
- Sánchez, P,(2015), Influencia de la temperatura en etapas poscosecha sobre la calidad de diferentes variedades de ciruelas, Universidad politécnica de valencia escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio ambiente, 5-12,
- Serrano, A,, Puentes, G,, & Cleves-Leguizamo, J, A,, (2020) Representaciones sociales de los productores de ciruela (*Prunus salicina* L,) var, "Horvin", en el departamento de Boyacá, Colombia, , *Revista Espacios*, ISSN, 798, 1015,

Solís Mateos, M, (2016), Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha, Disertacion Doctoral Universitat Politècnica de València, Revista Dialnet,

Toledo, M, (2016), Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos,

Yamberla, J, (2019), Estudio de las potencialidades de agronegocios en las unidades de producción agrícola (UPAS) , sector rural del cantón Otavalo (Bachelor's thesis), Repositorio Universidad Técnica del Norte, <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9420>, consultada abril de 2023,

Vélez, J., D,S, Intrigliolo y J,R, Castel, (2007^a), Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage, *Agric, Water Manage*, 90(3), 197-20,

5. Modelos matemáticos de calidad de los frutos de ciruela, en respuesta a las condiciones climáticas de las localidades de producción.

5, Modelo de calidad precosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* L.) en función de las condiciones climáticas.

Preharvest quality model of plum fruits (*Prunus salicina* L.) depending on climatic conditions.

Mayerlin Orjuela Angulo¹,

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Colombia),

5.1 RESUMEN

Las condiciones climáticas son factores que determinan la producción de los frutos en el momento de la cosecha, su calidad está definida por las características fisicoquímicas y fisiológicas, El objetivo del presente estudio fue proponer un modelo de calidad precosecha del fruto en función de las condiciones climáticas de la zona de producción, para lo cual se marcaron 20 árboles por finca en dos localidades (A y B) del municipio de Nuevo Colón en el departamento de Boyacá (Colombia), Las mediciones se realizaron durante los años 2021 a 2022 (tres cosechas), cada 10 días a partir de los días 18 y 26 después de anthesis

hasta la cosecha, para las localidades A (2195 msnm, 23,36 °C, 79,93% HR, precipitación media anual 1085,83 mm, radiación solar 6,60 Kw/m²) y la localidad B (2567 msnm, 15,96°C, 91,75% HR, precipitación media anual 1352,55 mm, radiación solar 7,40 Kw/m²), respectivamente. Los modelos se obtuvieron para el cultivar y para cada uno de los sitios de estudio. Los resultados muestran que la altitud, grados días de crecimiento, precipitación y la humedad relativa, son las variables climáticas que tienen mayor incidencia en las características fisicoquímicas del fruto durante su crecimiento. Los modelos que predicen mejor la calidad del fruto durante su crecimiento y desarrollo corresponden al peso fresco, longitud, firmeza de la epidermis y firmeza de la pulpa. Se obtuvo una ecuación para los días transcurridos desde la antesis en función de la altitud y de los grados-día de crecimiento, así como ecuaciones de variación de la longitud y el diámetro en función del peso del fruto. El análisis de regresión mostró que los modelos permiten predecir adecuadamente las propiedades del fruto durante su crecimiento para ciertas condiciones climáticas en las localidades de estudio. La validación cruzada entre los valores observados y estimados presentó un buen ajuste estadístico.

Palabras clave: peso, grados días de crecimiento, diámetro, firmeza.

ABSTRACT Climatic conditions are determining factors in fruit production at harvest time and its quality is defined by its physicochemical and physiological characteristics, The objective of this study was to propose a pre-harvest quality model of the fruit based on the climatic conditions of the production area, for which 20 trees per farm were marked in two locations (A and B) in the municipality of Nuevo Colón in the Department of Boyacá (Colombia), Measurements were made during the years 2021 to 2022 (three harvests), every 10 days from days 18 and 26 after anthesis until harvest, for locations A (2195 m,s,n,m, 23,36 °C , 79,93% HR, average annual precipitation 1085,83 mm, solar radiation 6,60 Kw/m²) and

Location B (2567 m,s,n,m, 15,96°C, 91,75% HR, average annual precipitation 1352,55 mm, solar radiation 7,40 Kw/m²), respectively , The results show that the height, degree days of growth, precipitation are the climatic variables that have the greatest incidence on the physicochemical characteristics of the fruit during its growth, The models that best predict the quality of the fruit during its growth and development correspond to fresh weight, length, firmness of the epidermis and firmness of the pulp, An equation was obtained for the days elapsed since anthesis as a function of altitude and growth degree-days, as well as equations for the variation of length and diameter as a function of fruit weight, The regression analysis showed that the models allow adequately predicting the properties of the fruit during its growth for the two locations, The cross validation between the observed and estimated values presented a good statistical fit,

Keywords: weight, days post anthesis, firmness diameter

5.2 INTRODUCCIÓN

La modelación matemática consiste en ajustar datos empíricos en fórmulas matemáticas con una tendencia, tratando de determinar alguna predicción a la que haya lugar, reduciendo al máximo el error y haciendo que este sea casi despreciable (Rodríguez, 2015). Algunos modelos como el caso de los estocásticos requieren de un conocimiento matemático más profundo, Hasta la fecha, se conoce que los modelos resuelven situaciones, dado que algunas respuestas obtenidas dependerán de la información recolectada y el grado de precisión al que se quiera llegar (Ortiz, 2019). Cuando se habla de modelos de simulación se hace referencia a un conjunto de ecuaciones que representan algunas variables (Valencia-Calvo et al., 2016), las cuales tienen por finalidad generar respuestas concretas a situaciones reales, donde se pueden simular diferentes alternativas (Martínez, 2011). De acuerdo con Vanegas (2016), los modelos de simulación son técnicas de operación en investigación, con el fin de estudiar la incidencia de diferentes variables sobre los sistemas cotidianos, que

no se pueden evaluar mediante análisis simple. Por medio de los modelos de simulación es posible determinar el comportamiento de un sistema sometido a la influencia de diferentes variables, estimando que tan efectivo es su funcionamiento en tiempo real.

Medina-Torres (2000) La correcta determinación de la madurez de las ciruelas en el momento de la recolección es de vital importancia para asegurar la calidad del fruto y su posterior comercialización. Para este propósito, se han establecido diferentes criterios que permiten evaluar el grado de madurez de las ciruelas, siendo los más habituales el color de la epidermis y la firmeza de la pulpa. Respecto a la fisiología de su maduración, las ciruelas han sido tradicionalmente clasificadas como frutos climatéricos (Sánchez, 2015). A lo largo de los años, los agricultores han demostrado una admirable capacidad de adaptación y han implementado diversas estrategias para modificar las condiciones medioambientales de sus cultivos. Estas prácticas tienen el propósito de anticipar y mejorar la calidad de la producción agrícola, (Altieri & Nicholls 2013). Como menciona Karlin (2013), las temperaturas bajas durante algún periodo de tiempo, especialmente aquellas cercanas a los 0 °C o inferiores durante varios días consecutivos, pueden tener un impacto significativo negativamente en el comportamiento de las plantas cultivadas. Aunque estas temperaturas bajas no provocan la muerte directa de los cultivos, sí afectan su desarrollo y pueden condicionar su productividad cuantitativa (Álvarez & Avellaneda, 2015). Algunas modificaciones presentadas en algunos cultivares de ciruela, presentan variables en donde físicamente los frutos sufren cambios en peso, tamaño, color y turgencia, así como también en algunas propiedades fisicoquímicas como la cantidad de azúcares y la acidez total titulable (Orjuela-Angulo, 2017), Estas características van a ser las responsables de determinar la calidad en los frutos de ciruela (Álvarez et al., 2015),

Para cuantificar el índice de cosecha se puede medir la firmeza de la pulpa con un penetrómetro determinando el índice de madurez máxima; otra de las características de poscosecha es el color (Chexin et al., 2023), el cual es uno de los parámetros que más tiene incidencia en la calidad, pues es el índice de madurez más utilizado en la cosecha y comercialización del fruto de ciruela (Solís, 2016).

De acuerdo con Parra-Coronado et al, (2008), algunas características encontradas para el cultivar de ciruela cv, "Horvin" en el momento de la cosecha son: valores medios de firmeza de 50,66 N, acidez titulable de 0,78%, sólidos solubles de 11,8 °Brix, intensidad respiratoria de 19,64 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y relación de madurez (SST/ATT) de 15,25. La ciruela variedad "Horvin" al momento de la recolección, presenta un tamaño medio de 30,59 mm, peso de 22,44 g, esfericidad y redondez de 0,84 y 0,85 respectivamente, densidad real de 1095,65 kg,m⁻³, densidad aparente de 572,70 kg,m⁻³, porosidad de 49,89% y área superficial de 32,79 cm² (Parra-Coronado et al., 2007). El objetivo de este trabajo fue determinar un modelo de calidad pre cosecha de frutos de ciruela en función de las condiciones climáticas, que permita predecir las características fisicoquímicas del fruto durante su desarrollo, en distintas zonas de producción donde se desarrollan los cultivos.

5.3 MATERIALES Y MÉTODOS

5.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio,

El estudio se realizó en dos localidades (fincas), ubicadas en diferentes localidades en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá, Colombia); en las que se observan patrones de durazno injertados con púas de ciruela variedad Horvin, (*Prunus salicina* L). Estas localidades se caracterizan por ser pequeñas extensiones de tierra (minifundios), donde los árboles de dichas localidades

fueron sembrados hace aproximadamente veinte años. En ambas localidades se realizó el mismo manejo en cuanto a poda, riego, fertilización, este manejo se realizó con el fin de eliminar, la influencia de este manejo en el cultivo. Las localidades se encuentran ubicadas en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá de la siguiente forma: finca Blanquita (localidad A) ubicada a 5° 20' 17,56" N y 73° 27' 53,85" W, altitud 2195 m,s,n,m,; finca Ana (localidad B), ubicada entre las coordenadas 5° 21' 26,5" N y 73° 28' 10,8"W, altitud 2567 m.s.n.m. La precipitación presentada en esta zona tiene un comportamiento de tipo mono modal, con valores de precipitación media anual de 877,2 mm concentrada en los meses de abril a julio (Orjuela - Angulo, 2017),

5.3.2 Diseño experimental

Se tomaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 40 árboles para el estudio, La información recolectada permite tener el número de datos suficientes para el desarrollo y la validación del modelo. Los árboles seleccionados en cada una de las localidades se tomaron del centro de los lotes con el fin de evitar los efectos de borde debidos a la desigualdad de las condiciones climáticas. Cada uno de los árboles de donde se recolectaron las muestras fueron marcados con el fin de no alterar las muestras. En los árboles seleccionados para el estudio se realizaron marcaciones de los botones florales en el tercio medio del dosel, con el fin de realizar seguimiento de los frutos ubicados a esta altura.

5.3.3 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó durante los años 2021 a 2022, cada 10 días a partir de los días 18 (localidad A) y 26 (localidad B), después de antesis hasta la cosecha, El muestreo se realizó durante tres cosechas para cada localidad, en las cuales se determinó el crecimiento del fruto, el contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT), color de la epidermis expresado como ángulo hue (°h) y firmeza del fruto.

