



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Análisis del crecimiento del fruto y hoja de *Prunus persica* (L.) Batsch cv Gran Jarillo por medio variables morfofisiológicas en el municipio de Pamplonita, Norte de Santander, Colombia.

Miguel Andrés García Leal 1094552917.

Programa de Ingeniería Agronómica

26 de noviembre 2025



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Análisis del crecimiento del fruto y hoja de *P. persica* (L.) Batsch cv Gran Jarillo usando variables morfofisiológicas en el municipio de Pamplonita, Norte de Santander, Colombia.

Trabajo de grado bajo la modalidad de investigación, presentado como requisito para obtener el título de ingeniero agrónomo.

Miguel Andrés García Leal

Cc: 1094552917.

PhD. Enrique Quevedo García

Programa de Ingeniería Agronómica

26 de noviembre 2025



Dedicatoria

A Dios, por ser la fuente de mi vida, mi fortaleza y mi guía en cada paso de este camino. Gracias a Él tengo salud, sabiduría y la oportunidad de cumplir mis metas. En los momentos de cansancio y duda, Su presencia me dio la paz y la claridad necesarias para seguir adelante.

A mi madre, Luz Stella, que es mi razón y mi motor. Por su amor incondicional, por sus sacrificios silenciosos, por ser mi ejemplo de perseverancia y valentía. Este logro también le pertenece, porque sin su apoyo, sus palabras de ánimo y su fe en mí, nada de esto habría sido posible.

A mis hermanos, Andreina y Manuel, por su cariño, comprensión y por estar siempre a mi lado. Su confianza en mí y su presencia constante fueron una motivación más para no rendirme.

A Erika, mi compañera y mi apoyo inquebrantable, quien me acompañó durante todo este proceso, participando activamente en la recolección de datos, en la organización del trabajo y en los momentos más difíciles. Su paciencia, su amor y su confianza fueron una luz en los días más exigentes.

Este trabajo no solo representa una meta cumplida, sino el resultado de meses de esfuerzo, disciplina y entrega. Tras culminar mis materias en apenas ocho meses, dediqué este semestre a la realización de este trabajo de grado, que hoy simboliza no solo un logro académico, sino también personal. Cada madrugada de estudio, cada revisión y cada obstáculo superado me recordaron que los sueños se alcanzan con fe, constancia y amor.



Agradecimientos

Agradezco, ante todo, a Dios, por brindarme la fuerza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar este proyecto. En cada etapa sentí Su guía, y en los momentos de dificultad, Su presencia me dio serenidad y esperanza.

A mi madre, Luz Stella, por su amor, por su ejemplo y por ser la inspiración que me impulsa a seguir superándome. A mis hermanos, Andreina y Manuel, por su apoyo constante y por creer siempre en mí.

A Erika, mi compañera de vida, por acompañarme con paciencia, ánimo y compromiso en este proceso; por su colaboración directa en la toma de datos y por su presencia constante en cada paso de esta tesis.

A mi tutor, el profesor Enrique Quevedo, por su orientación, por su paciencia y por su disposición constante para guiarme. Su apoyo académico y humano fue clave para alcanzar los objetivos de este trabajo.

A mis profesores, quienes contribuyeron con sus enseñanzas y consejos a mi formación profesional, y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, hicieron parte de este proceso, mi más sincero agradecimiento, este logro es fruto del esfuerzo, la constancia y la fe. Cada día de trabajo fue una oportunidad para aprender, para crecer y para demostrar que los sueños se cumplen cuando se trabaja con el corazón.



Tabla de contenido

Resumen	9
Palabras clave	9
Abstrac.....	10
Keywords.....	10
Introducción.....	11
Descripción del problema.....	12
Justificación.....	13
Delimitación del Proyecto	14
Delimitación Geográfica	15
Delimitación Temporal.....	15
Delimitación Temática	15
Delimitación Metodológica	15
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Marco teórico	16
Antecedentes.....	16
Marco contextual.....	21
Localización:	21
Bases conceptuales	24
Escala Fenológica BBCH del Durazno	26
Productividad y Eficiencia Fisiológica.....	29
Marco legal.....	30
Trabajo de grado.....	30
Materiales y métodos.....	31



Lugar del Estudio	31
Material Vegetal	31
Variables determinadas	31
Frecuencia de Muestreo:.....	31
Análisis de Datos:	32
Resultados y Discusión.....	32
Modelos de crecimiento foliar	32
Modelos de crecimiento del fruto	38
Correlación no paramétrica	40
Discusión:	44
Conclusiones.	48
Recomendaciones	50
Referencias:	51
Anexos:.....	55



Lista de tablas

Tabla 1: taxonomía del durazno <i>P. persica</i> (L.) Batsch.....	25
Tabla 2: Escala fenológica BBCH para <i>Prunus persica</i>	27
Tabla 3: Resumen del modelo de regresión de potencia entre el ancho de hoja y el área foliar logarítmica en <i>P. persica</i> (L.) Batsch cv. Gran Jarillo. Se muestran los coeficientes del modelo, el análisis de varianza y los valores de ajuste estadístico obtenidos mediante SPSS.	34
Tabla 4: Prueba de normalidad para el modelo ajustado del área foliar (areafoliarlog).....	35
Tabla 5: Modelo de regresión de potencia que describe la relación funcional entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto.	39
Tabla 6: Matriz de correlaciones no paramétricas de Spearman entre variables foliares y del fruto.	41
Tabla 7: Fases fenológicas del duraznero (<i>Prunus persica</i> L. Batsch) cv. Gran Jarillo según la escala BBCH, bajo condiciones agroclimáticas de Pamplonita (126 días desde floración hasta cosecha)....	42

Lista de figuras

Figura 1: mapa de Norte de Santander, fuente: Contreras 2016.....	22
Figura 2: mapa del municipio de pamplonita, fuente: ruta del durazno y del agua, unipamplona.	23
Figura 3: ubicación de finca campo alegre, donde se realizará la toma de datos. Fuente: google earth. https://earth.google.com/earth/d/1GXMxbJ1sC3dgo11BaCJWMbh9v2-lplRE?usp=sharing	24
Figura 4: Gráfico de dispersión entre el ancho de hoja y el logaritmo natural del área foliar de <i>P. persica</i> (L.) Batsch cv. Gran Jarillo.	33
Figura 5: Relación entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto (modelo de potencia). ..	38

Lista de anexos

Anexo A: fotografía evidencia del muestreo numero 18 en el lote, fuente propia.....	55
Anexo B: fotografía evidencia muestro número 15 en el lote, fuente propia.....	56
Anexo C: fotografía evidencia muestro número 3 en el lote, fuente propia.....	57
Anexo D: se evidencia la marca correspondiente al árbol 5 hoja 2(A5H2) fuente propia.	58



Anexo E: marcaje de los arboles previo al inicio de toma de datos en la finca Campo Alegre perteneciente al señor Raúl Gelvez, el 5 de enero de 2025, fuente propia.	59
Anexo F evidencia de marca de árbol usada como primer recurso, fuente propia.	60
Anexo G: fotografía evidencia muestro número 17 en el lote correspondiente a la fecha 3 de mayo del 2025, fuente propia.	61
Anexo H: fotografía de evidencia del marcaje de los frutos correspondiente al árbol 10 fruto 1(A10F1), fuente propia.	62
Anexo I: foto evidencia crecimiento del durazno en el muestreo número 17, que corresponde a la fecha 3 de mayo del 2025, fuente propia	63
Anexo J: salida SPSS Resumen del modelo de regresión de potencia entre el ancho de hoja y el área foliar logarítmica en P. persica (L.) Batsch cv. Gran Jarillo. Se muestran los coeficientes del modelo, el análisis de varianza y los valores de ajuste estadístico obtenidos mediante transformación logarítmica doble en SPSS	64
Anexo K: Modelo de regresión de potencia que describe la relación funcional entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto arrojado por SPSS.	65



Resumen

El duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) representa uno de los frutales de mayor relevancia económica a nivel mundial, gracias a su versatilidad agroindustrial y valor nutricional. En Colombia, su cultivo ha cobrado importancia en regiones de altitud media, como el municipio de Pamplonita (Norte de Santander), donde la variedad Gran Jarillo muestra un comportamiento productivo favorable. No obstante, la falta de información sobre su crecimiento bajo condiciones locales limita la aplicación de estrategias de manejo basadas en criterios fisiológicos y morfométricos, fundamentales para optimizar el rendimiento y la calidad del fruto.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar los modelos de crecimiento de la hoja y el fruto del duraznero *P. persica* cv. Gran Jarillo, mediante el ajuste de modelos no lineales de tipo potencia. Se realizaron mediciones morfométricas semanales durante siete meses en 15 árboles seleccionados, registrando variables foliares (longitud, ancho y área) y frutales (diámetro polar, ecuatorial e índice de redondez). Los análisis estadísticos se efectuaron en SPSS v.26 y Pass 4, aplicando pruebas de normalidad, correlaciones no paramétricas y regresiones no lineales.

El modelo de potencia para la hoja presentó un coeficiente de determinación ajustado ($R^2 = 0.847$), evidenciando una relación sólida entre el ancho foliar y el área estimada. En el fruto, la relación entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez alcanzó un R^2 de 0.905, indicando un ajuste excepcional y biológicamente coherente. Se observaron correlaciones positivas ($\rho = 0.851$) entre el crecimiento foliar y frutal, lo que sugiere una sincronía fisiológica entre ambos órganos. Los resultados confirman la utilidad de los modelos no lineales para predecir etapas de desarrollo y apoyar decisiones de manejo agronómico, destacando el potencial de la variedad Gran Jarillo para sistemas frutales del trópico alto andino.

Palabras clave

Prunus persica; crecimiento vegetal; modelo no lineal; área foliar; morfometría; índice de redondez; correlación; fisiología vegetal; trópico alto; manejo agronómico.



Abstrac

The peach tree (*Prunus persica* L. Batsch) is one of the most economically significant fruit crops worldwide, valued for its agro-industrial versatility and nutritional importance. In Colombia, its cultivation has gained relevance in mid-altitude regions such as Pamplonita (Norte de Santander), where the Gran Jarillo variety exhibits favorable productive behavior. However, limited knowledge about its growth performance under local conditions restricts the implementation of management strategies based on physiological and morphometric parameters, which are essential for improving fruit yield and quality.

This study aimed to determine the leaf and fruit growth models of *P. persica* cv. Gran Jarillo through the adjustment of nonlinear power models. Morphometric measurements were conducted weekly for seven months on 15 selected trees, recording leaf variables (length, width, and area) and fruit variables (polar and equatorial diameters, and roundness index). Statistical analyses were performed using SPSS v.26 and Pass 4 software, applying normality tests, nonparametric correlations, and nonlinear regressions.

The power model for leaf growth showed an adjusted determination coefficient ($R^2 = 0.847$), indicating a strong relationship between leaf width and estimated area. For fruits, the relationship between equatorial diameter and roundness index achieved an R^2 of 0.905, representing an exceptional and biologically consistent fit. Positive correlations ($\rho = 0.851$) were observed between leaf and fruit growth, suggesting a physiological synchrony between both organs. The results confirm the usefulness of nonlinear models to describe and predict growth dynamics, supporting agronomic decision-making and emphasizing the productive potential of the Gran Jarillo variety under high Andean tropical conditions.

Keywords

Prunus persica; plant growth; nonlinear model; leaf area; morphometry; roundness index; correlation; plant physiology; high tropic; agronomic management.



Introducción

El duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) es un cultivo frutal de alta relevancia económica y agroindustrial a nivel mundial, debido a su versatilidad en la industria alimentaria, su aporte nutricional y su elevado valor comercial. Originario de China, este frutal ha sido cultivado durante siglos y, gracias a su notable plasticidad fisiológica, se ha establecido exitosamente en diversas zonas climáticas. Actualmente, constituye una de las frutas de mayor producción en países como China, Italia, España y Estados Unidos, donde representa un componente esencial dentro de la fruticultura templada (Grajkowski & Szot, 2018).

El desarrollo óptimo del duraznero ocurre en regiones con condiciones edafoclimáticas templadas y subtropicales, donde la temperatura, la radiación y la disponibilidad hídrica favorecen tanto la floración como el llenado y maduración del fruto. Durante las últimas décadas, múltiples investigaciones han abordado aspectos fisiológicos, ecofisiológicos y agronómicos del *P. persica*, con el propósito de comprender los mecanismos de crecimiento y su respuesta a diferentes condiciones ambientales (Li & Yang, 2020; Iglesias & Echeverría, 2009). Estos estudios han permitido establecer modelos de crecimiento que describen las relaciones funcionales entre variables morfométricas y parámetros fisiológicos, aportando bases cuantitativas para la planificación y manejo sostenible del cultivo.

En Colombia, el duraznero ha adquirido una importancia creciente en zonas de altitud media, particularmente en regiones montañosas de los departamentos de Boyacá y Norte de Santander. Estas áreas presentan condiciones favorables para la producción de variedades adaptadas como el Gran Jarillo, reconocida por su calidad organoléptica, rendimiento y aceptación comercial. En el municipio de Pamplonita, la producción de durazno se ha consolidado como una alternativa agrícola relevante, destinada tanto a mercados locales como nacionales, gracias al color, sabor y textura distintivos de sus frutos. No obstante, el conocimiento científico sobre el comportamiento fisiológico y morfométrico de esta variedad bajo condiciones locales es aún limitado, lo cual resalta la necesidad de generar información que describa cuantitativamente sus patrones de crecimiento (Camargo & Alvarado, 2023).

