



Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental de frutos de dos genotipos de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) nativos de Guerrero, México †

[Growth analysis and nutritional dynamics of fruits of two ilama (*Annona diversifolia* Saff.) genotypes native from Guerrero, Mexico]

Betsabe Piedragil-Ocampo¹, Ma. de Lourdes Arévalo-Galarza^{2*}, Marco Antonio Otero-Sánchez³, Alfredo López-Jiménez², Guillermo Calderón-Zavala², Holber Zuleta-Prada⁴ and Cecilia García-Osorio²

¹Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Iguala-Tuxpan, Km 2.5, Iguala, Guerrero 40101, México.

²Colegio de Postgraduados Km 36.5 Carretera México- Texcoco, Texcoco 56230, México. Email. larevalo@colpos.mx

³Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Av. Vicente Guerrero No. 81, Col. Centro, Iguala, Guerrero 40000, México.

⁴Universidad Autónoma Chapingo, México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco 56230, México

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Ilama (*Annona diversifolia*) is a fruit species native to Mexico, with Guerrero being the state with the largest planted area. This production is mainly concentrated in small backyard plantations and marginal areas. In fruit trees, fruit growth patterns are classified into two main types: sigmoid and double sigmoid. Growth pattern analysis and nutrient dynamics are key tools for implementing management strategies aimed at improving fruit quality. **Objective:** To characterize the growth pattern and nutrient accumulation dynamics in fruits of two native ilama genotypes (white-fleshed and wine-fleshed), in order to generate information to support agronomic management strategies and crop valorization. It was hypothesized that both genotypes exhibit a double sigmoid growth pattern and that nutrient accumulation varies significantly between tissues (flesh, seed, peel) and phenological stages. **Results:** Growth curves showed a double sigmoid pattern in both genotypes. At the end of development, the average polar diameter was 11.8 cm and the equatorial diameter was 11.1 cm. Nutrient accumulation was continuous throughout the growing season, with differences between tissues and specific nutrients (Ca, N, P, K, Cu, Zn, Mn, Fe). **Implications:** This information can serve as a basis for designing specific fertilization and management strategies for ilama crops, aimed at improving their productivity and postharvest quality. **Conclusion:** This study demonstrates the importance of understanding ilama's nutritional dynamics and growth patterns for designing sustainable agronomic practices.

Keywords: Growth curve; equatorial diameter; polar diameter; phenology; nutrient.

RESUMEN

Antecedentes: La ilama (*Annona diversifolia*) es una especie frutal nativa de México, con Guerrero como el estado que posee la mayor superficie sembrada. La producción se concentra principalmente en pequeñas plantaciones de traspatio y zonas marginales. En frutales, los modelos de crecimiento de los frutos se clasifican principalmente en dos tipos: patrón sigmoide y doble sigmoide. El análisis del modelo de crecimiento y la

† Submitted January 29, 2024 – Accepted August 15, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6170>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = B. Piedragil-Ocampo: <http://orcid.org/0000-0001-8458-9139>; M.L. Arévalo-Galarza: <http://orcid.org/0000-0003-1474-2200>; M.A. Otero-Sánchez: <http://orcid.org/0000-0002-8475-3135>; A. López-Jiménez: <http://orcid.org/0000-0002-1515-1560>; G. Calderón-Zavala: <http://orcid.org/0000-0002-9649-2200>; H. Zuleta-Prada: <http://orcid.org/0000-0001-6372-2885>; C. García-Osorio: <http://orcid.org/0000-0003-1616-9559>

dinámica nutrimental son herramientas clave para implementar estrategias de manejo orientadas a mejorar la calidad de los frutos. **Objetivo:** Caracterizar el patrón de crecimiento y la dinámica de acumulación de nutrimentos en frutos de dos genotipos nativos de ilama (pulpa blanca y pulpa vino), con el fin de generar información que sustente estrategias de manejo agronómico y valorización del cultivo. Se planteó la hipótesis de que ambos genotipos presentan un patrón de crecimiento doble sigmoide y que la acumulación de nutrimentos varía significativamente entre tejidos (pulpa, semilla, cáscara) y etapas fenológicas. **Resultados:** Las curvas de crecimiento mostraron un patrón doble sigmoide en ambos genotipos. Al final del desarrollo, el diámetro polar promedio fue de 11.8 cm y el ecuatorial de 11.1 cm. La acumulación de nutrimentos fue continua durante la temporada de crecimiento, con diferencias entre tejidos y nutrimentos específicos (Ca, N, P, K, Cu, Zn, Mn, Fe). **Implicaciones:** Esta información puede servir como base para diseñar estrategias de fertilización y manejo específicas para el cultivo de ilama, orientadas a mejorar su productividad y calidad poscosecha. **Conclusión:** El estudio demuestra la importancia de conocer la dinámica nutrimental y los modelos de crecimiento de la ilama para el diseño de prácticas agronómicas sustentables.

Palabras clave: Curva de crecimiento; diámetro ecuatorial; diámetro polar; fenología; nutrimento.

INTRODUCCIÓN

El género *Annona* incluye algunas de las especies frutales más conocidas y cultivadas a nivel mundial, como la guanábana (*A. muricata*), el saramuyo (*A. squamosa*) en tierras bajas tropicales, y la chirimoya (*A. cherimola*) en altitudes mayores de regiones tropicales y subtropicales (Hernández-Fuentes *et al.*, 2016). Sin embargo, existen otras especies de anonáceas menos conocidas con gran potencial, entre ellas el anón amazónico (*Rollinia mucosa*), el corazón de buey (*A. reticulata*), la guanacona (*A. purpurea*) y la ilama (*A. diversifolia*), también conocida como anona o ilamazapotl (Jamkhande y Wattamwar, 2015; Otero-Sánchez *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2014; Topete-Corona *et al.*, 2020).

En México, diversas especies de anonáceas están distribuidas principalmente en los estados del centro, occidente y sur del país, donde pueden encontrarse en producción comercial, traspatio o en estado silvestre (Otero-Sánchez *et al.*, 2015). La ilama (*A. diversifolia*) destaca por su diversidad genética y su alto valor nutricional, cultural, económico y gastronómico en las regiones donde se cultiva. A pesar de su importancia regional, su presencia en el mercado nacional es limitada debido a la falta de prácticas de manejo técnico en las etapas de producción y poscosecha.

Las poblaciones de ilama se concentran principalmente en Campeche, Chiapas, Colima, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz y Guerrero, siendo este último el estado con la mayor superficie cultivada (Agustín y Ledesma, 2014; Lefebvre *et al.*, 2018). En Guerrero, las principales poblaciones se ubican en la región norte, cerca de la cuenca del río Balsas, en municipios como Atenango del Río, Huitzuc, Cocula y Tepecoacuilco (Otero-Sánchez *et al.*, 2006).

Entre las principales limitantes para la productividad del cultivo de ilama se encuentran que la mayoría de las plantaciones provienen de semillas, presentan alta heterogeneidad genética y carecen de un manejo agronómico adecuado. Además, el bajo amarre y el aborto de frutos suelen estar asociados con condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas, baja humedad relativa y escaso potencial hídrico durante etapas críticas del desarrollo (Otero-Sánchez *et al.*, 2015). Asimismo, se desconoce el comportamiento fisiológico de los frutos en términos de crecimiento y nutrición, lo cual dificulta el diseño de estrategias agronómicas efectivas.

La ilama es una especie subcaducifolia con un ciclo de crecimiento anual discontinuo, caracterizado por una etapa de crecimiento activo y otra de letargo (Otero-Sánchez *et al.*, 2015). El ciclo comienza en primavera (marzo-abril) con la nueva brotación; la floración ocurre durante los meses más secos del año (abril-mayo); la formación del fruto coincide con la temporada de lluvias (mayo-septiembre), y la cosecha se realiza a fines de verano y principios de otoño (septiembre-octubre) (Otero-Sánchez *et al.*, 2015). La mayor tasa de crecimiento de este frutal se presenta durante la temporada de lluvias, mientras que la actividad vegetativa disminuye en los meses más secos y fríos (diciembre-marzo) (Otero-Sánchez *et al.*, 2015).

En términos de crecimiento de frutos, las investigaciones en ilama son prácticamente inexistentes. En frutales, el análisis del crecimiento es fundamental para entender la acumulación de materia seca en órganos de interés agrícola. Los modelos de crecimiento más comunes son el patrón sigmoide simple y el doble sigmoide; este último, caracterizado por una meseta intermedia de

desarrollo, es típico de frutos como el durazno y la ciruela (Silva *et al.*, 2019; Martínez *et al.*, 2017). Esta meseta frecuentemente coincide con el desarrollo de las semillas, lo cual subraya su influencia en la dinámica de crecimiento (Ezura y Hiwasa-Tanase, 2009; Moreno-Velázquez *et al.*, 2008).

Por otro lado, el análisis químico de nutrientes en frutos es esencial para evaluar el estado nutricional de las plantas y sincronizar la disponibilidad de elementos con las demandas fisiológicas específicas en cada etapa fenológica (Damián-Nava *et al.*, 2006). Sin embargo, en el caso de la ilama, no existen estudios que documenten la dinámica y distribución de nutrientes en el fruto, lo que limita el desarrollo de prácticas de manejo nutricional adaptadas a sus requerimientos (Castillo-González *et al.*, 2016).

Los genotipos seleccionados para este estudio — pulpa blanca y pulpa vino— representan las variantes más comunes y comercialmente valoradas en la región norte de Guerrero, diferenciándose por sus características organolépticas, tamaño de fruto y aceptabilidad por parte del consumidor. No obstante, se desconoce si existen diferencias fisiológicas entre ellos en términos de crecimiento o acumulación de nutrientes, lo que hace relevante su estudio comparativo.

Dada la relevancia económica, cultural y ecológica de la ilama, y considerando la escasez de

información técnica sobre su fisiología, este trabajo se propuso evaluar el crecimiento y la dinámica nutricional de los frutos de dos genotipos nativos de ilama cultivados en el trópico seco de Guerrero. Se planteó la hipótesis de que ambos genotipos presentan un patrón de crecimiento doble sigmoide y que la acumulación de nutrientes varía significativamente entre tejidos (pulpa, semilla, cáscara) y etapas de desarrollo del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de “Machito de las Flores”, ubicada en el municipio de Cocula, en la región norte del estado de Guerrero (18°13'19.9"N, 99°43'01.2"O). Esta zona se encuentra dentro del trópico seco mexicano y presenta temperaturas anuales superiores a los 24 °C, con mínimas de 17 ± 2 °C y máximas de 35 ± 2 °C. Su altitud varía entre 950 y 1010 msnm. Según la clasificación climática de Köppen, el municipio tiene un clima cálido semiárido subhúmedo [Awo(w)(i)g], caracterizado como el más seco dentro de los subhúmedos, con lluvias en verano, ausencia de una estación invernal definida y una precipitación media anual de 700 a 800 mm. En cuanto a los suelos presentes en la zona, se identifican los siguientes grupos: Kastanozems, Leptosoles, Phaeozems, Luvisoles, Regosoles y Vertisoles. La vegetación característica de la región corresponde al bosque tropical caducifolio (Reyes *et al.*, 2012).

