

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERIA EN BIOTECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS NATURALES**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS NATURALES**

**TEMA:**  
INFLUENCIA DE LA ALTITUD EN EL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE  
*Solanum betaceum* Cav. INJERTO EN *Nicotiana glauca*.

**AUTORA:  
PAMELA SOFÍA TORRES CARVAJAL**

**TUTORA:  
PhD. ELENA COYAGO CRUZ**

**Quito, junio del 2021**

### **Cesión de derechos de autor**

Yo Pamela Sofía Torres Carvajal, con documento de identificación N° 1726183484, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación titulado: Influencia de la altitud en el contenido de ácido ascórbico de *Solanum betaceum* Cav. Injerto en *Nicotiana glauca*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, junio del 2021

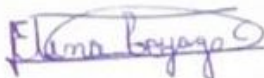


Nombre: Pamela Sofía Torres Carvajal  
Cédula: 1726183484

### **Declaratoria de coautoría del docente tutor/a**

Yo PhD. Elena del Rocío Coyago Cruz declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de titulación Influencia de la altitud en el contenido de ácido ascórbico de *Solanum betaceum* Cav. injerto en *Nicotiana glauca*, realizado por Pamela Sofia Torres Carvajal obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio de 2021



PhD. Elena del Rocío Coyago Cruz

CI: 1713762647

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios por haberme brindado salud, ser el manantial de vida y apoyarme con lo necesario para seguir el día a día y lograr todos mis objetivos y metas planteadas.

A mi madre Yadira Carvajal por el apoyo brindado, por las recomendaciones, consejos y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, con valores y criterio propio, por enseñarme a escuchar y comprender las cosas de la vida y sobre todo por su amor incondicional en los momentos buenos y malos.

A mi padre Marco Torres por enseñarme el valor de las cosas, del esfuerzo, lucha y trabajo para lograr lo que deseamos y aspiramos, y por su amor.

A mis hermanas por estar en buenos y malos momentos de mi vida, apoyarme siempre en todas las adversidades que se han presentado.

## **Agradecimiento**

Agradezco en primero lugar a mis padres por confiar en mí, por brindarme las herramientas necesarias para culminar con éxito mi trabajo de titulación, por estar siempre pendiente de todo lo que me sucede, por la preocupación de que no me falte nada, y estar todos los días de mi vida a mi lado dándome todos los consejos necesarios para no cometer errores que a futuro puedan traerme consecuencias graves, por su apoyo en los momentos que más lo necesité, y por todo el amor que me han demostrado.

Por haberme iluminado y concedido salud para cumplir con las aspiraciones de vida y en el presente trabajo, agradezco a Dios, que nos acoge con su infinita bondad y amor.

A los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirme utilizar las instalaciones para llevar a cabo esta investigación.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Programa de Fruticultura, por el apoyo brindado en la parte logística y ubicación de las plantaciones de tomate en la provincia de Tungurahua, en especial al M.Sc. Aníbal Martínez y M.Sc. William Viera. A la Universidad UTE, por el apoyo brindado para llevar a cabo esta investigación en el Centro de Investigación Biomédica (CENBIO), en especial al PhD. Manuel Baldeón y M.Sc. Jorge Heredia, y a la M.Sc. Elena Beltrán docente investigador del Centro de investigación de alimentos (CIAL).

Asimismo, agradezco a mi tutora PhD. Elena Coyago Cruz, por la guía para realizar adecuadamente mi trabajo experimental para obtener mi título de ingeniera, por su atención a mis dudas y brindarme las técnicas correctas y permitirme pertenecer a su grupo de investigación que me permitió adquirir nuevas destrezas y conocimientos, importantes para desenvolverme adecuadamente en el campo laboral.

## Índice de contenido

Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	4
Marco conceptual.....	4
1.1  Tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> Cav.).....	4
1.1.1  Importancia del cultivo.....	6
1.1.2  Ecotipos.....	7
1.1.3  Fenología del cultivo.....	8
1.1.4  Principales factores del cultivo.....	11
1.2  Porta injertos.....	13
1.3  Compuestos bioactivos en tomate de árbol.....	15
1.3.2  Factores que afectan el contenido de compuestos bioactivos.....	16
1.4  Ácido ascórbico (Vitamina C).....	17
1.5  Calidad comercial en tomate de árbol.....	19
CAPÍTULO II.....	22
Materiales y métodos.....	22
2.1  Selección y muestreo.....	22
2.2  Análisis de calidad comercial.....	24
2.3  Análisis de vitamina C por RRLC.....	28
2.4  Análisis de datos.....	29
CAPÍTULO III.....	30
Resultados y discusión.....	30

3.1. Calidad comercial.....	30
3.2. Contenido de vitamina C .....	42
3.3 Análisis multivariado y de correlaciones.....	45
Conclusiones.....	45
Recomendaciones .....	50
Referencias bibliográficas .....	51

## Índice de tablas

Tabla 1. Contenido de vitamina C en tomate de árbol cultivado en diferentes regiones.....	19
Tabla 2. Características del sitio de muestreo de tomate de árbol ecotipo ‘anaranjado gigante’ .....	23
Tabla 3. Características del sitio de muestreo de tomate de árbol ecotipo ‘morado gigante’ .....	24
Tabla 4. Valores $p$ del análisis multifactorial considerando la altitud, ecotipo e injerto.....	45
Tabla 5. Valores de las componentes principales de los parámetros de calidad comercial y vitamina C en frutos de tomate de árbol.....	47



## Índice de figuras

Figura 1. Distribución mundial del cultivo de tomate de árbol .....	4
Figura 2. Ecotipos tradicionales de tomate de árbol ecuatorianos.....	8
Figura 3. Fenología del cultivo de tomate de árbol.....	10
Figura 4. División cantonal de la provincia de Tungurahua.....	22
Figura 5. Modelo de color CIE L*a*b*.....	25
Figura 6. Tamaño del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud .....	30
Figura 7. Peso del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud.....	32
Figura 8. Color del Modelo CIELAB del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud .....	35
Figura 9. Parámetros químicos del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud: Sólidos solubles (°Brix), pH, acidez titulable (% en ácido cítrico).....	37
Figura 10. Parámetros bromatológicos del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud: % Humedad, % cenizas, índice de madurez.....	39
Figura 11. Vitamina C del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud en placenta, pulpa y cáscara.....	42
Figura 12. Componentes principales de los parámetros de calidad comercial y vitamina C del tomate de árbol.....	46

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cromo ( $C_{ab}^*$ ) .....	25
Ecuación 2. Tono ( $H^\circ$ ) .....	25
Ecuación 3. % Acidez titulable total .....	26
Ecuación 4. % Humedad.....	27
Ecuación 5. % Ceniza.....	27
Ecuación 6. Índice de madurez.....	27
Ecuación 7. Vitamina C (mg/100 g PS) .....	28

## Resumen

El tomate de árbol es un cultivar Andino de importancia en la producción ecuatoriana, el cual genera ingresos a los pequeños agricultores. Sin embargo, poco se conoce acerca de la composición fitoquímica y la calidad del tomate de árbol injerto a diferentes altitudes y pueden verse afectados por factores extrínsecos e intrínsecos del cultivar. El presente estudio permitió evaluar la influencia de la altitud en el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) de *Solanum betaceum* Cav. injerto en *Nicotiana glauca*. Para lo cual, se recolectó muestras de frutos de ecotipo ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’ (control e injerto en *Nicotiana glauca*) a diferentes intervalos de altitudes. Se determinó la calidad comercial del fruto fresco y se cuantificó en material liofilizado de la cáscara, pulpa y placenta por separado, el contenido de vitamina C mediante cromatografía líquida (RRLC) acoplado a un detector DAD-UV-VIS y una columna C18. Los resultados indicaron que la altitud es un factor que influye en el tamaño, peso, % de ceniza, sólidos solubles, % de acidez titulable total y en el contenido de vitamina C. Además, la placenta del ecotipo ‘anaranjado gigante’ en control reportó un mayor contenido de vitamina C (186,8 mg/100 g PS) a un rango de altitud entre 2010 a 2250 msnm; mientras que la cáscara en algunos casos no mostró presencia de vitamina C. En tal virtud, se concluye que la altitud, el ecotipo y el portainjerto influyen en la calidad comercial y contenido de vitamina C en frutos de tomate de árbol.

**Palabras clave:** Calidad comercial, portainjertos, ecotipos, antioxidante.

## Abstract

The tree tomato is an Andean cultivar of importance in Ecuadorian production, which generates income for small farmers. However, little is known about the phytochemical composition and quality of grafted tree tomato at different altitudes and can be affected by intrinsic and extrinsic factors of the cultivar. The present study allowed evaluating the influence of altitude on the content of ascorbic acid (vitamin C) of *Solanum betaceum* Cav. graft in *Nicotiana glauca*. For which, samples of fruits of the 'giant orange' and 'giant purple' ecotype (control and graft in *Nicotiana glauca*) were collected at different intervals of altitudes. The commercial quality of the fresh fruit was determined and quantified in lyophilized material of the peel, pulp and placenta separately, the vitamin C content by liquid chromatography (RRLC) coupled to a DAD-UV-VIS detector and a C18 column. The results indicated that altitude is a factor that influences size, weight, % ash, soluble solids, % total titratable acidity and vitamin C content. In addition, the placenta of the 'giant orange' ecotype in control reported a higher content of vitamin C (186.8 mg / 100 g PS) at an altitude range between 2010 at 2250 meters above sea level, while the peel in some cases did not show the presence of vitamin C. As such, it is concluded that the altitude, the ecotype, and the rootstock influence the commercial quality and content of vitamin C in tree tomato fruits.

**Keywords:** Commercial quality, rootstocks, ecotypes, antioxidant.

## Siglas y acrónimos

a*	Coordenada de color rojo/verde
b*	Coordenada de color amarillo/azul
°Brix	Grados brix. Unidad para determinar sólidos solubles
cm	Centímetro
g	Gramo
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
L*	Luminosidad
pH	Potencial hidrógeno
SS	Sólidos solubles
C <sub>ab</sub> *	Saturación
h <sub>ab</sub>	Tono
RRLC	Cromatografía líquida de resolución rápida
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
BPA	Buenas Prácticas de Manufactura
Tm	Tonelada métrica
ha	Hectárea
mg	Miligramos
°C	Grados centígrados
msnm	Metros sobre el nivel del mar
PF	Peso fresco
nm	nanómetros
rpm	Revoluciones por minuto
mL	Mililitros

V <sub>m</sub>	Volumen de muestra
N	Normalidad, medida de concentración
PS	Peso seco

## Introducción

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es un cultivar exótico originario y tradicional de la región andina (Espín et al., 2016). En Ecuador, en el año 2018 se reportó una superficie cosechada de alrededor de 2026 hectáreas, con una producción de 22 343 toneladas métricas (Tm), siendo Tungurahua la provincia con mayor producción de tomate de árbol con 10 673 Tm (INEC, 2018). y algunos de los cultivos cuentan con certificación de Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA) que permite el comercio a países como Estados Unidos, obteniendo mayores ingresos a los agricultores dedicados a la producción de calidad (Agrocalidad, 2019).