Desde un punto de vista fisiológico, el crecimiento de órganos vegetales como hojas y frutos sigue una curva sigmoidea característica, dividida en tres fases: una fase inicial de crecimiento lento o lag, una fase exponencial de expansión celular acelerada, y una fase final de saturación o madurez (Faust, 1989; Grossman & DeJong, 2021). Este patrón refleja la interacción entre la tasa de división celular, la acumulación de materia seca y la capacidad fotosintética de la planta. En el duraznero, las hojas actúan



como fuente primaria de fotoasimilados, mientras que los frutos representan sumideros activos que compiten por estos recursos durante el llenado (Caruso et al., 1997; Pinzón et al., 2014). Por tanto, comprender la sincronía entre el desarrollo foliar y frutal es esencial para mejorar la eficiencia fisiológica y la calidad del producto final.

Las prácticas de manejo (poda, raleo, nutrición y riego) y los factores ambientales como la temperatura, la radiación solar, la humedad del suelo influyen directamente en la velocidad de crecimiento y en la morfología de las hojas y los frutos (Fernandes et al., 2023; Wang et al., 2022). En este contexto, el estudio de las relaciones morfométricas entre variables foliares y frutales permite establecer modelos predictivos aplicables a la toma de decisiones agronómicas. Investigaciones desarrolladas en el trópico alto colombiano han demostrado que el duraznero presenta buena adaptación a altitudes medias, como las de Pamplonita, lo cual representa una oportunidad estratégica para fortalecer la fruticultura regional (Eraso, 1988; Quevedo et al., 2024).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como propósito analizar el crecimiento del duraznero variedad Gran Jarillo bajo las condiciones agroclimáticas de Pamplonita (Norte de Santander), mediante el estudio de las relaciones morfométricas entre hoja y fruto a lo largo del ciclo fenológico. Este análisis permitirá establecer modelos matemáticos de crecimiento, generar información científica aplicable al manejo técnico del cultivo y contribuir al conocimiento fisiológico del duraznero en condiciones tropicales de montaña.

Descripción del problema

El duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) cv. Gran Jarillo constituye un cultivo de gran relevancia socioeconómica en la provincia de Pamplona, Norte de Santander. Los principales municipios productores son: Silos, Pamplona, Chitagá, Pamplonita, Herrán, Toledo y La Bateca abarcan aproximadamente 324 hectáreas, Pamplonita se establece como uno de los centros más importantes de producción. Para el año 2015, se estimaron 64,47 ha cultivadas y una producción de 1.319,5 toneladas, lo que ubica al municipio como el segundo productor regional de durazno (Villamizar & Fernández, 2015). Este cultivo representa una fuente clave de empleo, ingresos y estabilidad económica para las familias rurales, constituyéndose en un eje de diversificación agrícola en zonas de ladera y clima templado.

A pesar de su importancia, el conocimiento técnico sobre el crecimiento y desarrollo del duraznero en las condiciones agroecológicas del trópico alto colombiano sigue siendo limitado. En particular, la



variedad Gran Jarillo, cultivada ampliamente en Pamplonita, carece de estudios que describan sus modelos de crecimiento morfofisiológico tanto para las hojas como para los frutos. Esta falta de información limita la capacidad de los agricultores para aplicar prácticas de manejo ajustadas a las fases de desarrollo de la planta, impidiendo la optimización de recursos como el agua, los nutrientes y la radiación solar. Según Pinzón et al. (2014), la comprensión de los patrones de crecimiento y de las interacciones hoja-fruto es esencial para establecer modelos productivos eficientes que integren la fisiología del cultivo con las labores agronómicas.

En diversos países, los modelos de crecimiento han permitido predecir el comportamiento de los frutos y ajustar las prácticas de manejo en función de las necesidades fisiológicas de la planta. Investigaciones realizadas en Brasil, España y Venezuela demuestran que el uso de modelos morfométricos favorece la programación de riegos, la fertilización balanceada y la poda racional, incrementando la eficiencia de los sistemas productivos y reduciendo el uso de insumos (Caruso et al., 1997; Iglesias & Echeverría, 2009). Sin embargo, en Colombia, la investigación sobre *P. persica* se ha centrado principalmente en zonas de Boyacá, sin abordar de forma específica las condiciones de Pamplonita ni la respuesta particular de la variedad Gran Jarillo, lo que evidencia una brecha científica y técnica que este estudio busca cerrar.

El análisis del crecimiento, vinculado con la escala fenológica BBCH, permite comprender las transiciones entre las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo, y relacionarlas con el manejo agronómico. Desarrollar modelos locales de crecimiento basados en variables morfométricas —como largo y ancho de hoja, área foliar y diámetros del fruto— es fundamental para sustentar decisiones técnicas sobre raleo, nutrición y cosecha, aportando una herramienta predictiva que incremente la productividad y sostenibilidad del cultivo en la región.

Justificación

El cultivo del duraznero *P. persica* cv. Gran Jarillo en Pamplonita, Norte de Santander, posee un alto potencial para contribuir al desarrollo económico y social del territorio. Las condiciones agroclimáticas temperaturas moderadas, suelos fértiles y buena disponibilidad hídrica favorecen una producción estable y de alta calidad. Además, la actividad frutícola genera empleo e ingresos para comunidades rurales,



fortaleciendo la economía local y promoviendo la seguridad alimentaria en el departamento. En este contexto, la generación de información científica sobre los patrones de crecimiento del duraznero representa una necesidad estratégica para mejorar las prácticas de manejo y consolidar la cadena de valor del fruto.

La ausencia de modelos técnicos de crecimiento limita la capacidad de los productores para identificar las etapas críticas del desarrollo de la planta y ajustar oportunamente las labores culturales. Estudios previos, como los de González et al. (2020), resaltan que el análisis de variables morfofisiológicas (crecimiento foliar, fotosíntesis y expansión del fruto) es clave para incrementar la eficiencia fisiológica y el rendimiento, reduciendo el uso de insumos y mejorando la sostenibilidad productiva. En este sentido, la modelación del crecimiento de hojas y frutos permitirá establecer una base técnica para la programación de riegos, fertilización y poda, en coherencia con las condiciones locales del trópico alto.

El desarrollo de modelos de crecimiento adaptados a la variedad Gran Jarillo permitirá a los agricultores predecir el comportamiento del cultivo y optimizar la producción mediante la gestión racional de los recursos. Al mejorar la eficiencia y reducir costos, se fomentan encadenamientos productivos que involucran transporte, comercialización y agroindustria (Ramírez & Torres, 2019), contribuyendo al desarrollo rural sostenible. Además, este estudio se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 2 (Hambre cero) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), al promover una agricultura basada en conocimiento, eficiencia y conservación de recursos naturales.

En síntesis, esta investigación busca generar modelos de crecimiento foliar y frutal que sirvan como herramientas técnicas para el manejo agronómico del duraznero en Pamplonita, fortaleciendo la sostenibilidad, competitividad y resiliencia del sector frutícola en Norte de Santander. Su aplicación práctica beneficiará directamente a los productores locales y aportará al desarrollo científico y económico del cultivo en el contexto andino colombiano.

Delimitación del Proyecto

Este proyecto se delimitó en varios aspectos clave para garantizar su viabilidad y enfoque específico. La delimitación incluye aspectos geográficos, temporales, metodológicos y temáticos, que permitirán un abordaje preciso del análisis del crecimiento del fruto y la hoja de *P. persica* cv Gran Jarillo en Pamplonita, Norte de Santander.



Delimitación Geográfica

El estudio se llevó a cabo en la finca Campo Alegre, ubicada en la vereda Hojancha, coordenadas latitud (7,42300), longitud (-72,62171), en el municipio de Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. Esta región se caracteriza por un clima templado con una altitud de 1.700 msnm, suelos inceptisoles, lo cual es óptimo para el cultivo de *P. persica*. La selección de esta área responde a su importancia socioeconómica en la producción de duraznos y a la falta de estudios específicos sobre las condiciones agroclimáticas de la zona. Esta delimitación geográfica permitirá obtener resultados directamente aplicables a los productores locales de la región.

Delimitación Temporal

El estudio se desarrolló durante un periodo de siete meses, desde la etapa de brotación o cuajado del fruto en la etapa 72, hasta la maduración del fruto o etapa 87 según la escala BBCH. Durante este tiempo, se llevarán a cabo muestreos semanales de las hojas y frutos, lo que permitirá realizar un seguimiento detallado del ciclo de crecimiento de ambos órganos. Este marco temporal es suficiente para cubrir las etapas críticas del desarrollo morfofisiológico del durazno en las condiciones de Pamplonita.

Delimitación Temática

El proyecto se centró exclusivamente en las variables morfológicas y fisiológicas del crecimiento de las hojas y frutos de *P. persica* cv Gran Jarillo. Las variables que se medirán incluyen el largo, ancho y área foliar para las hojas, el diámetro polar, diámetro ecuatorial e índice de redondez para los frutos, el objetivo principal es determinar los modelos de crecimiento.

Delimitación Metodológica

El estudio utilizó un diseño experimental llamado de medidas repetidas, donde se describió los modelos hallados sobre crecimiento basado en la observación de 15 árboles homogéneos en plena producción, donde se seleccionaron 5 ramas mixtas y un fruto en el estadio 72 por cada una, 5 ramas mixtas y un primordio foliar por cada una. por árbol. Se empleará una metodología no destructiva para medir las variables mencionadas anteriormente, y para medir el crecimiento se hará un análisis de regresión múltiple



(lineal y curvilíneo) para la construcción de los modelos de crecimiento. Esta delimitación metodológica asegura que los resultados sean específicos para la variedad Gran Jarillo y sus condiciones de crecimiento en la región de Pamplonita. Usando la escala BBCH.

Objetivos

Objetivo General

Determinar los modelos de crecimiento de la hoja y el fruto de *Prunus persica* cv Gran Jarillo en Pamplonita, Norte de Santander.

Objetivos Específicos

- Establecer un modelo de crecimiento de la hoja de *P. persica* cv Gran Jarillo.
- Modelar de crecimiento del fruto de *P. persica* cv Gran Jarillo.
- Definir los estados de desarrollo de la hoja y el fruto de *P. persica* cv Gran Jarillo de acuerdo con la escala BBCH.

Marco teórico

Antecedentes

Los presentes antecedentes son realizados en base a investigaciones sobre análisis relacionados con el crecimiento de la hoja y el fruto de *P. persica*, de importancia relativa a nuestro estudio.

A continuación, se encontrarán niveles tales como internacionales, nacionales y regionales con los antecedentes relacionados a la investigación.

Internacionales

Bruna, E. D. (2007) en su estudio se realizado en la Estación de Investigación Agrícola de Epagri, en Urussanga, Brasil, con el objetivo de optimizar la poda de durazneros a través de la comprensión de la curva de crecimiento del fruto, evaluada mediante el peso fresco (PV) y el peso seco (PS). Veinte variedades



de durazno fueron agrupadas en ciclos de crecimiento corto, medio y largo, abarcando de 77 a más de 109 días desde la floración hasta la cosecha. Semanalmente, se recolectaron frutos verdes para medir su PV y, tras deshidratarlos a 70 °C, determinar su PS. Los resultados mostraron un alto crecimiento relativo inicial en todas las variedades, el cual disminuyó hacia la maduración en los ciclos corto y medio, mientras que en las variedades de ciclo largo este crecimiento aumentó al final del ciclo. Estas últimas presentaron tres etapas de crecimiento bien definidas: una primera fase de crecimiento exponencial, seguida por una fase de crecimiento lento, y una última etapa de crecimiento exponencial que culmina en la maduración. Las variedades de ciclo corto y medio, en cambio, carecieron de la fase intermedia, pasando directamente de la primera a la última fase de crecimiento. Estos patrones de crecimiento sugieren ajustes específicos en las prácticas de poda y manejo agronómico según el ciclo de crecimiento de cada variedad.

Bruna & Moreto, (2011) analizaron el comportamiento del crecimiento de los frutos y semillas en dos variedades de durazno, Aurora y Sunraycer, durante todo su ciclo de desarrollo. El estudio se realizó recolectando semanalmente muestras de 30 frutos de diez plantas en ramas identificadas de cada variedad. Las muestras se separaron en semillas y pulpa para determinar el peso fresco (PF) y peso seco (PS) de cada componente. Los resultados mostraron diferencias significativas en el patrón de crecimiento entre ambas variedades: en Sunraycer, el crecimiento del fruto fue continuo y acelerado desde la floración hasta la madurez, sugiriendo la inexistencia o acortamiento del Estadio II, mientras que Aurora siguió una curva típica de crecimiento en tres estadios (I, II y III). Se recomienda realizar el raleo de frutos antes del Estadio II para ambas variedades. Respecto a las semillas, estas alcanzaron su tamaño máximo en el Estadio I para ambas variedades, aunque el peso seco en Sunraycer fue prácticamente constante en el Estadio III, mientras que en Aurora continuó aumentando hasta la maduración del fruto.