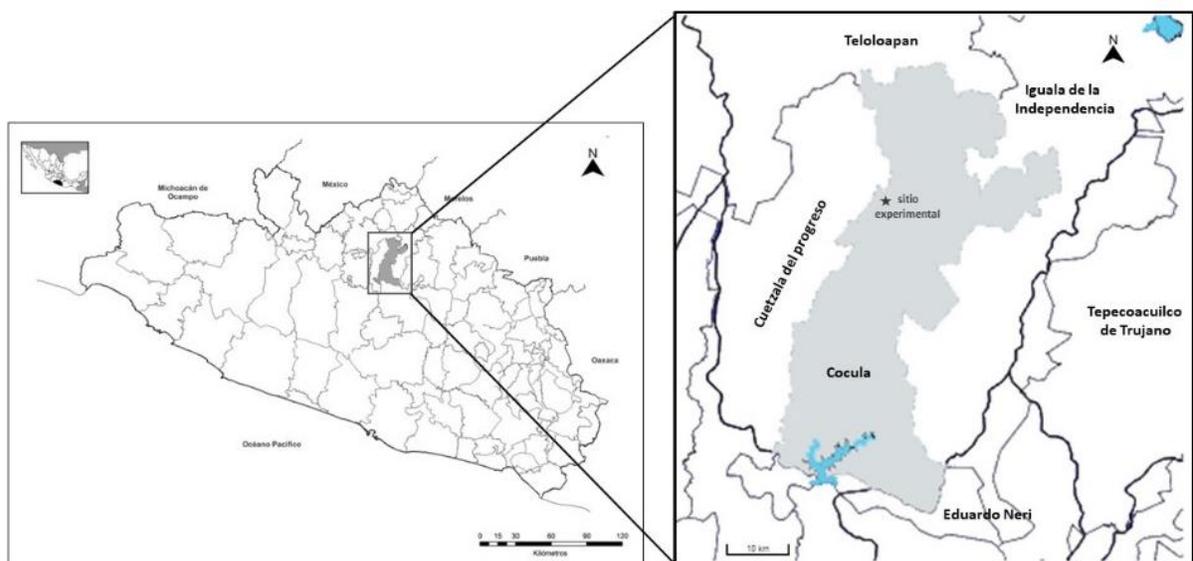


Figura 1. Sitio experimental “comunidad Machito de las Flores”, localizado en el municipio de Cocula, de la región Norte del Estado de Guerrero.

Descripción del material vegetal

Para el estudio se utilizaron árboles de ilama (*Annona diversifolia*) de 20 años de edad y 12 años de producción, provenientes de semilla. Se seleccionaron 40 árboles con características homogéneas en cuanto a vigor y sanidad, establecidos en una plantación semicomercial con una población aproximada de 300 individuos dispuestos en un arreglo de 5 x 8 metros. Los árboles seleccionados correspondieron a dos genotipos diferenciados por el color de la pulpa de sus frutos: pulpa color vino y pulpa color blanco. La parcela experimental es de temporal y carece de manejo técnico o agronómico. Durante la temporada de lluvias, esta parcela suele asociarse con el sistema milpa, que incluye cultivos de maíz, calabaza y frijol.

Evaluación del crecimiento

La evaluación del crecimiento de los frutos se llevó a cabo durante los meses de mayo a septiembre de los años 2019, 2020 y 2021. Para ello, se midieron el diámetro polar (largo) y ecuatorial (ancho) de los frutos en distintos momentos del desarrollo. Se seleccionaron y etiquetaron 50 frutos por árbol, distribuidos de manera homogénea considerando los cuatro puntos cardinales. Las mediciones se realizaron *in situ* a los 21, 40, 57, 77 y 101 días después de la antesis (dda), utilizando un vernier digital.

Con los datos recolectados, se realizaron análisis temporales del crecimiento mediante el ajuste de modelos no lineales de tipo sigmoide. Se evaluaron diferentes modelos de crecimiento, incluyendo Logístico, Gompertz, Weibull, Richards y Monomolecular, con el objetivo de identificar el que mejor describiera la dinámica de crecimiento de los frutos. La selección del modelo óptimo se basó en el coeficiente de determinación (R^2). Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico R. Los frutos etiquetados permanecieron en los árboles hasta alcanzar su madurez fisiológica, y sirvieron como referencia para recolectar otros frutos de tamaño similar. Estos últimos se emplearon en los análisis químicos destinados a evaluar la extracción nutrimental por tejido.

Análisis nutrimental

Para el análisis nutrimental, se realizaron muestreos en siete árboles por genotipo (pulpa color vino y pulpa color blanco), seleccionados aleatoriamente dentro del huerto. Las colectas se

llevaron a cabo a los 21, 40, 57, 77 y 101 días después de la antesis (dda), coincidiendo con el momento en que los frutos alcanzaron su madurez de consumo, determinada en campo con base en criterios empíricos locales: cambio en el color de fondo de la cáscara (de verde a verde-amarillento), ligera pérdida de firmeza al tacto y facilidad para desprender el pedúnculo.

En cada fecha de muestreo, se recolectaron 15 frutos representativos por genotipo, los cuales fueron separados en exocarpio (cáscara), mesocarpio (pulpa) y endocarpio (semilla). Los frutos se lavaron con una solución detergente, enjuagaron tres veces con agua destilada, y posteriormente se pesaron y secaron en una estufa con aire forzado (Imperial V Mechanical, Dubuque, Iowa, EUA) a 70 ± 5 °C durante 72 horas, hasta alcanzar peso constante. Las muestras secas se pesaron nuevamente y se molieron en un mortero hasta obtener un polvo que pasara por un tamiz de 1 mm. Todos los análisis nutrimentales se realizaron sobre base seca (mg kg^{-1}), excepto el contenido de nitrógeno, el cual se expresó como porcentaje de materia seca (% MS).

Los elementos analizados fueron calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), fósforo (P), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn). Para su determinación, se utilizó la técnica de digestión húmeda con mezcla de ácidos perclórico y nítrico, siguiendo el protocolo de Alcántara y Sandoval (1999). Los extractos obtenidos se leyeron en un espectrofotómetro de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES Varian modelo 725-ES). La concentración de nitrógeno total (N) se determinó mediante el método Semimicro-Kjeldahl, descrito por Bremner (1965), utilizando ácido sulfúrico-salicílico para la digestión.

El estudio se estableció bajo un diseño completamente al azar con siete unidades experimentales (árboles) por genotipo, considerando dos factores: genotipo (vino y blanco) y tiempo (21, 40, 57, 77 y 101 dda). Para cada combinación de genotipo y fecha, se emplearon tres frutos por árbol como réplica técnica, siendo el promedio de estas réplicas la unidad analítica.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los factores y su interacción. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias. Además, se realizaron regresiones polinómicas

(hasta de tercer orden) para modelar la acumulación de nutrientes a lo largo del tiempo. La selección del modelo se basó en el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el criterio de información de Akaike (AIC) y la inspección de los residuos. Para evitar la sobreparametrización, se verificó que los términos incluidos en los modelos fueran estadísticamente significativos y que el comportamiento de los residuos fuera aleatorio y homocedástico. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R (Team R Core, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

Las curvas de crecimiento obtenidas para los frutos de ambos genotipos de ilama (pulpa blanca y pulpa vino), basadas en el incremento acumulativo de los diámetros polar y ecuatorial, mostraron un patrón de crecimiento doble sigmoide. El primer periodo de crecimiento acelerado ocurrió desde la antesis hasta los 40 días después de la antesis (dda), seguido por una fase de desaceleración en la tasa de crecimiento entre los 40 y 60 dda. A partir de los 60 dda, se observó un segundo incremento sostenido en la velocidad de crecimiento, que continuó hasta los 101 dda, fecha que coincidió con la cosecha (Figura 2).

Este comportamiento fue consistente en los tres ciclos agrícolas evaluados (2019, 2020 y 2021). Sin embargo, debido a que no se registraron diferencias significativas entre años y con el fin de identificar un modelo de crecimiento generalizable, los datos se integraron en un solo conjunto para el análisis. Cabe señalar que, aunque se contó con registros fenológicos detallados, no se incluyeron variables ambientales como temperatura, humedad del suelo o precipitación. Esta omisión limita la posibilidad de asociar directamente las variaciones interanuales del crecimiento con factores ambientales específicos. No obstante, se asumió que los árboles estuvieron expuestos a condiciones agroclimáticas similares, al desarrollarse en un mismo huerto bajo manejo uniforme.

Para ambos genotipos, los diámetros promedio finales alcanzados fueron de 11.8 cm en el eje polar y 11.1 cm en el ecuatorial, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Este patrón de crecimiento coincide con lo reportado por Moreno-Velázquez *et al.* (2008), quienes observaron un incremento sigmoide doble en el peso fresco de frutos de ilama. Asimismo, Franco-Mora *et al.* (2001) documentaron un crecimiento de

tipo doble sigmoide en guanábana (*Annona muricata* L.), tanto bajo polinización libre como manual, lo cual confirma que este patrón es característico del género *Annona*.

El periodo de meseta entre los 40 y 60 dda puede atribuirse al desarrollo activo de la semilla, una etapa en la que se forman los embriones y se acumulan reservas en el endospermo. Durante esta fase, la demanda de energía y nutrientes se concentra en los tejidos reproductivos, lo que ocasiona una desaceleración temporal del crecimiento del mesocarpio (pulpa). Este fenómeno ha sido ampliamente descrito en frutos no climatéricos como el durazno y la ciruela, donde el desarrollo de la semilla actúa como un regulador fisiológico del crecimiento del fruto (Ezura y Hiwasa-Tanase, 2009; Azcón-Bieto y Talón, 2009).

Para modelar matemáticamente el crecimiento del fruto, los datos se ajustaron mediante regresión polinomial de segundo grado ($y = ax^2 + bx + c$). Este modelo mostró un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.97$) para ambos genotipos, indicando un excelente ajuste a los datos observados (Figura 2). La curva ajustada constituye una herramienta útil para predecir el estado de desarrollo de los frutos de ilama en la región, facilitando la planificación estratégica de labores agronómicas, tales como la fertilización, el riego, el manejo hormonal, la programación de cosecha y las prácticas fitosanitarias.