El cultivo de tomate de árbol presenta ciertas dificultades agronómicas debido a la presencia principalmente de nematodos que causan pérdidas de la producción de hasta el 70 %, lo que se traduce en una disminución del rendimiento del cultivo afectando a los pequeños y medianos productores. Por lo que se ha empleado la técnica de portainjertos como una alternativa sostenible frente al control químico, en la cual se utiliza especies silvestres de solanáceas resistentes a nematodos y a ciertas enfermedades fúngicas como al hongo *Fusarium solani*, dentro de las especies que se han empleado como portainjertos se tiene a *Nicotiana glauca*, *Solanum auriculatum* y *Solanum hispidum*, lo que ha permitido una mejora en el rendimiento y longevidad de la planta (Viteri et al., 2010).

Por otro lado, la atención de los consumidores por la composición de los alimentos ha aumentado considerablemente ya que les permite seleccionar frutas y verduras con alto valor nutricional para formulaciones de productos alimenticios y no alimenticios (Wang & Zhu, 2020), particularmente las relacionadas con propiedades biológicas beneficiosas que

contribuyen al tratamiento y prevención de enfermedades cardiovasculares y carcinógenas (Correia et al., 2016; Diep, Pook, Rush, et al., 2020). Diversas frutas exóticas tienen propiedades beneficiosas para el correcto funcionamiento del organismo debido a sus altos niveles de metabolitos biológicamente activos (Acosta-Quezada et al., 2015), dentro de ello el tomate de árbol posee un contenido importante de ácido ascórbico, carotenoides, antocianinas, vitamina B6, vitamina E, minerales; además, su actividad antioxidante se debe a la presencia de compuestos fenólicos existentes en la cáscara (Ramírez & Kallarackal, 2019; Tandazo-Yunga et al., 2017) lo que aumenta la demanda y consumo.

Así, el ácido ascórbico o vitamina C posee una amplia gama de funciones biológicas dentro de las que incluye la actividad antioxidante, producción de colágeno, apoyo a la cicatrización de heridas, entre otras (Diep et al., 2020). A través de la función antioxidante, la vitamina C posiblemente reduce el daño oxidativo, que puede conducir al cáncer, y tiene la capacidad de limitar in vivo la formación de carcinógenos como las nitrosaminas (Diep, Pook, Rush, & Yoo, 2020). En tomate de árbol en variedades rojas y amarillas se ha reportado 14,0 a 42,0 mg/100 g en peso fresco (PF) y 14,0 a 33,5 mg/100 g PF de vitamina C, respectivamente (Prieto, 2016).

La composición fitoquímica y la calidad de la fruta se pueden ver afectadas principalmente por factores previos a la cosecha, la combinación de vástago y portainjerto, el contenido de carbohidratos, la carga de cultivo, la posición del fruto dentro del árbol, factores ambientales como la luz, temperatura, disponibilidad de agua y en general las prácticas culturales del cultivar (Guerrero-Chavez et al., 2015; Magwaza et al., 2017). Por lo cual este trabajo tuvo como objetivo determinar la influencia de la altitud en el contenido de ácido ascórbico de *Solanum betaceum* Cav., injerto en *Nicotiana glauca*, para lo cual se seleccionó



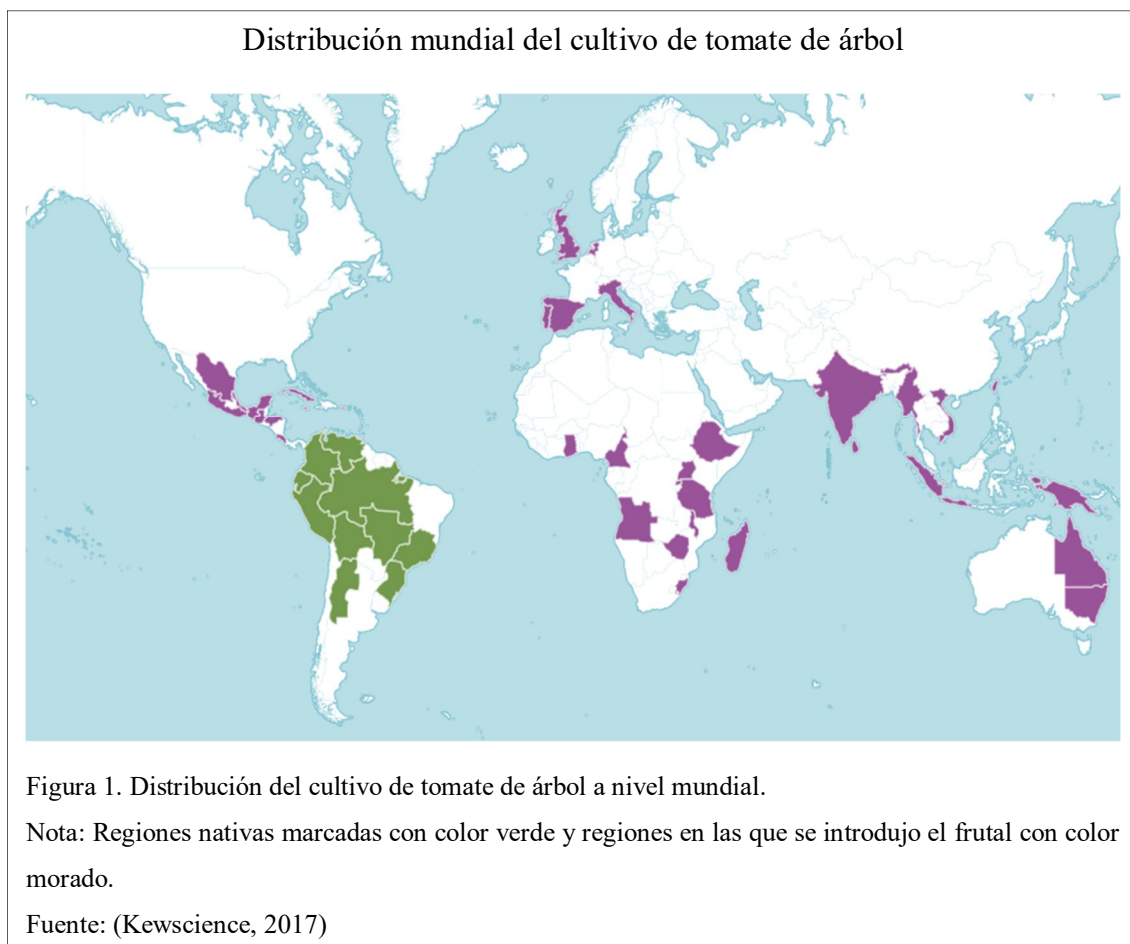
cultivares instaurados en la provincia de Tungurahua, se determinó la calidad comercial de los frutos cultivados y se cuantificó el contenido de vitamina C de los frutos cultivados en diferentes altitudes.

# CAPÍTULO I

## Marco conceptual

### 1.1 Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

El tomate de árbol o tamarillo como se lo conoce a nivel mundial es originario de la región Andina de América Latina. Es un arbusto perene de rápido crecimiento, mismo que produce frutos carnosos comestibles con un amplio mercado en crecimiento en el lugar de origen como Ecuador y Colombia en el que se realiza el cultivo de forma extensiva, así como en algunas regiones de Europa, África, Asia y Oceanía (Lagos et al., 2012; Tandazo-Yunga et al., 2017).



El tomate de árbol pertenece al reino: Plantae; división: Tracheofitas; clase: Magnoliopsida; subclase: Asteridae; orden: Solanales; familia: Solanaceae; género: *Solanum* L.; especies: *betaceum*; por tanto, el nombre científico es *Solanum betaceum* Cav. (Hassler, 2018):

El tomate de árbol posee raíces poco profundas, con un solo tronco principal erguido y que se ramifica por encima de los 1,5 m que aparenta la forma de una copa ancha de las que se desprenden las flores y frutos, puede alcanzar una altura de 3 a 5,5 m (Schotsmans et al., 2011), con un tiempo útil de cinco a doce años (Tandazo-Yunga et al., 2017). Posee hojas grandes de alrededor de 30 a 40 cm de largo y 20 a 35 cm de ancho, ampliamente cordadas, simples, perennes, alternas, con un característico olor almizclado y su base presenta una forma de corazón y un ápice puntiagudo (Ramírez & Kallarackal, 2019). La inflorescencia tiene una estructura compuesta de hasta 50 flores de color rosa pálido o lavanda distribuidas alternativamente; dentro de la misma se desarrollan los botones florales, las flores en antesis y los frutos jóvenes (Ramírez & Kallarackal, 2019; Schotsmans et al., 2011).

Su fruto se considera una baya carnosa con forma ovoide elipsoide, el color de su piel puede variar de amarillo, amarillo-naranja, naranja, rojo-púrpura a rojo oscuro, su pulpa tiene una coloración color amarillo cremoso, naranja pálido o rojizo y tiene una jalea con semillas de color naranja o morado oscuro, su tamaño fluctúa entre los 4 y 10 cm de largo, 3 y 6 cm de sección transversal en fruto maduro y un peso de 30 a 160 g (Ramírez & Kallarackal, 2019; Schotsmans et al., 2011).

La reproducción más utilizada en tomate de árbol es asexual, comúnmente mediante injertos de púa terminal y esquejes los cuales son enterrados en el suelo. Los portainjertos más utilizados por su resistencia a nematodos y otras enfermedades, es el tabaquillo o palo bobo (*Nicotiana glauca*), el palo blanco (*Solanum auriculatum*) y el kujaco (*Solanum hispidum*), sin embargo, también puede darse de forma sexual (Felcán-Mejía et al., 2016).

### 1.1.1 Importancia del cultivo

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) representa un cultivo alternativo para la diversificación agrícola, así como para la producción y comercialización de productos básicos no tradicionales para los países productores, permitiendo un desarrollo socioeconómico principalmente en zonas rurales mediante la generación de empleos para los pequeños agricultores (Criollo et al., 2016). Es un cultivo de gran potencial con fines de exportación, debido a la gran acogida que se tiene en los mercados internacionales por frutas exóticas y con alto valor nutricional (Castaño et al., 2015).

Se cultiva extensamente en gran parte de Sudamérica, sin embargo, la tasa de exportación es mínima. Por ejemplo, en Colombia se produce alrededor de 120 000 toneladas métricas (Tm) al año en 6 500 hectáreas, las cuales son expandidas mayoritariamente en la localidad. En Ecuador se tiene una producción de 22 343 Tm en alrededor de 2 026 hectáreas cosechadas, siendo uno de los productos andinos de importancia dentro del ámbito alimentario en el país, considerándose como el tercer frutal de mayor importancia (INEC, 2018; Ramírez et al., 2015; Schotsmans et al., 2011).

A nivel internacional Kenia, Sri Lanka, India y Nueva Zelanda son los mayores productores, siendo este último el país con mayor producción de tomate de árbol del mundo cuyos principales mercados son Estados Unidos, Hong Kong, Australia, Singapur, las islas del Pacífico y Japón (Lagos et al., 2012; Ramírez & Kallarackal, 2019). Los importadores de mayor importancia son Alemania y Estados Unidos, sin embargo, países como Canadá, Suiza, España, Bélgica, Suecia, Noruega, Finlandia también importan la fruta (Wendt & Izquierdo, 2002).