Durante este periodo se tomaron registros de la variación periódica de las variables climáticas de las localidades en estudio (temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa, precipitación). Para los registros de temperatura y humedad relativa en cada localidad se utilizarán dataloggers-USB, en los cuales se pudo programar la frecuencia de toma de datos (cada media hora) y posteriormente realizar su respectiva descarga. Para corroborar la información anterior se dispone de la estación Agrometeorológica (cat) Nuevo Colón, ubicada en las coordenadas longitud 73°27'23,4"W y latitud 5°21'13,7"N, correspondiente al código 35075010. Para determinar la precipitación en cada una de las localidades se instalaron pluviómetros, en las cuales se hizo una medición cada vez que ocurrió un evento de lluvia, la radiación solar se midió en cada una de las localidades por medio de un pirheliómetro, (referencia: SKU-LPPYRHE16, Respuesta espectral: 200 a 4,000 nm, Rango: 0 a 2,000 W/m²), el cual posee una superficie receptora que captura los rayos solares que inciden perpendicularmente en su superficie.

5.3.4 Variables medidas

Las variables de crecimiento determinadas para los valores medios al momento de cada cosecha) (Tabla 1): fueron determinación del peso fresco unitario de los frutos y sus respectivas dimensiones (longitud y dos diámetros perpendiculares). Para la determinación del peso unitario se utilizó una balanza electrónica marca OHAUS, con capacidad de 2500 g, precisión: 0,01 g. Para la caracterización fisiológica de variables como acidez total titulable, firmeza, color, sólidos solubles totales, se realizaron 5 repeticiones por ensayo, en periodos precosecha cada 10 días, La ATT se determinó por medio de un titulador METROHM Ti touch- 916. Para la determinación de SST se utilizó un refractómetro HANNA HI 96801 con rango de medida hasta 85% (°Brix). La firmeza se determinó utilizando un texturómetro LLOYD LS1 y según sea el caso, un durómetro medio sin punzón. Para la variable color se utilizó un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA). La relación de madurez (RM) se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT), El diseño estadístico fue enteramente casualizado, con cinco repeticiones por ensayo.

Tabla 2. Valores medios de las características físicas y químicas en el fruto de ciruela al momento de la cosecha para las localidades A y B.

Parámetro	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3	
	localidad A	localidad B	localidad A	localidad B	localidad A	localidad B
Peso fresco (g)	5,65±0,77b	7,31±1,56a	5,76±1,36b	11,06±1,50a	7,31±1,55b	11,65±3,03a
Longitud (mm)	20,04±1,62a	18,82±1,42b	20,04±1,62b	23,11±2,99a	21,45±1,64a	26,76±2,06b
Diámetro (mm)	19,36±1,95a	17,9±1,35b	19,36±1,96b	28,75±1,77a	20,75±1,70b	25,38±1,90a
SST (°Brix)	7,75±0,10a	7,04±1,11b	7,78±1,0a	7,11±1,09b	7,80±0,12a	7,23±0,15b
Relación de madurez (%)	35,23±12,08a	28,56±13,25b	40,22 1,23a	31,25±2,9b	38,2±4,05a	29,58±2,56b
Ángulo hue (°h)	340,19±5,37b	324,12±26,26 a	340,22±5,38 a	318,77±24,58 b	340,74±5,24 a	318,23±15,32b
Firmeza cáscara (N)	25,67±1,13a	22,91±3,52b	22,41±2,03a	20,81±1,68b	24,88±6,23a	22,67±8,57b
Firmeza pulpa (N)	6,41±0,75a	5,22±0,44b	6,12±0,84a	5,07±1,98b	6,26±1,78a	4,99±9,54b

Media ± ds

Medias seguidas de letras distintas en el mismo parámetro para cada cosecha, indican diferencias significativas, según prueba de T-student ($P \leq 0,05$).

5.3.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron por medio del paquete estadístico SPSS v,20 (Chicago, IL), por medio del cual se determina el análisis de factores por componentes principales este análisis de correspondencias múltiple es una técnica exploratoria que permite el análisis multivariado de un conjunto de variables o características de una muestra dentro de la lógica de la “reducción de información”, (Mediante esta técnica se busca identificar factores principales en un conjunto de información y al mismo tiempo observar las distancias existentes entre las

categorías de las variables originales), para posteriormente desarrollar modelos de regresiones cuadráticas, exponenciales, lineales jerárquicas, Con el anterior análisis se pretende identificar qué variables tienen mayor incidencia en la obtención de los modelos sugeridos.

5.3.5.1. Estimación del tiempo térmico (GCD)

Este cálculo de los grados días es especialmente útil para predecir eventos fenológicos importantes en el desarrollo de las plantas, como la floración, la maduración de los frutos o la cosecha. Los agricultores pueden usar esta información para planificar sus actividades agrícolas y tomar decisiones sobre el momento adecuado para la siembra, poda, riego y otros procesos esenciales, (Noa & Quispe 2021). Los grados días han sido utilizados para predecir la fecha de maduración de algunos frutos (Medina, 2000). Aunque las temperaturas pueden variar, las etapas fenológicas también pueden hacerlo, pero el tiempo fisiológico tiende a permanecer relativamente constante; es un modelo simple que tiene en cuenta el efecto de la temperatura en el desarrollo vegetativo y reproductivo y tiene algunas limitaciones cuando se presentan temperaturas muy altas (Ardila, 2011).

Un grado día se acumula cuando la temperatura media diaria es de un grado por encima de la temperatura base, para un período de 24 horas (Parra-Coronado, 2014). Para este estudio se hizo necesario conocer el día a partir del cual se iba a considerar el desarrollo de una fase fenológica del cultivo, que para este caso la fecha de inicio fue cuando el fruto se empieza a hacer visible en cada zona de observación para cada cosecha estudiada. El tiempo térmico se determinó siguiendo la metodología propuesta por Parra-Coronado (2014), para frutos de feijoa, donde se calculó el tiempo térmico, a partir de la diferencia entre la

temperatura media diaria y la temperatura base, como se expresa a continuación:

$$TT = \sum_{i=1}^n GDC_i = \sum_{i=1}^n GDC_i \rightarrow TT = \sum_{i=1}^n (T_i - nT_b) \quad (1)$$

Donde, TT es el tiempo térmico (°Cd) acumulado durante los n días de crecimiento del fruto hasta la cosecha: T_i es la temperatura media diaria (°C) para el día i y T_b es la temperatura base (°C), Los grados días de crecimiento (GDC), para la acumulación de TT se calculan utilizando las siguientes consideraciones:

$$T_i = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (2)$$

$$Si \ T_i > T_b, \quad GDC_i = T_i - T_b \quad (3)$$

$$Si \ T_i < T_b, \quad GDC = 0 \quad (4)$$

Donde T máx es la temperatura máxima (°C) para el día i y T min es la temperatura mínima (°C) para el día i, (Parra-Coronado 2014),

5.3.6. Evaluación de los modelos

De acuerdo con las ecuaciones que presentaron el mejor ajuste se procedió a determinar un modelo, para cada una de las variables medidas durante el desarrollo del fruto, en función de las condiciones climáticas encontradas para cada localidad durante las tres cosechas. Se probaron modelos de tipo polinomial, exponencial y sigmoidal, donde a partir de la presente investigación se mostró que el que presenta mejor ajuste corresponde a un modelo polinomial cuadrático. Se seleccionó el modelo de mejor ajuste para cada variable dependiente,

utilizando el criterio de mayor coeficiente de determinación (R^2) y menor error estándar.

Teniendo en cuenta que el R^2 indica el porcentaje de variación en los datos, se determinaron las variables dependientes identificándose con la letra Y, que se explican por las variables independientes identificadas con las letras Xi, valores de R^2 mayores a 0,50 indican que más del 50% de la varianza en las variables dependientes tienen correlación con las variables independientes. Según Williams (2003), "alguna incidencia se comienza a manifestar con valores de R^2 mayores a 0,5, Un valor de R^2 entre 0,66 y 0,81 indica un desempeño predictivo adecuado, un valor de R^2 entre 0,82 y 0,90 revela buena predicción y los modelos con un valor de R^2 superior a 0,91 se considera excelentes" (Parra-Coronado et al., 2017).

De acuerdo con la metodología presentada por Parra-Coronado et al., (2017), para obtener la bondad de los modelos seleccionados, se tomaron datos de variables que no fueron tenidas en cuenta para la construcción del modelo (valores observados), con los cuales se realizó una validación cruzada entre los valores observados y los valores simulados; para los fines pertinentes se escogió al azar una de las tres cosechas, que se estudiaron en cada una de las localidades. El coeficiente de determinación (R^2), el índice de concordancia (Ecuación 5) y la raíz de la regresión del error cuadrado medio RMSE (Ecuación 6) se calcularon para observar la tendencia del modelo general,

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i' + O_i')^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (5)$$

Dónde: n es el número de observaciones, P_i el valor predicho para la i-ésima fecha y O_i el valor observado para la i-ésima fecha, $P_i' = P_i - \bar{O}$ y $O_i' = O_i - \bar{O}$, la media general de los valores observados es \bar{O} ,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

Donde n es el número de observaciones, Pi el valor predicho para la i-ésima fecha y Oi el valor observado para la i-ésima fecha, (Orjuela-Angulo *et al.*, 2022),

5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los valores medios, muestran que se presenta una diferencia estadística mayor para la localidad B, en los parámetros de SST, diámetro, relación de madurez, ángulo hue, firmeza de la epidermis y de la pulpa (Tabla 1). Es importante destacar que los valores de los parámetros de calidad de los frutos en el momento de la cosecha pueden estar influenciados por las condiciones climáticas que se presentan durante el crecimiento de los cultivos, Cada cultivar y cada cosecha pueden verse afectados de manera única por los cambios climáticos a lo largo de su desarrollo, lo que a su vez tiene un impacto directo en la calidad del fruto en el momento de la recolección, Las condiciones climáticas, como la temperatura, la humedad, la radiación solar y las precipitaciones, desempeñan un papel determinante en el proceso de crecimiento y maduración de los frutos, Por ejemplo, una temporada más cálida o con más horas de sol puede acelerar el desarrollo y la maduración de los frutos, lo que puede afectar positivamente la concentración de azúcares y la calidad sensorial, como el sabor y el color.