Relación diámetro polar / diámetro ecuatorial y forma del fruto

La relación entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial de los frutos de ilama se mantuvo relativamente constante a lo largo del periodo de crecimiento, con valores cercanos a 1 en ambos genotipos. En el genotipo de pulpa blanca, los valores oscilaron entre 1.06 y 1.10, mientras que en el genotipo de pulpa vino variaron entre 1.07 y 1.10. Este comportamiento indica que los frutos conservaron una forma redondeada ligeramente alargada desde las etapas iniciales del desarrollo hasta la cosecha (Figura 3).

Este tipo de análisis ha sido empleado en otras especies frutales para caracterizar la evolución morfológica durante el crecimiento. En tomate (*Lycopersicon esculentum* cv. 'Quindío'), Casierro-Posada y Cardozo (2009) reportaron que los frutos presentaban una forma oblonga en etapas tempranas, que se transformaba en una forma redondeada ligeramente alargada hacia la madurez.

De manera similar, Casierra-Posada *et al.* (2004), al analizar frutos de durazno (*Prunus persica* L. cv. 'Conservero'), observaron una disminución

progresiva en la relación entre diámetros, indicando una transición morfológica de forma oblonga a redondeada.

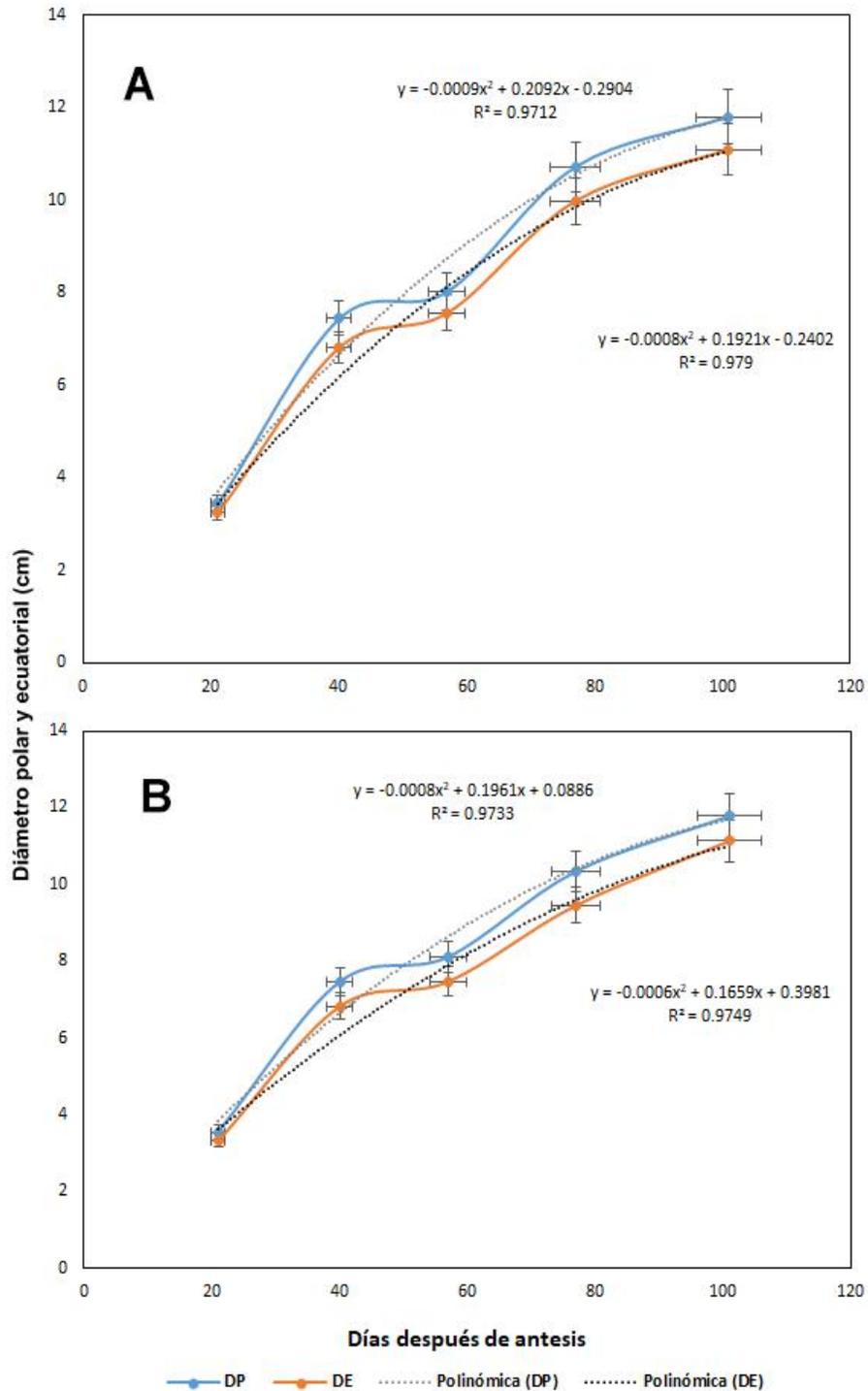


Figura 2. Patrón de crecimiento acumulativo de frutos de ilama (A. *diversifolia*) en términos de diámetro polar y ecuatorial para los genotipos blanco (A) y vino (B) en el norte de Guerrero, México.

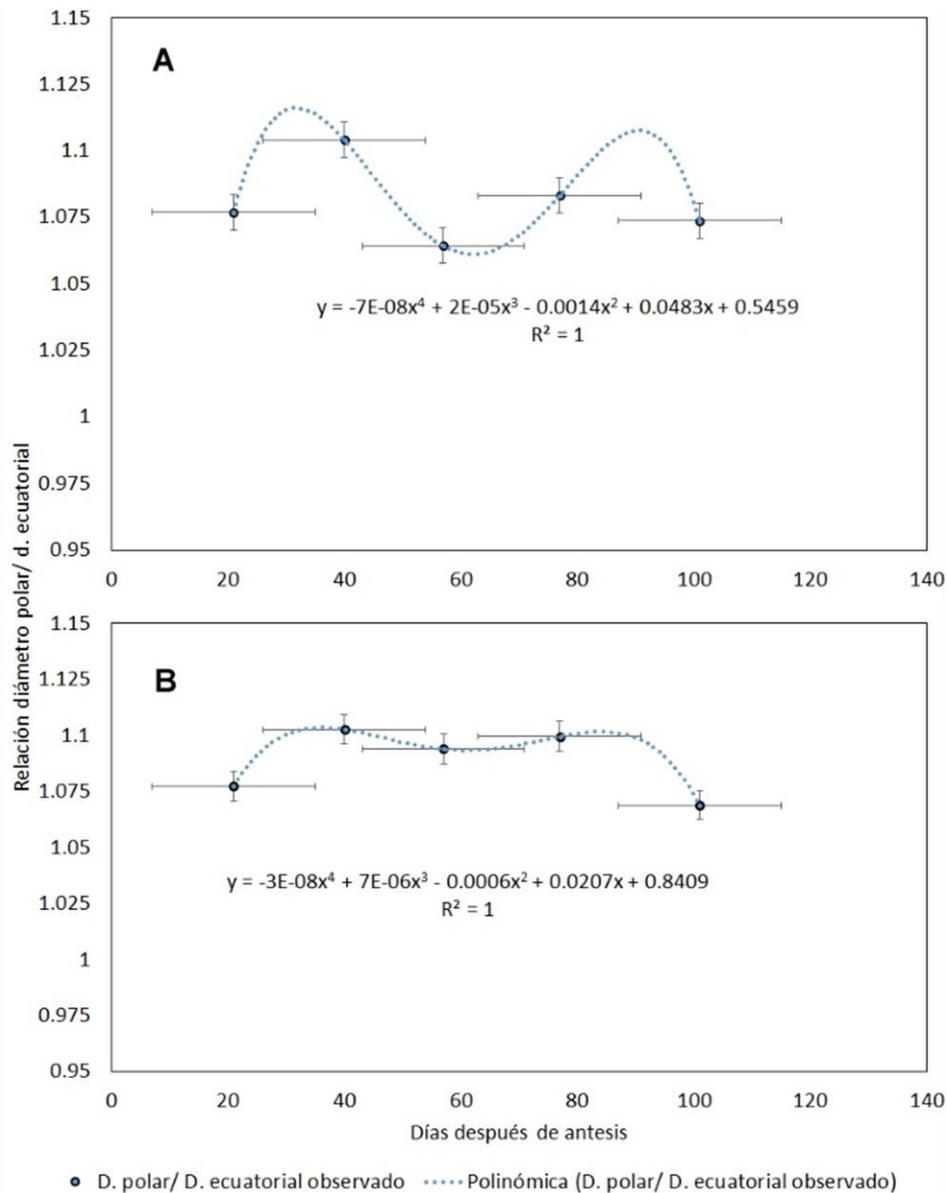


Figura 3. Relación entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial en frutos de ilama (*A. diversifolia*) para los genotipos blanco (A) y vino (B) en el norte de Guerrero, México.

Acumulación de nutrientes en frutos

El análisis nutrimental de los frutos muestra diferencias significativas en el contenido de Ca, dependiendo del tejido evaluado. En el primer mes de desarrollo del fruto, los niveles de Ca en la cáscara y la semilla oscilaron entre 2300 y 2700 ppm, significativamente más altos que en la pulpa, que presentó 1900 ppm (Figura 4). Estas diferencias fueron confirmadas mediante análisis de varianza (ANOVA, $p < 0.05$). No obstante, después de este período, tanto la cáscara como la semilla experimentaron un descenso abrupto, mientras que en la pulpa los niveles de Ca

aumentaron constantemente hasta los 77 días después de antesis (dda). En las semillas, el contenido de Ca disminuyó progresivamente hasta alcanzar los 1800 ppm. Por su parte, la cáscara comenzó a acumular mayores cantidades de Ca a partir de los 40 dda, alcanzando una meseta entre los 57 y los 77 dda, seguida de una caída hasta un promedio de 1800 ppm al final de la fase de crecimiento (Figura 4).