Actualmente, en Ecuador se están desarrollando proyectos de mejora llevados a cabo por distintas entidades como el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) y la Universidad Central del Ecuador que permitan un aumento en la producción y comercialización, y una minimización de las pérdidas producidas por plagas y enfermedades, que llegan en algunos casos a disminuir hasta un 90 % la producción (Ramírez et al., 2015).

### **1.1.2 Ecotipos**

En Ecuador la producción de tomate de árbol se realiza en diferentes regiones de la sierra, debido a que posee zonas con condiciones agronómicas óptimas, tales como suelos ricos en materia orgánica y un clima templado y frío (Viteri et al., 2011). Las principales provincias dedicadas al cultivo son Imbabura, Tungurahua y Pichincha (Viteri et al., 2011), además de Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja (Díaz et al., 2017).

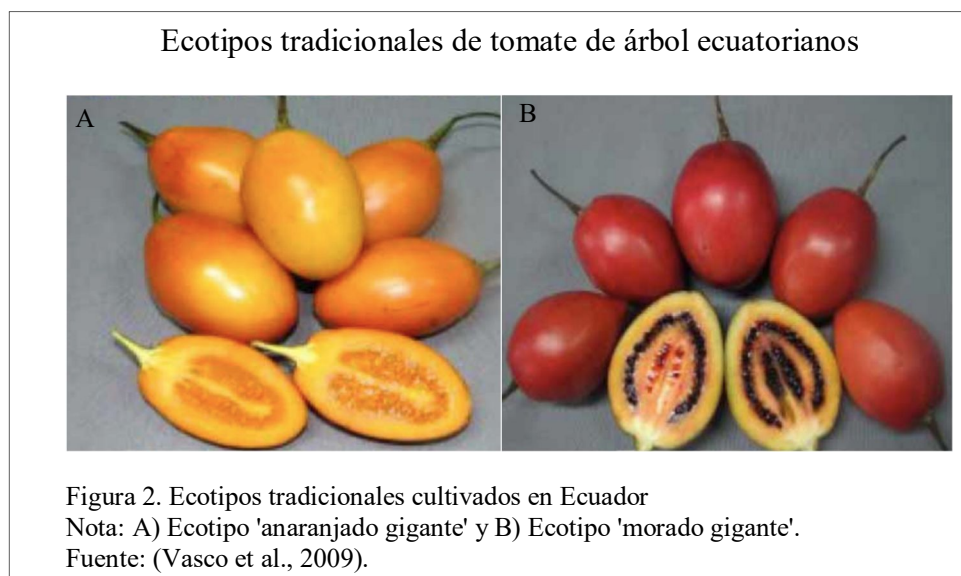
Los ecotipos más populares en Ecuador (Figura 1), son el tradicional ‘anaranjado gigante’ cuyos frutos son de color amarillo dorado (mayor valor comercial) y el mora gigante, cuyos frutos son más ácidos y de color rojo púrpura (Vasco et al., 2009).

Acosta-Quezada et al. (2011) considerando descriptores de color, forma y tamaño del fruto diferenciaron cinco grupos de tomate de árbol: naranja, naranja puntiagudo, rojo, cónico rojo y morado.

Los principales ecotipos producidos en el país son (León et al., 2004):

- Anaranjado Puntón: presenta un fruto de color de cáscara, pulpa y placenta de color anaranjado, puede presentar una producción de aproximadamente 23 Tm/ha.
- Anaranjado redondo: el color de la cáscara, pulpa y placenta es anaranjado. Puede alcanzar una producción de 51,3 Tm/ha, sin embargo, es muy poco cultivado y comercializado por la variación en la forma del fruto.

- ‘anaranjado gigante’: es el genotipo más tardío ya que sus frutos se cosechan a partir de los 368 días, el color de la pulpa y placenta presenta una combinación de colores entre amarillo y magenta. Este cultivo puede alcanzar una producción de 32 Tm/ha.
- Morado Neocelandés: posee un color de cáscara rojizo oscuro, la pulpa de color anaranjado y la placenta rojo oscuro a morado La producción puede alcanzar 46 Tm/ha.
- ‘morado gigante’: el fruto presenta un color de cáscara rojizo oscuro, la pulpa es anaranjada y la placenta rojo oscuro a morado. Puede alcanzar producciones de al menos 47 Tm/ha.



### 1.1.3 Fenología del cultivo

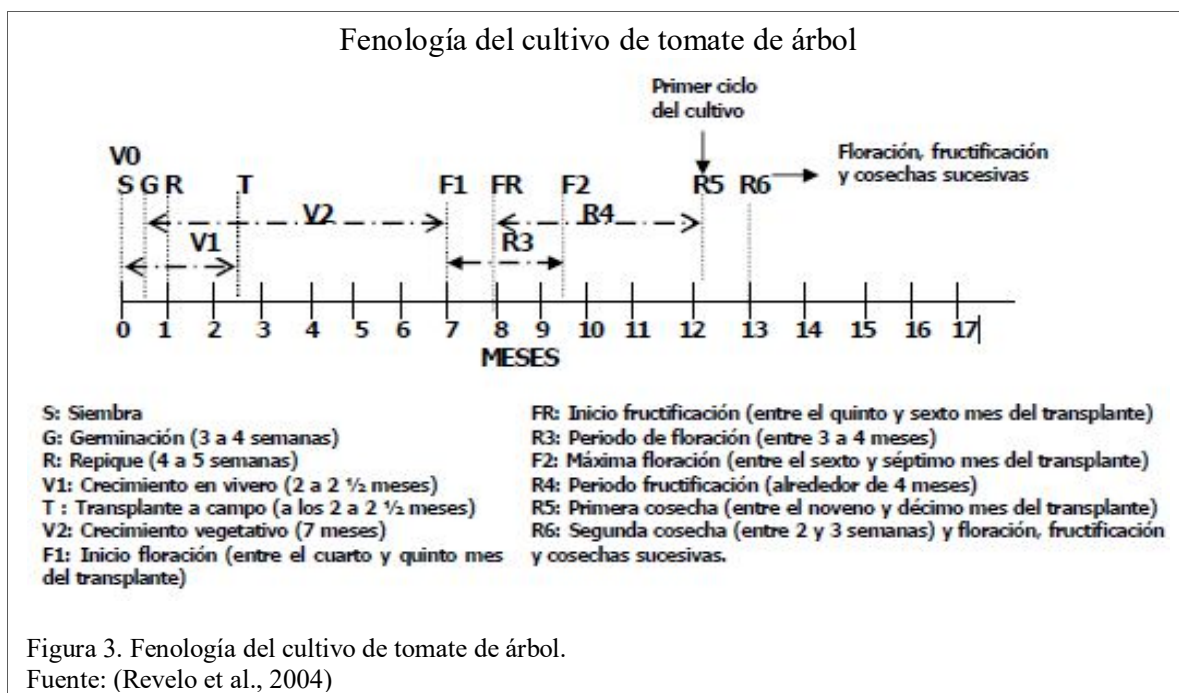
La producción del tomate empieza después de los 12 a 18 meses desde el trasplante , cuyo pico de producción se da a los 3 y 4 años, si el cultivo es manejado adecuadamente y se mantiene en condiciones óptimas la planta puede vivir de 8 a 12 años (Acosta-Quezada et al., 2016).

El ciclo de crecimiento del tomate de árbol consta de ocho etapas fenológicas fácilmente reconocibles (Acosta-Quezada et al., 2016):

- Germinación (Etapa 0): La propagación del tomate de árbol puede ser vegetativa o sexual, sin embargo, la más habitual es por semillas. El inicio de esta etapa está considerado desde las semillas secas o frescas y todo el proceso comprendido hasta la aparición de cotiledones mediante la superficie del suelo, esta etapa puede culminar de 14 a 28 días por influencia de factores como la temperatura y el tipo de sustrato utilizado para la germinación.
- Desarrollo de la hoja (Etapa 1): Después de seis a ocho meses del trasplante, la planta tiene un desarrollo vegetativo significativo, particularmente del tallo y las hojas. El número de hojas desarrolladas completamente en el tallo y copa son determinantes en esta etapa.
- Formación de brotes (Etapa 2): Se observa la formación de brotes laterales apicales en forma de horqueta que nacen de yemas apicales del tallo principal de la planta y que forman la corona.
- Alargamiento del tallo (Etapa 3): Se observa la presencia de tres nudos en el tallo, que equivalen al 10 % de la longitud final del mismo, y finaliza cuando el tallo principal se ha desarrollado completamente.
- Emergencia de la inflorescencia: Cada planta adulta posee de 15 a 60 inflorescencias, cada una con 10 a 50 flores a lo largo del eje, la primera inflorescencia se ubica en el punto de bifurcación del tallo principal marcando el inicio de esta etapa.
- Floración (Etapa 6): Inicia con la apertura de la primera flor de cada inflorescencia, esto ocurre después de que el primer capullo es visible, por lo que esta etapa ocurre de cinco a ocho días después de la etapa anterior.

- Desarrollo del fruto (Etapa 7): Las 15 a 60 inflorescencias producen de siete a treinta infrutescencias, cada infrutescencia puede producir de dos a cuatro frutos (Ramírez & Kallarackal, 2019). Esta etapa inicia con el desarrollo del primer fruto de la infrutescencia. El tiempo para que el fruto llegue al tamaño típico depende de las condiciones del cultivo, pero generalmente puede durar de cuatro a cinco meses después de la antesis.
- Maduración de frutos y semillas (Etapa 8): Entre las características típicas del fruto de tomate de árbol es que presenta un tamaño de alrededor de 4 y 8 cm de longitud, 3,5 y 6 cm de diámetro y un peso que varía de 30 a 160 g. Esta etapa se presenta normalmente después de 4 a 7 meses a partir de la apertura de la primera flor. La fruta inmadura puede permanecer cerca de tres meses en la planta, determinando su madurez por el número de frutos que presentan diferentes tonalidades dependiendo de la variedad.

Las zona en la que se encuentre influye en las etapas fenológicas de tomate de árbol (Buono et al., 2018). Así, en la Figura 3 se presenta el desarrollo fenológico establecido por Revelo et al. (2004).