Silva et al., (2013) su estudio tuvo como objetivo caracterizar el ciclo de desarrollo y las fases de crecimiento de frutos en diferentes genotipos de duraznero cultivados en un clima subtropical, centrándose en el análisis de la curva de crecimiento y el patrón respiratorio. La investigación se llevó a cabo en el pomar experimental de la Universidad Federal de Viçosa (UFV), en Araponga, Minas Gerais, donde se seleccionaron diez genotipos derivados de un programa de mejoramiento genético de la UFV. Desde la floración hasta la maduración completa, se recolectaron 50 frutos de cada genotipo cada quince días, entre junio y noviembre de 2011. En cada muestra, se evaluaron parámetros como los diámetros polar, ecuatorial y sutural, junto con la masa de materia fresca y seca (fruto, cáscara, pulpa y hueso), así como la producción de CO₂. Los resultados mostraron una curva de crecimiento sigmoideal doble, donde los genotipos 803-10,



803-33, 803-55, 1.603-51 y 5.503-25 completaron su ciclo en 135 días y se clasificaron como de ciclo medio, mientras que los genotipos 2.903-1, 5.003-46, 8.503-6, 9.103-1 y 9.903-2, con un ciclo de 180 días, se caracterizaron como de ciclo largo. El crecimiento siguió un patrón de tres fases: un Estadio I de crecimiento exponencial, un Estadio II de crecimiento limitado y un Estadio III de crecimiento exponencial que culminó en la maduración. Se observó una disminución general en la producción de CO₂, con picos en ciertas fases, y picos climatéricos al final del ciclo, lo cual indicó el inicio de la senescencia del fruto y coincidió con su maduración completa en la planta.

Fernandes et al., (2023) en su estudio evaluaron el crecimiento del durazno Aurora 1 mediante modelos no lineales doble sigmoidales (Brody, Gompertz y Logística Generalizada), enfocándose en la altura y diámetro del fruto, el estudio se basó en datos de un experimento realizado en 2005 en Vista Alegre do Alto, São Paulo, Brasil, Los parámetros de los modelos se estimaron utilizando mínimos cuadrados y el algoritmo de Gauss-Newton en el software R. Se comprobaron los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson y Breusch-Pagan, respectivamente. La precisión de los modelos se evaluó con el criterio de información de Akaike corregido (AICc), desviación estándar residual (RSD), índice de ajuste de asíntota (IA) y medidas de no linealidad, donde los modelos mostraron un ajuste adecuado, cumpliendo los supuestos estadísticos y presentando valores de IA cercanos a uno, junto con un bajo RSD y medidas de no linealidad, lo cual confirma la idoneidad de estos modelos para representar el crecimiento del fruto.

Ziegler, et, al (2024) evaluaron el efecto de las inundaciones sobre la respuesta del fisiológica y de crecimiento de árboles adultos de durazneros, en el monte frutal experimental de la facultad de agronomía de la universidad de Buenos Aires, Argentina, donde midiendo la concentración de clorofila, potencial hídrico, conductancia de agua y fotosíntesis, evidenciaron cambios en el crecimiento y el área foliar del tratamiento testigo al de inundación, resultados de gran importancia en aplicaciones prácticas para el proceso de cultivo de esta especie.

Nacionales

Casierra et, al (2004). En su estudio analizaron y describieron el crecimiento y desarrollo de frutos y ramas, en la granja Tunguavita en Paipa, Boyacá, midiendo peso fresco y seco, diámetro polar/ diámetro sutura, de frutos y crecimiento de las ramas, procesaron los datos en la aplicación SPSS 8.0, describiendo en ddpf (días después de plena floración), la ganancia en peso fresco y seco durante el ciclo, de la misma



manera con el crecimiento de las ramas, con los análisis y la información obtenida fue posible establecer planes para la realización de las labores culturales del cultivo.

Casierra F., Zapata V. & Cutler J., (2017), compararon el comportamiento de especies con respecto a su área foliar, cuyo objetivo fue la determinación y validación de la función de regresión acertada para la estimación de forma no destructiva para el área foliar de cultivos de durazno y ciruela, colectando hojas en árboles en cultivos de Paipa, Colombia, donde compararon datos estimados con un medidor de área foliar y funciones matemáticas, obteniendo por medio del coeficiente de correlación de Pearson valores superiores a 0,9 donde se relacionaron estrechamente los datos observados.

Pinzón, Pineda & Serrano (2021), quienes desarrollaron la estimación de los modelos de regresión su objetivo fue determinar la eficiencia de los modelos matemáticos para la descripción del crecimiento del fruto en *P. pérsica* cv. Dorado, cultivados en Tuta, Boyacá, obteniendo que el modelo logístico se adaptó a las curvas de crecimiento, basadas en el peso seco o fresco, y el modelo de Compertz se adecuó a la curva descrita por el diámetro polar y ecuatorial, aplicándolos a procesos prácticos.

Darghan et al., (2022) en su investigación cuyo objetivo era optimizar el análisis de tasas de crecimiento en cultivos de durazno mediante el desarrollo de un enfoque innovador que facilite la evaluación de indicadores biofísicos de calidad en las fases de cosecha y poscosecha, utilizando datos de diámetros ecuatoriales y longitudinales de frutos de durazno, medidos en distintos intervalos temporales posteriores a la defoliación y obtenidos en diferentes elevaciones sobre el nivel del mar. La metodología incluyó la aplicación de algoritmos de clasificación para identificar fases de crecimiento aproximadamente lineales dentro de modelos no lineales típicamente utilizados en la fisiología vegetal, los cuales frecuentemente se describen con modelos sigmoidales o dobles sigmoidales. Para facilitar la interpretación, se extrajo una sección lineal del modelo usando la descomposición de valores singulares (SVD) y se aplicó un modelo lineal en tres dimensiones, logrando una simplificación en el cálculo de las tasas de crecimiento mediante tasas instantáneas y superando la “falacia del promedio”. Los resultados muestran que esta aproximación permite una comparación precisa del crecimiento en duraznos a distintas elevaciones, proporcionando una herramienta pedagógica aplicable en el estudio de matemáticas aplicadas a la fisiología vegetal.

Regionales



Quevedo et, al (2017). Estudiaron los modelos de regresión para la estimación del peso en órganos y el área de limbo en durazno *P. persica* cv jarillo, en tres fincas diferentes de la provincia de Pamplona, Norte de Santander, donde analizaron las metodologías no destructivas, y desarrollaron los modelos estadísticos para la estimación del área y peso seco del limbo, los resultados describieron adecuadamente el área del limbo y el peso de los órganos del durazno *P. persica* cv jarillo.

Quevedo, Darghan & Fischer (2017), este estudio realizado en la provincia de Pamplona, Colombia, con el objetivo de clasificar las variables morfométricas de la variedad de duraznero Jarillo, considerando las diferencias altitudinales de tres fincas ubicadas en Pamplona (2.170 msnm), Chitagá (1.870 msnm) y Pamplonita (1.670 msnm). Se utilizó un muestreo de hipercubo latino condicional para la selección de árboles, y se evaluaron tanto hojas como frutos. Las mediciones en hojas incluyeron el largo, ancho y área del limbo, empleando el software ImageJ, mientras que en los frutos se determinaron los diámetros longitudinales y ecuatoriales y el peso seco. El análisis discriminante lineal permitió distinguir significativamente entre las fincas, destacando variables como la relación largo-ancho del limbo y el área del limbo, las cuales resultaron ser altamente discriminantes y sensibles a factores ambientales. Los resultados sugieren un manejo agronómico diferenciado, especialmente entre las fincas de Pamplonita y Chitagá, donde el peso seco de los frutos influye en las prácticas de cosecha. Además, se encontró una coincidencia en algunas características entre Pamplona y Pamplonita, posiblemente debido a su proximidad en la cuenca del Catatumbo. La técnica discriminante alcanzó una separación del 89,3% entre las fincas, evidenciando una clara diferenciación en las variables morfométricas evaluadas.

Quevedo García et al., (2024) En su estudio realizado en la provincia de Pamplona, en las montañas de Santander, Colombia, evaluaron el crecimiento del durazno de la variedad Jarillo en tres altitudes distintas (1670, 1870 y 2170 msnm). Se tomaron muestras de ocho árboles por altitud, seleccionando diez frutos del tercio medio de cada árbol para medir la masa fresca y seca, el índice de redondez, la pulpa y la relación pulpa-semilla en tres etapas de desarrollo tras la defoliación. A través de un análisis multivariado de varianza y un modelo mixto longitudinal anidado, se analizó la masa fresca en función de la altitud, considerando efectos anidados de frutos en árboles y de árboles en altitudes. Los resultados mostraron efectos significativos tanto de la altitud como de los estadios fenológicos, así como una interacción significativa entre ambas variables. La altitud de 1670 msnm se destacó por presentar la mayor masa fresca y una alta relación pulpa-semilla, lo cual sugiere su idoneidad para la producción de frutos destinados a procesos agroindustriales. Además, el patrón de crecimiento de las variables en función de los días tras la defoliación



se explicó mediante un modelo de regresión polinómica de segundo orden, permitiendo una caracterización precisa del desarrollo del fruto en estas condiciones de altitud.

Marco contextual

Localización:

Norte de Santander:

Es uno de los 32 departamentos que conforman Colombia, situado en la zona nororiental del país y limitando con Venezuela en su frontera oriental. Geográficamente, se extiende entre los paralelos 6°56'42" y 9°18'01" de latitud norte, y los meridianos 72°01'13" y 73°38'25" de longitud oeste. Con una superficie de 22.130 kilómetros cuadrados, representa aproximadamente el 1,91% del territorio nacional, que abarca un total de 1.159.871,41 kilómetros cuadrados. Este departamento comparte límites con Venezuela al norte y al este, mientras que al sur colinda con Boyacá y Santander, y al oeste con los departamentos de Santander y Cesar.

Forma parte de la Región Andina, una de las zonas más importantes de Colombia, junto con otros departamentos como Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Huila, Santander, Quindío, Risaralda y Tolima. Esta región es la más densamente poblada del país, albergando a más del 70% de la población colombiana, Gobernación Norte de Santander, (2022).

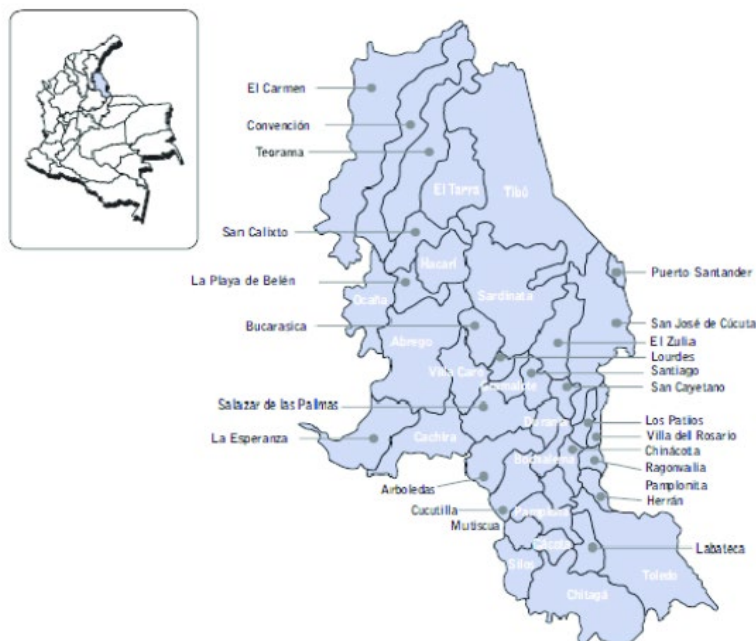


Figura 1: mapa de Norte de Santander, fuente: Contreras 2016.

Pamplonita:

El municipio de Pamplonita se encuentra en la región suroccidental del departamento de Norte de Santander, junto a los municipios de Pamplona, Mutiscua, Silos, Chitagá y Cúcuta. La cabecera municipal está ubicada en las coordenadas 7°26' N y 72°38' W, a una distancia de 63 kilómetros de la capital departamental, Cúcuta. Pamplonita se sitúa a lo largo de la carretera principal que conecta Cúcuta con Pamplona, en la margen izquierda del río Pamplonita. Además, está a solo 11 kilómetros de Pamplona, considerada la segunda ciudad más importante del departamento. El territorio de Pamplonita está compuesto por la cabecera municipal, el centro poblado El Diamante y 22 veredas, que son reconocidas como las unidades territoriales básicas en el área rural, siguiendo las directrices establecidas por el departamento y otorgadas mediante personería jurídica.



Vereda Hojancha:

23



Figura 3: ubicación de finca campo alegre, donde se realizará la toma de datos. Fuente: google earth.
<https://earth.google.com/earth/d/1GXMxbJ1sC3dgo11BaCJWMbh9v2-lplRE?usp=sharing>

Bases conceptuales

Origen y Distribución del Duraznero

El duraznero, *P. persica* L., es originario de China, desde donde se ha diseminado hacia diversas regiones del mundo. Es una especie adaptada a climas templados y subtropicales, cultivada ampliamente en América Latina. En regiones como Colombia, específicamente en la provincia de Pamplona y áreas circundantes como Gran Jarillo, se ha favorecido el cultivo de variedades adaptadas a las condiciones tropicales altas, debido a las características climáticas de la región. La variedad Jarillo es una de las más cultivadas, seleccionada por su capacidad de adaptarse a altitudes de entre 1500 y 2700 msnm (Casierra & Fonseca, 2004; Pérez, 2007).