El B presentó un comportamiento de descenso continuo en todos los tejidos analizados, con niveles que oscilaron entre 12 y 20 mg kg⁻¹ (Figura 5). Aunque ambos elementos presentan dinámicas

distintas, se ha reportado que deficiencias de Ca y B pueden estar relacionadas con trastornos fisiológicos en frutos. En especies del género *Annona*, se han reportado niveles de Ca en pulpa de frutos cosechados de entre 270 y 290 mg kg⁻¹ en *A. crassiflora* (Silva *et al.*, 2008; Villela *et al.*, 2013), 270 mg kg⁻¹ en *A. cherimola* (Pareek *et al.*, 2011), 24 mg 100g⁻¹ en *A. reticulata* (Pareek *et al.*, 2011) y 262 mg kg⁻¹ en *A. squamosa* (Pareek *et al.*, 2011). En esta última, las semillas y la cáscara presentan contenidos significativamente menores de K y Ca (Badrie y Schauss, 2010). Los resultados obtenidos en este estudio muestran un contenido de Ca considerablemente más alto que el reportado en otras especies del género.

Sin embargo, para contextualizar estos valores es necesario considerar la disponibilidad nutrimental del suelo. La ausencia de un análisis químico del suelo limita la interpretación sobre si los niveles observados en los tejidos reflejan suficiencia o deficiencia edáfica. Además, no se cuenta con rangos establecidos de suficiencia nutrimental para ilama, por lo que los valores aquí reportados deben considerarse como referencia inicial para establecer parámetros críticos en futuros estudios.

El descenso en el contenido de Ca al final del crecimiento del fruto, especialmente en la cáscara, podría estar relacionado con el agrietamiento observado en los frutos de ilama. En las plantas, la lámina media de las paredes celulares contiene pectinas que forman puentes de Ca en las regiones de homogalacturonano (Azcón-Bieto y Talón, 2009). Estos puentes actúan como sustancias cementantes, uniendo paredes celulares adyacentes y proporcionando cohesión y resistencia a los tejidos. Parte del Ca también se encuentra en las membranas celulares, donde contribuye a su integridad y funcionalidad (Azcón-Bieto y Talón, 2009).

La deficiencia de Ca en los frutos puede provocar maduración prematura, mayor susceptibilidad a enfermedades, ruptura de membranas y otros trastornos fisiológicos como pudrición apical, agrietamiento y ablandamiento (Gao *et al.*, 2019; Aghdam *et al.*, 2012; Hocking *et al.*, 2016). Debido a la baja movilidad del Ca en el floema, su absorción y acumulación en los frutos dependen principalmente del transporte por el xilema. En etapas tempranas del desarrollo, la deficiencia de Ca es más común, por lo que su aplicación exógena en dichas fases puede ser más efectiva para contrarrestar estos desórdenes fisiológicos. En ilama, el déficit de Ca en la cáscara podría contribuir a la pérdida de firmeza y al agrietamiento de los frutos, especialmente considerando que la cosecha se realiza entre septiembre y octubre, cuando un rápido incremento en la absorción de agua tras la sequía puede favorecer este fenómeno.

En diversas especies, el agrietamiento de frutos ha sido asociado con deficiencias de Ca y B. Cooman *et al.* (2005) reportaron un incremento del 236% en la incidencia de rajado en uchuva (*Physalis peruviana* L.) al eliminar Ca o B de la solución nutritiva. Yfran *et al.* (2007) mostraron que aplicaciones foliares consecutivas de Ca y B en mandarina Nova redujeron significativamente el rajado. Chabbal *et al.* (2020) observaron efectos similares en mandarina Clementina. En cerezo agrio, Wójcik y Wawrzyńczak (2014) reportaron una reducción significativa del rajado con tratamientos foliares de CaCl₂ y Ca(NO₃)₂. Korkmaz y Aşkın (2013) documentaron reducciones máximas de rajado en granada (*Punica granatum* L.) con aplicaciones de ácido bórico al 1.5% y nitrato de calcio al 4%.

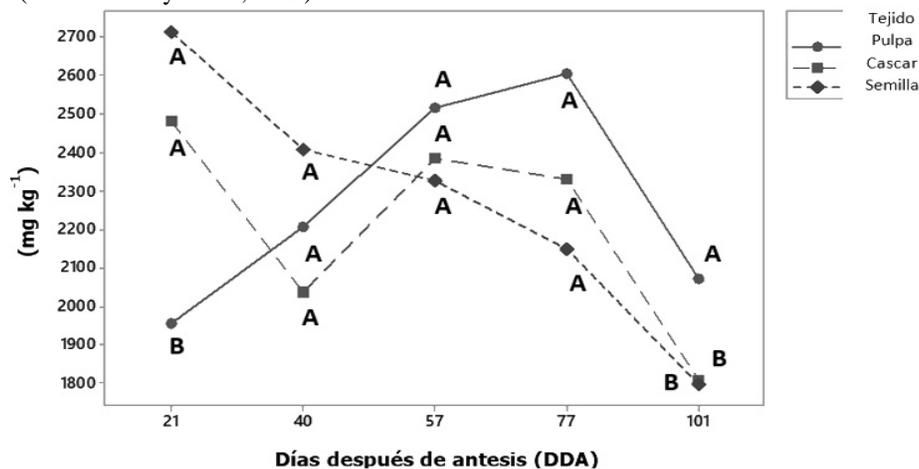


Figura 4. Contenido de Ca (mg kg⁻¹) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

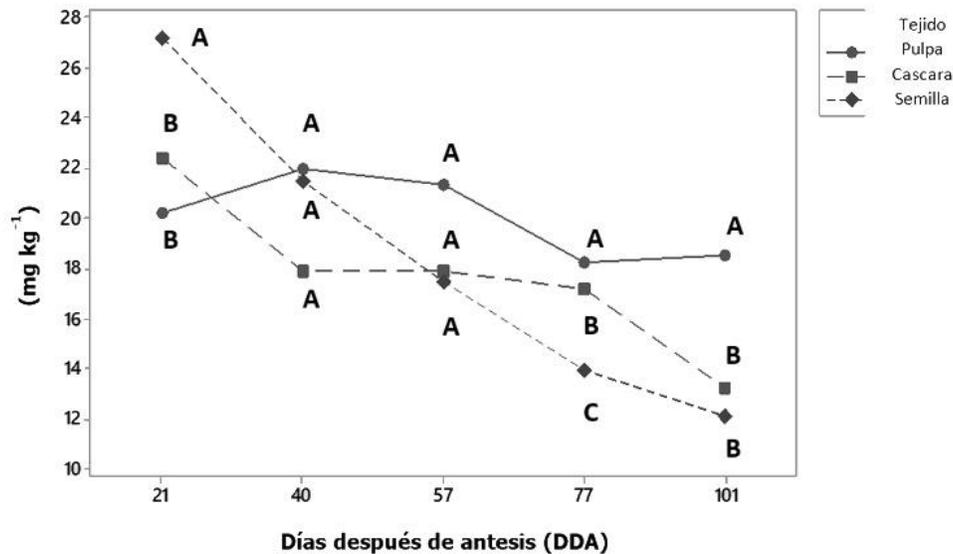


Figura 5. Contenido de B (mg kg^{-1}) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

En cuanto al contenido de P y K, ambos se encontraron en mayores concentraciones en las semillas, seguidas por la pulpa y con los niveles más bajos en la cáscara. En los tres tejidos se observó un patrón común: descenso continuo en las semillas, una meseta entre los 21 y 57 dda en pulpa y cáscara, y un descenso abrupto hacia la cosecha (Figuras 6 y 7).

El P es un nutriente clave en múltiples procesos celulares, incluyendo el mantenimiento de estructuras de membrana, la síntesis de biomoléculas y la formación de compuestos de alta energía como ATP, CTP, GTP, UTP y piruvato de fosfoenol. También participa en la división celular, regulación enzimática y metabolismo de

carbohidratos (Razaq *et al.*, 2017). Es esencial para la germinación, desarrollo radicular, formación de flores y semillas, lo que justifica su alta concentración en las semillas durante las primeras fases de desarrollo (Chen *et al.*, 2013; Malhotra *et al.*, 2018).

Diversos estudios han demostrado que una suplementación óptima de P incrementa tanto el rendimiento como la calidad del fruto. Martuscelli *et al.* (2016) documentaron mejoras en peso, diámetro, contenido de °Brix y pulpa en melón bajo niveles adecuados de P, lo que se relaciona con su acumulación en el tallo y su posterior redistribución a los órganos en desarrollo.

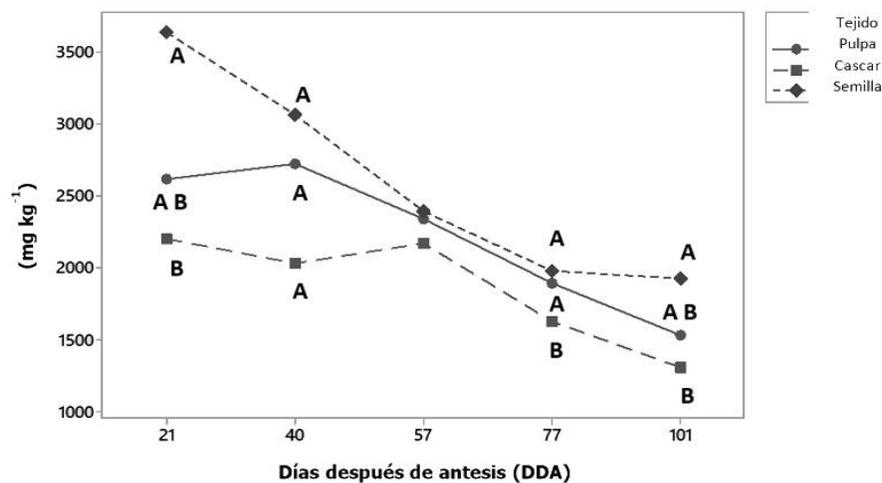


Figura 6. Contenido de P (mg kg^{-1}) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

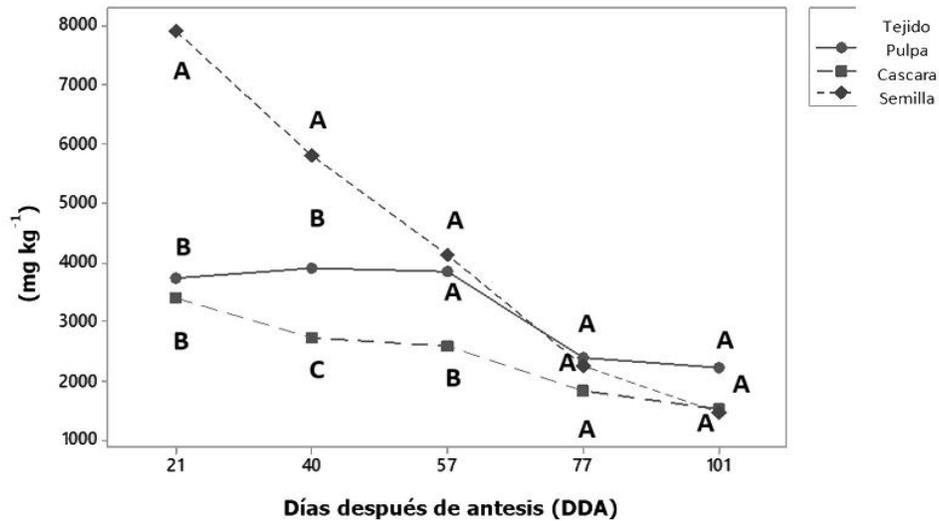


Figura 7. Contenido de K (mg kg^{-1}) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

Al final del desarrollo, los niveles de K fueron de aproximadamente 2200 ppm en pulpa, 1513 ppm en cáscara y 1455 ppm en semilla. En contraste, los niveles de P fueron 1533 ppm en pulpa, 1307 ppm en cáscara y 1920 ppm en semillas. Aunque ambos elementos disminuyen hacia la madurez, 100 g de pulpa podrían aportar entre 700 y 1250 mg de P, y entre 500 y 2000 mg de electrolitos de K, cantidades que cumplen con las recomendaciones de ingesta diaria (FNIM, 2002).