#### 1.1.4 Principales factores del cultivo

El desarrollo vegetativo del tomate cumple parámetros ambientales y agronómicos específicos, tales como:

- Temperatura promedio: la planta de tomate de árbol crece en climas subtropicales con temperaturas entre 15 a 25 °C (Prohens & Nuez, 2001). El cultivo resulta más eficiente a temperaturas moderadamente frías entre 13 a 20 °C. La producción de la fruta puede verse afectada a temperaturas inferiores a 10 °C y superiores a 25 °C, ya que pueden provocar la caída de flores (Leme de Castro, 2014). En Ecuador el cultivo se realiza a temperaturas entre 13 a 24 °C (Felcán-Mejía et al., 2016).
- Humedad relativa: el cultivo se desarrolla entre 70 % y 80 % de humedad, lo que facilita la polinización (Leme de Castro, 2014). Pueden crecer en lugares con precipitaciones entre 600 y 4000 mm (Bakshi & Jammu, 2016). Además, en Ecuador, el tomate de árbol se cultiva con precipitaciones de lluvia entre 600 y 1000 mm anuales (Felcán-Mejía et al., 2016).
- pH del suelo: el tomate de árbol acepta valores de pH que varían entre 5 a 8,5 (Bakshi & Jammu, 2016). Las plantas tienen un mejor desarrollo en suelos profundos, permeables y fértiles; sin embargo, puede crecer en suelos con bajos niveles de nutrientes como son los suelos lateríticos de Haití (Prohens & Nuez, 2001). Para la fertilización se recomienda la aplicación de N, P y K, lo que estimula el crecimiento primaveral y ayuda a desarrollar el tamaño del fruto (Bakshi & Jammu, 2016). El tipo de suelo en el que se obtiene un mayor desarrollo es en suelos migajones arenosos o francos, con niveles de materia orgánica medios (Felcán-Mejía et al., 2016).

El tomate de árbol tiene un desarrollo óptimo en altitudes medias o altas en los bosques montañosos neotropicales (Prohens & Nuez, 2001). En Puerto Rico crece entre los 300 y 900 metros sobre el nivel del mar (msnm), en Haití alrededor de 1800 msnm, y en la India a una altura aproximada de 2200 msnm; en climas más fríos se puede cultivar a altitudes más bajas (Prohens & Nuez, 2001). Considerando los 1800 y 2600 msnm como la altitud óptima para el cultivo (Leme de Castro, 2014). En Ecuador puede crecer entre los 1500 y 3000 msnm, la mayor cobertura cultivada de la fruta se encuentra entre los 2000 a 2500 msnm en la región sierra, y entre los 100 y 1500 msnm en la región oriental (Felcán-Mejía et al., 2016; Leme de Castro, 2014). En climas templados con altitudes comprendidas entre 1500 y 2600 msnm se han identificado cultivares en Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú (Felcán-Mejía et al., 2016).

#### ***1.1.4.1 Dificultades en el cultivo***

El cultivo de tomate de árbol ha sido muy poco estudiado en el área del fitomejoramiento, dando como resultado que los cultivares dispongan de uno o dos genotipos, limitando la producción y comercialización del fruto (Mideros et al., 2020).

Es un cultivar susceptible a heladas provocando que el follaje sufra daños, y en condiciones extremas puede llevar a la muerte de la planta (Prohens & Nuez, 2001). También es sensible a la radiación solar por lo que las condiciones de la región andina resulta un ambiente propicio para el cultivo (Leme de Castro, 2014). El exceso de humedad en el suelo afecta al sistema radicular por anaerobiosis llevando a un amarillamiento general de la planta (Felcán-Mejía et al., 2016).

Las enfermedades del tomate de árbol son causadas por diversos agentes patógenos, incluidos hongos, bacterias, virus, nemátodos y omicetos (Ramírez-Gil et al., 2017). Los nematodos son uno de los principales problemas que afecta al cultivo de tomate de árbol, disminuyendo el rendimiento y provocando grandes pérdidas a los pequeños y medianos productores dedicados a la producción.

A su vez, las propiedades fisicoquímicas y textura del suelo influyen directamente sobre la prevalencia de nematodos en el cultivo (Waswa et al., 2020). Algunos de los agentes causales que afectan son *Meloidogyne* sp. conocido como el nudo de la raíz, y *Phytophthora* sp. la pudrición de la corona y *Pseudomonas solanacearum* el marchitamiento (Bakshi & Jammu, 2016). Se ha obtenido buenos resultados en el rendimiento del cultivo en cruces híbridos con especies como *Solanum unilobum* que brinda resistencia a ciertas enfermedades como *Phytophthora betacei* (Mideros et al., 2020).

## **1.2 Porta injertos**

El injerto se ha practicado durante más de 2500 años en regiones como Europa, Oriente Medio y Asia, así teniendo referencias en textos como la Biblia, antiguos escritos chinos y griegos. Se ha presenciado este proceso de forma natural en ciertas especies como la hiedra inglesa, que consiste en que dos plantas fusionan ramas y raíces sin la intervención del hombre (Melnyk & Meyerowitz, 2015).

Es una técnica vegetativa asexual de propagación de plantas, que consiste básicamente en la conexión de dos segmentos de plantas, la pieza de brote que se denomina vástago, que resulta de la parte superior de la planta, y la pieza de raíz llamada patrón, que es la porción inferior (porta injerto) que se convierte en el sistema de raíces (Goldschmidt, 2014; Lee et al., 2016), buscando que se establezca una continuidad vascular, por lo tanto funcione como una sola planta (Mahunu et al., 2013).

La compatibilidad está estrechamente relacionada con la proximidad taxonómica importante para obtener un resultado exitoso y a largo plazo del injerto. Sin embargo, aún no se conoce los mecanismos relacionados con la incompatibilidad interespecífica del injerto (Goldschmidt, 2014). Se debe considerar como controles a los homoinjertos (autoinjertos) frente a los heteroinjertos cuando se realiza una prueba de compatibilidad (Goldschmidt, 2014).

Es una técnica importante que se utiliza en invernaderos, jardines y huertos, principalmente en plantas perennes como árboles frutales, forestales y ornamentales, sin embargo, a principios del siglo XX se ha practicado en cultivos de hortalizas como *Cucurbitae* y especies de *Solanacea* (Goldschmidt, 2014; Melnyk & Meyerowitz, 2015). Para mejorar las características agronómicas, estimular el crecimiento y aumentar la tolerancia de plantas frente a factores bióticos para combatir plagas y enfermedades y abióticos como la salinidad, frío o condiciones desfavorables del suelo (Lee et al., 2016; Melnyk, 2017). El injerto en portainjertos de la misma familia ha permitido el manejo de plagas en plantas frutales y enfermedades transmitidas por el suelo vegetal (Goldschmidt, 2014).

En Ecuador, El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) ha investigado tres especies silvestres tales como: *Nicotiana glauca* (palo bobo o tabaquillo), *Solanum auriculatum* y *Solanum hispidum* (cujacu) como patrones de injerto en plantas de tomate de árbol, las mismas que son resistentes o tolerantes a *Fusarium* sp. y nematodos, esta alternativa buscada disminuir el control químico y contar con una alternativa sostenible frente a problemas fitosanitarios en el cultivo (Viera et al., 2017; P. Viteri et al., 2010). Así, en la provincia de Tungurahua en Ecuador se cultiva tomate de árbol injerto en *Nicotiana glauca* (Viera et al., 2017), el cual es resistente a nematodos, permitiendo un mayor rendimiento y longevidad del cultivo y aumentando la producción; además este porta injerto evita el ataque de *Fusarium oxysporum* causante de la pudrición radicular, permitiendo una mayor producción (Viteri et al., 2010).

Por otro lado, como se ha visto *N. glauca* es una fuente importante de genes de resistencia a nematodos que podría ser transferida mediante hibridación somática al tomate de árbol. Frente a esto Ayala et al. (2011) estudió la hibridación somática entre *S. betaceum* y *N. glauca* con la finalidad de estandarizar el protocolo de aislamiento, cultivo y regeneración de

plantas a partir de los protoplastos del mesófilo abundantes en hojas para las dos especies, obteniendo resultados positivos y confirmando lo antes mencionado.

### **1.3 Compuestos bioactivos en tomate de árbol**

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) contiene buenas proporciones de almidón, antocianinas, carotenoides, terpenoides, esteroides, saponina, alcaloides, taninos, fibra soluble (Gannasin et al., 2015; Saptarini & Herawati, 2018). Además es una importante fuente de provitamina A, vitamina C, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, E y antioxidantes (Amadou et al., 2020; Ramakrishnan et al., 2013). También, se ha considerado como una potencial fuente importante de proteína ya que se ha encontrado algunos aminoácidos como ácido glutámico, leucina, serina, ácido aspártico, glicina, entre otros (Gannasin et al., 2015; Saptarini & Herawati, 2018).

Es una fruta con un alto potencial en la industria alimenticia por el alto contenido de compuestos importantes dentro de la dieta del consumidor, tales como licopeno, vitaminas, minerales como fósforo, potasio, calcio, y fructosa. Además, de las diferentes maneras en las que se puede consumir, como fruta fresca, postres (helados, yogurt y leche), aperitivos, mermeladas, salsas, entre otras (Pantoja et al., 2009).

Posee bioactivos funcionales como compuestos fenólicos, antocianinas y carotenoides que resultan beneficiosos para la salud del ser humano (Diep et al., 2020), favoreciendo la prevención de enfermedades crónicas como trastornos neurológicos, oculares, cerebrovasculares, entre otros (Mandal & Ghosal, 2012). En frutos de tomate de árbol de Nueva Zelanda se determinó la presencia de compuestos fenólicos como 3-rutinósidos y 3-glucósidos de pelargonidina, delphinidina y cianidina mediante el método de cromatografía de capa fina. En Brasil se encontró la presencia de pelargonidina 3-glucosil-glucosa, peonidina, malvidina por espectrofotometría UV-Vis y TLC, y delphinidina 3-rutinósido y cianidina 3-rutinósido mediante LC / MS (Osorio et al., 2012).

En frutos ecuatorianos se ha identificado la presencia de antocianinas, delphinidina, derivados del rutósido; los ácidos hidroxicinámicos, ácido dicafeoilquínico, ácido cafeoilquímico, cafeoil glucosa, feruloil glucosa, y carotenoides esterificados como luteína y  $\beta$ -criptoxantina (Osorio et al., 2012).

Contiene un porcentaje aceptable de nitrógeno y aminoácidos libres, además posee fibra lo que facilita la digestión y contribuye a bajar los niveles de colesterol en sangre. El fruto maduro ha sido utilizado como tratamiento de la amigdalitis, colesterol alto y aliviar el dolor estomacal. Sus frutos también están dotados con propiedades antioxidantes ayudando a reducir los daños oxidativos en órganos vitales (Amadou et al., 2020).

### **1.3.2 Factores que afectan el contenido de compuestos bioactivos**

La calidad de la fruta se ve influida por factores genéticos de la planta que pueden provocar cambios cualitativos o cuantitativos en la composición de compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos (Zoratti et al., 2014). Entre estos podemos encontrar la regulación hormonal en las que se encuentran implicadas las auxinas, citoquininas, etileno y ABA; los factores de transcripción con un papel importante dentro del crecimiento y desarrollo de las plantas; los compuestos como óxido nítrico; la regulación epigenética relacionada con la metilación del ADN en la expresión de genes relacionados con la maduración del fruto (Fortes et al., 2017).

Además, la acumulación de los compuestos bioactivos también se relacionan con las señales ambientales, prácticas de cultivo y postcosecha considerando condiciones de luz, temperatura, altitud e interacciones ambientales del genotipo X, mismos que afectan la composición de compuestos biofuncionales de la fruta (Fortes et al., 2017). La señalización luminosa es un factor determinante en la biosíntesis de flavonoides en plantas, en la que las

diferentes longitudes de onda de luz específicas dan como resultado diferentes tipos de flavonoides (Zoratti et al., 2014).