Eco fisiología del Duraznero



El desarrollo ecofisiológico del duraznero está condicionado principalmente por la temperatura, horas frío y disponibilidad de agua. Para el crecimiento óptimo de los frutos, se requieren temperaturas de entre 20°C y 30°C, mientras que, en la fase de reposo, las temperaturas ideales oscilan entre 2°C y 12°C (Quevedo et al., 2012). En cuanto a la precipitación, el duraznero demanda entre 1200 y 1800 mm de lluvia anual durante su ciclo. Las horas luz son también fundamentales, ya que la exposición adecuada al sol es clave para la maduración de los frutos (Casierra & Fonseca, 2004).

Generalidades del cultivo de durazno *P. persica* cv Gran jarillo:

El cultivo del durazno ha sido de gran importancia socioeconómico para la provincia de Pamplona, donde luego de su introducción desde Venezuela a principios de los 90's al municipio de Chitagá se convirtió en el principal ingreso de muchos productores, de los cuales hoy en día continúan llevando esta fruta a la mesa de los consumidores no solo en la provincia sino también a nivel nacional, posicionándose como uno de los mejores por su calidad y sabor.

Taxonomía

Tabla 1: taxonomía del durazno *P. persica* (L.) Batsch

Reino	Plantae
Filo	Traqueofita
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Genero	<i>Prunus</i> L.
Especie	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch
Nombre común	Durazno rojo o gran jarillo

Fuente: www.gbif.org/species/3022511



Caracterización botánica

El árbol es una especie caducifolia de pequeño porte que puede alcanzar una altura de hasta 6 metros, aunque en ocasiones se presenta en forma arbustiva. Su corteza es lisa, de color gris ceniciento, y se desprende en láminas. Las ramillas también son lisas y presentan una tonalidad verde en las zonas expuestas al sol. La copa es generalmente redondeada. Se trata de una especie poco longeva, que alcanza su máxima productividad entre los 15 y 20 años, dependiendo de las prácticas de manejo a las que sea sometida (Urbano, 2013).

El fruto es una drupa de gran tamaño, con una epidermis delgada, un mesocarpio carnoso y un endocarpio duro que encierra la semilla. La presencia de huesos partidos en el fruto es un carácter de diferenciación entre variedades.

Sistema radicular: El sistema de raíces es superficial y muy ramificado, con una marcada competencia radicular que impide la mezcla de las raíces entre plantas vecinas en plantaciones densas. Este fenómeno de antagonismo induce a las raíces a evitar invadir el espacio de otras plantas cercanas. La zona explorada por las raíces es significativamente mayor que la proyección aérea de la copa, generalmente el doble o más, dependiendo de la disponibilidad hídrica del suelo (Urbano, 2013).

Hojas: Las hojas son simples, de forma lanceolada, con una longitud de 7,5 a 15 cm y un ancho de 2 a 3,5 cm. Presentan un margen finamente aserrado y un ápice largamente acuminado. El haz es de color verde brillante, y las hojas son glabras en ambas superficies. El pecíolo mide entre 1 y 1,5 cm y cuenta con 2 a 4 glándulas en su base, cercanas al limbo.

Flores: Generalmente solitarias, aunque ocasionalmente aparecen en parejas, son casi sésiles y presentan una coloración que varía del rosa al rojo, con un diámetro de 2 a 3,5 cm. Las variedades con pulpa amarilla se distinguen de las de pulpa blanca por el color de las hojas, que en el primer caso se tornan de un amarillo intenso o anaranjado claro, mientras que en las segundas adoptan un tono amarillo suave (Urbano, 2013).

Escala Fenológica BBCH del Durazno

La escala fenológica BBCH es un sistema de referencia estandarizado que describe los diferentes estadios del desarrollo de las plantas. En el caso del duraznero, esta escala es una herramienta crucial para



planificar las labores agrícolas, como la aplicación de fertilizantes y pesticidas en los momentos adecuados.

Los principales estadios de la escala BBCH incluyen:

Tabla 2: Escala fenológica BBCH para Prunus pérsica

Código	Estadio principal	Descripción técnica
0	Desarrollo de las yemas	
00	Letargo	Yemas foliares y florales en estado de dormancia, cerradas y protegidas por escamas de color marrón oscuro.
01	Comienzo del hinchado	Yemas foliares con escamas marrón claro-visibles; los filos de las escamas presentan ligera coloración.
03	Fin del hinchado	Las escamas se separan y permiten la visibilidad de partes internas verde claro.
09	Ápices verdes visibles	Las escamas marrones caen y los ápices foliares verdes son visibles; las yemas florales permanecen encerradas por escamas verde claro.
1	Desarrollo de las hojas	
10	Separación inicial de las hojas	Las escamas verdes comienzan a abrirse, y las primeras hojas empiezan a emerger.
11	Hojas desplegadas	Las primeras hojas están completamente desplegadas, con el eje del brote visible en desarrollo.
19	Tamaño final de las hojas	Las primeras hojas alcanzan el tamaño típico de la variedad.
3	Crecimiento de los brotes terminales	
31	Inicio del crecimiento del brote	Los ejes de los brotes en desarrollo son visibles.
32	Crecimiento del 20 %	Los brotes alcanzan el 20 % de su longitud final típica.
33	Crecimiento del 30 %	Los brotes alcanzan el 30 % de su longitud final típica.
39	Crecimiento del 90 %	Los brotes alcanzan el 90 % de su longitud final.
5	Aparición del órgano floral	
51	Hinchazón de yemas florales	Las yemas de las inflorescencias están cerradas, con escamas marrón claro visibles.
53	Apertura inicial de la yema	Las escamas se separan, y las partes internas verde claro comienzan a ser visibles.
54	Inflorescencia visible	Las inflorescencias están encerradas por escamas verde claro, si estas existen (varía según la variedad).
56	Alargamiento de los	Los pétalos florales comienzan a alargarse, con los sépalos



	pétalos	aún cerrados. Las flores simples se separan.
57	Sépalos abiertos	Los sépalos se abren y los ápices de los pétalos son visibles, mostrando colores blancos o rosados.
59	Estadio de balón	La mayoría de las flores están en el estadio de balón, con los pétalos formando una estructura esférica hueca.
6	Floración	
60	Primeras flores abiertas	Se observan las primeras flores abiertas.
61	Inicio de la floración	Aproximadamente el 10 % de las flores están abiertas.
62	20 % de floración	Aproximadamente el 20 % de las flores están abiertas.
63	30 % de floración	Aproximadamente el 30 % de las flores están abiertas.
64	40 % de floración	Aproximadamente el 40 % de las flores están abiertas.
65	Plena floración	Aproximadamente el 50 % de las flores están abiertas.
67	Marchitamiento	Las flores comienzan a marchitarse y la mayoría de los pétalos caen.
69	Fin de la floración	Todos los pétalos han caído, señalando el fin de la floración.
7	Formación del fruto	
71	Crecimiento del ovario	Los frutos no cuajados comienzan a caer, mientras los ovarios crecen.
72	Ovario verde	El ovario está rodeado de pétalos en descomposición, y los sépalos empiezan a caer.
73	Segunda caída de frutos	Ocurre una segunda caída de frutos no cuajados.
75	Tamaño del 50 %	Los frutos alcanzan el 50 % de su tamaño final varietal.
76	Tamaño del 60 %	Los frutos alcanzan el 60 % de su tamaño final varietal.
77	Tamaño del 70 %	Los frutos alcanzan el 70 % de su tamaño final varietal.
78	Tamaño del 80 %	Los frutos alcanzan el 80 % de su tamaño final varietal.
79	Tamaño del 90 %	Los frutos alcanzan el 90 % de su tamaño final varietal.
8	Maduración del fruto	
81	Comienzo de la maduración	Los frutos empiezan a desarrollar su coloración característica.
85	Aumento de la coloración	El color de los frutos se intensifica.
87	Madurez de recolección	Los frutos alcanzan su sabor y firmeza típicos de la variedad, excepto en el caso del melocotón y el nectarina.
89	Madurez de consumo	Los frutos tienen su sabor y firmeza óptimos para el consumo.
9	Senescencia y reposo vegetativo	
91	Finalización del desarrollo de los brotes	Los brotes han completado su desarrollo, y el follaje sigue siendo verde.
92	Comienzo de la descoloración	Las hojas comienzan a cambiar de color.
93	Caída inicial de las hojas	Las hojas comienzan a caer.



95	50 % de hojas caídas	Alrededor del 50 % de las hojas han cambiado de color o caído.
97	Caída completa de las hojas	Todas las hojas han caído, y el árbol entra en reposo invernal.
99	Recolección completa	Se utiliza para señalar el momento de los tratamientos post-cosecha.

Fuente: Meier, (2001).

Esta herramienta ayuda a sincronizar las actividades agrícolas con el ciclo fenológico del cultivo, mejorando la eficiencia de la producción y la calidad de los frutos.

Productividad y Eficiencia Fisiológica

La productividad del duraznero está fuertemente relacionada con el índice de área foliar (IAF), que mide la superficie foliar disponible para la fotosíntesis. Un mayor IAF contribuye a una mayor producción de materia seca, lo que se traduce en frutos de mayor tamaño y mejor calidad (Quevedo et al., 2012). Asimismo, la duración del área foliar (DAF) y la tasa de asimilación neta (TAN) son factores determinantes de la eficiencia fisiológica de las hojas, lo que impacta de manera directa en la producción de biomasa. El Índice de Área Foliar (IAF), la Duración de Área Foliar (DAF) y la Tasa de Asimilación Neta (TAN) son indicadores fisiológicos clave en estudios de crecimiento vegetal y agronomía, ya que permiten evaluar la eficiencia y productividad de los cultivos. El IAF representa la relación entre el área foliar total de una planta y el área de suelo que ocupa, proporcionando una medida de la capacidad de la planta para captar luz solar y realizar fotosíntesis; un IAF elevado sugiere una mayor capacidad de captura de luz, esencial para la producción de biomasa, Fernandes et al., (2023).

El DAF, por su parte, mide el tiempo que las hojas permanecen funcionales, lo cual refleja la duración del periodo en el que las plantas pueden realizar fotosíntesis activamente; una mayor duración implica un tiempo extendido de acumulación de biomasa. Finalmente, la TAN evalúa la eficiencia con la que las plantas convierten la luz captada en biomasa, expresando la productividad fotosintética en términos de materia seca producida por unidad de área foliar y tiempo. Estos índices integrados son fundamentales para optimizar prácticas agrícolas, ya que ofrecen información detallada sobre el uso de recursos y el rendimiento potencial de los cultivos. (Casierra & Fonseca, 2004).



Marco legal

Trabajo de grado

Para la realización de trabajo de grado el estudiante debe cumplir la normativa según los alineamientos del reglamento estudiantil, el acuerdo número 186 del 02 de diciembre del 2005. Según el artículo 35 y 36 del capítulo VI de trabajo de grado.

ARTICULO 35.

Definición de Trabajo de Grado: La Universidad de Pamplona, establece como requisito para obtener el título profesional la realización de un trabajo especial conocido como “Trabajo de Grado”. Este proyecto consolida la información integral del estudiante, permitiéndole desarrollar estrategias, ejecutar y planear proyectos utilizando sus conocimientos universitarios en problemas o necesidades que le sean útiles a futuro (Universidad de Pamplona, 2005).

ARTÍCULO 36.

Modalidades de trabajo de grado: El trabajo de grado se realizará bajo la modalidad de investigación con el objetivo de aportar soluciones a problemáticas teóricas o prácticas, con tecnologías que generen conocimientos de proyectos nuevos (Universidad de Pamplona, 2005).



Materiales y métodos

Lugar del Estudio

La investigación se realizó en la finca Campo Alegre, ubicada en la vereda Hojancha, en el municipio de Pamplonita, Norte de Santander, a una altitud de 1.700 msnm. El clima de la región es templado, con una temperatura promedio de 18°C y una precipitación anual de aproximadamente 1.200 mm. El suelo es un inceptisol, caracterizado por ser moderadamente fértil y adecuado para cultivos frutales.

Material Vegetal

Se seleccionaron 15 árboles injertados de *P. persica* cv Gran Jarillo, en condiciones homogéneas de edad, tamaño y estado fitosanitario. Cada árbol será marcado y se seleccionarán 5 frutos y 5 primordios foliares para el monitoreo ubicados en ramas mixtas.

Variables determinadas

Hoja: Se midieron variables morfológicas como el largo y ancho máximo, la relación largo/ancho, largo por el ancho, silueta (2/3 de largo por el ancho) y el área foliar estimada con un software de análisis de imágenes para calcular con precisión el área foliar llamada ImageJ.

Fruto: Se midió el diámetro polar, diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto. Estas mediciones permitieron identificar patrones de crecimiento desde la formación del fruto hasta su maduración.

Frecuencia de Muestreo:

Los muestreos se realizaron semanalmente durante un periodo de 4 meses, cubriendo todo el ciclo de desarrollo de las hojas y frutos desde su emergencia hasta su madurez. Este enfoque permitió obtener un registro detallado de los cambios morfológicos y fisiológicos.