El K participa en más de 50 sistemas enzimáticos, osmorregulación, fotofosforilación, transporte de fotoasimilados, mantenimiento de la turgencia y tolerancia al estrés (Azcón-Bieto y Talón, 2009; Lester *et al.*, 2010). Su suministro adecuado mejora tamaño, °Brix, color, acidez y vida postcosecha, como se ha demostrado en cultivos como manzano

(Nava *et al.*, 2008), cítricos (Lin *et al.*, 2006), vid (Sipiora *et al.*, 2005), guayaba (Dutta, 2004), mango (Rebolledo-Martínez *et al.*, 2008), fresa (Khayyat *et al.*, 2007) y tomate (Li *et al.*, 2008).

Durante el desarrollo del fruto, el contenido de Mg disminuyó más del 50%: de 1524 a 731 ppm en semilla, de 890 a 490 ppm en pulpa y de 1066 a 495 ppm en cáscara (Figura 8). Estos valores son consistentes con los reportados en otras anonáceas como *A. muricata* y *A. crassiflora* (Tiencheu *et al.*, 2021; Villela *et al.*, 2013). Una porción de 100 g de pulpa cubre más del 10% de la dosis diaria recomendada (420 mg/día), lo que resalta el valor nutricional del fruto de ilama. El Mg es esencial para la salud ósea, como cofactor enzimático, y en funciones neuromusculares y de coagulación (Tiencheu *et al.*, 2021).

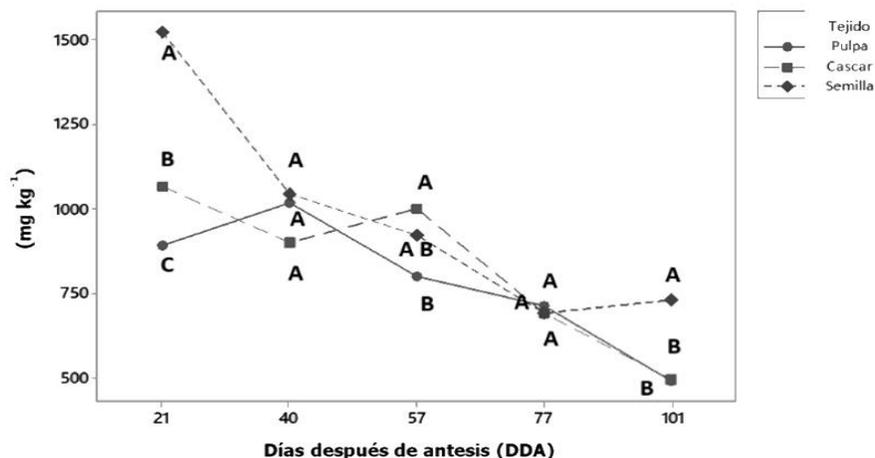


Figura 8. Contenido de Mg (mg kg^{-1}) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

El N es un elemento esencial y constituyente básico de diversos compuestos orgánicos, incluidos aminoácidos, proteínas, hormonas y ácidos nucleicos (ADN y ARN). En el fruto de ilama, los niveles más altos de N se detectaron en la pulpa, alcanzando un valor de 1.6%, lo que representa un contenido elevado en comparación con otros frutos tropicales y subtropicales, como mango (1.05%), naranja (1.9%), piña (0.5%), papaya (0.8%) y banana (1.0%) (Mellado-Vázquez *et al.*, 2012; Hasani *et al.*, 2012; Montero *et al.*, 2022). Es importante señalar que el contenido de N en la cáscara disminuyó notablemente hacia la etapa de cosecha, probablemente asociado con la degradación de clorofila. Aunque todos los tejidos mostraron una tendencia general a la disminución del contenido de N durante el desarrollo del fruto, se observó un incremento en la pulpa a los 101 días después de antesis (dda). En contraste, el contenido de N en las semillas permaneció relativamente constante, en torno a 1.25%, al final del desarrollo (Figura 9).

El comportamiento observado en los niveles de B en el fruto mostró una correlación significativa en los tejidos de cáscara y semilla, con coeficientes de correlación de $r = 0.68$ y $r = 0.72$, respectivamente. Sin embargo, en la pulpa, el comportamiento de este micronutriente fue marcadamente distinto, sin evidencias de una correlación significativa entre sus niveles y los de otros elementos. Este fenómeno podría estar relacionado con la dinámica de translocación y acumulación diferencial de boro en los tejidos del fruto. Estudios previos han reportado que concentraciones bajas de B en la cáscara y la

pulpa están asociadas con una mayor incidencia de agrietamiento en frutos, en comparación con frutos sanos. Esta asociación puede explicarse por el papel del boro en la división celular, donde interactúa con el calcio (Ca) en la biosíntesis de la pared celular y contribuye a mantener la integridad de la membrana plasmática (Otero-Sánchez, 2005).

Respecto al comportamiento de los micronutrientes Cu, Mn, Fe y Zn, se observó que su acumulación dependía del tipo de tejido analizado. El Cu fue el único elemento que mostró un patrón homogéneo en los distintos tejidos. Sus concentraciones iniciales oscilaron entre 5.0 y 5.9 mg kg^{-1} , dependiendo del tejido, y descendieron de manera continua hasta los 77 días después de antesis (dda), cuando se registraron niveles de 1.9 a 2.3 mg kg^{-1} . Sin embargo, a los 101 dda, el contenido de Cu aumentó nuevamente de forma significativa, especialmente en las semillas, donde alcanzó una concentración de 5.0 mg kg^{-1} (Figura 10).

En general, todos los microelementos se acumularon en mayor proporción en el tejido seminal. A los 101 dda, el contenido de Fe fue de 38 mg kg^{-1} en semilla, seguido por 21 mg kg^{-1} en pulpa y 16 mg kg^{-1} en cáscara (Figura 11). El Mn alcanzó concentraciones de 11 mg kg^{-1} en semilla y 6 mg kg^{-1} tanto en pulpa como en cáscara. Finalmente, el Zn mostró una distribución particularmente alta en la pulpa, con 21 mg kg^{-1} en semilla, 19 mg kg^{-1} en pulpa y apenas 8 mg kg^{-1} en cáscara al momento de la cosecha, siendo el microelemento con mayor concentración en la pulpa (Figura 12).

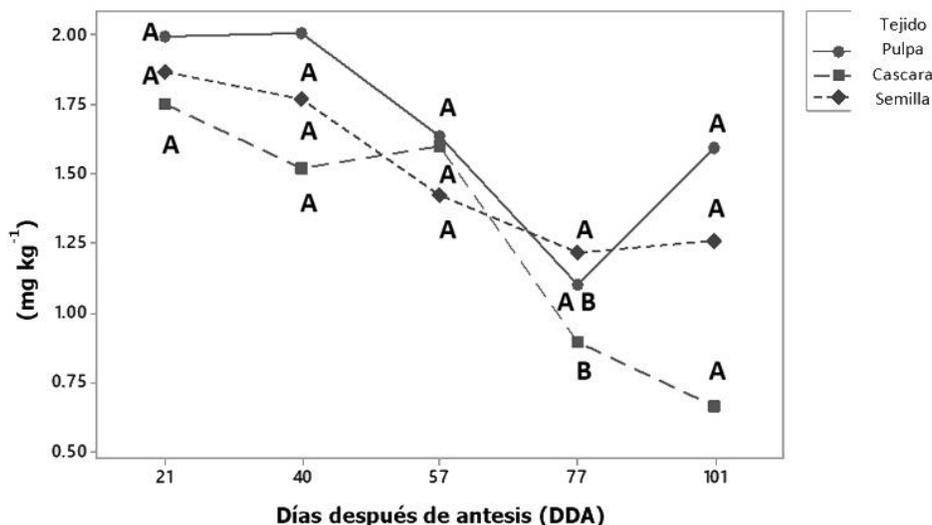


Figura 9. Contenido de N (mg kg^{-1}) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

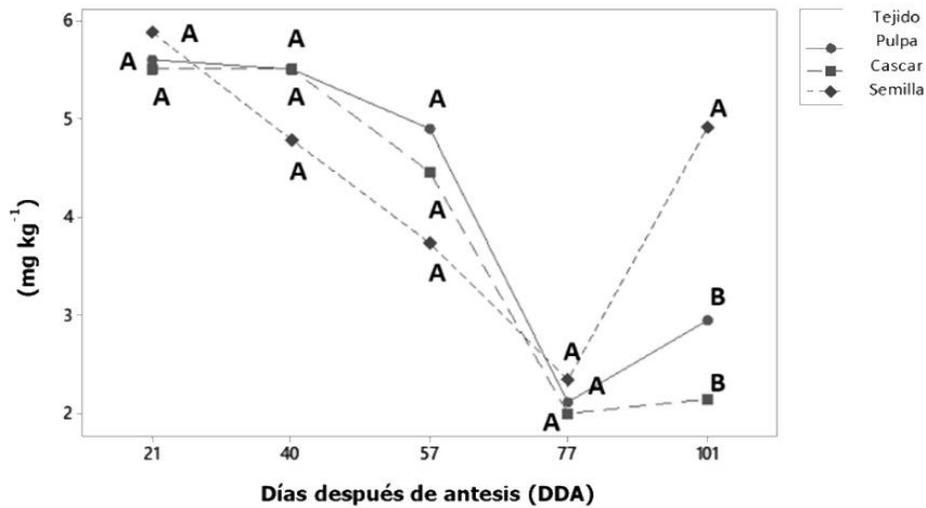


Figura 10. Contenido de Cu (mg kg⁻¹) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