#### **1.4 Ácido ascórbico (Vitamina C)**

El ácido ascórbico (vitamina C, ascorbato) ha sido considerada una molécula antioxidante y un factor clave en la eliminación de compuestos reactivos del oxígeno (Akram et al., 2017). El ácido L-ascórbico es la principal forma fisiológicamente activa de vitamina C, el cual se puede oxidar de forma reversible para formar ácido L-deshidroascórbico (DHA) que también es fisiológicamente activo, mismos que son solubles en agua dentro del organismo de los seres vivos (Akram et al., 2017; Tewari et al., 2017).

La vitamina C es una vitamina con poder antioxidante que actúa como donante de electrones, elimina directamente los radicales libres, previene la generación de nuevos radicales libres debido al efecto supresor sobre la vía NADPH oxidasa ( $\text{NO}_x$ ), por tanto puede actuar como prooxidante (Moskowitz et al., 2018; Smirnov, 2018). Reduce la permeabilidad endotelial, mejora la función vascular y mitiga la muerte celular en estados patológicos y juega un papel importante dentro del sistema inmunológico (Moskowitz et al., 2018).

La vitamina C se encuentra presente principalmente en frutas y verduras. Tanto el ácido ascórbico como el ácido deshidroascórbico (DHA) que se encuentra en concentraciones muy bajas, forman el contenido total de vitamina C en los alimentos (Tewari et al., 2017).

Los métodos más utilizados para su detección incluyen métodos electroquímicos, espectrofotométricos, cromatográficos y colorímetros (Peng et al., 2015). La estabilización o preparación de la muestra juega un papel importante para asegurar resultados óptimos, el uso de compuestos como el ácido tricloroacético o el ácido metafosfórico estabilizan la muestra debido a que disminuyen la tendencia a la hidrólisis del anillo de lactona con un pH decreciente que proporciona la estabilidad (Tewari et al., 2017). Para un método por cromatografía líquida,

la extracción óptima de la muestra en productos alimenticios es clave, debido a la matriz compleja con la que se trabaja, ya que puede encontrarse compuestos interferentes que pueden causar un desequilibrio redox (Tewari et al., 2017).

#### **1.4.1 Vitamina C en tomate de árbol**

La vitamina C se obtiene de fuentes dietéticas como frutas y verduras, lo que genera gran interés científico en la biosíntesis y regulación de esta vitamina en las plantas (Munir et al., 2020; Valente et al., 2011). Dentro de esto, el tomate de árbol es una fruta valorada por las cualidades nutricionales, siendo considerada como una buena fuente de compuestos antioxidantes, como vitaminas, fenoles y carotenoides, además de minerales como calcio, fósforo, potasio y hierro, azúcares, ácidos orgánicos, pectinas y flavonoides (Torres, 2012).

Así, se han desarrollado estudios entorno a la fitoquímica y componentes bioactivos en tomate de árbol como carotenoides, compuestos fenólicos, vitaminas y minerales, en diferentes variedades de cultivares de tomate de árbol (Acosta-Quezada et al., 2015). El fruto consta de tres componentes pulpa, placenta (contiene las semillas) y cáscara, las cuales cuentan con diferente contenido de compuestos bioactivos. Se ha identificado en tomate de árbol cultivado en Argentina que el contenido de ácido ascórbico se encuentra mayoritariamente en la pulpa con un 84,1 equivalente de ácido ascórbico AA/100 g de polvo, seguido por la semilla con un 56,8 AA/100 g de polvo y en la cáscara un 51,1 AA/100 g de polvo, con un total de 117 AA/100 g de polvo del fruto entero (Orqueda et al., 2017).

En la tabla 1 se muestra el contenido de vitamina C en tomate de árbol cultivados en diferentes regiones.



**Tabla 1.**

Contenido de vitamina C en tomate de árbol cultivado en diferentes regiones.

<b>País</b>	<b>Vitamina C (mg/100 g PS)</b>	<b>Fuente</b>
<b>Venezuela</b>	23, 32	(Torres, 2012)
<b>Nueva Zelanda</b>	28,00	(Diep et al., 2020)
<b>Ecuador</b>	29,00	(Felcán-Mejía et al., 2016)
<b>Argentina</b>	Ecotipo amarillo 33,00	(Buono et al., 2018)
	Ecotipo morado 28,00	

Elaborado por: La Autora, 2021

### **1.5 Calidad comercial en tomate de árbol**

La calidad según la real Academia de la lengua (2011) se define como la “propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de la especie” (Peralta, Villacrés, P, Mazón, & Rivera, 2011). Abarca propiedades sensoriales como la apariencia, la textura, el sabor y el aroma, componentes nutritivos, componentes químicos, propiedades mecánicas, propiedades funcionales y defectos (Abbott, 1999).

Entre los parámetros de calidad internos del fruto se tiene la humedad que es un parámetro de importancia ya que indica el contenido de agua de un alimento (Navarro, 2007). La humedad se puede determinar por diferentes métodos y la cuantificación depende de factores como la naturaleza de la muestra, la exactitud deseada y la rapidez con la que se desea obtener los resultados (Navarro, 2007).

La apariencia del producto es un parámetro evaluado por el tamaño, la forma, el color, la condición, la ausencia de defectos (Rico et al., 2007), acabado o brillo, y consistencia. El tamaño y la forma pueden ser influenciados por el cultivar, la madurez, la producción, insumos, y el medio ambiente (Taylor et al., 2013). En tomate de árbol la forma y color deben ser

característicos del ecotipo, y se los ha clasificado en la norma NTE INEN 1909:2015 según el grado de calidad en Grado extra, Grado I, Grado II, en los que se especifica el mínimo de defectos externos aceptados en el fruto. La masa promedio de un fruto de tomate de árbol puede variar en valores superiores a 120 g o inferiores a 60 g, dependiendo si se considera de calibre grande o pequeño, respectivamente (NTE INEN 1909, 2015).

La estética, la seguridad, las propiedades sensoriales y el rechazo o aceptación de los alimentos se ven influenciadas por el color, contenido de azúcar, acidez, entre otros (Clydesdale, 1993; Orqueda et al., 2017). "El color es una función de la luz que incide sobre el producto, la reflexión diferencial de ciertas longitudes de onda y la percepción visual de esas longitudes de onda" (Kays, 1999).

El color se deriva de los pigmentos naturales del fruto, muchos de los cuales varían conforme la planta avanza a través del proceso de maduración (Taylor et al., 2013). Los principales pigmentos que ofrecen calidad de color son las clorofilas solubles en grasa (verde), los carotenoides (amarillo, naranja y rojo), las antocianinas solubles en agua (rojo, azul), flavonoides (amarillo) y betalainas (rojo) (Taylor et al., 2013). En la variedad amarillor anaranjado cultivadas en Argentina a 600 msnm  $L^*$  reportó un valor promedio de 62,3 ,  $a^*$  15,7 ,  $b^*$  39,9,  $C_{ab^*}$  42,90, y  $h_{ab}$  68,50° (Orqueda et al., 2017).

La acidez titulable total, se determina empleando el método volumétrico y es un parámetro de calidad comercial debido a que los ácidos influyen en características sensoriales como el sabor y el color, la resistencia al ataque microbiano y conservación (Domene & Rodríguez, 2014). En el fruto de tomate de árbol este parámetro en variedades amarillas y moradas ecuatorianas varía entre 0,9 a 1,1 % a diferencia de otros países como España, en el cual la acidez llega hasta un 1,8 % (Vasco et al., 2009).

El contenido total de sólidos solubles es un parámetro de calidad interno que se utiliza en la industria de alimentos, para determinar aproximadamente la cantidad de azúcares, útil

para un control in situ de cómo va madurando los frutos y el momento adecuado de cosecha de estos (Domene & Rodríguez, 2014). En tomate de árbol se han determinado valores de 11 a 12 °Brix dependiendo del ecotipo de tomate (Vasco et al., 2009).

## CAPÍTULO II

### Materiales y métodos

#### 2.1 Selección y muestreo

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS)-sede Girón, el Centro de Investigación de alimentos (CIAL) y el Centro de Investigaciones Biomédicas (CENBIO) de la Universidad UTE en la avenida Occidental.

Para la realización de esta investigación se analizó la calidad comercial en fruta fresca y el contenido de vitamina C en polvo liofilizado de la cáscara, pulpa y placenta de tomate de árbol injerto en palo bobo. Se estudiaron dos ecotipos de tomate de árbol: ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’ injertos en palo bobo (*Nicotiana glauca*) y no injertos (control), las muestras se obtuvieron en cuatro cantones de la provincia de Tungurahua-Ecuador tales como: Santiago de Pillaro, San Pedro de Pelileo, Ambato y Baños (Figura 4). Las muestras seleccionadas se encontraron a diferente rango de altitud entre 2010 a 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm).

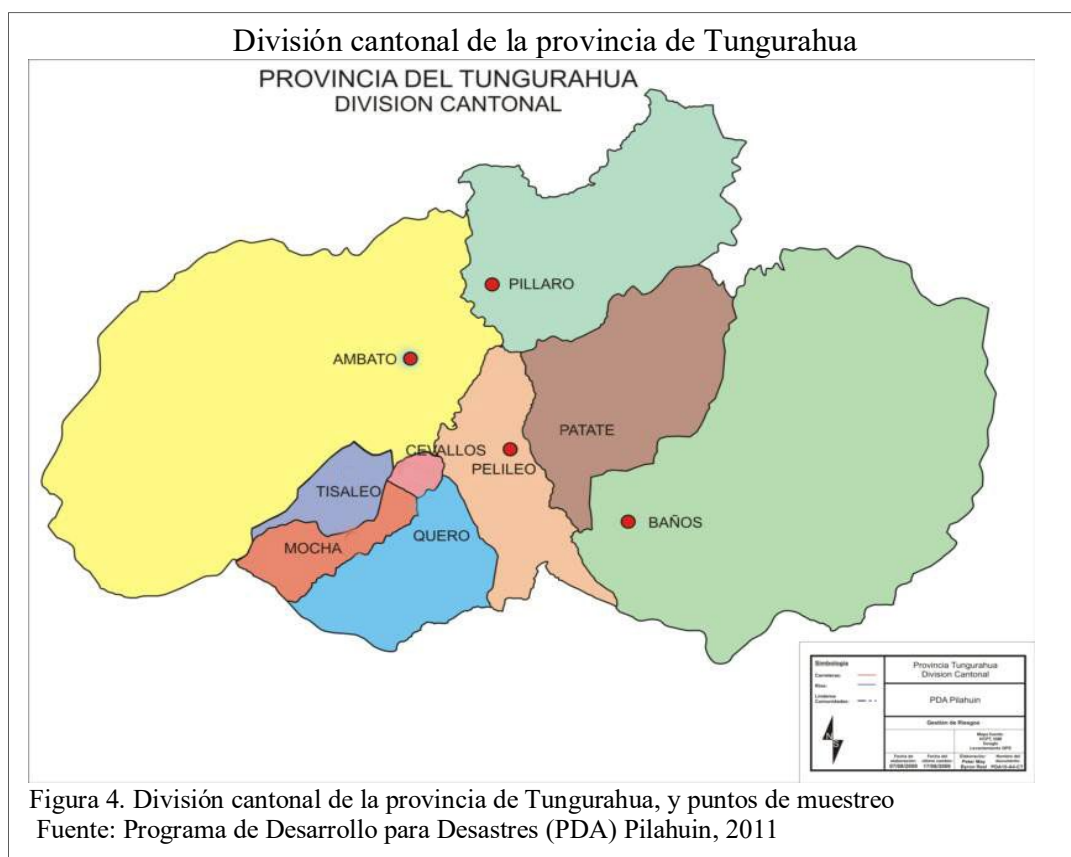


Figura 4. División cantonal de la provincia de Tungurahua, y puntos de muestreo  
Fuente: Programa de Desarrollo para Desastres (PDA) Pilahuin, 2011

En diferentes parroquias y barrios de los cuatro cantones de la provincia de Tungurahua-Ecuador, se realizó el muestreo de tomate de árbol. Las muestras fueron colectadas de forma aleatoria de la parte central del cultivo ya instaurado, además se consideró fruta del ecotipo ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’, injertos en palo bobo y no injerto (control) considerando las especificaciones establecidas en la norma NTE INEN 1750, la misma que indica que el tamaño mínimo de cada muestra para ensayos en laboratorios para tomate de árbol es de 2 kg. Adicionalmente se elaboró una tabla de datos en la cual se especificó las coordenadas GPS del sitio de muestreo, temperatura, altitud, característica del fruto (injerto o no injerto) tal como se muestra en la Tabla 2 para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ y en la Tabla 3 para el ecotipo ‘morado gigante’.