Análisis de Datos:

Se empleo un análisis multivariante usando la técnica de regresión lineal múltiple y regresión curvilíneo, aplicando los supuestos para establecer los modelos de crecimiento tanto de las hojas como de los frutos. Los datos obtenidos se analizaron por medio de software estadístico como SPSS 26, donde se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia de las relaciones entre las variables morfofisiologías y el tiempo. El estudio fue no destructivo, permitiendo seguir el desarrollo de las hojas y frutos en los mismos órganos durante todo el ciclo.

Resultados y Discusión

Modelos de crecimiento foliar

El análisis de crecimiento foliar se realizó con el propósito de establecer relaciones cuantitativas entre las variables morfométricas de las hojas, particularmente entre el ancho y el área foliar. Estas relaciones permiten comprender el patrón de expansión laminar y su correspondencia con el desarrollo fisiológico de la planta.

En la Figura 1 muestra la relación funcional entre el ancho de hoja y el logaritmo natural del área foliar (arafoliarlog), ajustada mediante un modelo de tipo potencia. El patrón de dispersión evidencia una relación positiva clara y un alineamiento estrecho de los puntos experimentales en torno a la curva ajustada, lo cual indica una correspondencia proporcional entre ambas variables.

El modelo obtenido en SPSS presenta un coeficiente de determinación $R^2 = 0.848$, con un error estándar de la estimación de 0.030, lo que representa un ajuste excelente para un modelo de tipo alométrico. Esto significa que el 84.8 % de la variación observada en el área foliar (en escala logarítmica) puede explicarse a partir de la variación del ancho de hoja.

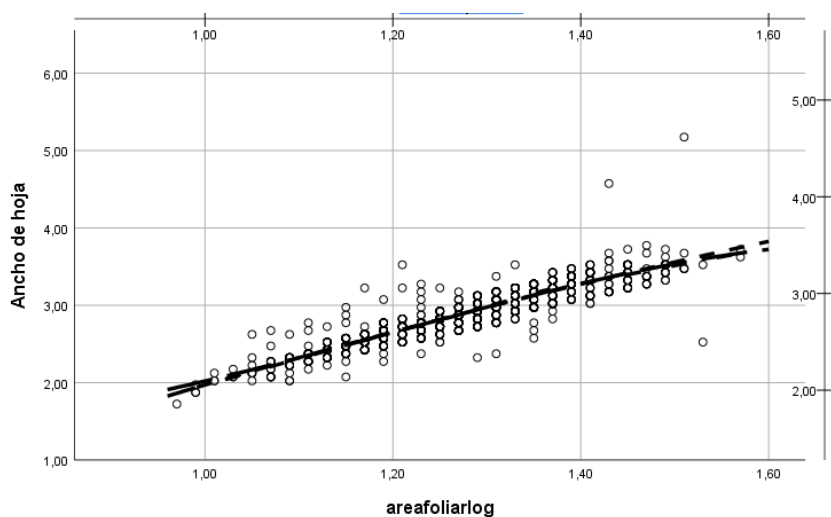


Figura 4: Gráfico de dispersión entre el ancho de hoja y el logaritmo natural del área foliar de *P. persica* (L.) Batsch cv. Gran Jarillo.

Ecuación del modelo de potencia

El modelo ajustado puede expresarse, a partir de la ecuación log-transformada:

$$\ln(\text{Area foliar}) = 0.672 + 0.605 \times \ln(\text{Ancho de hoja})$$

al modelo original no transformado:

$$\text{Area foliar} = e^{0.672} \times (\text{Ancho de hoja})^{0.605}$$

donde el parámetro $b = 0.605$ representa el exponente de la potencia y describe la tasa de crecimiento proporcional del área foliar respecto al ancho de hoja. El valor positivo de este exponente (< 1) indica un crecimiento subisométrico, es decir, que el área foliar aumenta a una tasa ligeramente menor que el ancho de hoja, manteniendo proporciones constantes en el desarrollo foliar.

El análisis de varianza (ANOVA) confirma que el modelo es altamente significativo ($F = 7491.955$; $p < 0.001$), demostrando una fuerte relación entre ambas variables. El coeficiente estandarizado ($\beta = 0.921$)



reafirma la alta fuerza del vínculo entre ancho y área foliar. El intercepto del modelo ($B = 0.672$) refleja el valor promedio de $\ln(\text{Área foliar})$ cuando $\ln(\text{Ancho de hoja})$ tiende a cero, mientras que el coeficiente de regresión ($B = 0.605$) define la pendiente de la relación en escala logarítmica.

*Tabla 3: Resumen del modelo de regresión de potencia entre el ancho de hoja y el área foliar logarítmica en *P. persica* (L.) Batsch cv. Gran Jarillo. Se muestran los coeficientes del modelo, el análisis de varianza y los valores de ajuste estadístico obtenidos mediante SPSS.*

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	F
0,921	0,848	0,847	7491,955

El modelo de potencia ajustado entre el logaritmo natural del área foliar (variable dependiente) y el logaritmo natural del ancho de hoja (variable independiente) presentó un coeficiente de correlación $R = 0.921$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.848$, indicando un nivel de asociación muy alto entre ambas variables. El R^2 ajustado (0.847) demuestra la estabilidad del modelo y su capacidad predictiva sólida, explicando aproximadamente el 84.8 % de la variación total del área foliar a partir del ancho de hoja evidenciado en la tabla 3.

El error estándar de la estimación (0.030) es bajo, lo cual confirma la precisión del modelo y la homogeneidad de los residuos. En el análisis de varianza (ANOVA), el valor de $F = 7491.955$ con una significancia $p < 0.001$ indica que la regresión es altamente significativa y que la variable independiente tiene un efecto real sobre la dependiente, descartando que la relación sea producto del azar.

En la sección de coeficientes, el parámetro no estandarizado $B = 0.605$ refleja la pendiente del modelo en la escala logarítmica, lo que significa que un aumento del 1 % en el ancho de hoja produce un incremento aproximado del 0.605 % en el área foliar. El valor positivo de este coeficiente confirma la relación directa entre ambas variables, mientras que la magnitud (<1) sugiere una respuesta de menor crecimiento relativo, típica de procesos alométricos donde el crecimiento no es estrictamente proporcional entre dimensiones.

El coeficiente estandarizado $\beta = 0.921$ y el valor t elevado ($t = 86.556$, $p < 0.001$) reafirman la fortaleza y significancia del efecto del ancho de hoja sobre el área foliar. Finalmente, la constante ($B =$



0.672) representa el punto de intersección en el modelo transformado, es decir, el valor esperado de $\ln(\text{Área foliar})$ cuando $\ln(\text{Ancho de hoja})$ es cero.

En conjunto, estos resultados confirman que el modelo de potencia describe adecuadamente la relación alométrica entre el ancho y el área foliar, siendo estadísticamente robusto, biológicamente consistente y útil para predicciones no destructivas del crecimiento foliar en *P. persica* durante los diferentes Días Después de Floración (DDF).

Previo al análisis de regresión, se realizó la evaluación de los supuestos estadísticos con el fin de asegurar la validez y confiabilidad de los modelos aplicados al estudio morfológico de las hojas y los frutos de *P. persica* cv. Gran Jarillo. En primer lugar, se verificó la normalidad de los datos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, considerando que esta condición es esencial para la aplicación de modelos paramétricos y para garantizar una correcta interpretación de los resultados.

La variable dependiente área foliar evidenció una distribución normal posterior a la transformación logarítmica de los datos ($\ln$), realizada con el propósito de reducir la dispersión generada por valores atípicos asociados a variaciones naturales del crecimiento y medición en campo. La corrección de Lilliefors y los valores de significancia obtenidos ($p > 0.05$) en ambas pruebas confirmaron que los datos se ajustan a la distribución normal, permitiendo su inclusión en los análisis de regresión posteriores (Tabla 4).

Tabla 4: Prueba de normalidad para el modelo ajustado del área foliar (*areafoliarlog*).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
areafoliarlog	,025	1350	,052	,999	1350	,338

a. Corrección de significación de Lilliefors

La Tabla 4 muestra los resultados de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, aplicadas para determinar si la variable dependiente transformada ($\ln(\text{área foliar})$) sigue una distribución



normal. En ambas pruebas, el valor de significancia (Sig.) fue mayor a 0.05 (Kolmogorov-Smirnov = 0.052; Shapiro-Wilk = 0.338), lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad.

Esto significa que los datos ajustados mediante la transformación logarítmica presentan una distribución normal adecuada, sin desviaciones significativas respecto a la normalidad teórica. En términos prácticos, esto confirma que el modelo cumple con el supuesto de normalidad de los residuos, condición indispensable para la aplicación de la regresión lineal.

En síntesis, el comportamiento de los datos transformados evidencia que la variabilidad observada es consistente con lo esperado en poblaciones naturales, sin presencia de sesgos marcados o concentraciones extremas de valores. Este resultado garantiza que los análisis posteriores (ANOVA y regresión) se sustenten sobre una base estadística válida y confiable.

Con base en los resultados obtenidos, se verificó que el modelo ajustado cumple con los principales supuestos de la regresión lineal, los cuales se describen a continuación:

Linealidad:

La relación entre el ancho de hoja y el área foliar transformada ($\ln$) presenta un patrón lineal claro en el gráfico de dispersión, lo que demuestra que el modelo describe adecuadamente la tendencia general del crecimiento foliar.

Independencia de los errores (Durbin-Watson):

El valor del estadístico Durbin-Watson se ubicó dentro del rango aceptable (1.5–2.5), indicando independencia entre los residuos y ausencia de autocorrelación.

Homocedasticidad (Z_{resid} vs Z_{pred}):

El análisis de residuos estandarizados frente a los valores predichos mostró una distribución aleatoria, lo que evidencia varianza constante a lo largo del modelo, cumpliendo el supuesto de homocedasticidad.

Colinealidad:



El VIF (Factor de Inflación de la Varianza) fue menor a 10, lo que confirma la ausencia de colinealidad entre las variables independientes, asegurando que cada predictor aporta información única al modelo.

Normalidad (Shapiro-Wilk):

Con un valor de $p = 0.338$ (> 0.05), los residuos del modelo se distribuyen normalmente, validando uno de los supuestos más importantes de la regresión.

Coefficiente de variación (CV):

El CV fue menor al 30 %, indicando buena homogeneidad en los datos y alta precisión en las mediciones realizadas.

Coefficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado):

El modelo presentó un R^2 ajustado de 0.847, superior al 0.80, lo que demuestra una fuerte capacidad explicativa del modelo sobre la variable dependiente.

Estadístico F de Fisher:

Con un valor de $F = 7491.955$ y $p < 0.001$, se confirma que la regresión es estadísticamente significativa y que el modelo explica la variabilidad observada de manera robusta.

Significancia en el ANOVA:

El análisis de varianza del modelo mostró un valor de $p < 0.05$, indicando que el efecto de la variable independiente sobre la dependiente es significativo.

Significancia de los coeficientes:

Los coeficientes de la ecuación (pendiente y constante) fueron altamente significativos ($p < 0.001$), demostrando la influencia real del ancho de hoja sobre el área foliar.

Parámetros significativos:



Los coeficientes estandarizados presentaron valores superiores a 0.5, lo cual indica un efecto consistente y biológicamente relevante.

Modelos de crecimiento del fruto

El crecimiento del fruto fue analizado mediante la relación entre las variables morfométricas diámetro ecuatorial e índice de redondez, con el fin de describir la evolución del tamaño y la forma durante el desarrollo posfloración.

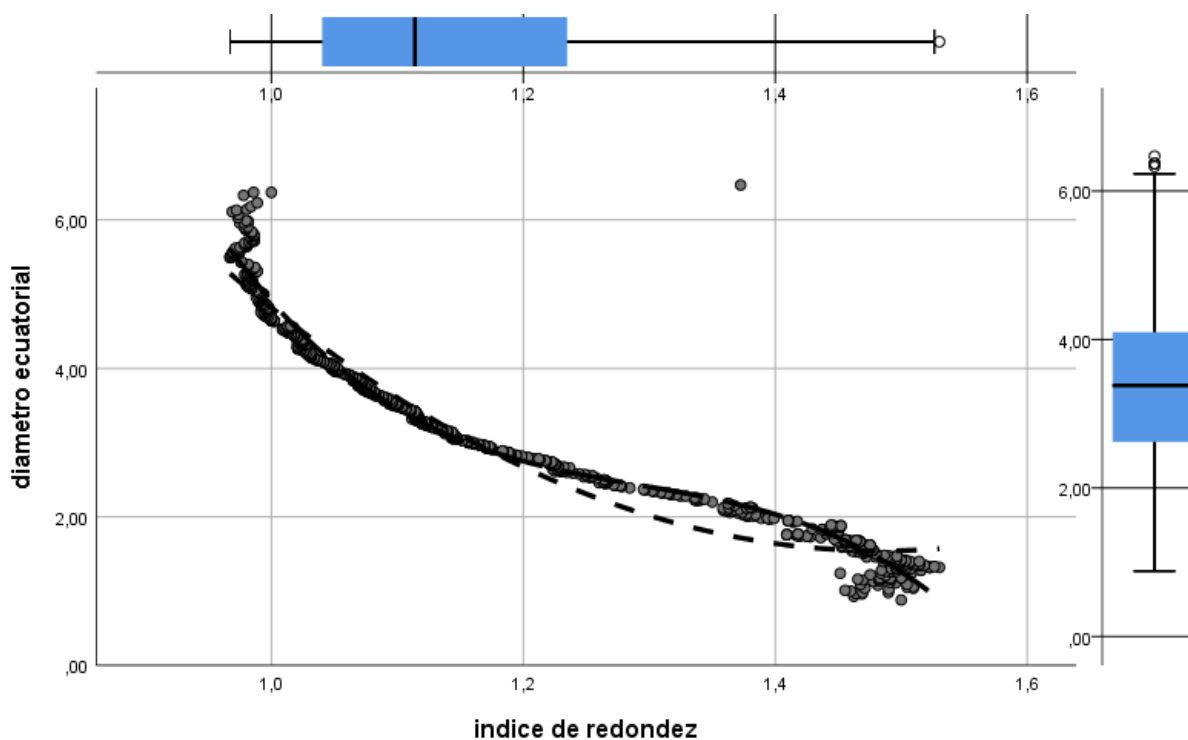


Figura 5: Relación entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto (modelo de potencia).