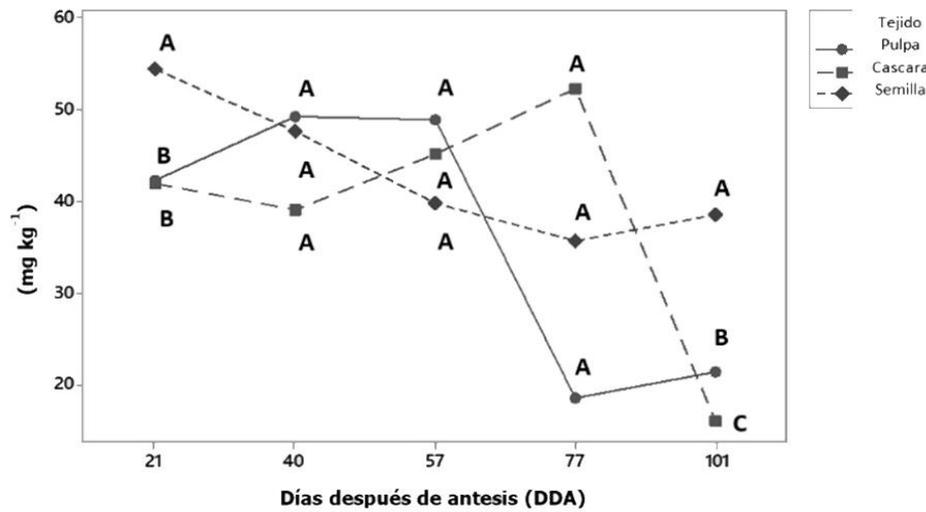


Figura 11. Contenido de Fe (mg kg⁻¹) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

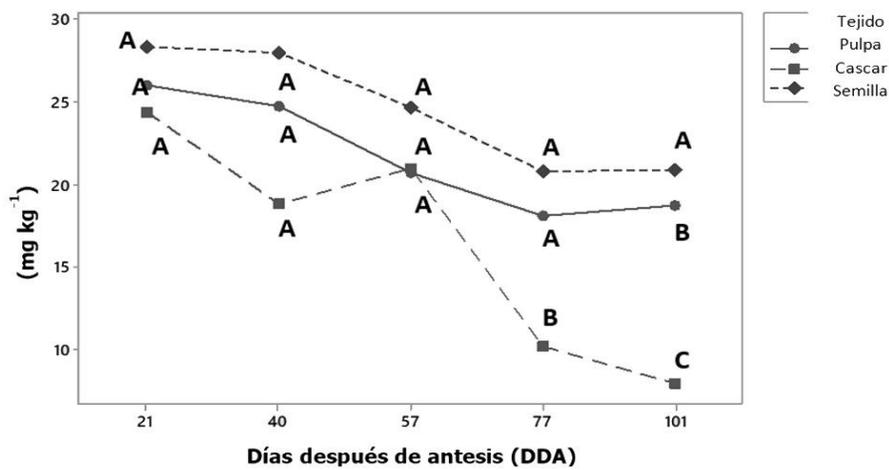


Figura 12. Contenido de Zn (mg kg⁻¹) en los diferentes tejidos de fruto de ilama (*A. diversifolia* Saff.) durante el crecimiento del fruto.

En el presente estudio, se observó que la acumulación de nutrientes en los frutos fue un proceso continuo a lo largo de la temporada de crecimiento, con patrones de absorción que variaron según el nutriente específico. El Ca fue principalmente absorbido por los frutos al inicio y en la etapa media de su desarrollo. Este comportamiento es crucial para programar la aplicación exógena de nutrientes, ya que es necesario evitar la aportación de antagonistas naturales del Ca, como el K, el NH_4^+ y el Mg, durante las primeras fases del desarrollo del fruto. De manera similar, P, K y Mg fueron absorbidos principalmente al inicio del desarrollo y mostraron una acumulación limitada durante el transcurso del crecimiento del fruto. En contraste, el N fue absorbido tanto al inicio como al final del ciclo de desarrollo, especialmente en la pulpa. Por su parte, los micronutrientes como el B, Cu, Zn, Mn y Fe exhibieron un comportamiento más homogéneo, siendo absorbidos a lo largo de todo el desarrollo del fruto.

Estos resultados son parcialmente coincidentes con los reportados por Casero *et al.* (2017), quienes asociaron las distintas etapas de desarrollo de los frutos de manzano con la demanda de nutrientes, con el objetivo de identificar los patrones de acumulación en los frutos. En su estudio, encontraron que la absorción de Ca por los frutos fue más rápida en la primera etapa de desarrollo, cuando los frutos eran pequeños, mientras que la absorción de otros macronutrientes, como K, Mg, P y N, mostró mayores tasas de absorción en las etapas posteriores del desarrollo.

Comparación del comportamiento acumulativo de nutrimentos en frutos en tres temporadas

El contenido acumulativo de los diversos nutrimentos en la pulpa presentó un comportamiento similar durante los tres años de evaluación; no obstante, en el caso de los macroelementos, se observó un aumento considerable en el segundo año en comparación con los períodos previos y posteriores (Figura 13). Este patrón podría estar relacionado con la alternancia productiva, caracterizada por ciclos de alta cosecha seguidos de años con baja o nula fructificación, fenómeno común en este tipo de especies. Una mayor demanda nutricional por parte del árbol lógicamente repercute en la calidad nutricional de sus productos. Por lo tanto, en el manejo de fertilización, es esencial considerar el comportamiento de la producción de la temporada inmediata anterior al cultivo (Alejo-Santiago *et al.*, 2016).

En la Figura 13 se observa que los nutrimentos dominantes en la pulpa durante los tres años de evaluación fueron N y K, seguidos a distancia por Ca, Mg y P. En cuanto a los microelementos, el comportamiento de la proporción y cantidad de los nutrimentos fue más homogéneo a lo largo de los tres años; Fe fue el principal componente, seguido de B y Zn. De manera similar, en la cáscara y la semilla, el comportamiento de la cantidad y proporción de los nutrimentos (tanto macronutrientes como micronutrientes) fue homogéneo. En la cáscara, tanto los macroelementos como los microelementos aumentaron en el segundo año, dominando los mismos elementos mencionados anteriormente (Figura 14). Cabe destacar que, en la semilla, el contenido de N superó notablemente al de los demás elementos, lo que indica un alto contenido de aminoácidos y proteínas, típico de este tipo de órganos (Quiroz *et al.*, 2007).

Los elementos esenciales se dividen en dos categorías: macronutrientes y micronutrientes. Esta clasificación no tiene valor cualitativo, sino que se basa en la concentración relativa hallada en los tejidos y las necesidades específicas de las plantas. Los macronutrientes, que incluyen N, P, K, S, Ca y Mg, están presentes en concentraciones superiores al 0.1%. Por otro lado, los micronutrientes, que comprenden Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl y Ni, se encuentran en concentraciones menores al 0.1% en los tejidos de las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2009). La deficiencia de cualquiera de estos elementos puede generar trastornos fisiológicos que impactan negativamente la productividad y calidad de los productos, manifestándose a menudo a través de síntomas específicos de deficiencia.

Un estudio realizado en Brasil que evaluó el efecto de la deficiencia de macronutrientes en el crecimiento y caracterización de los síntomas en plantas de guanábana reveló lo siguiente: la omisión de N provocó una pérdida gradual del color verde en las hojas más viejas de la región basal (clorosis), distribuida uniformemente en el limbo, pecíolo y nervaduras, junto con una reducción generalizada en la altura y diámetro del tallo. La deficiencia de P se presentó inicialmente en las hojas superiores, con tamaño reducido y bordes curvados, mientras que las hojas inferiores mostraron un color verde claro y crecimiento retardado. La deficiencia de K se caracterizó inicialmente por un intenso reverdecimiento del follaje, acompañado de una ligera reducción en el tamaño de las hojas nuevas y clorosis marginal que avanzó hacia la parte central entre las nervaduras.

La omisión de Ca provocó necrosis en el margen superior de las hojas jóvenes, sin alteraciones en el resto del follaje. La deficiencia de Mg se observó inicialmente en las hojas viejas de la parte media de la planta, con leve amarillamiento a lo largo de la nervadura principal. Finalmente, las plantas carentes de S presentaron hojas nuevas de color verde claro, con nervaduras pálidas y menor tamaño (Batista, 2003).

En cuanto al efecto de los macronutrientes en los frutos, un estudio realizado por Freitas *et al.* (2006)

en maracuyá dulce evaluó el impacto de las deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, S y B sobre la calidad del fruto. Los resultados mostraron que las deficiencias de N y P incrementaron el espesor y la concentración de la cáscara del fruto, mientras que las deficiencias de N, P y K redujeron la concentración de sólidos solubles totales. Además, la deficiencia de K disminuyó la acidez titulable total, mientras que la deficiencia de P redujo el pH y aumentó la concentración de vitamina C. Por otro lado, las deficiencias de N, K y S redujeron la concentración de vitamina C en los frutos.

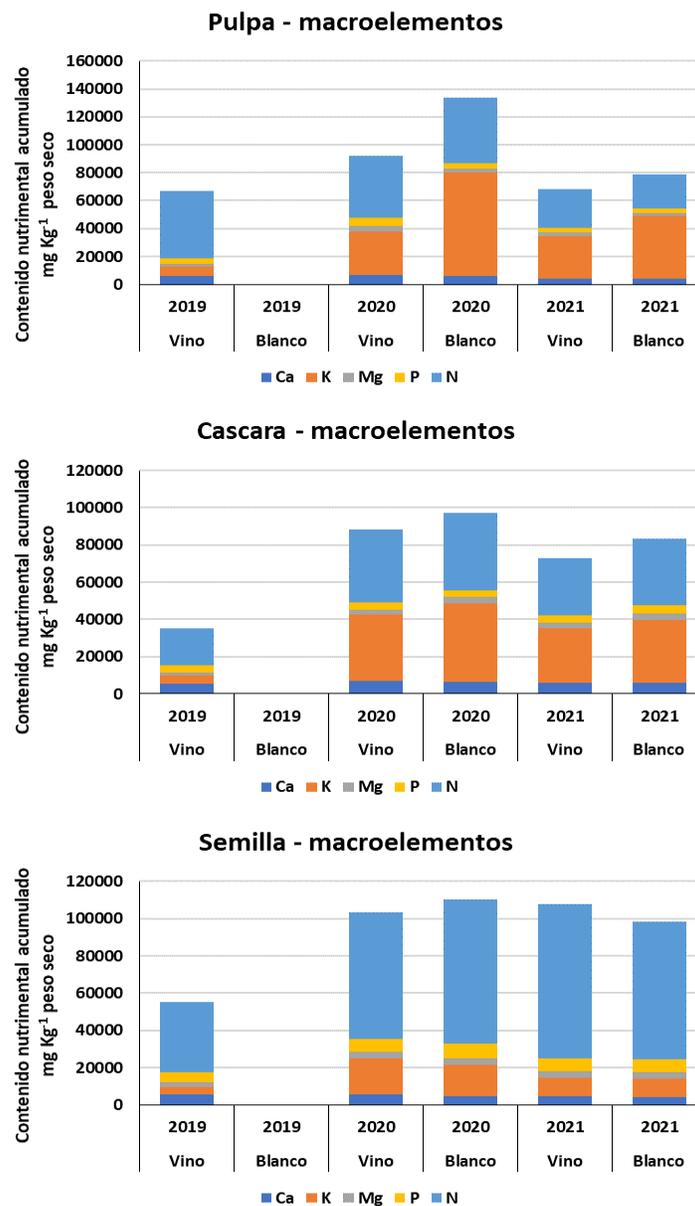


Figura 13. Acumulación y proporción de macroelementos en los tres tipos de tejido de frutos de ilama (*A. diversifolia*) de los genotipos blanco y vino en tres temporadas consecutivas de cosecha en el norte de Guerrero, México.