5.4.5. Modelos matemáticos en tiempo térmico para la longitud y diámetro del fruto,

Se obtuvo una ecuación para la longitud y diámetro en función del peso del fruto (Ecuaciones 7 y 8), así como para los días transcurridos desde la anthesis en función de GCD, H y HR (Ecuación 9), las cuales presentan un ajuste entre 0,80 y 0,95.

$$Da = 27,919 e^{0,05W} \quad R^2 = 0,85 \quad \text{Error típico} = 4,33 \quad (7)$$

$$Db_c = 35,41 e^{-0,11W} \quad R^2 = 0,91 \quad \text{Error típico} = 2,49 \quad (8)$$

$$DPA = 0,16 H - (87,57GDC) + (20,66HR^{0,01}) \quad R^2 = 0,71$$

$$\text{Error típico} = 1,25 \quad (9)$$

En las ecuaciones 7 a 9:

Db_c: diámetro del fruto (mm)

Da: longitud del fruto (mm)

W: peso del fruto (g)

HR: humedad relativa (%)

H: Altitud (m,s,n,m)

GDC: grados días de crecimiento (°C)

En la tabla 2, se evidencia la relación entre los días después de anthesis (DPA) y el tiempo térmico (GCD) para el fruto de ciruela, Para el caso de la localidad A, el desarrollo del fruto de ciruela necesita 1470 GCD y 67 DPA para llegar a cosecha, mientras que para la localidad B, se requiere de 1835 GCD y 93 DPA, lo que indica que para que haya un desarrollo de fruto la localidad de mayor altitud requiere mayor cantidad de días calendario, así como mayor cantidad de GCD. Los grados día, describen los procesos fisiológicos por efectos de la temperatura (Lescano, 2016). Algunos estudios demuestran que los GCD son diferentes para cada cultivo a establecer (Parra-Coronado et al., 2015). Los grados días se utilizan para calcular el crecimiento y desarrollo en plantas, este tiempo fisiológico es utilizado para determinar algunos periodos fenológicos donde aparecen nuevos organelos, y de esta forma, proyectar la producción del cultivar (Urbina,

2015). De acuerdo con las características propias de las plantas cuando la temperatura, que es uno de los factores predominantes en cuanto a crecimiento y desarrollo se refiere, aumenta, se aceleran los procesos, lo que hace que, a menor altitud, sean menores los días de crecimiento acumulados (Parra-Coronado et al., 2015).

Tabla 2, Equivalencia entre días post anthesis (DPA) y grados día de crecimiento (GCD) del fruto de ciruela para las localidades de estudio,

LOCALIDAD A (2195 m,s,n,m,)		LOCALIDAD B (2567 m,s,n,m,)	
DPA (días)	GDC (°Cd)	DPA (días)	GDC (°Cd)
18	584,15	26	366,95
23	673,75	31	453,85
28	770,80	36	545,55
33	864,05	41	642,75
38	949,40	46	730,88
43	1054,05	51	944,25
48	1157,75	56	1045,55
53	1262,45	61	1134,8
58	1369,50	66	1220,55
67	1470,05	71	1309,50
		76	1409,80
		81	1531,55
		86	1627,95
		93	1835,35

Cada una de las variables fueron ajustadas de acuerdo con los diferentes modelos propuestos, para el caso de DPA en función de los GCD, la altitud y la humedad relativa, presenta un buen ajuste (Ecuación 9), para modelos lineales, en contraste con los modelos cuadráticos, exponenciales simples y sigmoideal logístico, lo que concuerda con lo reportado por Granados (2016), De acuerdo con las curvas de crecimiento obtenidas se puede observar que no son lineales, sino que muestran tres etapas, la primera es

creciente pero no lineal directa, una segunda etapa en la que se muestra un breve receso lineal que es dónde se forma el hueso y una tercera donde su crecimiento es total. De acuerdo con la descripción anterior, para la localidad A los GCD para estas tres etapas se comportan de la siguiente forma: primera etapa DPA 18 a 33 y 864 GCD, para la segunda etapa se tendrán de 33 a 48 DPA y 1157 GCD y el crecimiento total en 67 DPA y 1470 GCD. La localidad B se comporta de forma muy similar para las tres etapas, así: primera etapa de 26 a 41 DPA y 642 GCD, para la segunda etapa se tendrán de 41 a 66 DPA y 1220 GCD y el crecimiento total en 93 DPA y 1835 GCD. Este comportamiento es similar a lo reportado por Pacheco- Villamizar (2015) para frutos de durazno.

Fisher *et al.*, (2013), observaron que efectivamente los frutos presentan tres etapas de desarrollo y crecimiento, donde en la última fase la caracterización es más marcada debido a que se presenta un incremento en el volumen del fruto, lo cual ocurre en las dos localidades estudiadas (Tabla 1). Diferentes autores han utilizado diversos modelos para describir o caracterizar el crecimiento de algunos frutos, donde se observó que los modelos más ajustables a cualquier fruto han sido los modelos sigmoideal simple o doble, pero en los últimos años esta tendencia ha venido cambiando de acuerdo con los diferentes parámetros que se tienen para la construcción del modelo. Vera-Rodríguez *et al.*, (2022), encontraron un modelo ajustado para el fruto de ciruela variedad Horvin, donde el patrón de crecimiento se comporta de acuerdo con las especificaciones para drupas (Parra-Coronado *et al.*, 2007).

Análisis multivariado

Una vez realizado el análisis de factores por componentes principales (Tabla 3) indica que las variables más incidentes para el desarrollo de los modelos pertenecen al grupo del primer componente (CP1) y corresponden al peso, firmeza de la epidermis (Firepi), firmeza de la pulpa (Firpul), Sólidos Solubles Totales (SST), Días Post-antesis, Altitud (H), radiación (Rad), precipitación (P) y humedad relativa promedio (HR), En el componente (CP2), se tienen variables incidentes como diámetro de fruto (Db_c) y grados días de crecimiento (GDC). Para el tercer componente (CP3) se obtuvo que las variables que más inciden son el diámetro Da y el ángulo Hue (°h). Aunque la Acidez

Total Titulable (ATT) no está presente como variable incidente en los tres primeros componentes principales, será tomada en cuenta para el desarrollo de los modelos matemáticos por considerarse una variable importante en la calidad de los frutos de ciruela; además presenta un valor de comunalidad superior a 0,70.

Tabla 3, Coeficientes de los tres primeros componentes principales considerando todos los datos de las localidades A y B.

<i>Variable</i>	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>Comunalidades</i>
<i>Peso (g)</i>	0,90	0,15	0,22	0,89
<i>Da(mm)</i>	0,19	-0,38	0,85	0,90
<i>Db_c (mm)</i>	0,47	-0,71	0,32	0,82
<i>Hue (°h)</i>	0,10	0,13	0,93	0,89
<i>Firepi (N)</i>	0,78	0,20	0,07	0,53
<i>Firpulp(N)</i>	-0,82	-0,30	-0,09	0,81
<i>SST</i>	0,96	0,06	0,04	0,93
<i>ATT</i>	0,60	-0,51	-0,25	0,72
<i>Días Post-antesis</i>	0,98	0,16	0,08	0,71
<i>H(msnm)</i>	0,98	0,16	0,08	0,98
<i>GDC (°C)</i>	0,30	0,83	-0,03	0,98
<i>Rad $\Sigma[W/m^2]$</i>	0,97	0,22	0,07	0,97
<i>P (Σmm)</i>	0,98	0,16	0,08	0,79
<i>HR-promedio (%)</i>	0,98	0,14	0,08	0,98
<i>Valor propio</i>	8,34	1,91	1,84	
<i>Varianza (%)</i>	59,54	13,61	13,15	
<i>Varianza acumulada (%)</i>	59,54	73,15	86,31	

* CP1, CP2, CP3: componentes principales 1, 2 y 3 respectivamente, Valores > 0,7 (Valor absoluto) aparecen en negrilla,

Para el primer componente principal (CP1), que contribuye con el 59,54% de la varianza, las variables climáticas que tienen mayor incidencia son la altitud, la precipitación la humedad relativa y la radiación, mientras que las variables dependientes que tienen mayor incidencia en este componente son los SST, el peso de los frutos, la firmeza de la epidermis y la firmeza de la pulpa. Para el segundo componente principal (CP2), que contribuye con el 13,61% de la varianza, la variable independiente que tiene mayor incidencia es los GCD, mientras que las variables dependientes que tienen mayor incidencia en este componente es Db_c (mm).

Para el tercer componente principal (CP3), que contribuye con el 13,15% de la varianza, la variable dependiente que tiene mayor incidencia es la longitud y el Hue (°h), lo que concuerda con Podesta (2002), quien considera que el color del fruto y el peso en frutos de ciruela (el color cambia generalmente de tonalidad de rojo pálido a rojo encendido, y el peso tiende a aumentar) cambian en la última semana de su etapa de madurez fisiológica (Molina-Ochoa *et al.*, 2015). Además, uno de los valores de componentes principales con mayor ponderación fue la humedad relativa. En relación con las condiciones climáticas encontradas para la creación de modelos a partir de esta variable climática es preciso afirmar que: la altura en conjunto con la humedad relativa y la precipitación los cuales son factores fundamentales para el desarrollo de la pulpa en los frutos de ciruela.

De acuerdo con Parra-Coronado *et al.*, (2007), en un estudio realizado para ciruela variedad Horvin, en el mismo municipio (Nuevo Colón-Boyacá) para el año 2007, se encontró que algunas condiciones climáticas pueden influir en el crecimiento y desarrollo de la producción de frutos, tales como la altitud, la precipitación y la humedad relativa, lo

cual tiene similitud con esta investigación. Según Africano et al, (2016), durante el crecimiento de los duraznos (*Prunus pérsica L, Batsch*), se observa un interesante proceso de transformación en su aspecto y composición. A medida que avanzan en su desarrollo, estos frutos experimentan cambios en su color, textura y contenido de nutrientes. En la etapa temprana de crecimiento, los duraznos muestran una epidermis de color verde debido a la presencia de clorofilas, que son los pigmentos responsables del color verde en las plantas. Sin embargo, a medida que maduran, comienza a degradarse la clorofila y pigmentos como las antocianinas y los carotenoides, lo que da lugar a las tonalidades rojizas y amarillas características de los duraznos maduros, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación. Un indicador de madurez fisiológica es el color, el cual determina el momento preciso en el cual se debe hacer su recolección.

Según Africano *et al*, (2016), los cambios de color son indicativos de en qué momento se debe cosechar para evitar pérdidas por exceso de maduración. Otra variable importante de madurez fisiológica es la firmeza, que de acuerdo con Fischer et al., (2012), los frutos a medida que se van desarrollando van perdiendo su firmeza, como reacción de algunas enzimas presentes en los tejidos del fruto, lo que coincide con lo determinado en la presente investigación.

Tabla 4, Coeficientes de los tres primeros componentes principales considerando solamente la altitud (H) como variable climática.

<i>Variable</i>	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>Comunalidades</i>
<i>días post-antesis</i>	0,99	0,02	0,01	0,97
<i>H(msnm)</i>	0,99	0,02	0,01	0,98
<i>Peso (g)</i>	0,92	0,12	0,04	0,87
<i>Da(mm)</i>	0,21	0,91	0,07	0,87
<i>Db_c</i>	0,56	0,55	0,41	0,78
<i>SST(°Brix)</i>	0,92	0,04	0,27	0,92
<i>ATT (%)</i>	0,49	-0,05	0,82	0,91
<i>Angulo hue (°hue)</i>	0,20	0,85	-0,29	0,85
<i>Firepi (N)</i>	0,72	-0,05	-0,25	0,58
<i>Firpulp(N)</i>	-0,87	0,05	0,16	0,79
<i>Valor propio</i>	5,09	1,93	1,52	
<i>Varianza (%)</i>	50,86	19,28	15,16	
<i>Varianza acumulada (%)</i>	50,86	70,14	85,30	

* CP1, CP2, CP3: componentes principales 1, 2 y 3 respectivamente, Valores > 0,7 (Valor absoluto) aparecen en negrilla,

Para el primer componente principal (CP1), que contribuye con el 50,86% de la varianza, las variables de calidad precosecha que tienen mayor incidencia son el peso, los SST, y Firpulp (disminuyendo), considerando solamente H como variable climática. Para el segundo componente principal (CP2), que contribuye con el 19,28% de la varianza, la variable de calidad precosecha que tiene mayor incidencia es el Da y Angulo hue (°hue). Para el tercer componente principal (CP3), que contribuye con el 15,16% de la varianza, la variable dependiente que tiene mayor incidencia es la ATT. El análisis muestra comunalidades con valores altos, lo que indica que los componentes extraídos representan bien las variables de calidad. Los resultados concuerdan con lo observado donde el peso de los frutos de ciruela en el momento de la cosecha, fueron superiores para aquellos frutos producidos a mayor altitud (Localidad B), donde la radiación solar acumulada es mayor (7,6 KW/m²).