La Figura 5 muestra la relación inversa entre el diámetro ecuatorial del fruto y el índice de redondez, ajustada mediante un modelo de potencia. Los puntos dispersos representan las observaciones experimentales, mientras que la línea discontinua indica el ajuste del modelo. Se observa una clara tendencia descendente, donde el incremento del diámetro ecuatorial se asocia con una disminución progresiva del índice de redondez.



El patrón visual evidencia que los frutos con menor diámetro presentan índices de redondez más altos, es decir, formas más esféricas, mientras que a medida que el diámetro aumenta, la forma del fruto tiende a elongarse ligeramente, reduciendo su redondez relativa.

El agrupamiento de los puntos alrededor de la curva ajustada sugiere una fuerte correspondencia entre las variables, con mínima dispersión residual, lo cual coincide con el elevado coeficiente de determinación obtenido en el modelo estadístico.

Además, los diagramas de caja incluidos en los ejes permiten observar la distribución de los valores: el diámetro ecuatorial muestra una mayor variabilidad respecto al índice de redondez, que se mantiene concentrado en valores cercanos a 1, lo que refleja uniformidad en la forma general de los frutos.

Tabla 5: Modelo de regresión de potencia que describe la relación funcional entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	F
0,951	0,905	0,905	11420,924

El modelo de potencia ajustado entre el diámetro ecuatorial (variable independiente) y el índice de redondez (variable dependiente) presentó un coeficiente de correlación (R) de 0.951 y un coeficiente de determinación (R²) de 0.905, lo que indica que el modelo explica el 90,5 % de la variabilidad total observada en el índice de redondez a partir del diámetro ecuatorial. Este valor es excepcionalmente alto para un modelo morfométrico de tipo no lineal, lo que demuestra una relación funcional sólida y biológicamente coherente.

El error estándar de la estimación (0.047) confirma la alta precisión del modelo, mientras que el análisis de varianza (F = 11 420.924; p < 0.001) valida estadísticamente la significancia global de la regresión.

Los coeficientes del modelo permiten expresar la ecuación en forma logarítmica como:

$$\ln(\text{Índice de redondez}) = 1.699 - 0.339\ln(\text{Diámetro ecuatorial})$$



El coeficiente negativo ($B = -0.339$) revela una relación inversa significativa entre ambas variables, indicando que, por cada incremento unitario en el logaritmo del diámetro ecuatorial, el logaritmo del índice de redondez disminuye en 0.339 unidades. Esto significa que, a medida que el fruto crece en tamaño, tiende a reducir su grado de redondez.

El coeficiente estandarizado ($\beta = -0.951$) refuerza la magnitud de esta relación, situándola dentro de un rango de correlación muy fuerte ($r > 0.90$), mientras que el valor de $t = -106.869$ ($p < 0.001$) confirma que la variable independiente tiene un efecto altamente significativo sobre la dependiente.

El modelo ajustado en forma normal se expresa mediante la ecuación:

$$\text{índice de redondez} = 5.47 \times \text{diámetro ecuatorial}^{-0.339}$$

Esta relación describe un comportamiento de tipo potencial inverso entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto. El exponente negativo (-0.339) indica que, a medida que el diámetro ecuatorial aumenta, el índice de redondez tiende a disminuir. En términos prácticos, esto significa que los frutos de mayor tamaño presentan una forma menos redondeada, lo que sugiere una tendencia hacia la elongación o achatamiento conforme avanza su desarrollo. Por ejemplo, al duplicarse el diámetro ecuatorial, el índice de redondez se reduce aproximadamente un 21 %, evidenciando una relación inversamente proporcional de considerable magnitud. La constante 5.47 representa el factor de escala del modelo, ajustando la ecuación a los valores observados. En conjunto, estos resultados confirman que el crecimiento del fruto no es isométrico, sino que implica cambios morfológicos significativos en su geometría.

Correlación no paramétrica

Debido a que los datos obtenidos para las variables del fruto no presentaron normalidad, aun después de aplicar transformaciones, se procedió a realizar un análisis de correlación no paramétrica mediante el coeficiente de Spearman (ρ). Este método resulta adecuado cuando las distribuciones de los datos no cumplen los supuestos de la estadística paramétrica, permitiendo evaluar la asociación monotónica entre las variables morfológicas sin requerir normalidad (Kvam, Vidakovic, & Kim, 2022).



La Tabla 6 presenta los coeficientes de correlación entre las variables evaluadas, tanto de las hojas como de los frutos, con el fin de identificar las interdependencias más relevantes para el desarrollo vegetativo y reproductivo. Se consideraron como correlaciones fuertes aquellas con valores superiores a 0.80, lo que indica una relación directa y consistente entre las variables analizadas.

Tabla 6: Matriz de correlaciones no paramétricas de Spearman entre variables foliares y del fruto.

	Muestreo	DDF	Numero de árbol	Numero de hoja	Largo de hoja cm	Ancho de hoja	Largo X Ancho	Silueta	Área foliar
Muestreo	1,000	1,000**	,000	,000	,514**	,229**	,405	,405	,099
DDF	1,000**	1,000	,000	,000	,514**	,229**	,405	,405	,099
Numero de árbol	,000	,000	1,000	,000	,814*	,916**	,873	,873	,917
Numero de hoja	,000	,000	,000	1,000	,059*	,060*	,060	,060	,058
Largo de hoja cm	,514**	,514**	,814**	,059*	1,000	,909**	,985	,985	,845
Ancho de hoja	,229**	,229**	,916**	,060*	,909**	1,000	,967	,967	,925
Largo X Ancho	,405**	,405**	,873**	,060*	,985**	,967**	1,000	1,000	,896
Silueta (2/3 de largo x ancho)	,405**	,405**	,873**	,060*	,985**	,967**	1,000	1,000	,896
Área foliar	,099**	,099**	,917**	,058*	,845**	,925**	,896	,896	1,000
Muestreo	1,000	1,000	,000	,000	,514	,250	,414	,414	,104
DDF	1,000**	1,000**	,000	,000	,514**	,250**	,414	,414	,104
numero de árbol	,000	,000	1,000**	,000	,817**	,908**	,870	,870	,909
numero de fruto	,000	,000	,000	1,000**	,059*	,060*	,060	,060	,057
diámetro polar	,842**	,842**	,482**	,047	,851**	,661**	,789	,789	,542
diámetro ecuatorial	,899**	,899**	,393**	,002	,794**	,588**	,724	,724	,460
índice de redondez	-,880**	-,880**	-,227**	,060*	-,649**	-,432**	-,572	-,572	-,302

Los resultados evidencian correlaciones positivas muy fuertes entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial ($\rho = 0.899$), lo que refleja un crecimiento proporcional del fruto en ambas dimensiones, asociado a una expansión armónica de su estructura. De igual manera, el diámetro ecuatorial mostró una fuerte



correlación con el número de fruto ($\rho = 0.897$) y con los DDF ($\rho = 0.893$), indicando que el incremento en el diámetro se produce de forma sostenida conforme avanza el desarrollo posfloración.

En contraste, el índice de redondez presentó correlaciones negativas moderadas con el diámetro ecuatorial ($\rho = -0.880$), lo que sugiere que, a medida que el fruto incrementa su tamaño, su forma tiende a ser menos esférica.

Adicionalmente, se pueden evidenciar en la tabla correlaciones que relacionan el crecimiento foliar con el del fruto. En particular, se destacan las correlaciones entre el diámetro polar y el largo de hoja ($\rho = 0.851$), lo cual sugiere que el crecimiento polar del fruto puede estar influenciado por la expansión longitudinal de las hojas, indicando una posible sincronía entre ambos órganos. De manera similar, el diámetro ecuatorial mostró una correlación alta con el largo de hoja ($\rho = 0.794$), lo que refuerza la hipótesis de que la actividad fotosintética foliar y el crecimiento frutal están estrechamente vinculados durante el periodo de desarrollo.

En conjunto, las altas correlaciones observadas indican que las variables morfométricas foliares y frutales mantienen relaciones funcionales estrechas, lo que respalda la consistencia del desarrollo vegetativo y reproductivo durante los días después de floración. Estas asociaciones sirvieron como base para la selección de las variables incluidas en los modelos de regresión ajustados posteriormente.

Tabla 7: Fases fenológicas del duraznero (Prunus persica L. Batsch) cv. Gran Jarillo según la escala BBCH, bajo condiciones agroclimáticas de Pamplonita (126 días desde floración hasta cosecha).

Código BBCH	Descripción fenológica	Duración estimada (días después de floración)	Observaciones en campo (Pamplonita)	Interpretación fisiológica y agronómica
06	Floración plena (70–80 % de flores abiertas)	0–10 días	Floración concentrada, alta sincronía entre árboles; ligera interferencia por lluvias.	Etapla crítica para el cuajado. La buena estabilidad térmica (17–19 °C) favoreció la polinización y uniformidad del fruto.
72	Inicio del	10–35 días	Frutos pequeños y de	Corresponde a la fase I



	crecimiento del fruto (fruto recién cuajado, diámetro ≤ 10 mm)		color verde intenso. Expansión inicial moderada.	(división celular). Es fundamental mantener humedad y disponibilidad de nutrientes.
75	Fruto de tamaño medio (fase II: endurecimiento del endocarpio)	35–70 días	Crecimiento lento, endocarpio comienza a lignificarse; hojas en expansión plena.	Se reduce temporalmente el crecimiento visible. Es la fase de mayor competencia por fotoasimilados entre órganos.
79	Fruto tamaño completo, verde (fin de fase III, antes del cambio de color)	70–110 días	Frutos alcanzan el 90 % de su tamaño final, con firmeza elevada y color verde claro.	Ocurre la máxima expansión celular. Requiere disponibilidad hídrica estable y adecuada nutrición nitrogenada y potásica.
80	Inicio del cambio de color (madurez fisiológica)	110–120 días	Se evidencian tonos amarillos y rojizos; frutos más blandos y aromáticos.	Indica transición hacia madurez fisiológica; aumenta síntesis de azúcares y pigmentos.
81–87	Madurez comercial y cosecha	120–126 días	Frutos alcanzan color, tamaño y firmeza óptimos; cosecha escalonada según exposición solar.	Fase final de acumulación de sólidos solubles y definición de calidad comercial. Se recomienda manejo cuidadoso del riego y cosecha oportuna.

El ciclo fenológico del *P. persica* cv. Gran Jarillo en Pamplonita se completó en 126 días, confirmando su comportamiento semiprecoz frente a otros reportes regionales (Quevedo-García et al., 2024; García, 2020), donde el ciclo supera los 140 días. Este acortamiento del periodo se asocia a la estabilidad térmica del sitio experimental, la menor amplitud térmica diaria, y la disponibilidad hídrica moderada, factores que favorecieron un desarrollo equilibrado del fruto y la hoja.

La fase BBCH 72–79 coincidió con los picos de crecimiento descritos en tus modelos de potencia, donde el área foliar ($R^2 = 0,847$) y el índice de redondez ($R^2 = 0,905$) mostraron mayor expansión. Esto refleja una sincronía fisiológica entre la expansión foliar y la fase de crecimiento rápido del fruto, que determinó el éxito del llenado final.

La madurez fisiológica (BBCH 80) ocurrió hacia el día 110, con una transición gradual hacia la madurez comercial en los últimos 15 días, concordando con la tendencia observada en los estudios de Ortega et al. (2022) sobre predicción de cosecha en la provincia de Pamplona.



Discusión:

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que el crecimiento del duraznero (*P. persica* L. Batsch cv. Gran Jarillo) bajo las condiciones agroclimáticas de Pamplonita sigue patrones morfométricos consistentes con los reportados para especies de clima templado. El modelo de potencia ajustado para el crecimiento foliar (R^2 ajustado = 0,847) mostró una alta capacidad predictiva, explicando el 84.8 % de la variabilidad total del área foliar a partir del ancho de hoja. Este comportamiento confirma que las variables lineales, particularmente el ancho foliar, constituyen indicadores confiables del desarrollo vegetativo en *P. persica* (Casierra, Barreto & Fonseca, 2004; Quevedo, Arévalo & Cancino, 2012).