**Tabla 2.**

Características del sitio de muestreo de tomate de árbol ecotipo ‘anaranjado gigante’

Rango altitud (msnm)	Control			Injerto (palo bobo)		
	T (°C)	Sitio de muestreo	Altitud (msnm)	T (°C)	Sitio de muestreo	Altitud (msnm)
2010-2250	15	Juive Chico-Baños	2141	15	Juive Chico	2141
2260-2500	15	Runtun-Baños	2385	15	Runtun	2347
2510-2750	13	Pisque-Píllaro	2700	12	Capulicito	2616
2760-3000	12	Ciudad Nueva-Píllaro	2756	12	Píllaro centro	2780

Elaborado por: La Autora, 2021

**Tabla 3.**

Características del sitio de muestreo de tomate de árbol ecotipo ‘morado gigante’

Rango altitudes (msnm)	Control			Injerto (palo bobo)		
	T (°C)	Sitio de muestreo	Altitud (msnm)	T (°C)	Sitio de muestreo	Altitud (msnm)
2010-2250	nd	nd	nd	14	Arteso	2200
2260-2500	13	Bellavista	2500	12	Chiquicha bajo	2500
2510-2750	10	Huasapamba	2595	10	Bellavista	2546
2760-3000	10	Pichimbana	2772	10	Olmedo	2762

Nota: nd, no disponible  
Elaborado por: La Autora, 2021

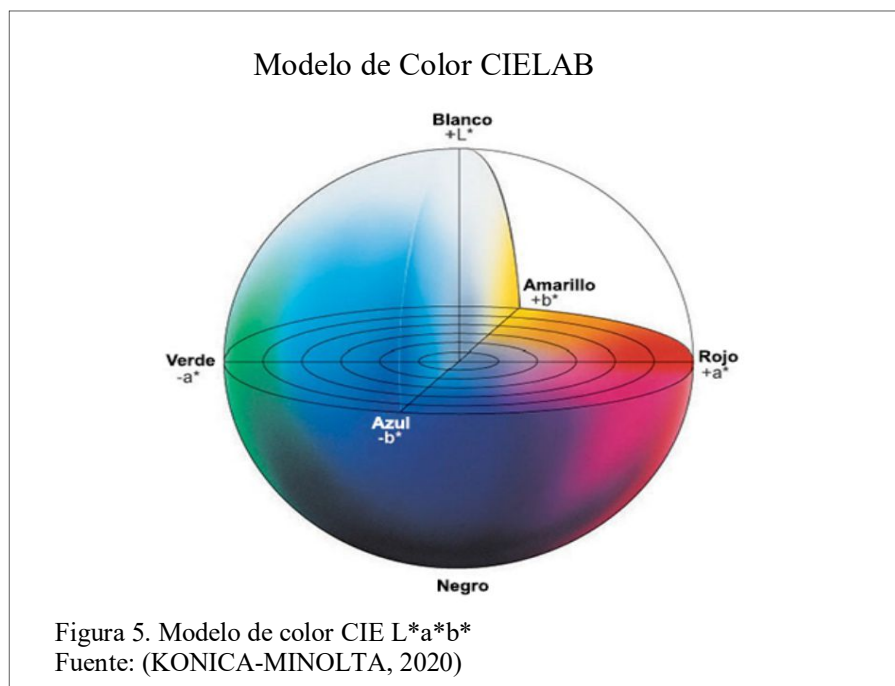
## 2.2 Análisis de calidad comercial

La calidad comercial se analizó siguiendo la metodología descrita por Coyago (2017), además considerando las especificaciones de la normativa NTE INEN 1909:2015 para tomate de árbol en fruta fresca. El muestreo consideró 20 frutos por cada punto de muestreo y cada cuantificación de cada fruto se realizó por triplicado.

### 2.2.1 Caracterización físico-químico

- Diámetro del fruto (cm): se tomó el diámetro ecuatorial y longitudinal de cada fruto utilizando un calibrador digital de precisión marca Electronic Digital Caliper.
- Parámetros de color CIELAB: Se determinó empleando un colorímetro triestímulo marca Minolta Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japón). Las coordenadas de color determinadas fueron: L\* claridad o iluminación (L\*=0 negro, y L\*=100 blanco), croma (C\*<sub>ab</sub>) valores positivos indican rojo y negativos verde), tono b\* valores positivos se refieren a colores amarillentos y negativo a colores azulados (Figura 5) (Ibraheem et al., 2012).

Modelo de color CIE L\*a\*b\*



El croma y el ángulo fueron determinados mediante las ecuaciones 1 y 2, respectivamente:

$$Cab^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$H^\circ = \text{tang}^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) \quad \text{Ecuación 2}$$

- **Peso del fruto (g):** el peso del fruto completo fue cuantificado empleando una balanza analítica marca Mettler Toledo ML204T/00 (Mettler Toledo, Suiza). Posteriormente de cada fruto se separó la cáscara, placenta y pulpa y se tomó el peso de cada una de las fracciones. Posteriormente una parte de cada fracción fue colocada en frascos de orina y congelados a  $-80^\circ\text{C}$  para luego ser liofilizados en un liofilizador marca Christ alpha 1-4 LDplus (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Alemania). Posteriormente, la muestra liofilizada fue posteriormente triturada en un mortero y almacena en frascos ámbar hasta el respectivo análisis.
- **Sólidos solubles (SS) (°Brix):** se determinó siguiendo el método de refractómetro según lo establecido por la AOAC Official Method of Analysis 932.12 (CODEX STAN 234, 1999). Así, se trituró el fruto en un mortero hasta

obtener una consistencia homogénea, y se colocó algunas gotas de la mezcla triturada sobre el lente de un refractómetro de mano (Boeco, Alemania) previamente calibrado con agua destilada.

- pH: se determinó siguiendo el principio de potenciometría según lo establecido por la AOAC Official Method of Analysis 981.12/90. Así, de la mezcla previamente triturada se determina con un pH-metro digital marca Seven multi pHmetro - conductímetro (Mettler Toledo, España), el valor de pH de la muestra.
- Acidez titulable total (% ácido cítrico)), se adaptó el método potenciométrico de la normativa NTE INEN-ISO 750:2013. Se pesó aproximadamente 2 g de muestra triturada en un erlenmeyer, posteriormente se agregó 20 mL de agua destilada, se adicionó de 2 a 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con una solución de NaOH 0,1 N hasta obtener el cambio de color de la solución. Los cálculos se expresaron en porcentaje de ácido cítrico, tal como se muestra en la ecuación 3.

$$\text{Acidez titulable total} = \frac{(N_{NaOH} \times V_{NaOH} \times Pm_{ácido})}{Pm * mL \text{ de muestra diluida}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$N_{NaOH}$  normalidad de NaOH (0,1 N)

$V_{NaOH}$  NaOH consumido en la titulación (mL)

$Pm_{ácido}$  equivalentes químicos del ácido de interés (0,064);

$Pm$ , peso de la muestra

- Humedad (%): se determinó siguiendo el método por secado en estufa de vacío modificado de Nollet (1996) (UNAM, 2008). Así, se determinó tomando el peso



de la caja Petri vacía (peso caja vacía), se cortó pequeños trozos del fruto y se pesó 1 g aproximadamente (peso fresco muestra), se colocó en las cajas Petri pesadas, y con las tapas removidas se introdujo en una estufa de recirculación de aire marca Memmert Be 20 (Memmert GmbH + Co.KG, España) a 70 °C, a vacío y flujo de aire por un tiempo aproximado de 5 horas o hasta peso constante. Una vez enfriada la caja Petri en el desecador, se pesó (peso seco) y se registró el valor. El cálculo se realizó empleado la Ecuación 4.

$$\%Humedad = \frac{(Peso\ seco\ (g) - peso\ caja\ vacío\ (g)) - peso\ fresco\ muestra\ (g)}{peso\ fresco\ muestra\ (g)} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

- Cenizas (%): se determinó siguiendo el método establecido por la AOAC Official Method of Analysis 942.05/90. Así, de la muestra triturada se pesó de 1 a 2 g aproximadamente en el crisol tarado, se anotó los pesos del crisol vacío y del crisol más la muestra. Se colocó con ayuda de una pinza el crisol dentro de la mufla marca Thermolyne (Thermo Fisher scientific, Estados Unidos) a 550 °C hasta obtener la ceniza de la muestra, se dejó enfriar en un desecador y se pesó tan pronto alcanzó la temperatura ambiente. Los cálculos fueron realizados empleando la Ecuación 5.

$$\%Ceniza = \frac{(Peso\ seco\ (g) - peso\ crisol\ vacío\ (g))}{peso\ fresco\ muestra\ (g)} \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

- Índice de madurez

El cálculo del índice de madurez acidez titulable, fue calculado según lo establecido por la normativa INEN 1909:2015 modificado mediante la Ecuación 6.

$$\text{Índice de madurez} = \frac{\text{Sólidos solubles totales (grados Brix)}}{\text{Acidez titulable}} \quad \text{Ecuación 6}$$

### 2.3 Análisis de vitamina C por RRLC

El contenido de vitamina C se cuantificó por cromatografía líquida según lo establecido por NSAI (2003). Este parámetro fue evaluado en el laboratorio del CENBIO en la Universidad UTE. Para lo cual se colocó aproximadamente 1 g de muestra liofilizada en un matraz aforado de 25 mL y se homogenizó con 2,5 mL de una solución de homocisteína al 0,2 % y 15 mL de una solución de ácido metafosfórico al 3 %. Esta solución fue agitada en un baño ultrasonido por 7 min y posteriormente se aforó con agua desionizada. Esta solución se trasvasó en un tubo falcon y se centrifugó a 14000 rpm por 5 min; el sobrenadante se filtró por un filtro de 0,45 µm de 25 mm de diámetro y el líquido filtrado se colocó en un vial que se dispuso en un equipo de cromatografía líquida RRLC modelo 1200 (Agilent, Estados Unidos), acoplado a un detector DAD-UV-VIS y una columna C18. Los parámetros de corrida fueron un flujo de 1 mL/min, un tiempo de corrida de 20 min y una longitud de onda de 244 nm (NSAI, 2003).