Cepeda et al, (2021) muestra tendencias similares en frutos de manzana cv Anna e indican que los frutos que presentaron los valores más bajos en cuanto a GDC fueron los producidos a mayor altura con valores de 455,39 y 589,32 GCD y de 45 y 60 DDA, lo que concuerda con la presente investigación, Se observó, además, que uno de los componentes principales que tiene los coeficientes más altos con 0,99 es la precipitación acumulada (correspondiente a localidad B) y mayor humedad relativa promedio (Tabla 1), fueron las que produjeron frutos de mayor longitud y mayor diámetro, lo que concuerda con Parra-Coronado et al., (2007), quienes manifiestan que un cultivar de ciruela necesita precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anual, a su vez será tolerante en rangos de 1500 a 2500 mm para garantizar un buen desarrollo de fruto y buena calidad en la cosecha.

5.4.6. Modelos matemáticos para las variables de calidad del fruto de ciruela en función de las condiciones climáticas

Los modelos se obtuvieron considerando las variables de mayor incidencia, de acuerdo con los resultados arrojados por el análisis multivariado, Para la presente investigación se tuvieron en cuenta variables como peso, firmeza en epidermis (Firepi), firmeza en pulpa (Firpul), SST, ATT, ángulo hué, además de las variables climáticas, GCD, H, P, HR.

Para la selección de que modelo que se ajusta mejor, se evaluaron ecuaciones de tipo exponencial, lineal jerárquico, y polinomial, donde se escoge el modelo polinomial de segundo grado, debido a que este modelo es el que mejor se ajusta de acuerdo con las variables dependientes e independientes.

Ecuación para peso del fruto (W),

Los modelos matemáticos propuestos para el peso del fruto en función del tiempo térmico mostraron un buen ajuste, con un valor de R^2 alto y bajo error típico.

$$W = 0,058e^{(0,01H)+(10,78GDC)+(0,056P)+(0,058HR)+(0,29)}$$

$$R^2 = 0,85 \quad \text{Error típico} = 2,29$$

Ecuación para longitud del fruto (Da),

$$Da = (H + 0,00000267GDC + 0,00000056P + 0,00075HR)^2 + (H - 0,0135GDC + 0,0018P + 0,0058HR) + 76,23$$

$$R^2 = 0,63 \quad \text{Error típico} = 1,45$$

Ecuación para diámetro del fruto (Db_c)

$$Db_c = (-0,00000026H + 0,0000089GDC - 0,0000396P + 0,001HR)^2 + (H - 0,033GDC + 0,00018P + 0,0013HR) + 146,55$$

$$R^2 = 0,75 \quad \text{Error típico} = 1,56$$

Ecuación para color de la epidermis (hue)

$$hue = (-0,000051H + 0,00019GDC + 0,0000763P + 0,003HR)^2 + (0,039H - 0,092GDC + P + 0,001HR) + 1822,02$$

$$R^2 = 0,49$$

$$\text{Error típico} = 1,49$$

Ecuación para la acidez total titulable (ATT)

$$\text{ATT} = (0,00000022H + 0,00000106GDC + P + 0,00001HR)^2 \\ + (H + GDC - 0,00000133P + 0,003HR) + 0,715$$

$$R^2 = 0,60$$

$$\text{Error típico} = 2,57$$

Ecuación para firmeza de la epidermis (FirEpi)

$$\text{Firepi} = (H + 0,000031GDC + 0,00000011P + 0,00015HR)^2 \\ + (0,003H + 0,00446GDC + 0,004P + 0,00005HR) + 15,87$$

$$R^2 = 0,71$$

$$\text{Error típico} = 1,20$$

Ecuación para firmeza de la pulpa (FirPul)

$$\text{Firpul} = (0,00012H + 0,00003GDC + 0,000035P + 0,00075HR)^2 \\ + (H + GDC + 0,0000012P + 0,0019HR) + 5,69$$

$$R^2 = 0,75$$

$$\text{Error típico} = 0,88$$

Ecuación para sólidos solubles totales (SST)

$$\text{SST} = (H + 0,000056GDC - 0,001P + 0,0012HR)^2 \\ + (-0,007H + GDC + 0,0010P + 0,000081HR) + 84,91$$

$$R^2 = 0,86$$

$$\text{Error típico} = 1,21$$

En las ecuaciones anteriores:

W: peso del fruto (g)

ATT: acidez total titulable (% ácido cítrico)

SST: sólidos solubles totales (°Brix)

Firepi: firmeza de la epidermis (N)

Firpul: firmeza de la pulpa (N)

hué: color de la epidermis del fruto; ángulo hué (°h)

H: Altitud de la zona de producción (m.s.n.m)

GDC: grados día de crecimiento (°C)

HR: Humedad relativa promedio (%)

P: precipitación acumulada (mm) registrada en la zona

El peso del fruto se ajustó a un modelo exponencial modificado, mientras que las demás características del fruto (ATT, SST, firmeza y hué) se ajustaron a modelos cuadráticos jerárquicos de segundo orden.

Tabla 4, Valores de Validación cruzada de características fisicoquímicas del fruto de ciruela, peso (*W*), longitud (*Da*), diámetro (*Db_c*), color (*hue*), ATT, STT, firmeza de epidermis (*Firepi*), firmeza pulpa (*Firpul*).

<i>Validación cruzada de características fisicoquímicas del fruto de ciruela</i>				
<i>característica</i> <i>a</i>	<i>Ecuación</i>	<i>R</i> ²	<i>Índice de concordancia</i> <i>a</i>	<i>RMSE</i>
<i>W</i>	$y = 0,7451x + 1,256$	0,72	0,85	2,51
<i>Da</i>	$y = 0,1936x + 15,336$	0,41	0,88	4,60
<i>Db_c</i>	$y = 0,1506x + 13,2256$	0,40	0,87	3,38
<i>hue</i>	$y = 0,5023x + 87,486$	0,56	0,70	1,26
<i>ATT</i>	$y = 0,4663x - 0,056$	0,47	0,82	2,58
<i>STT</i>	$y = 0,51146x + 1,329$	0,89	0,49	4,33
<i>Firepi</i>	$y = 0,8152x - 1,426$	0,58	0,82	5,19
<i>Firpul</i>	$y = 0,69523x - 0,211$	0,88	0,81	2,20

En la Tabla 4 se presentan los valores de la evaluación de los modelos por validación cruzada mediante la comparación del peso, la longitud, el diámetro, el color la ATT, STT, Firepi, Firpul, las longitudes y diámetros predichos y observados durante el crecimiento del fruto, La evaluación de la validación cruzada y los parámetros del análisis de regresión evidencian que los modelos de mejor predicción en función de las condiciones climáticas (altitud, GDC, precipitación y humedad relativa) corresponden al peso de los frutos, la firmeza en la pulpa y el contenido de STT, con valores de R^2 superiores a 0,7, En cuanto a la concordancia estadística, el intercepto no es significativamente distinto de cero, estas estimaciones reflejan una buena bondad entre los ajustes estimados (Y) y los observados (Parra-Coronado *et al.*, 2017). El ajuste muestra que, en todos los modelos lineales de tendencia central, la raíz de la regresión del error cuadrado medio (RMSE) muestra también un buen ajuste de los modelos para las localidades estudiadas, lo que concuerda con lo investigado por (Parra-Coronado *et al.*, 2017), donde para el cultivo de feijoa en la propuesta de modelos de selección para calidad en frutos, se involucran variables como altitud GCD, precipitación entre otras mostrando una acertada bondad de ajuste en los modelos propuestos.

Las variables que no presentan incidencia se descartan debido a que, si se incluyen todas las variables en consideración, el modelo resultaría dispendioso a la hora de calcular la variable dependiente. En consideración se podría establecer un modelo matemático que las reuna, en consecuencia, se toman las variables mas incidentes determinadas en el análisis de componentes múltiples.

5.4. CONCLUSIONES

Los modelos matemáticos obtenidos permitirán realizar predicciones relacionadas con la evolución de la calidad del fruto de ciruela en la etapa de crecimiento y desarrollo, los cuales servirán de insumo, para determinar el momento oportuno de recolección de fruto, además de tener un valor aproximado de cuanta cosecha se podría obtener en cada ciclo, y realizar labores culturales como podas, riegos, etc, de manera oportuna.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la humedad relativa (HR), los grados-día de crecimiento (GDC), la altitud (H) y la precipitación (P), son las

variables climáticas que más inciden en las características fisicoquímicas en el fruto de ciruela a lo largo de su desarrollo.

El modelo en función de la altitud, GDA, precipitación y humedad relativa, evidencia un buen ajuste para variables como STT, firmeza en la pulpa (firpul), firmeza en la epidermis (firepi), longitud, diámetro y peso.

Los parámetros de la validación cruzada muestran que los modelos de crecimiento para peso, STT, y firmeza en pulpa, en función variables climáticas como altura, GDA y precipitación, y humedad relativa, para la predicción del desarrollo del fruto de ciruela muestran un alto coeficiente de determinación, lo que indica que la simulación y el modelo generado podrían servir como insumo para posteriores investigaciones, en otras variedades de ciruela.

Analizando los datos de longitud y diámetro, se pueden determinar mediante los modelos generados, el valor del peso y con este valor determinar la producción potencial del cultivo, que permitirá al agricultor saber que cantidad de frutos obtendrá por cosecha y de esta forma proyectar el ingreso económico que recibirá.

De acuerdo a los resultados se deben realizar validaciones periódicas con el fin de determinar algunas variaciones que puedan presentarse en el modelo matemático en diferentes localidades donde hubiese producción, considerando otros factores de crecimiento adicionales, en donde se implementen diversas prácticas agrícolas, diferentes tipos de suelo y diferentes variedades de ciruela.

5.5. AGRADECIMIENTOS

Al profesor Jorge Luis Rojas Firavitoba, por su valioso aporte en la construcción de modelos matemáticos, a partir de estadística aplicada, Al Profesor Antonio Corzo Salamanca y su grupo de estudiantes del departamento de estadística de la facultad de ciencias, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá por su valioso aporte.