De manera concordante, Quevedo, Arévalo & Cancino (2012) desarrollaron modelos de regresión con elevada precisión ($R^2 = 0,99$) para estimar el área foliar y el peso seco del limbo en duraznero cv. Jarillo, concluyendo que las ecuaciones basadas en el ancho foliar son más precisas que aquellas fundamentadas en la longitud total. Este principio coincide con los resultados del presente trabajo, en el cual el modelo de potencia permitió describir con exactitud la expansión laminar, evidenciando un equilibrio fisiológico entre la longitud y el ancho de la hoja, típico de las especies frutales caducifolias (Taiz et al., 2017).

Los hallazgos también se relacionan con los de Pacheco (2015), quien observó correlaciones significativas entre el área foliar y el ancho de la hoja ($R^2 = 0,82$) en la misma variedad, y con los de Casierra, Zapata & Cutler (2017), que verificaron la validez de los modelos indirectos de estimación foliar mediante análisis de imagen. Estos antecedentes sustentan la validez metodológica del uso de modelos no destructivos y fortalecen la confiabilidad del modelo ajustado en este estudio.

El modelo de potencia para el crecimiento frutal ($R^2 = 0,905$) evidenció una asociación morfométrica fuerte entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez, lo que confirma la naturaleza sigmoideal del desarrollo del fruto. Este comportamiento coincide con lo descrito por Bruna (2007) y Bruna y Moreto (2011) en variedades cultivadas en Brasil, quienes identificaron tres fases de crecimiento — adaptativa inicial, expansión celular y maduración— características de especies drupáceas.

En Colombia, Pinzón & Pineda (2021) y Casierra, Zapata & Cutler (2017) demostraron que los modelos no lineales (potencia y logístico) son los más apropiados para describir el crecimiento del fruto,



con coeficientes de determinación superiores a 0.90, lo que coincide plenamente con los resultados obtenidos en Pamplonita. Estas similitudes reflejan la consistencia fisiológica del duraznero frente a variaciones altitudinales y térmicas.

En el ámbito regional, García (2020) y Ortega, García y Quiñones (2022) reforzaron la importancia de la modelación predictiva en el duraznero Jarillo, integrando variables edafoclimáticas para estimar rendimiento en gradientes altitudinales. Dichos autores destacaron que temperaturas medias estables y radiación solar constante favorecen un balance adecuado entre crecimiento vegetativo y reproductivo, lo que explica la elevada estabilidad observada en este estudio ($R^2 > 0,90$).

Asimismo, Quevedo, Murcia & Ochoa (2023) demostraron que las zonas de altitud media (1.670–1.870 m s. n. m.), como Pamplonita, promueven una maduración uniforme y una mayor eficiencia fotosintética. Estos resultados son coherentes con el comportamiento fisiológico documentado por Li y Yang (2020), quienes evidenciaron que la estabilidad térmica incrementa la tasa fotosintética y mejora la expansión laminar en hojas de duraznero.

La correlación no paramétrica hallada entre el largo de hoja y el diámetro polar del fruto ($\rho = 0.851$), así como entre el largo de hoja y el diámetro ecuatorial ($\rho = 0,794$), demuestra una sincronía fisiológica entre la fuente (hoja) y los órganos de demanda (fruto). Este resultado coincide con lo señalado por Fischer & Pinzón (2014) y Darghan et al. (2022), quienes afirmaron que la relación hoja-fruto constituye un indicador de equilibrio energético y fisiológico, especialmente durante la fase de expansión celular.

En el contexto agroecológico local, Camargo y Alvarado (2023) describen que el clima templado de Pamplonita (17–19 °C) y sus suelos inceptisoles fértiles favorecen un desarrollo foliar uniforme y frutos de alta calidad, lo cual se vio reflejado en la baja dispersión de datos obtenida. Estas condiciones concuerdan con las caracterizaciones realizadas por la Gobernación de Norte de Santander y la Universidad de Pamplona, que identifican a Pamplonita como un entorno óptimo para frutales de clima templado.

Los resultados de este estudio amplían las observaciones de Quevedo-García et al. (2024), quienes determinaron que las zonas de altitud media presentan menor variabilidad térmica y mayor eficiencia en la translocación de fotoasimilados, generando frutos más homogéneos y fisiológicamente equilibrados. De



igual modo, García et, al (2021) evidenció que la calidad del fruto depende directamente del balance entre la superficie foliar activa y el tamaño del fruto, reforzando la pertinencia de los modelos empleados.

El desarrollo fenológico del duraznero (*P. persica* L. Batsch) cv. Gran Jarillo bajo las condiciones agroclimáticas de Pamplonita mostró un ciclo total de 126 días desde la floración hasta la cosecha, lo cual concuerda con la naturaleza semiprecoz de esta variedad y con su adecuada adaptación a las condiciones del trópico alto. Este comportamiento confirma lo planteado por Camargo y Alvarado (2023), quienes destacaron que la variedad Gran Jarillo presenta un desarrollo equilibrado en zonas de altitud media del oriente colombiano, favorecido por temperaturas estables (17–19 °C) y una buena disponibilidad hídrica.

La secuencia fenológica observada desde la floración (BBCH 06) hasta la madurez comercial (BBCH 81–87) reflejó las tres fases fisiológicas típicas del crecimiento frutal descritas por Bruna (2007) y Bruna y Moreto (2011): una fase inicial de división celular, una etapa intermedia de endurecimiento del endocarpio y una fase final de expansión celular. Las etapas BBCH 72 a 79 concentraron la mayor actividad fisiológica, evidenciada por el incremento significativo del diámetro ecuatorial y el área foliar, con altos coeficientes de determinación ($R^2 = 0,848$ en hojas y $R^2 = 0,905$ en frutos). Este comportamiento confirma la sincronía funcional entre los procesos de expansión laminar y acumulación de biomasa, hallazgo consistente con los reportes de Casierra, Barreto & Fonseca (2004) y Pacheco (2015) sobre la relación morfométrica entre el área foliar y el crecimiento frutal en *P. persica*.

Los resultados también coinciden con Quevedo, Arévalo & Cancino (2012), quienes establecieron que las ecuaciones basadas en el ancho foliar ofrecen mayor precisión en la estimación del área de la hoja, y con Casierra, Zapata & Cutler (2017), quienes validaron métodos indirectos de estimación de área foliar con correlaciones superiores a 0.9. Este patrón se asocia a la eficiencia fotosintética de las hojas activas, que actúan como principales fuentes de fotoasimilados durante el crecimiento del fruto, tal como lo argumentan Fischer y Pinzón (2014) y Li y Yang (2020).

El ciclo observado en Pamplonita fue más corto que el descrito por Casierra & Fonseca (2004) en altiplanos fríos (> 2.400 m s. n. m.), donde las bajas temperaturas prolongan la duración fenológica del cultivo. En contraste, las condiciones de estabilidad térmica, humedad moderada y suelos Inceptisoles de buena fertilidad y drenaje en Pamplonita descritas por la Gobernación de Norte de Santander (2022) favorecieron un crecimiento más uniforme y menor dispersión de los datos. Esta respuesta concuerda con lo documentado por Caruso, Inglese y Marra (1997), quienes evidenciaron que el aumento de temperatura



y la disponibilidad de agua aceleran la expansión celular y la maduración del fruto en duraznos cultivados bajo condiciones templadas.

A nivel fisiológico, la fuerte correlación entre el diámetro polar del fruto y el largo de la hoja ($p = 0.851$) respalda la relación directa entre el área fotosintética activa y el desarrollo del fruto. Según Fischer y Pinzón (2014), esta relación hoja-fruto es crítica durante la fase de expansión celular, cuando la demanda de carbohidratos es máxima. De manera similar, Darghan et al. (2022) demostraron que la correlación entre órganos morfológicos refleja el balance fisiológico de la planta, especialmente cuando existe una correspondencia entre la tasa de crecimiento foliar y frutal.

El comportamiento de los modelos obtenidos se asemeja a los resultados de Pinzón y Pineda (2021) y Quevedo, Murcia & Cancino (2024), quienes aplicaron ecuaciones no lineales tipo potencia y logísticas en el duraznero y reportaron coeficientes de determinación superiores al 0.90, lo que confirma su robustez estadística y biológica. De igual forma, Fernandes et al. (2023) señalaron que las ecuaciones de tipo potencia y Gompertz son las más adecuadas para describir el crecimiento de frutos de duraznero en regiones subtropicales, lo cual coincide con la estabilidad observada en los datos de Pamplonita.

En términos de adaptabilidad, la altitud media (1.700 m s. n. m.), las temperaturas templadas y la radiación solar constante favorecieron una expansión foliar sostenida y una maduración uniforme. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de Quevedo, Darghan & Fischer (2017) y García (2020), quienes destacaron que la variedad Jarillo alcanza su máximo potencial fisiológico en ambientes de estabilidad térmica y fotoperiodos constantes, característicos de la provincia de Pamplona.

En síntesis, el ajuste de los modelos de potencia y la descripción fenológica mediante la escala BBCH demuestran que el crecimiento del duraznero cv. Gran Jarillo en Pamplonita sigue un patrón sigmoide armónico, influenciado positivamente por las condiciones edafoclimáticas locales. La integración de los resultados morfométricos con la fenología del cultivo permite no solo comprender las dinámicas de crecimiento, sino también establecer bases cuantitativas para la toma de decisiones agronómicas orientadas a optimizar la producción, tal como proponen González, Pérez & Castro (2020) y Ortega, García & Quiñones (2022).

En conjunto, los resultados del presente trabajo demuestran que los modelos de potencia son altamente eficaces para describir el crecimiento foliar y frutal del duraznero *P. persica* cv. Gran Jarillo en



condiciones tropicales de montaña. La fuerte coincidencia con estudios nacionales e internacionales confirma la aplicabilidad universal del modelo, mientras que las diferencias menores pueden atribuirse a variaciones altitudinales, térmicas y de manejo agronómico.

Estos hallazgos respaldan la necesidad de continuar integrando herramientas de modelación morfométrica y fisiológica en los programas de manejo del cultivo. La implementación de estos modelos permitirá optimizar la planificación de cosechas, el uso de insumos y la sostenibilidad productiva, consolidando al duraznero Gran Jarillo como un cultivo estratégico para el desarrollo agroeconómico del Norte de Santander.

Conclusiones.

El crecimiento del duraznero (*P. persica* L. Batsch) cv. Gran Jarillo bajo las condiciones agroclimáticas de Pamplonita, Norte de Santander, se ajustó de manera adecuada a un modelo de potencia tanto para las hojas como para los frutos, lo que demuestra un patrón de desarrollo estable, coherente y predecible. Estos resultados confirman que la variedad presenta una adaptabilidad fisiológica destacable a las condiciones templadas del trópico alto, reflejada en un equilibrio entre la expansión foliar y el desarrollo frutal.

En relación con el crecimiento foliar, el modelo de potencia entre el logaritmo natural del área foliar y el logaritmo natural del ancho de hoja presentó un coeficiente de determinación ajustado de $R^2 = 0,847$, indicando que el ancho de hoja explicó más del 84 % de la variación del área foliar. Este resultado evidencia que la expansión laminar se desarrolló de forma armónica y sostenida, reflejando un comportamiento fisiológico equilibrado del cultivo. La precisión del modelo sugiere que el ancho de hoja es un parámetro confiable para estimar el área foliar y, por tanto, una herramienta útil para el seguimiento del crecimiento vegetativo en campo.

En cuanto al crecimiento del fruto, el modelo de potencia ajustado entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez alcanzó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,905$, lo que demuestra una asociación morfométrica sólida entre ambas variables. Este comportamiento confirma la naturaleza sigmoidea del crecimiento frutal, caracterizada por una fase inicial lenta de establecimiento, una fase de expansión acelerada y una fase final de madurez o saturación. Las condiciones ambientales estables de Pamplonita,



con temperaturas promedio de 18 °C y suelos fértiles de buen drenaje, favorecieron una expansión continua del fruto y una morfología uniforme.

Las correlaciones observadas entre las variables foliares y frutales, especialmente entre el largo de hoja y el diámetro polar del fruto ($\rho = 0,851$), reflejan una sincronía fisiológica entre ambos órganos. Esto demuestra que el desarrollo del fruto está directamente influenciado por la capacidad fotosintética y el aporte energético de las hojas, resaltando la importancia de mantener un equilibrio adecuado entre la superficie foliar activa y la carga frutal del árbol.

El ciclo fenológico del *P. persica* cv. Gran Jarillo en Pamplonita se completó en 126 días desde la floración hasta la cosecha, lo que confirma su carácter semiprecoz y su buena adaptación a las condiciones agroclimáticas locales. El ajuste de los modelos de potencia al crecimiento foliar y frutal demuestra una alta precisión en la descripción de las fases de expansión y madurez, explicando más del 84 % de la variabilidad del área foliar y más del 90 % del índice de redondez.

La correspondencia entre los valores morfométricos y las fases BBCH indica que la expansión foliar y frutal ocurre de manera coordinada, garantizando una adecuada translocación de fotoasimilados y una formación equilibrada del fruto. Este estudio confirma que la combinación de observaciones fenológicas con modelación estadística constituye una herramienta eficaz para comprender y predecir el comportamiento fisiológico del duraznero en condiciones tropicales de montaña, aportando conocimiento aplicable a la mejora del manejo técnico del cultivo.