La concentración de ácido L-ascórbico fue calculado empleando la Ecuación 7:

$$\text{Vitamina C } \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{C_o \left( \frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) \times V \times Fd}{P} * 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$C_o$ , concentración (mg/mL) de la muestra

$V$ , volumen de aforo (mL)

$P$ , peso (g)

$Fd$ , factor de dilución.

## 2.4 Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó con los programas INFOSTAT versión 2019 y los gráficos con el programa SIGMAPLOT 12.0 e INFOSTAT. Se aplicó un análisis ANOVA SIMPLE entre ecotipos ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’ a un mismo rango de altitud; un análisis factorial 3x2x2 cuyos factores fueron: portainjerto, altitud y ecotipo. Los niveles para el factor portainjerto fueron: ecotipo control, y ecotipo injerto; para el factor ecotipo fueron: ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’; para el factor altitud se utilizaron cuatro diferentes intervalos de altitud: 2010-2250 msnm, 2260-2500 msnm, 2510-2750 msnm y 2760-3000 msnm; además, un análisis de componentes principales (ACP) considerando como factor de clasificación a la altitud. Se realizó pruebas Tukey con un nivel de confianza del 95%. Se consideró un  $p < 0,001$  diferencias altamente significativas,  $p < 0,01$  medias y  $p < 0,1$  bajas.

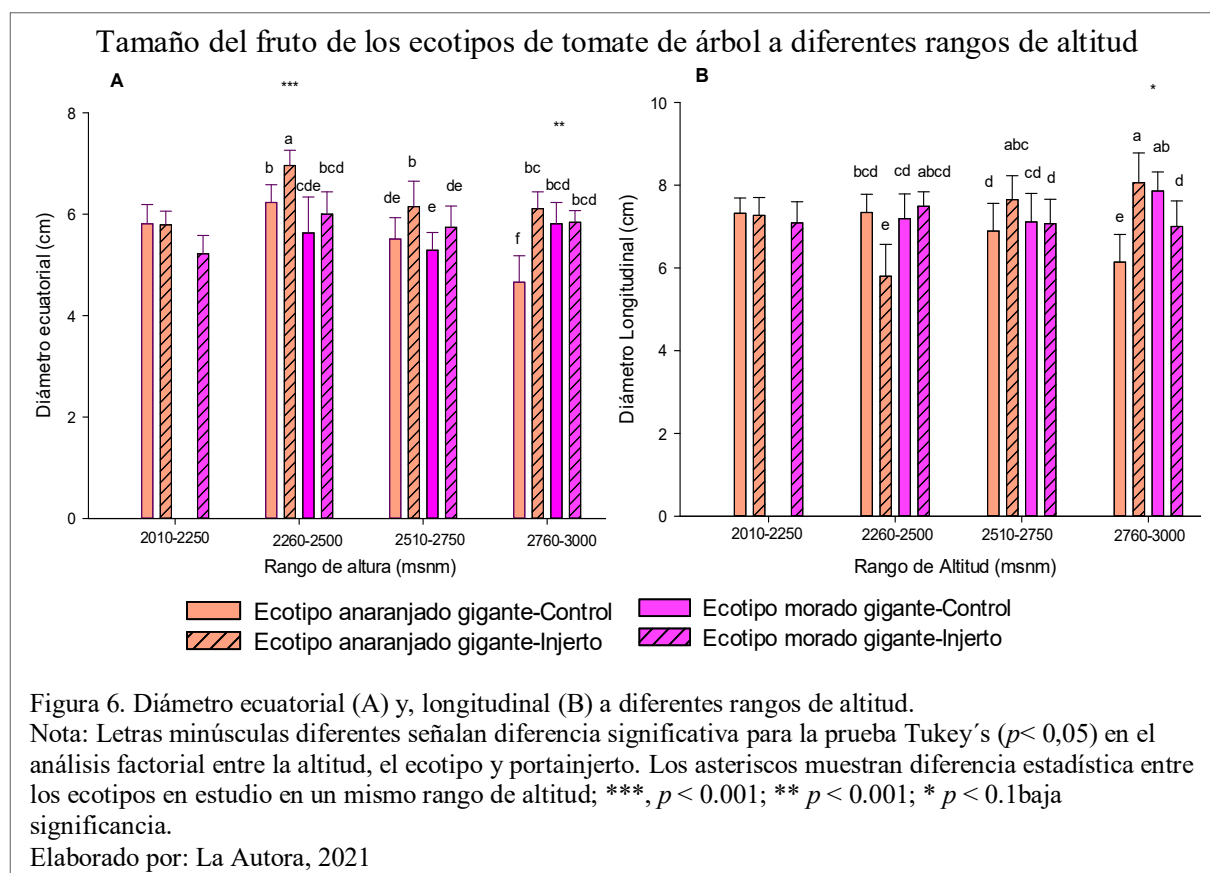
## CAPÍTULO III

### Resultados y discusión

#### 3.1. Calidad comercial

##### 3.1.1 Tamaño

En la Figura 6 se muestra el diámetro ecuatorial y longitudinal de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud.



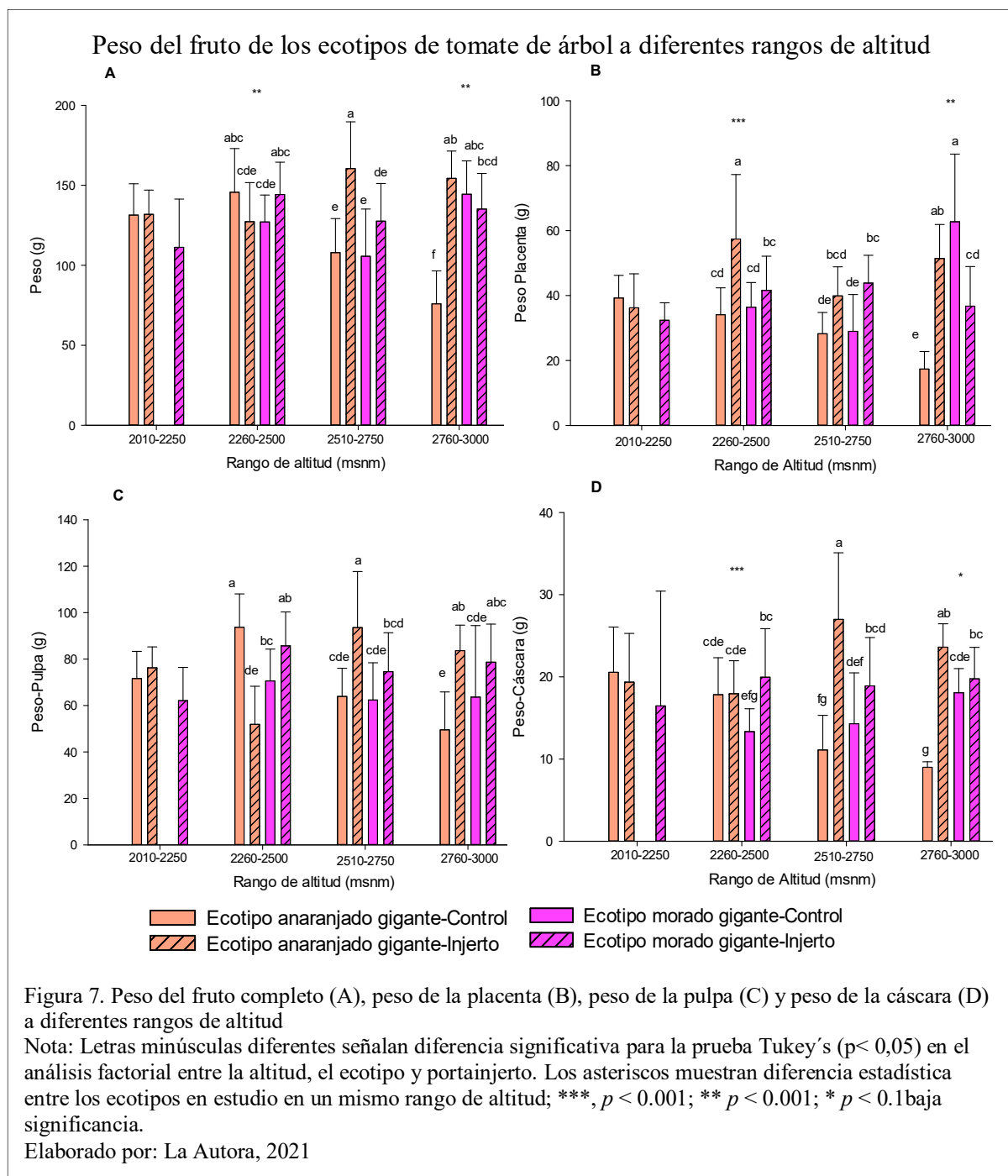
Los valores de diámetro ecuatorial (DE) presentados en la Figura 6A para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ varió entre 4,7 a 6,2 cm en el control y entre 6,1 a 7,0 cm en el injerto; en el ecotipo ‘morado gigante’ (Figura 6B), el DE varió entre 5,3 a 5,8 cm en control y entre 5,2 a 6,0 cm en el injerto. A su vez, el diámetro longitudinal (DL) en el ecotipo ‘anaranjado gigante’ mostró un rango entre 6,1 a 7,3 cm en el control y 5,8 a 8,1 cm en el injerto, y en el ecotipo ‘morado gigante’ un rango de 7,1 a 7,9 cm en el control y 7,0 a 7,9 cm en el injerto. Así, considerando las especificaciones de la normativa INEN 1909:2015 ( $DE \geq 5,5$  cm;  $DL \geq 7,0$  cm)

en la mayoría de los casos el tomate de árbol ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’ mostraron valores que pertenecen al calibre de fruto grande. Además, los datos de tamaños en este estudio a un rango de altitud de 2510-2750 msnm guardaron cierta relación con los resultados reportados por Acosta-Quezada et al., 2016 quien presentó valores promedio para DE de 6,1 cm para el ecotipo naranja de la provincia de Cotopaxi (2750 msnm) y 7,6 cm para el ecotipo morado de la provincia de Tungurahua (2600 msnm), así como valores de 6,0 a 8,0 cm para DL y 4,0 a 5,0 cm para DE en frutos de tomate de árbol ecuatorianos reportados por otros autores (Espín et al., 2015); valores promedio de 5,0 cm y 7,0 cm para el cultivar amarillo dorado, y 7,0 cm y 8,0 cm para el cultivar rojo púrpura de DE y DL, respectivamente, en frutos de la provincia de Tungurahua y Pichincha (Vasco et al., 2009) con; Finalmente de forma general se menciona que el tamaño de los frutos maduros de tomate de árbol originarios de la región andina varía entre 4,0 a 10,0 cm de DL y 3,0 a 6,0 cm de DE (Ramírez & Kallarackal, 2019).