5.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS,

Agronet, (2021), Estadísticas Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>

Africano-Pérez, K., Almanza-Merchán, H, Criollo, A, Herrera, and H,E, Balaguera-López, (2016), Caracterización poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica*(L.) Batsch] cv, Dorado producido bajo condiciones de trópico alto, Rev, Colomb, Cienc, Hortic, 10(2), 232-240, Doi: 10,17584/rcch,2016v10i2,5212.

Altieri, M, & Nicholls, C,, (2013), Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas, Agroecología, 8(1), 7-20.

Alvarez Orozco, R, & Avellaneda Franco, M, (2015), Identificación de impactos en el sector agrícola y en la energía disponible de la central hidroeléctrica AES Chivor, asociados a la variación en el mesoclima producto de la formación antrópica de la lámina de agua del embalse La Esmeralda.

Álvarez-Herrera, J, Rozo-Romero, X, Reyes, A, J, (2015) comportamiento poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* Lindl.) en cuatro estados de madurez tratados con etileno, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 1: 46-59.

- Ardila, G., Fischer, G, Balaguera-López, H,E, (2011), Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero, Rev, Colomb, Cienc, Hortíc, 5 (1): 44-56.
- Barraza, F, Fischer, G., & Cardona, C, E, (2004), Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill,) en el Valle del Sinú medio, Colombia, Agronomía Colombiana, 22(1), 81-90.
- Chenxin Z, Xiao Z, Ying L, Xiaoyu N, Honghong W, Yang L, 2023, Research on Hyperspectral Regression Method of soluble Solids in Green Plum Based on One-Dimensional Deep Convolution Network, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123151>.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P, J., y Ramírez, F, (2013), Source-sink relationships in fruit species: A review, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 6(2), 238–253, <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1980>.
- Hernández, M., Martínez, O, & Fernández-Trujillo, J, (2007), Behavior of Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening, , Sci, Hortic, 111: 220-227.
- Granados, R, M, (2016), Modelos de regresión lineal múltiple, Granada, España: Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Granada.
- Karlin, M, S, (2013), Cambio climático en zonas semiáridas: El caso Chaco Árido, Editorial Académica Española.
- Lescano Vega, F, J, (2016), Determinación de grados días desarrollo en el cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis*) (Bachelor's thesis, latacunga/utc/2016).
- Marco, V, (2001), Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura, Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados-día, Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, 28, 147-150.

- Martínez, B, (2011), Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión, Tropical and subtropical, Cambio climático: una visión desde México, Instituto Nacional de Ecología, Vol 5, No 1 (13-18).
- Medina-Torres, R, (2000), Fenología y producción forzada de frutales caducifolios bajo condiciones subtropicales, Tesis Dr, Universidad de Colima, 161p.
- Molina-Ochoa, M, Vélez-Sánchez, J, & Rodríguez, P, (2015), Efecto del riego deficitario controlado en las tasas de crecimiento del fruto de pera (*Pyrus communis* L.), var, Triunfo de Viena, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 9(2), 234-246.
- Noa Rayme, G, J., & Quispe Paucarhuanca, N, M, (2021), Influencia térmica en la fenología de dos líneas promisorias de pallar (*Phaseolus lunatus* L.) precoz, en Subtanjalla-Ica.
- Orjuela-Angulo, M, Parra-Coronado A, Camacho-Tamayo, J, H, (2022), Base temperature for a phenological stage in plum cultivar Horvin (*Prunus salicina* Lindl.), Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 16(3), e15179, <https://doi.org/10.17584/rcch,2022v16i3,15179>.
- Orjuela-Angulo, M, (2017), Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad "Horvin", en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá, Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola [428], <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58751>,
- Ortiz, C, (2019), Conocimiento especializado del profesorado de educación básica para la enseñanza de la probabilidad, Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado, Universidad Católica de Chile, 23(1):393-419.
- Pacheco Villamizar, A, (2015), Evaluación de la relación entre el crecimiento del área foliar y del fruto del duraznero (*P. Persica* (L) Batsch) variedad Jarillo, durante un ciclo de producción en la provincia de Pamplona [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona], Repositorio Hulago Universidad de Pamplona, <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/233>
- Parra-Coronado, A, Camacho-Tamayo, J, H., Fischer, G, (2017), Model of pre-harvest quality of pineapple guavafruits (*Acca sellowiana* (O, Berg) Burret) as a function of

weather conditions of the crops, *Bragantia*, Campinas, 76 (1): 177-186, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499,652>

Parra-Coronado, A, Fischer, G., Camacho-Tamayo, J, H, (2015), Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia, *Bragantia*, Campinas, 74 (3): 359-366, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499,0459>

Parra-Coronado, A, (2014), Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O, Berg) Burret), Tesis Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de agronomía, Escuela de posgrados, Bogotá, Colombia.

Parra-Coronado, A,; Hernández-Hernández, J,E, (2008), Fisiología poscosecha de frutas y hortalizas, 4ª ed, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Parra-Coronado, A, Hernández-Hernández, J, & Camacho-Tamayo, J, (2007), Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la ciruela variedad Horvin, *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 431-437.

Podestá- Lidia, (2002) "Ciruela japonesa: parámetros de madurez y calidad", En: *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol, 34, no, 1, p, 63-70, Dirección URL del artículo: <https://bdigital.uncu.edu.ar/3037>, Fecha de consulta del artículo: 29/04/23.

Rodríguez, A, (2015), Determinación experimental y modelación matemática de los flujos de transporte de hierro en células Caco-2, tesis para optar al grado de magíster en ciencias de la ingeniería, mención química, repositorio,uchile.cl, Santiago de Chile, p, (12-15).

Sánchez, P, (2015), Influencia de la temperatura en etapas poscosecha sobre la calidad de diferentes variedades de ciruelas, Universidad politécnica de valencia escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio ambiente, 5-12.

- Solís Mateos, M, (2016), Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait,) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha, Disertación Doctoral Universitat Politècnica de València, Revista Dialnet.
- Urbina Vallejo, V, (2015), El medio ecológico en plantaciones frutales.
- Valencia-Calvo, J, Franco-Cardona, C, J.; Olivar-Tost, G, & Dyner-Rezonzew, I, (2016), Enfoque metodológico para el estudio y representación de comportamientos complejos en mercados de electricidad, Ingeniería y Ciencia, 12(24): 195-220.
- Vanegas K, (2016), Estudio de métodos y tiempos del área de suscripción para una compañía de seguros (Bachelor's thesis).
- Vera Rodríguez, N, Pérez Chasoy, L, (2021), Evaluación de los parámetros morfo fisiológicos de crecimiento del área foliar y diámetros del fruto en 13 árboles de ciruelo ([*Prunus salicina* (Lindl,)] cv, Horvin, en el Municipio de Pamplona [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona], Repositorio Hualago Universidad de Pamplona.
<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20,500,12744/3114>.

6. Modelo de calidad poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* L.) en función de las condiciones climáticas.

6, Postharvest quality model of plum fruits (*Prunus salicina* L.) depending on climatic conditions.

Mayerlin Orjuela Angulo¹,

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Colombia).

6.1 RESUMEN

Las condiciones climáticas de cultivo son factores determinantes de la calidad de los frutos en el momento de la cosecha y durante la poscosecha, El objetivo de este estudio fue proponer un modelo de calidad poscosecha del fruto de ciruela en función de las condiciones climáticas prevalecientes en las localidades estudiadas y a su vez de las condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente (17°C) y temperatura de refrigeración (6 °C). Se recolectaron durante tres cosechas, frutos en estado de madurez fisiológica, para las localidades A (2195 msnm, 23,36 °C, 79,93% HR, precipitación media anual 1085,83 mm, radiación solar 6,60 Kw/m²) y localidad B (2567 msnm, 15,96°C, 91,75% HR, precipitación media anual 1352,55 mm, radiación solar 7,40 Kw/m²), ubicadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá – Colombia). Los frutos se almacenaron a 17±1°C (76±5% HR, durante 7 días) y 6±1°C (87±5% HR. Durante 13 días), obteniéndose los modelos para las características poscosecha con más significancia en la calidad en el periodo poscosecha, Una vez realizados los análisis, los resultados muestran que las condiciones de almacenamiento y las condiciones climáticas prevalecientes en el cultivo, debido a la altitud de cada localidad, inciden en las características físicas y químicas de los frutos de ciruela durante su comportamiento poscosecha.

Palabras clave: peso, sólidos solubles totales, acidez total titulable, firmeza,

ABSTRACT

The climatic conditions of cultivation are determining factors of the quality of the fruits at the time of harvest and during the post-harvest, quality that is defined by the physicochemical and physiological characteristics of the fruit, The objective of this study was to propose a model of postharvest quality of the plum fruit based on the climatic conditions prevailing in the studied localities and, in turn, the storage conditions at room temperature (17°C) and refrigeration temperature (6 °C), Fruits in a state of physiological maturity were collected during three harvests, for locations A (2195 masl, 23,36 °C, 79,93% RH, mean annual rainfall 1085,83 mm, solar radiation 6,60 Kw/m²) and location B (2567 masl, 15,96°C, HR 91,75%, average annual precipitation 1352,55 mm, solar radiation 7,40 Kw/m²), located in the municipality of Nuevo Colón (Boyacá – Colombia), The fruits are stored at 17±1°C (76±5% HR, for 7 days) and 6±1°C (87±5% HR, for 13 days), obtaining the models for the postharvest characteristics with the most significance in the quality in the postharvest period, Once the analyzes were carried out, the results show that the storage conditions and the climatic conditions prevailing in the crop, due to the altitude of each locality, affect the physical and chemical characteristics of the plum fruits during their postharvest ripening.

Key words: weight, total soluble solids, total titratable acidity, firmness, growing degree days

6.2 INTRODUCCIÓN

Según López & Hernández (2016), a lo largo del tiempo, los agricultores han demostrado una notable capacidad de adaptación y han ideado diversos métodos para modificar las condiciones medioambientales de sus cultivos. Estas estrategias buscan anticipar y mejorar la calidad de la producción agrícola, lo que resulta crucial para satisfacer la creciente demanda de alimentos y garantizar la sostenibilidad en el campo. Cuando se planifica el cultivo de plantas, es importante tomar en cuenta las características climáticas de la zona. Cada cultivar tiene necesidades específicas en cuanto a temperaturas, humedad, radiación solar y otros factores ambientales que influyen en su crecimiento y desarrollo. Las temperaturas bajas de 10 a 12 °C, o durante unos días consecutivos no destruyen los cultivos, pero afectan su comportamiento y afectan la productividad, tanto cuantitativamente como cualitativamente. Álvarez et al., (2015) indican que algunas modificaciones presentadas en algunos cultivares de ciruela, hacen que se presenten cambios en sus características fisicoquímicas, tales como en el peso, tamaño, color, turgencia y contenido de azúcares entre otras, siendo estas características las responsables de determinar la calidad en los frutos de ciruela.

Los frutos de clima son frutos climatéricos que tienen la capacidad de proseguir el proceso de maduración después de ser cultivados, debido a que presentan un incremento rápido en la actividad respiratoria y su producción de etileno se intensifica después de la recolección, (Flores León, 2022). Para cuantificar el índice de cosecha se puede medir la firmeza de la pulpa con un penetrómetro para determinar un índice de madurez máxima. Otra de las características de poscosecha es el color, el cual es uno de los parámetros que más cambia durante la maduración y es el índice de madurez más utilizado en la cosecha y comercialización del fruto de ciruela (Solís, 2016).