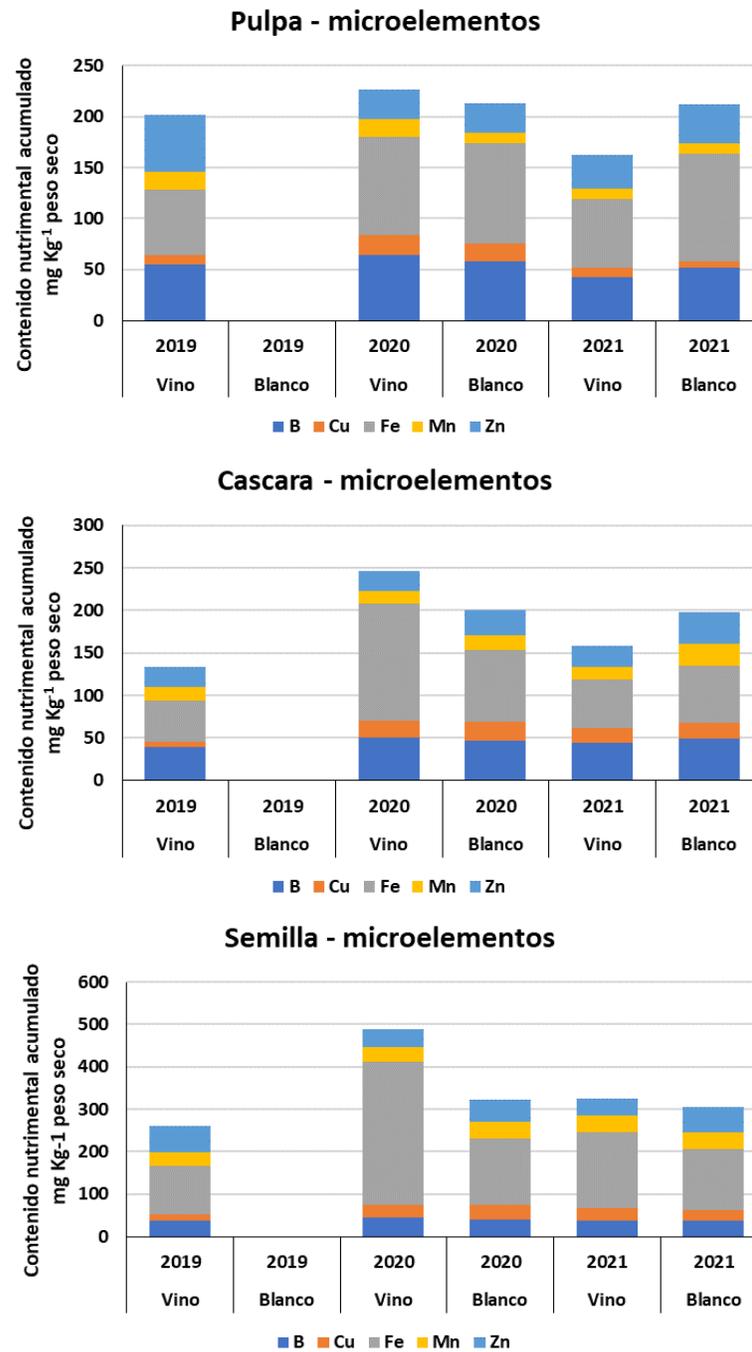


Figura 14. Acumulación y proporción de microelementos en los tres tipos de tejido de frutos de ilama (*A. diversifolia*) de los genotipos blanco y vino en tres temporadas consecutivas de cosecha en el norte de Guerrero, México.

Aunque la metodología empleada ha sido ampliamente utilizada para el análisis morfológico en diversas especies frutales, no se encontraron antecedentes específicos que documenten los patrones de cambio en la forma de los frutos del género *Annona*. En este contexto, los resultados del presente estudio representan una contribución

novedosa al conocimiento sobre la dinámica de crecimiento en frutos de ilama y constituyen una base útil para futuras investigaciones en otras anonáceas. Asimismo, estos hallazgos podrían emplearse para la identificación y diferenciación de genotipos, con implicaciones relevantes en el

manejo agronómico y la comercialización del cultivo.

Los resultados proporcionan información clave para comprender la fisiología del fruto y optimizar el manejo agronómico en huertos de ilama. El conocimiento sobre el crecimiento y la dinámica de absorción nutrimental permite diseñar estrategias más eficientes de fertilización, riego y manejo fitosanitario, favoreciendo la sostenibilidad y el aprovechamiento comercial del cultivo

CONCLUSIONES

Los frutos de ilama (*Annona diversifolia*), correspondientes a los genotipos blanco y vino, presentaron un patrón de crecimiento doble sigmoide, con dos fases de crecimiento acelerado: la primera hasta los 40 días después de la antesis (dda) y la segunda a partir de los 60 dda, alcanzando un diámetro promedio final de 11.8 cm en sentido polar y 11.1 cm en sentido ecuatorial.

La acumulación de nutrientes varió en función del tipo de tejido y la etapa de desarrollo. El calcio (Ca) se acumuló predominantemente durante las fases iniciales y medias, mientras que el fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) mostraron mayor absorción al inicio del crecimiento. El nitrógeno (N) presentó una dinámica bimodal, con acumulación significativa tanto en las etapas iniciales como finales, concentrándose principalmente en el mesocarpio. En cuanto a los micronutrientes (B, Cu, Zn, Mn, Fe), se observó un patrón relativamente constante, con concentraciones superiores en las semillas.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por contribuir con los recursos para la culminación de la presente investigación dentro del proyecto de estancia posdoctoral académica con número de solicitud 8191778 "Caracterización, rescate, conservación y usos de germoplasma de especies frutícolas nativas subvaloradas con alto potencial económico, social, cultural y ecológico del centro-sur de México".

Funding. This research was funded by the Secretariat of Science, Humanities, Technology and Innovation (SECIHTI) through project No. 8191778 "Characterization, rescue, conservation and uses of germplasm of undervalued native fruit species with high economic, social, cultural and ecological potential from south-central Mexico".

Conflict of interest statement. There is no conflict of interest related to this publication.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of this publication, ethical standards are not required.

Data availability. Available from the lead author upon request at email: bpiedragil@gmail.com

Author contribution statement (CRediT). B. Piedragil-Ocampo - Funding acquisition, Conceptualization, Investigation, Writing – original draft. **M. L. C. Arévalo-Galarza** – Supervision, Writing – review & editing. **M. A. Otero-Sánchez** – Conceptualization, Resources. **A. López-Jiménez** – Validation, Writing – review & editing. **G. Calderón-Zavala** - Validation, Writing – review & editing. **O. Zuleta-Prada** – Conceptualization, Validation, Writing – review & editing. **C. García-Osorio** - Conceptualization, Resources.

REFERENCES

- Aghdam, M.S., Hassanpouraghdam, M.B., Paliyath, G., and Farmani, B., 2012. The language of calcium in postharvest life of fruits, vegetables and flowers. *Scientia Horticulturae*, 144, pp. 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.007>
- Agustín, J.A., and Ledesma, S.D.S., 2014. Conservación y uso de los recursos genéticos de Annonaceae en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, pp. 118-124. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/SLFDHvZ9w5zkKMgKsnK8kcg/?format=pdfylang=es>
- Santiago, G.A., González, C.A.A., Monteón, A.L.S., and Valencia, A.L.N., 2016. Eficiencia productiva en la nutrición de los frutales. *EDUCATECONCIENCIA*, 12(13), pp. 73-81.
- Azcón-Bieto, J and M. Talón., 2009. Fundamentos de fisiología vegetal, 2ª edición. Interamericana-McGrawHill, Nueva York, USA.
- Badrie, N., and Schauss, A.G., 2010. Soursop (*Annona muricata* L.): composition, nutritional value, medicinal uses, and toxicology. In: *Bioactive Foods in*

- Promoting Health*. Academic Press. pp. 621-643.
- Batista, M.M.F., Viégas, I.D.J.M., Frazão, D.A.C., Thomaz, M.A.A., and Silva, R.D., 2003. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25, pp. 315-318. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452003000200033>
- Bremner M.J., 1965. Total nitrogen. In: Black CA. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. pp. 1149-1178.
- Casero, T., Torres, E., Alegre, S., and Recasens, I., 2017. Macronutrient accumulation dynamics in apple fruits. *Journal of Plant Nutrition*, 40(17), pp. 2468-2476. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1380819>
- Casierra-Posada, F., and Cardozo, M.C., 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv.'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), pp. 4815-4822. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472009000100009
- Casierra-Posada, F., Barreto, V.E., and Fonseca, O.L., 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L.). *Agronomía Colombiana*, 22(1), pp. 40-45. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/download/17766/18592>
- Castillo-González, A.M., García, E.A., Aguilar, L.A.V., Pineda, J.P., and Sánchez, S.A., 2016. Dinámica nutrimental en hoja y fruto de arándano tipo Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei* Reade). *Tecnociencia Chihuahua*, 10(2), pp. 64-71. <https://cdn.blueberriesconsulting.com/2018/08/dinamico-nutrimental-arandanos-rabbiteye.pdf>
- Chabbal, M.D., Yfran-Elvira, M.D.L.M., Giménez, L.I., Martínez, G.C., Llares-Beyer, L.A., and Rodríguez, V.A., 2020. Control del rajado de los frutos en plantas de mandarina Clementino. *Cultivos Tropicales*, 41(4). <https://www.redalyc.org/journal/1932/193266197006/193266197006.pdf>
- Chen, R., Song, S., Li, X., Liu, H., and Huang, D., 2013. Phosphorus deficiency restricts plant growth but induces pigment formation in the flower stalk of Chinese kale. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54, pp. 243-248. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0018-x>
- Cooman, A., Torres, C., and Fischer, G., 2005. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agronomía Colombiana*, 23(1), pp. 74-82. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652005000100010
- Damián-Nava, A., González-Hernández, V.A., Sánchez-García, P., Peña-Valdivia, C.B., and Livera-Muñoz, M., 2006. Dinámica y diagnóstico nutrimental del guayabo en Iguala, Guerrero, México. *Terra Latinoamericana*, 24(1), pp. 125-132. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311494015.pdf>
- Dutta, P., 2004. Foliar potassium spray in improving the quality of Sardar guava (*Psidium guajava* L.). *The Orissa Journal of Horticulture*, 32, pp. 103-104. <https://eurekamag.com/research/004/165/004165975.php>
- Ezura, H., and Hiwasa-Tanase, K., 2009. Fruit development. In *Plant Developmental Biology-Biotechnological Perspectives: Volume 1*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. pp. 301-318.
- Food and Nutrition Board, USA., 2004. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Institute of Medicine. National Academy Press. Washington, D.C.
- Franco-Mora, O., Jasso-Mata, J., García-Villanueva, E., and Saucedo-Veloz, C., 2001. Crecimiento y calidad de frutos de *annona muricata* l. con diferente intensidad de polinización. *Revista*