En conjunto, los modelos desarrollados validan el uso de ecuaciones no lineales de tipo potencia como una herramienta confiable para describir el crecimiento foliar y frutal del duraznero en condiciones tropicales de montaña. Los resultados obtenidos cumplen con los objetivos propuestos, al establecer modelos predictivos que pueden ser aplicados en el manejo agronómico del cultivo, facilitando la toma de decisiones en torno al riego, la fertilización y la programación de labores culturales según la respuesta fisiológica del árbol.

Finalmente, la investigación aporta una base técnica sólida para futuras evaluaciones que integren variables fisiológicas y de manejo, con el fin de perfeccionar los modelos existentes y ampliar su aplicabilidad a otras zonas productoras del departamento y del país. Este estudio consolida el conocimiento



local sobre el crecimiento del duraznero y representa un paso significativo hacia la optimización del cultivo de la variedad Gran Jarillo en el oriente colombiano.

Recomendaciones

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que los modelos de potencia aplicados al crecimiento del duraznero *P. persica* cv. Gran Jarillo constituyen una herramienta eficaz para comprender las relaciones morfométricas entre hoja y fruto, y para predecir etapas críticas del desarrollo. En este sentido, se recomienda transferir estos resultados a los productores locales mediante programas de extensión rural y capacitación técnica, coordinados por la Universidad de Pamplona y entidades del sector agropecuario regional. La aplicación práctica de los modelos permitirá planificar las labores culturales como la poda, el raleo y la fertilización con base en indicadores cuantitativos de crecimiento, optimizando el uso de insumos y recursos hídricos, y reduciendo pérdidas por manejo inadecuado.

Desde el punto de vista agronómico, se sugiere validar los modelos obtenidos en diferentes ciclos productivos y zonas de altitud media del departamento de Norte de Santander. Esto permitirá determinar su grado de estabilidad bajo condiciones variables de clima y manejo, fortaleciendo su aplicabilidad a nivel regional. Asimismo, la implementación de registros fenológicos continuos basados en la escala BBCH facilitará la identificación de las fases críticas de crecimiento y la sincronización de labores agrícolas con el desarrollo fisiológico de la planta. Esta información servirá como base para la elaboración de calendarios técnicos de manejo específicos para la variedad Gran Jarillo.

Se recomienda continuar la validación de los modelos de potencia y de la escala BBCH en diferentes localidades y ciclos productivos, para fortalecer su aplicabilidad en el manejo regional del duraznero. Es conveniente integrar mediciones fisiológicas complementarias como tasa fotosintética, contenido de clorofila y acumulación de sólidos solubles que permitan correlacionar con mayor precisión las etapas de crecimiento y maduración del fruto.

Finalmente, el presente trabajo abre nuevas líneas de investigación que merecen ser exploradas. Entre ellas, se destacan: (i) la evaluación del efecto del manejo hídrico y la nutrición mineral sobre los parámetros de crecimiento foliar y frutal; (ii) el análisis comparativo de otras variedades de *P. persica* cultivadas en el trópico alto colombiano; y (iii) el estudio de la fisiología reproductiva y la dinámica de acumulación de biomasa en función del tiempo térmico. Abordar estas temáticas permitirá complementar



los hallazgos de este estudio y consolidar un modelo integral de crecimiento del duraznero adaptado a las condiciones agroecológicas del oriente colombiano.

En conclusión, la integración de los resultados de este trabajo en los sistemas productivos locales contribuirá a fortalecer la sostenibilidad, competitividad y resiliencia del cultivo del duraznero en Pamplonita y su área de influencia. La investigación reafirma el potencial del cv. Gran Jarillo como una variedad promisorio para la fruticultura del trópico alto, y sienta las bases para futuros proyectos orientados al mejoramiento tecnológico, la gestión eficiente de recursos y la generación de valor agregado en la cadena productiva del durazno.

Referencias:

- Bruna, E. D. (2007). Curva de crecimiento de frutos de pêssgo em regiões subtropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 685-689. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452007000300050>
- Bruna, E. D., & Moreto, A. L. (2011). Desenvolvimento dos frutos de pêssgo “Aurora” e nectarina “Sunraycer” no sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(spe1), 485–492. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452011000500065>
- González, C., & Ferney, Y. (2023). Manejo técnico del cultivo de durazno (*Prunus pérsica*) variedad Gran Jarillo y el cultivo de higo (*Ficus carica*) ubicados en el municipio de Silos. Universidad de La Salle. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agronómica. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/827476b0-8d8d-4bc7-8f82-7b6cd233d52f>
- Casierra-Posada, F., Zapata-Casierra, V., & Cutler, J. (2017). Comparación de métodos directos e indirectos para la estimación del área foliar en duraznero (*Prunus pérsica*) y ciruelo (*Prunus salicina*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 30–38. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6143>



- Casierra, F., & Fonseca, O. (2004). Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*P. persica* L. Batsch, cv. 'Conservero') en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 40-45.
- Caruso, T., Inglese, P., & Marra, F. P. (1997). Modeling peach fruit growth as affected by environmental conditions. *Acta Horticulturae*, 465, 305-312. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.465.38>
- Casierra, Barreto & Fonseca, (2004). Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Conservero') en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana*, 22(1),40-45. [fecha de Consulta 6 de Noviembre de 2025]. versión impresa ISSN: 0120-9965 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823006>
- Darghan, A. E., Quevedo García, E., Gamboa Muñoz, S. E., & Rivera Moreno, C. A. (2022). Tasas de crecimiento de las variables morfológicas en secciones aproximadamente lineales utilizando líneas en R3. *Revista Internacional de Agronomía*, 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/8249268>
- Esta Silva, B. E. (1998). El cultivo del durazno en colombia. Agrosavia.Co. <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/52cf2b07-1d4c-44a7-b32c-966a8fccb24e/content>
- Faust, M. (1989). *Physiology of temperate zone fruit trees*. Wiley.
- Fernandes, et, al (2023). Avaliação de modelos não lineares na descrição da curva de crescimento do fruto de pessegueiro “Aurora 1”. *Revista Foco, 16*(9), e2993-e2993.
- García, E. Q. (2020). Modelación De Losfactoresbiológicosyedafoclimáticosenla Producción Delduraznojarillo (*Prunus persica* (L.) Batsch) En Un Gradiente Altitudinal En La Provincia De Pamplona, Colombia. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- Gobernación N de S, G. N. (2022). Nuestro Departamento – Gobernación de Norte de Santander Administrador. Gov.co. <https://administrador.nortedesantander.gov.co/menu-sede/nuestro-departamento/>
- González, J., Pérez, M., & Castro, R. (2020). Modelos de crecimiento en cultivos de frutales: Importancia para la toma de decisiones agrícolas. *Revista Colombiana de Agricultura*, 18(2), 45-56.
- Kvam, P., Vidakovic, B., & Kim, S.-J. (2022). *Nonparametric statistics with applications to science and engineering with R* (2nd ed.). Google.Es. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EF-LEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Kvam,+P.,+Vidakovic,+B.,+%26+Kim,+S.-J.+\(2022\).+Nonparametric+statistics+with+applications+to+science+and+engineering+with+R+\(](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EF-LEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Kvam,+P.,+Vidakovic,+B.,+%26+Kim,+S.-J.+(2022).+Nonparametric+statistics+with+applications+to+science+and+engineering+with+R+()



2nd+ed.).+John+Wiley+%26+Sons.&ots=owqDujp7kO&sig=nbr-usWI-k-11KCSzH-x1NBVzsI#v=onepage&q&f=false

- Li, J., & Yang, Y. (2020). Morphological and physiological responses of peach leaves under varying environmental conditions. *Journal of Plant Research*, 33*(2), 275-285. <https://doi.org/10.1007/s10265-020-01187-4>
- Meier, U. (2001). Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas. BBCH Monografía. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura.
- Pérez, S. (2007). Duraznero: Ecofisiología, mejoramiento genético y manual para su cultivo. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Pinzón et, al. (2014). Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus persica* [L.] Batsch) en el trópico alto. Una revisión. *Revista Udea Actualidad & Divulgacion Cientifica*, 17(2), 401–411. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.243>
- Pinzón, & Pineda (2021). Modelos matemáticos para la descripción del crecimiento del fruto de duraznero (*Prunus persica*) (*Prunus persica*) cv. Dorado Modelos matemáticos para la descripción del crecimiento del fruto de duraznero (*Prunus persica*). Batsch.) Cv. Dorado REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS, 15(3).
- Quevedo et, al (2012). Determinación De Un Modelo Matemático Para Estimar El Área Y El Peso Seco Del Limbo Foliar De *Prunus persica* CV. Jarillo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2), 6605-6613. Consultado en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000200005&lng=en&tlng=en.
- Quevedo et, al (2017). Modelos De Regresión Para Estimar El Peso Seco De Órganos Y Área Del Limbo Del Duraznero, Variedad Jarillo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 299-310. Retrieved November 06, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262017000200008&lng=en&tlng=es.
- Quevedo, Murcia & Cancino (2024). Growth of peaches at three altitudes in the Santander mountains of Northeastern Colombia. *Bioagro-*, 36(3), 299–310. <https://doi.org/10.51372/bioagro363.5>



- Quevedo, Murcia, & Ochoa (2023). Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo. *Revista Udea Actualidad & Divulgacion Cientifica*, 26(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2235>
- Quevedo et, al (2017). Clasificación de variables morfológicas del duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) ‘Jarillo’ en la montaña santandereana Colombiana mediante análisis discriminante lineal. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 39-47. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6140>
- Silva et, al (2013). Curva de crescimento e padrão respiratório de frutos de genótipos de pessegueiro em região de clima subtropical. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2), 642–649. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452013000200037>.
- Unipamplona. (2015). Ruta del durazno y el agua -. unipamplona.edu.co. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIIG/home_174/recursos/pamplonita/11082015/diagnostico_economico.jsp
- Universidad de Pamplona. (2005). ACUERDO No.186. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIIG/home_171/recursos/general/18042017/reglamento_estudiantil.pdf
- Urbano, J. A. T. (2013). Caracterización De Labores Culturales Y Estado Fitosanitario Del Cultivo De Durazno *Prunus p.* Edu.Co. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1400/Proyecto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang et, al (2022). Efectos de la carga de frutos sobre las características fotosintéticas de las hojas de durazno y la calidad del fruto. *Scientia Horticulturae*.
- Yuan et, al (2009). Desarrollo de un sistema de regeneración vegetal a partir de callos derivados de semillas de pasto ciempiés [*Eremochloa ophiuroides* (Munro.) Hackeo]. *Scientia Horticulturae*, 120(1), 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.09.005>
- Ziegler, Ploschuk, & Insausti (2024). Inundación de un monte frutal de durazneros: respuestas fisiológicas y de crecimiento. *Agronomía & ambiente*, 44(1). <https://doi.org/10.62165/aa.44.1.0265>



Anexos:



Anexo A: fotografía evidencia del muestreo numero 18 en el lote, fuente propia.



Anexo B: fotografía evidencia muestro número 15 en el lote, fuente propia.



Anexo C: fotografía evidencia muestro número 3 en el lote, fuente propia.



Anexo D: se evidencia la marca correspondiente al árbol 5 hoja 2(A5H2) fuente propia.



Anexo E: marcaje de los arboles previo al inicio de toma de datos en la finca Campo Alegre perteneciente al señor Raúl Gelvez, el 5 de enero de 2025, fuente propia.



Anexo F evidencia de marca de árbol usada como primer recurso, fuente propia.



Anexo G: fotografía evidencia muestro número 17 en el lote correspondiente a la fecha 3 de mayo del 2025, fuente propia.



Anexo H: fotografía de evidencia del marcaje de los frutos correspondiente al árbol 10 fruto 1(A10F1), fuente propia.



Anexo 1: foto evidencia crecimiento del durazno en el muestreo número 17, que corresponde a la fecha 3 de mayo del 2025, fuente propia



Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,921	,848	,847	,030

La variable independiente es Ancho de hoja .

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,688	1	6,688	7491,955	,000
Residuo	1,203	1348	,001		
Total	7,891	1349			

La variable independiente es Ancho de hoja .

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
In(Ancho de hoja)	,605	,007	,921	86,556	,000
(Constante)	,672	,005		135,092	,000

La variable dependiente es In(arafoliarlog).

Anexo J: salida SPSS Resumen del modelo de regresión de potencia entre el ancho de hoja y el área foliar logarítmica en P. persica (L.) Batsch cv. Gran Jarillo. Se muestran los coeficientes del modelo, el análisis de varianza y los valores de ajuste estadístico obtenidos mediante transformación logarítmica doble en SPSS



Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,951	,905	,905	,047

La variable independiente es diametro ecuatorial.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	25,344	1	25,344	11420,924	,000
Residuo	2,658	1198	,002		
Total	28,002	1199			

La variable independiente es diametro ecuatorial.

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
ln(diametro ecuatorial)	-,339	,003	-,951	-106,869	,000
(Constante)	1,699	,006		261,560	,000

La variable dependiente es ln(indice de redondez).

Anexo K: Modelo de regresión de potencia que describe la relación funcional entre el diámetro ecuatorial y el índice de redondez del fruto arrojado por SPSS.