Los modelos matemáticos corresponden a una representación abreviada, a través de ecuaciones o funciones matemáticas, de una relación entre dos o más variables. Existen diferentes tipos de modelos de simulación (Vilches 2019). Las ecuaciones matemáticas desempeñan un papel fundamental en la explicación y comprensión de las características esenciales y el funcionamiento de diversos sistemas físicos y procesos. Estas ecuaciones nos permiten describir de manera precisa y cuantitativa cómo se relacionan las diferentes variables y cómo evolucionan a lo largo del tiempo (Mohd et al., 2021). Los modelos de simulación han permitido realizar un engranaje en la caracterización de los sistemas agrícolas con respecto a cambios fisiológicos, tales como color, turgencia, contenido de ácidos y de azúcares, entre otros (Pérez & Pérez, 2008), que permiten analizar de forma cualitativa y cuantitativa impactos económicos, ambientales y agrícolas. Investigaciones realizadas para ciruelas en la parte poscosecha muestran que según Mohd et al., (2021), los modelos matemáticos establecidos para determinar el efecto de la humedad en frutos de ciruela, en su dureza y tenacidad. Después de realizar ensayos de esfuerzo-deformación, mostraron que el contenido de humedad de los granos de ciruela es imperativo en clasificación basada en la humedad de los granos en su conservación de energía, su diseño de manejo y su maquinaria de procesamiento. De acuerdo a que no se conocen estudios relacionados en la parte poscosecha de calidad de fruto se hace necesaria la construcción de un Modelo de calidad poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* L.) en función de las condiciones climáticas. Donde el objetivo de este trabajo fue determinar un modelo de calidad poscosecha de frutos de ciruela en función de las condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad relativa) y de las condiciones climáticas prevalecientes en el cultivo, que permita predecir las características fisicoquímicas del fruto durante su almacenamiento.

6.3 MATERIALES Y MÉTODOS,

6.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio,

El estudio se realizó en dos zonas (localidades), ubicadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá), en las localidades observadas se encuentran patrones de durazno injertados con púas de ciruela variedad Horvin, (*Prunus salicina* L). de aproximadamente 20 años de edad (sembrados aproximadamente en 2012). Se tomaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 40 árboles para el estudio. Los frutos de ciruela se recolectaron en su estado de madurez fisiológica en las dos localidades, que se caracterizan por ser pequeñas extensiones de tierra (minifundios). En ambas localidades se realizó el mismo manejo en cuanto a poda, riego, fertilización, con el fin de eliminar la influencia de este manejo en el cultivo. Las localidades se encuentran ubicadas en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá de la siguiente forma: finca Blanquita (localidad A) ubicada a 5° 20' 17,56" N y 73° 27' 53,85" W, altitud 2195 m.s.n.m. finca Ana (localidad B), ubicada entre las coordenadas 5° 21' 26,5" N y 73° 28' 10,8" W, altitud 2567 m.s.n.m. Las condiciones climáticas de las localidades consideradas en el estudio, durante el crecimiento y desarrollo del fruto hasta la recolección, se obtuvieron en un período de registro de dos años (2021 a 2022).

6.3.2 Diseño experimental

Se tomaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 40 árboles para el estudio. La información recolectada permite tener el número de datos suficientes para el desarrollo y la validación del modelo. Se recolectaron 100 frutos durante tres cosechas, tratando de que tuvieran un mínimo o nulo número de defectos o de daños

mecánicos. Estos frutos fueron desinfectados mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm. Los frutos fueron seleccionados de acuerdo con cada localidad y para cada una de las cosechas estudiadas, y se almacenaron a temperaturas de $17\pm 2^{\circ}\text{C}$ (79,9 \pm 5% HR, durante 7 días) y $6\pm 1^{\circ}\text{C}$ (91,0 \pm 5% HR, durante 13 días).

6.3.3 Variables medidas

Las variables poscosecha medidas en el estudio fueron: pérdida de peso, para lo cual se midió el peso unitario de los frutos (frutos en total) utilizando una balanza electrónica marca OHAUS, con capacidad de 2500 g, precisión 0,01 g), Se empleó la norma NTC 756. La ATT se determinó por medio de un titulador METROHM Ti touch-916. Para la determinación de SST se utilizó un refractómetro HANNA HI 96801 con rango de medida hasta 85% ($^{\circ}\text{Brix}$). La firmeza se determinó utilizando un texturómetro LLOYD LS1, con área de trabajo de 180 mm (7,08 in), y análisis de perfil de textura hasta de 1 Kn. Para la variable color se utilizó un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA). La relación de madurez (RM) se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT). Los anteriores parámetros se determinaron para los frutos de cada uno de los surcos experimentales, día de por medio, para cada una de las temperaturas de almacenamiento (ambiente = 17°C y refrigerado = 6°C). El diseño estadístico fue enteramente casualizado, con cinco repeticiones por ensayo.

6.3.4 Evaluación de modelos matemáticos

Con las ecuaciones que presentaron el mejor ajuste se procede a determinar un modelo para cada una de las variables medidas de calidad poscosecha, en función de las condiciones de almacenamiento, así como en función del lugar de procedencia. Para la selección del mejor modelo matemático se consideró la metodología creada por Parra-Coronado (2014). Se seleccionó el modelo de acuerdo con las ecuaciones que presentaron el mejor ajuste. Se probaron modelos de tipo polinomial, exponencial y sigmoidal, donde a partir de la presente investigación se mostró que el que presenta mejor ajuste corresponde a un modelo polinomial cuadrático. Se seleccionó el modelo de

mejor ajuste para cada variable dependiente, utilizando el criterio de mayor coeficiente de determinación (R^2) y menor error estándar (Parra-Coronado, 2014).

6.3.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron por medio del paquete estadístico SPSS v,20 (Chicago, IL), por medio del cual se determina el análisis de factores por componentes principales este análisis de correspondencias múltiple es una técnica exploratoria que permite el análisis multivariado de un conjunto de variables o características de una muestra dentro de la lógica de la "reducción de información", (Mediante esta técnica se busca identificar factores principales en un conjunto de información y al mismo tiempo observar las distancias existentes entre las categorías de las variables originales), para posteriormente desarrollar modelos de regresiones cuadráticas, exponenciales, lineales jerárquicas, Con el anterior análisis se pretende identificar qué variables tienen mayor incidencia en la obtención de los modelos sugeridos, (Orjuela-Angulo et al., 2022).

Para visualizar la bondad del modelo, se evaluó con los datos restantes, los cuales no fueron utilizados para la obtención del modelo, además de la validación cruzada entre los valores observados y los valores simulados. El coeficiente de determinación (R^2), el índice de concordancia d (Ecuación 1) y la raíz de la regresión del error cuadrado medio RMSE (Ecuación 2) se calcularon para determinar el rendimiento del modelo general (Parra-Coronado et al., 2017).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i' + O_i')^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (1)$$

Donde n es el número de observaciones, P_i el valor predicho para la i -ésima fecha y O_i el valor observado para la i -ésima fecha, $P_i' = P_i - \bar{O}$ y $O_i' = O_i - \bar{O}$, la media general de los valores observados es \bar{O} .

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Donde n es el número de observaciones, P_i el valor predicho para la i-ésima fecha y O_i el valor observado para la i-ésima fecha.

6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.4.1 Características fisicoquímicas de los frutos en la cosecha

De acuerdo con los datos presentados (Tabla 1), el análisis de varianza evidencia que se presentan diferencias estadísticas para las localidades y cosechas estudiadas, en parámetros como diámetro, longitud, SST, ATT, ángulo hue y firmeza de pulpa, donde se evidencia que el valor de estas características en el momento de la cosecha está directamente relacionado con las condiciones climáticas de cada localidad, (Martínez González, 2017; Parra-Coronado et al.,2017).

Tabla 1, Valores medios¹ de las características fisicoquímicas del fruto de ciruela,

Parámetro	Localidad - Cosecha					
	localidad A - 1	localidad A -2	localidad A -3	localidad B - 1	localidad B - 2	localidad B -3
Peso fresco (g)	5,65±0,77a	5,76±1,36a	7,31±1,55a	7,31±1,56a	11,06±1,50a	11,65±3,03a
Longitud (mm)	20,04±1,62a	20,04±1,62a	21,45±1,64a	18,82±1,42a	23,11±2,99a	26,76±2,06b
Diámetro (mm)	19,36±1,95a	19,36±1,96a	20,75±1,70a	17,9±1,35a	28,75±1,77a	25,38±1,90a
SST (°Brix)	7,75±0,10a	7,78±1,0a	7,80±0,12b	7,04±1,11b	7,11±1,09a	7,23±0,15a
ATT (%)	0,21±2,36a	0,19±5,35a	0,20±3,32a	0,24±3,56a	0,22±1,87a	0,24±1,50a
Ángulo hue (°h)	340,19±5,37a	340,22±5,38a	340,74±5,24a	324,12±26,26b	318,77±24,58a	318,23±15,32b
Firmeza epiermis (N)	25,67±1,13a	22,41±2,03a	24,88±6,23a	22,91±3,52a	20,81±1,68a	22,67±8,57a
Firmeza pulpa (N)	6,41±0,75a	6,12±0,84a	6,26±1,78a	5,22±0,44a	5,07±1,98a	4,99±9,54a

¹ Media ± ds Medias seguidas de letras distintas en el mismo parámetro, indican diferencias significativas, según prueba de T-Student ($P \leq 0,05$),

En cuanto al ángulo hue, presenta diferencias estadísticas para la segunda cosecha, en la localidad A, como también lo presenta el diámetro y peso, para la localidad B en la cosecha 2, además de la longitud para la localidad B, en la cosecha 1. De acuerdo con la información anterior se puede inferir la incidencia que tiene las condiciones climáticas en el cultivo.

Los parámetros peso y firmeza en epidermis, no presentaron diferencias estadísticas entre las diferentes cosechas y localidades, lo cual indica que las condiciones climáticas prevalecientes durante el desarrollo de los frutos no inciden en estas características en el momento de la cosecha.

6.4.2 Análisis multivariado

El análisis multivariado para esta investigación se realizó con todos los datos de las dos localidades, considerando las distintas variables (Tabla 2), tanto climáticas como de almacenamiento y las variables fisicoquímicas correspondientes a los frutos de ciruela.

Los resultados del análisis indican que las condiciones climáticas prevalecientes en el cultivo, así como las variables de almacenamiento (Humedad relativa y Temperatura) influyen en las características de calidad de los frutos de ciruela en la poscosecha.