- Fitotecnia Mexicana*, 24(2), pp. 139-144.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2001.2.139>
- Freitas, M.S., Monnerat, P.H., Pinho, L.G., and Carvalho, A.J., 2006. Deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce: qualidade dos frutos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28, pp. 492-496. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452006000300033>
- Gao, Q., Xiong, T., Li, X., Chen, W., and Zhu, X., 2019. Calcium and calcium sensors in fruit development and ripening. *Scientia Horticulturae*, 253, pp. 412-421. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.069>
- Hasani, M., Zamani, Z., Savaghebi, G., and Fatahi, R., 2012. Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(3), pp. 471-480. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162012005000009>
- Hernández Triana, M., 2004. Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 23(4), pp. 266-292. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03002004000400011yscript=sci_arttext
- Hernández-Fuentes, L.M., Andrés-Agustín, J., Espíndola-Barquera, M.D., Castañeda-Vildózola, A., Ballesteros-Patrón, G. and Vera-Sánchez, K.S., 2016. Recursos genéticos de anonáceas (Annonaceae) en México: Situación actual y perspectivas. *Agro Productividad*, 9(4), pp.3-8. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/739>
- Hocking, B., Tyerman, S.D., Burton, R.A., and Gilliam, M., 2016. Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7, 569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569>
- Jamkhande, P.G., and Wattamwar, A.S., 2015. *Annona reticulata* Linn. (Bullock's heart): Plant profile, phytochemistry and pharmacological properties. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 5(3), pp. 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.jtcm.2015.04.01>
- Khayat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S., Rahemi, M., and Rajaei, S., 2007. Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2, pp. 539-544.
- Korkmaz, N., and Aşkın, M. A., 2013. Effects of calcium and boron foliar application on pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit quality, yield, and seasonal changes of leaf mineral nutrition. In *III International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits* 1089, pp. 413-422. <http://acikerisim.mu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12809/3182/Korkmaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lefebvre, C., Segura, S., Carmona, A., Mathuriau, C., Barrios, S., Andrés, J., and Medellín-Azuara, J., 2018. Linking local Appreciation with conservation of an edible fruit species: The case study of Ilama (*Annona diversifolia* Saff.) in Tierra Caliente, Mexico. *Natural Resources*, 9(10), pp. 337-353. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=87911>
- Lester, G.E., Jifon, J.L., and Makus, D.J., 2010. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. *Plant and Soil*, 335(1), pp. 117-131. <https://pubag.nal.usda.gov/download/44451/pdf>
- Li, R.H., Xu, D.B., and Huang, Q.W., 2008. Effect of foliar fertilizer on the growth of tomato plant. *China Vegetables*, 6, pp.17-20.
- Lin, X.Y., Zhang, Y.S., Cai, M.Z., Zhang, Y.P., Li, G., and Yang, X.E., 2006. Effects of phosphorus and potassium on the yield, quality and storability of citrus fruits. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 12, pp. 82-88. <https://doi.org/10.11674/zwyf.2006.0114>
- Malhotra, H., Sharma, S., and Pandey, R., 2018. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. In

- Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, pp. 171-190. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_7
- Martínez, J.D., Hernández, I.C., Reyes, J.N.G., Nájera, J.B.P., Güereca, M.C.G., and Pérez, E.C., 2017. Growth models of peach fruit *Prunus pérsica* (L) in three handling systems. *Interciencia*, 42(9), pp. 597-602. <https://www.redalyc.org/journal/339/33952909008/html/>
- Martuscelli, M., Di Mattia, C., Stagnari, F., Specca, S., Pisante, M., and Mastrocola, D., 2016. Influence of phosphorus management on melon (*Cucumis melo* L.) fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(8), pp. 2715-2722. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7390>
- Mellado-Vázquez, A., Salazar-García, S., Treviño-de la Fuente, C.A., González-Durán, I.J.L., and López-Jiménez, A., 2012. Composición y remoción nutrimental de frutos de mango 'Haden' y 'Tommy Atkins' bajo producción forzada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5), pp. 925-941. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i5.1384>
- Montero, M.L., Rojas-Garbanzo, C., Usaga, J., and Pérez, A.M., 2022. Composición nutricional, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante hidrofílica de frutas costarricenses seleccionadas. *Agronomía Mesoamericana*, 33, pp. 46175. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46175>
- Moreno-Velázquez, D., Saucedo-Veloz, C., Arévalo-Galarza, L., Peña-Valdivia, C.B., Soto-Hernández, M., and Cruz-Lagunas, B., 2008. Cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos durante el crecimiento y maduración del fruto de ilama (*Annona diversifolia* Saff.). *Agrociencia*, 42(4), pp. 407-414. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000400003
- Nava, G., Dechen, A.R., and Nachtigall, G.R., 2007. Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in southern Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(1-2), pp. 96-107. <https://doi.org/10.1080/00103620701759038>
- Otero-Sánchez, M.A., Becerril Román, A.E., Ruiz Posadas, L.D.M., Tijerina Chávez, L., Engleman, E.M., and Castillo Morales, A., 2005. Fenología, fisiología y producción de Ilama (*Annona diversifolia* Saff.). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Recursos Genéticos y Productividad, Fruticultura.
- Otero-Sánchez, M.A., Becerril, R.A., Castillo, M.A., Michel, A.C., Ariza, T.R., Barrios, A. A., and Rebolledo, M.A., 2006. Producción de ilama *Annona diversifolia* Saff. en el trópico seco de Guerrero. *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 12(2), pp. 137-143. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2005.09.035>
- Pareek, S., Yahia, E.M., Pareek, O.P., and Kaushik, R.A., 2011. Postharvest physiology and technology of Annona fruits. *Food Research International*, 44(7), pp. 1741-1751. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.016>
- Quiroz, A.G., Estrada, J.A.E., González, M.T.R., García, P.S., y Castro, E.S., 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 25(2), pp. 169-175. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325209.pdf>
- Razaq, M., Zhang, P., Shen, H.L., and Salahuddin., 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. *PloS One*, 12(2), pp.e0171321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171321>
- Rebolledo-Martínez, A., del Ángel-Pérez, A.L., and Rey Moreno, J., 2008. Effects of paclobutrazol and KNO₃ over flowering and fruit quality in two cultivars of mango Manila. *Interciencia*, 33(7), pp. 523-527. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442008000700010yscript=sci_arttext

- Reyes, G.T., Ceceña, M.F., Catalán, C.H., Ávila, P.S. and Jiménez, H.J., 2012. Flora leñosa del municipio de Cocula, Guerrero, México. *Polibotánica*. 1(34), pp. 21-49. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682012000200002
- Silva, M.R., Lacerda, D.B.C.L., Santos, G.G., and Martins, D.M.D.O., 2008. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. *Ciência Rural*, 38, pp. 1790-1793. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782008000600051>
- Silva, É.M., Silva, V.F., Fernandes, F.A., Muniz, J.A., and Fernandes, T.J., 2019. O crescimento de frutos de pêssegos caracterizados por modelos de regressão não lineares. *Sigmae*, 8(2), pp. 290-294. <https://doi.org/10.29327/2520355.8.2-32>
- Sipiora, M.J., Anderson, M.M., and Matthews, M.A., 2005. Composition of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir fruit and wines from Carneros appellation in response to potassium fertilization and supplemental irrigation. In: *Proceedings of the soil environment and vine mineral nutrition symposium*, San Diego, California, USA. American Society for Enology and Viticulture. pp. 185-192
- Team, R.C., 2021. R: A language and environment for statistical computing. Published online 2020. *Supplemental Information References S*, 1, pp. 371-78.
- Tiencheu, B., Claudia Egbe, A., Achidi, A. U., Ngongang, E. F. T., Tenyang, N., Tonfack Djikeng, F., and Tatsinkou Fossi, B., 2021. Effect of oven and sun drying on the chemical properties, lipid profile of soursop (*Annona muricata*) seed oil, and the functional properties of the defatted flour. *Food Science y Nutrition*, 9(8), pp. 4156-4168. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2380>
- Topete-Corona, C., Cuevas-Guzmán, R., Sánchez-Rodríguez, E. V., Moreno-Hernández, A., Morales-Arias, J. G., and Núñez-López, N.M., 2020. Population structure and habitat of a tropical tree with edible fruits, *Annona purpurea* (Annonaceae), in Western Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 68(4), pp. 1171-1184. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442020000401171
- Villela, P., Batista, Â.G., and Dessimoni-Pinto, N.A., 2013. Nutritional composition of *Annona crassiflora* pulp and acceptability of bakery products prepared with its flour. *Food Science and Technology*, 33, pp. 417-423. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612013005000082>
- Wójcik, P., and Wawrzyńczak, P., 2014. Effect of preharvest sprays of calcium on cracking and 'Schattenmorelle' sour cherry fruit quality harvested mechanically. *Journal of Plant Nutrition*, 37(9), pp. 1487-1497. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.881875>
- Yfran, M.D.L.M., Chabbal, M.D., Píccoli, A.B., Giménez, L.I., Rodríguez, V.A., and Martínez, G.C., 2017. Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarina Nova. *Cultivos Tropicales*, 38(4), pp. 22-29. http://scielosld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000400007&script=sci_arttext&lng=en