Tabla 2, Análisis multivariado localidad A y localidad B, considerando variables climáticas y variables de almacenamiento,

<i>Variable</i>	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>Comunalidades</i>
<i>Tiempo almacenamiento (t)</i>	0,70	0,65	0,08	0,91
<i>H(msnm)</i>	0,98	0,05	0,02	0,96
<i>GDC (°C)</i>	0,35	0,88	0,10	0,92
<i>Rad Σ[W/m²]</i>	0,30	0,04	0,30	0,96
<i>P (Σmm)</i>	0,27	0,37	0,70	0,80
<i>HR-promedio (%)</i>	0,40	0,34	0,40	0,47
<i>Temperatura almacén-T (°C)</i>	0,85	0,15	0,02	0,79
<i>HR-almacén (%)</i>	0,97	0,11	0,03	0,96
<i>Pérdida de peso(%)</i>	-0,80	0,33	-0,17	0,79
<i>SST(°Brix)</i>	0,93	0,09	0,22	0,92
<i>ATT (%)</i>	0,53	-0,34	0,49	0,75
<i>Angulo hue (°hue)</i>	0,18	0,07	0,73	0,81
<i>Firepi (N)</i>	0,73	-0,02	0,36	0,77
<i>Firpulp(N)</i>	-0,88	-0,19	0,12	0,85
Valor propio	5,75	2,60	1,87	
Varianza (%)	41,06	18,54	13,33	
Varianza acumulada (%)	41,06	59,60	72,93	

* CP1, CP2, CP3: componentes principales 1, 2 y 3 respectivamente, Valores > 0,7 (Valor absoluto) aparecen en negrilla,

Los coeficientes obtenidos para CP1 indican que la variable climática con mayor incidencia es la altitud, (H) con (0,98), así como las condiciones de almacenamiento: humedad relativa (0,97) y la temperatura (0,85). Otras variables que tienen incidencia y forman parte de CP1 son las variables de calidad, como el porcentaje de la pérdida de peso (0,80), SST (0,93). Firmeza de la epidermis (0,73) y Firmeza en pulpa (0,88), con una varianza acumulada de 41,06%. En cuanto al CP2 que explica el 18,54% de la varianza, la variable que tiene gran incidencia para el desarrollo de los modelos matemáticos es la correspondiente a GDC (0,88). En cuanto al CP3 que explica el 13,33% de la varianza, las variables que tienen incidencia para el desarrollo de los modelos matemáticos son P (0,70) y ángulo hué (0,73).

Se observa que las variables climáticas Radiación y Humedad Relativa no tienen incidencia para el desarrollo de los modelos matemáticos, así como la variable de calidad Acidez Total Titulable (ATT), Sin embargo, la ATT por ser un parámetro de calidad de los frutos y tener un alto valor de comunalidad (0,75), el cual indica la variación de cada variable que es explicada por el conjunto de componentes principales, o la varianza compartida con otras variables del análisis factorial (Forero *et al.*, 2016), será considerada como una característica importante en la poscosecha.

Las correlaciones de la tabla 2 indican que, a mayor altitud (H), se tendrá mayor tiempo térmico (GCD), mayor precipitación (P) y mayor humedad relativa (HR), contrario a lo que indica Fischer *et al.*, (2012), los cuales manifiestan que, a mayor altitud por encima de 1500 msnm, se tendrá menor precipitación y menor humedad relativa en las zonas de los cultivos. Este comportamiento puede ocurrir debido a un fenómeno llamado "sombra orográfica" el cual es un fenómeno meteorológico asociado a la precipitación de montaña, el cual sucede cuando las corrientes de aire húmedo se ven obligadas a remontar un obstáculo topográfico descargando parte de su humedad en forma de lluvia (Londoño & Giraldo, 2016).

A medida que transcurre el almacenamiento (Tabla 2) se observa que aumentan los SST y disminuye la firmeza de la epidermis (Firepi), Resultados similares fueron encontrados por Spera et al., (2023), para pera, Parra- Coronado (2014) para feijoa y Mohd et al., (2021) para ciruela.

Las altas tasas de transpiración se evidencian en la pérdida de peso de los frutos durante la maduración poscosecha (Huachuhuilca, 2018), así como la pérdida de agua se presenta, cuando se aumentan las temperaturas por efecto de la respiración (Defilippi 2013). La proporción en la degradación de azúcares favorece el aumento de los SST presentes en el fruto hasta el día de cosecha, una vez cosechados estos tenderán a disminuir, (Velazquez & Velasquez, 2017).

En algunas frutas la solubilización de sustancias pécticas (protopectinas) tiene un gran interés al ser responsable del ablandamiento de los tejidos. Estas sustancias pécticas, que son derivados del ácido poligalacturónico, están localizadas fundamentalmente en la pared celular y laminilla media, actuando como material de cimentación de la estructura de los tejidos. Según Hernández Yépez (2013), el ablandamiento de la pulpa de los vegetales es uno de los mecanismos bioquímicos que plantea más problemas a la hora de optimizar la comercialización de estos productos, ya que además de producir una pérdida de calidad (sobre maduración), aumenta la sensibilidad a los daños mecánicos y al ataque fúngico. Las correlaciones indican que variables dependientes como SST, Firepi y Firpul a mayor temperatura de almacenamiento tienden a disminuir su valor, al transcurrir el tiempo, también se observa que los valores de firmeza y color tenderán a disminuir. La velocidad de algunas reacciones enzimáticas aumenta exponencialmente al aumentar la temperatura. Para el caso de ciruela variedad Horvin, Parra-Coronado et al., (2007) manifiestan que la velocidad de las reacciones enzimáticas aumenta de forma exponencial con el incremento de la temperatura.

6.4.3 Modelos matemáticos para las variables de calidad poscosecha en frutos de ciruela,

Con base en los resultados del análisis multivariado (Tabla 2), se evalúa cada una de las variables dependientes (características de almacenamiento), donde de acuerdo al tipo de ecuación (lineal, polinómica, exponencial), en función de las variables independientes características de la localidad y climáticas, se realizó una evaluación de cada modelo de regresión para determinar las ecuaciones que mejor se ajustaban. A continuación, se presentan las ecuaciones obtenidas para cada característica de calidad.

Ecuación para la pérdida de peso del fruto (W),

$$\%W = \frac{(HR + 0,000015T + 0,002t + 0,00033H)^2}{+ 154,05} + \frac{(-234,73HR - 2,51T + t + 0,027H)}{(1)}$$

$$R^2 = 0,85$$

$$Error\ típico = 2,36$$

Ecuación para acidez total titulable (ATT)

$$ATT = \frac{(HR + 0,000019T + 0,00015t + 0,000019H)^2}{+ 34,11} + \frac{(-0,401HR - 0,22T + 0,001t + 0,00013H)}{(2)}$$

$$R^2 = 0,45$$

$$Error\ típico = 4,58$$

Ecuación para sólidos solubles totales (SST)

$$SST = \frac{(HR + 0,000019T + 0,000015t + 0,000019H)^2}{+ 2,952} + \frac{(HR + 2,30T + 0,00001t + 0,000013H)}{(3)}$$

$$R^2 = 0,90$$

$$Error\ típico = 1,25$$

Ecuación para firmeza de la epidermis (Firepi)

$$\text{Firepi} = (HR + 0,000023T + 0,000041t + 0,00001,8H)^2 + (37,27HR + 2,30T + 0,000021t + 0,00019H) + 10,05$$

(4)

$$R^2 = 0,58$$

$$\text{Error típico} = 1,49$$

Ecuación para firmeza de la pulpa (FirPul)

$$\text{firpul} = (HR + 0,000063T - 0,0000039t + 0,000012H)^2 + (4,451HR - 0,050T + 0,0000042t + H) + 29,39$$

(5)

$$R^2 = 0,85$$

$$\text{Error típico} = 0,62$$

Ecuación para color de la epidermis (hue)

$$\text{Hue} = (-2,02HR + 0,00023T + 0,000015t + 0,000019H)^2 + (HR - 32,22T + 0,0014t + 0,015H) + 1339,7$$

(6)

$$R^2 = 0,51$$

$$\text{Error típico} = 4,23$$

Las variables de las Ecuaciones 1 a 6 se definen a continuación,

%W: pérdida de peso del fruto (%)

ATT: acidez total titulable (% ácido cítrico)

SST: sólidos solubles totales (°Brix)

Firepi: firmeza de la epidermis (N)

Firpul: firmeza de la pulpa (N)

hue: color de la epidermis del fruto; ángulo hué (°h)

T: temperatura de almacenamiento (°C)

HR: humedad relativa de almacenamiento (%)

t: tiempo transcurrido en almacenamiento (días)

H: altitud de la zona de producción (msnm).

Algunos modelos desarrollados en frutos de hueso, muestran el comportamiento de variables de calidad donde de acuerdo con lo estudiado por Quevedo-García et al, (2017), en frutos de duraznero variedad jarillo, se puede observar la relación estrecha que hay entre los datos estimados y los observados, similar a lo obtenido en la presente investigación donde se obtuvo una buena predicción entre los modelos de SST con un ajuste de $R^2=0,90$, evidenciando una predicción adecuada.

En la tabla 3 se presentan los valores de la validación cruzada de características de calidad del fruto de ciruela. Las ecuaciones contrastan con las ecuaciones propuestas, para temperatura ambiente o en ambiente refrigerado, la pérdida de peso aumenta, al igual que valores como ATT, firmeza en la epidermis, y el ángulo hue. Además de esta ecuación el R^2 permite observar buena bondad en el ajuste. El índice de concordancia mostró en qué medida hubo coincidencia en la clasificación entre los datos estudiados con relación al total de datos analizados, el mayor índice de concordancia se presentó en variables como pérdida de peso, SST, firmeza en epidermis. La raíz de la regresión del error cuadrado medio determinó la diferencia media entre los valores previstos por el modelo predictivo y los valores reales, donde era de esperarse que la variable pérdida de peso mostrará un mayor valor, ya que los valores predichos y los reales son diferentes debido a condiciones climáticas y las alturas presentadas en cada localidad.

Tabla 3. Validación cruzada de variables fisicoquímicas del fruto de ciruela en poscosecha, Pérdida de peso, color (ángulo hué), acidez total titulable, sólidos solubles totales, firmeza de la epidermis (firepi), firmeza de la pulpa (firpul).

<i>Validación cruzada de características fisicoquímicas del fruto de ciruela</i>				
<i>característica</i>	<i>Ecuación</i>	<i>R²</i>	<i>Índice de concordancia</i>	<i>RMSE</i>
<i>W</i>	$y = -0,5446x + 17,513$	0,67	0,96	6,5
<i>hue</i>	$y = -0,777x + 592,651$	0,85	0,97	2,5
<i>ATT</i>	$y = -0,1243x + 0,233$	0,48	0,92	2,6
<i>STT</i>	$y = 1,956x - 12,895$	0,97	0,93	1,7
<i>Firepi</i>	$y = -1,005x + 10,114$	0,49	0,56	2,2
<i>Firpul</i>	$y = 0,558x - 0,048$	0,79	0,48	1,5

La pérdida de peso en cuanto a la validación cruzada y los parámetros de regresión muestra una buena predicción, mientras que las ecuaciones de firmeza en la epidermis y ATT, indican que menos del 40% de su varianza es explicada por el modelo, mientras que el modelo para el color de la epidermis, la cantidad de STT, y la firmeza en la pulpa, explica la varianza superior al 52%, lo que indica que, los valores altos son de utilidad en la construcción de los modelos en general. El determinar el modelo para la pérdida de peso del fruto de ciruela durante el almacenamiento, servirá para estimar el tiempo máximo en el cual el fruto tiene vida útil bajo condiciones específicas, los modelos matemáticos para las características poscosecha de la ciruela fueron determinados para temperaturas de almacenamiento entre 6 y 17 °C y para las zonas comprendidas entre 2100 y 2600 msnm.

Las ecuaciones obtenidas en esta investigación permiten determinar las características del fruto de ciruela durante el almacenamiento poscosecha a partir de las condiciones climáticas representadas por la altitud del lugar de procedencia, la temperatura de refrigeración, la humedad de almacenamiento (refrigerado y ambiente) y el tiempo transcurrido en el almacenamiento de los frutos. Estas ecuaciones servirán de insumo para establecer algunas técnicas de manejo que permitan conservar su calidad durante el periodo poscosecha.

6.5 CONCLUSIONES.

Los modelos propuestos muestran que se pueden incluir diferentes variables que son referentes en la calidad de fruto y que no hacen parte del discriminante realizado por el programa de estadística (spss), en cuanto a análisis de componentes se refiere, pero que son relevantes a la hora de determinar cuál es el momento oportuno para realizar diversas prácticas agrícolas necesarias en el cultivo.

Los modelos desarrollados para almacenamiento entre 6 y 17 °C, predicen el comportamiento de la calidad del fruto de ciruela en variables como pérdida de peso, firmeza de la pulpa y sólidos solubles totales, para frutos producidos en las localidades estudiadas desde 2100 hasta 2600 msnm.

Los modelos en función de la altitud del lugar de procedencia, la temperatura de refrigeración, la humedad de almacenamiento, el tiempo transcurrido en el almacenamiento de los frutos, se evidencia un buen ajuste para variables como STT, color, Firmeza en la pulpa, Firmeza en la epidermis.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la anterior investigación, se puede inferir que los modelos propuestos podrían estar en constantes modificaciones, ya que son modelos construidos a partir de datos observados en campo y por tanto el calentamiento global generará que dichos modelos sean temporales.

6.6 AGRADECIMIENTOS

Al profesor Jorge Luis Rojas Firavitoba, por su valioso aporte en la construcción de modelos matemáticos, a partir de estadística aplicada, Al Profesor Antonio Corzo Salamanca y su grupo de estudiantes del departamento de estadística de la facultad de ciencias, de la universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá por su valioso aporte.

6.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Almanza-Merchán, P, J., & Balaguera-López, H, E, (2009), Determinación de los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L, bajo condiciones del altiplano tropical en Boyacá, Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 12(1), 141-150.
- Álvarez-Herrera, J, Rozo-Romero, X, & Reyes, A, J, (2015), comportamiento poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* Lindl.) en cuatro estados de madurez tratados con etileno, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 1: 46-59.
- Defilippi, B., Robledo, P., & Becerra, C, (2013), Manejo de cosecha y poscosecha en arándano, Undurraga, P, & Vargas, S, Manual de Arándano, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias-INIA, Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile.
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M, (2016), Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano, Temas Agrarios, 19(1), 2016, <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>.
- Flores León, J, J, (2022), Labores agroecológicas y agrotécnicas en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).
- Hernández Yépez, J, N, (2013), Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (*Lycopersicon esculentum* var, España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente.

- Huachuillca Mañico, E, (2018), Influencia de la aplicación de coberturas biodegradables en la pérdida de peso e índice de madurez de la naranja criolla (*Citrus cinensis*).
- Kano, Y, (2004), Effects of summer day-time temperature on sugar content in several portions of watermelon fruit (*Citrullus lanatus*), *J, Hortic, Sci, Biotech*, 79(1): 142–145.
- Léchaudel, M,; Joas, J, (2007), An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour, *Braz, J, Plant Physiol*, 19(4): 287-298.
- Linke, M,; Kläring, H, (2004), Effect of different preharvest conditions on the postharvest keeping quality of greenhouse tomatoes, *Acta Hort*, 654: 213-220.
- Londoño Vega, P,, & Giraldo Sánchez, C, E, (2016), Un frágil tesoro: las mariposas colombianas, Editorial Universidad del Rosario.
- López Feldman, A, J,, & Hernández Cortés, D, (2016), Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina, *El trimestre económico*, 83(332), 459-496.
- Martínez-González, M,, Balois-Morales, R,, Alia-Tejacal, I,, Cortes-Cruz, M, Palomino-Hermosillo, Y, & López-Gúzman, G, (2017), Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4075-408.
- Martínez-Vega, R,R,; Fischer, G,; Herrera, A,; Chaves, B,; Quintero, O,C, 2008, Características físico-químicas de frutos de feijoa influenciadas por la posición en el canopi, *Rev, Colomb, Cienc, Hortic*, 2 (1): 21-32.
- Medina-Torres, R (2000), Fenología y producción forzada de frutales caducifolios bajo condiciones subtropicales, Tesis Dr, Universidad de Colima, 161p.
- Molina-Ochoa, M,, Vélez-Sánchez, J, & Rodríguez, P, (2015), Efecto del riego deficitario controlado en las tasas de crecimiento del fruto de pera (*Pyrus communis*L.), var, Triunfo de Viena, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 234-246.
- Mohd S, Charanjiv S, Harish K (2021), Computation of design-related engineering properties and fracture resistance of plum (*Prunus domestica*) kernels to

compressiveloadings,journals,elsevier.com/journal-of-agriculture-and-food-research/.

Nilsson, T.; Gustavsson, K, (2007), Postharvest physiology of 'Aroma' apples in relation to position on the tree, *Postharv, Biol, Technol*, 43: 36-46.

Orjuela-Angulo, M, Parra-Coronado A, Camacho-Tamayo, J, H, (2022), Base temperature for a phenological stage in plum cultivar Horvin (*Prunus salicina* Lindl.), *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(3), e15179, <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15179>.

Parra-Coronado, A, Camacho-Tamayo, J, H,, Fischer, G, (2017), Post-harvest quality model of pineapple guava fruit according to storage and weather conditions of cultivation, *R, Bras, Eng, Agríc, Ambiental*, 21(9): 634-639, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi,v21n9p634-639>.

Parra-Coronado, A, (2014), Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O, Berg) Burret, Tesis Doctoral, Escuela de posgrados, Facultad de agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Parra-Coronado, A; Camacho T,H;; Hernández-Hernández, J,E, (2007), Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la ciruela variedad "Horvin", *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29: 431-437,

Pérez, M,, Pérez, A,, & Pérez, E, (2008), Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo, Universidad Nacional de San Juan, 1-69.

Podestá- Lidia (2002) "Ciruela japonesa: parámetros de madurez y calidad", En: *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol, 34, no, 1, p, 63-70, Dirección URL del artículo: <https://bdigital,uncu.edu,ar/3037>, Fecha de consulta del artículo: 29/04/23.

Quevedo-García E, Orlando-Cancino-Escalante O Barragán- Torres O, regression models for the estimation of the dry weights of organs and the limbo area of the peach variety jarillo, rev,udcaactual,divulg,cient, vol,20 no,2 Bogotá July/Dec, 2017, ISSN 0123-4226.

Sánchez, D, (2015), Influencia de la temperatura en etapas postcosecha sobre la calidad de diferentes variedades de ciruela, Trabajo final de grado, universidad politécnica de valencia escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio natural.

Salisbury, F, Ross, C, (2000), Fisiología de las Plantas 3: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental, Thompson Editores Spain, Paraninfo S,A,, Madrid, 527-564 p. Spera, N,, Vita, L, I. Civello, P, M,, & Colavita, G, M, (2023), estado oxidativo y calidad de frutos de pera variedad beurré d' anjou con "blush", Chilean journal of agricultural & animal sciences, 39(1), 12-22.

Solís Mateos, M, (2016), Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha, Disertación Doctoral Universitat Politècnica de València, Revista Dialnet.

Velasquez Cristobal, E, J,, & Velasquez Cristobal, K, I. (2017), Evaluación de las características fisicoquímicas del aguaymanto (*physalis peruviana* L,) de la zona andina y selva en diferentes estados de madurez.

Vilches Mendoza, G, (2019), Modelos matemáticos basados en ecuaciones diferenciales y su aplicación a la economía.

Anexo: Evaluación inicial de modelos matemáticos,

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Consta	b1	b2
Cuadrático	0,701	0,011	2,000	17,000	0,989	15,170	0,003	0,000001
Cuadrático	0,594	14,225	1,000	16,000	0,890	52,939	- 0,00001 3	1,000
Cuadrático	0,594	11,456	1,000	12,000	0,990	34,285	1,000	0,000000106
Cuadrático	0,584	12,895	1,000	15,000	0,970	34,285	1,000	0,00000022

a, Predictores: (Constante), ALTURA

b, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC

c, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION

d, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION, HR

e, Variable dependiente: ATT

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig,	Consta	b1	b2
Cuadrático	0,856	10,230	2,000	17,000	0,912	15,170	-0,005	0,0000081
Cuadrático	0,785	10,562	2,000	18,000	0,855	42,939	0,0010	0,001
Cuadrático	0,562	12,562	2,000	17,000	0,689	24,285	1,000	0,000056
Cuadrático	0,896	11,154	2,000	13,000	0,896	34,012	-0,007	1,000

a, Predictores: (Constante), ALTURA

b, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC

c, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION

d, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION, HR

e, Variable dependiente: SST

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: PESO

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig,	Consta	b1	b2
Cuadrático	0,752	10,566	1,000	17,000	0,989	15,170	0,00005	0,00015
Cuadrático	0,894	15,554	1,000	11,000	0,865	16,939	0,004	0,0000150
Cuadrático	0,411	11,260	1,000	15,000	0,888	14,285	0,0044	0,00000031
Cuadrático	0,632	13,658	1,000	10,000	0,856	10,285	0,003	1,0000

a, Predictores: (Constante), ALTURA

b, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC

c, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION

d, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION, HR

e, Variable dependiente: Firepi

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: PESO

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig,	Consta	b1	b2
Cuadrático	0,701	0,011	2,000	17,000	0,989	15,170	0,0019	0,000075
Cuadrático	0,750	16,332	1,000	14,000	0,910	46,982	0,000012	0,000035
Cuadrático	0,691	14,112	3,000	12,000	0,980	30,554	1,000	0,000035
Cuadrático	0,765	12,014	1,000	9,000	0,910	31,568	1,000	0,000012

a, Predictores: (Constante), ALTURA

b, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC

c, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION

d, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION, HR

e, Variable dependiente: Firpul

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: PESO

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig,	Consta	b1	b2
Cuadrático	0,695	0,011	2,000	17,000	0,989	15,170	0,001	0,003
Cuadrático	0,494	17,554	1,000	18,000	0,890	52,939	0,99	0,0000763
Cuadrático	0,594	15,260	2,000	17,000	0,990	34,285	-0,092	0,000019
Cuadrático	0,494	14,658	1,000	15,000	0,970	34,285	0,039	0,0000246

a, Predictores: (Constante), ALTURA

b, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC

c, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION

d, Predictores: (Constante), ALTURA, GDC, PRECIPITACION, HR

e, Variable dependiente: Hue