Los valores más altos para DL se obtuvieron a un rango de altitud de 2760-3000 msnm para el ecotipo anaranjado injerto (8,1 cm) y ecotipo morado control (7,9 cm), para DE a un rango de altitud de 2260-2500 msnm el ecotipo ‘anaranjado gigante’ tanto control e injerto presentaron los mayores valores. Esto pudo deberse a que el tomate de árbol crece mejor a una altitud media y alta de 600 a 4000 msnm y a una temperatura promedio de 15 °C (Bakshi & Jammu, 2016).

### *3.1.2 Peso*

En la Figura 7 se muestra el peso de la fruta entera, placenta, pulpa y cáscara de tomate de árbol ecotipo ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’ a diferentes rangos de altitud.



El peso del fruto completo (Figura 7A) para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ mostró valores entre 75,9 a 145,7 g en el control y 127,3 a 160,4 g en el injerto. El ecotipo ‘morado gigante’ presentó valores entre 105,7 a 144,4 g en el control y 111,2 a 144,2 g en el injerto. Así, comparando con la normativa ecuatoriana NTE INEN 1909, los ecotipos en estudio en la mayoría de los casos se encuentran dentro de la categoría de fruta grande (Peso promedio  $\geq 120$  g) (NTE INEN 1909, 2015). Además, los mayores valores se obtuvieron a un rango de altitud

de 2260-2500 msnm para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ (136,5 g) y para el ecotipo ‘morado gigante’ (139,8 g) a un rango de altitud de 2760-3000 msnm. Así, los resultados mostrados en este estudio presentaron cierta relación con otros autores quienes reportaron un valor promedio de 102,5 g para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ en muestras de Pelileo-Tungurahua (2572 msnm) y Chaltura-Imbabura (2351 msnm) y 117,2 g para el ecotipo ‘morado gigante’ de Ambato-Tungurahua (Espín et al., 2016) . Además, los ecotipos injerto en este estudio presentaron los mayores valores de peso, lo que confirma que el injerto es una herramienta importante para mejorar la calidad de la fruta tal como sugieren otros autores (Rouphael et al., 2012).

Por otra parte, el peso de la placenta (Figura 7B) presentó valores entre 17,4 a 39,2 g en el control y 36,9 a 57,4 g en el injerto en el ecotipo ‘anaranjado gigante’; mientras que para el ecotipo ‘morado gigante’ los valores mostraron un rango entre 29,0 a 62,7 g en el control y 32,3 a 43,9 g en el injerto. Así también, los valores de peso para la pulpa (Figura 7C) mostraron un rango entre 49,5 a 93,7 g en el control y 51,9 a 93,6 g en el injerto en el ecotipo ‘anaranjado gigante’ y valores entre 62,4 a 70,6 g en el control y entre 62,1 a 85,7 g en el injerto para el ecotipo ‘morado gigante’.

En relación a la pulpa, se obtuvo un peso superior en un rango de altitud de 2260-2500 msnm para los dos ecotipos. Este resultado estuvo relacionado con el estudio de Espín et al., 2016 que reportó un rendimiento de pulpa (fracción comestible) que varió en promedio en 71,9 g para ecotipo ‘anaranjado gigante’ en muestras colectadas en Pelileo-Tungurahua (2572 msnm de altitud) y Chaltura-Imbabura (2351 msnm), y 78,5 g en la ‘morado gigante’, en Ambato-Tungurahua (2500 msnm).

Los valores del peso de cáscara (Figura 7D) mostró un rango entre 9,0 a 20,6 g en el control y 17,9 a 27,0 g en el injerto para el ecotipo ‘anaranjado gigante’; y en el ecotipo ‘morado gigante’ un rango entre 13,3 a 18,1 g en el control y 16,5 a 20,0 g en el injerto. Así, otros

autores mostraron valores de 32,7 a 45,0 g de pulpa y cáscara en frutos maduros de tomate de árbol, respectivamente (Maciel et al., 2018).

En general, a un rango de altitud de 2510-2750 msnm se encontró los mayores valores de peso total de tomate de árbol; el ecotipo anaranjado injerto presentó valores superiores (160,44 g) con respecto al ecotipo ‘morado gigante’ control e injerto. Estos resultados muestran que a una altitud media, el peso de la fruta fresca es mayor, esto puede relacionarse con lo mencionado por Parra-Coronado et al., 2015 que indica que a altitudes superiores la tasa de transpiración es mayor relacionada con una mayor irradiación, que proporcionaría un flujo prolongado de agua y nutrientes a la fruta, que además es esencial para una correcta fotosíntesis y la producción de fotoasimilados para el desarrollo del fruto.

### *3.1.3 Color*

En la Figura 8 se muestra los parámetros de CIELAB de los ecotipos de tomate de árbol en estudio a diferentes rangos de altitud



Parámetro de color del modelo CIELAB del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud

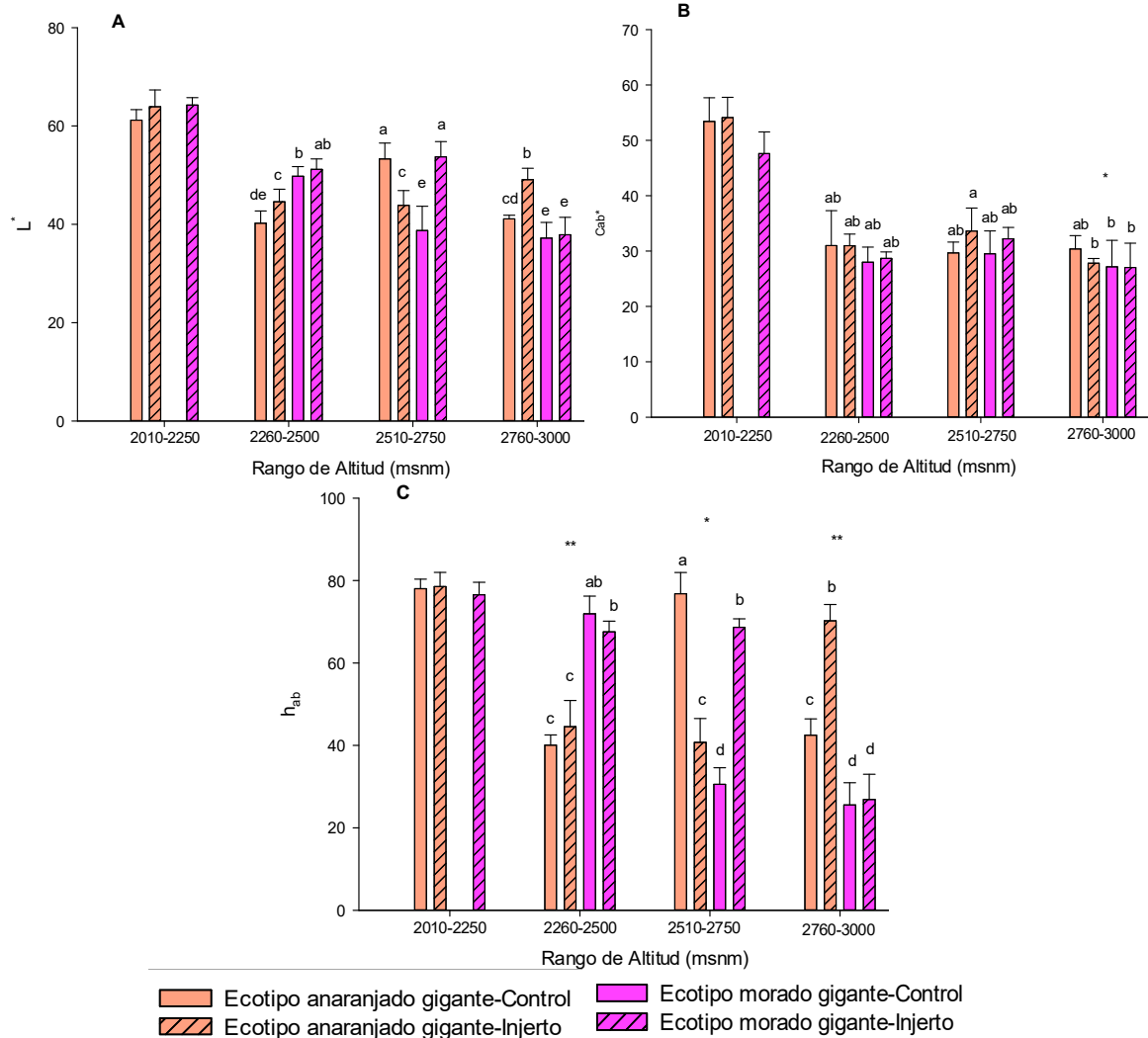


Figura 8. Color del Modelo CIELAB:  $L^*$  (A),  $C_{ab}$  (B),  $h_{ab}$  (C) a diferentes rangos de altitud.

Nota: Letras minúsculas diferentes señalan diferencia significativa para la prueba Tukey's ( $p < 0,05$ ) en el análisis factorial entre la altitud, el ecotipo y portainjerto. Los asteriscos muestran diferencia estadística entre los ecotipos en estudio en un mismo rango de altitud; \*\*\*,  $p < 0.001$ ; \*\*,  $p < 0.001$ ; \*,  $p < 0.1$  baja significancia

Elaborado por: La Autora, 2021

Con respecto a los parámetros de color en frutos de tomate de árbol, la luminosidad  $L^*$  (Figura 8A) para el ecotipo 'anaranjado gigante' presentó valores entre 40,2 a 61,2 en el control y 43,9 a 63,9 en el injerto, mientras que el ecotipo 'morado gigante' mostró valores entre 37,2 a 49,8 en el control y 37,9 a 64,2 en el injerto. Los valores encontrados en este estudio guardan concordancia con los resultados de Llerena et al., 2019 quienes reportan valores de 51,7 en

frutos de tomate de árbol. La luminosidad  $L^*$  mostró cierta tendencia a disminuir cuando aumenta la altitud, lo que sugiere que a menor altitud la intensidad de luz es inferior, lo que reduce la síntesis de pigmentos de color en tomates, a diferencia de lo que ocurre a una altitud mayor en donde la intensidad de luz y la radiación es más directa, lo que causa una pérdida de color del producto (Rouphael et al., 2012).  $C^*_{ab}$  (Figura 8B y C) en el ecotipo ‘anaranjado gigante’ mostró valores entre 29,7 a 53,4 en el control y 27,8 a 54,1 en el injerto; hab valores entre 40,1 a 78,0 en el control y 40,7 a 78,5 en el injerto. Con respecto al ecotipo ‘morado gigante’,  $Cab^*$  presentó valores entre 27,2 a 29,5 en el control y 27,0 a 47,6 en el injerto, y  $h_{ab}$  valores entre 25,6 a 71,9 en el control y 26,9 a 76,6 en el injerto. Así, los resultados encontrados en este estudio guardaron relación con los valores reportados por Llerena et al., 2019.

#### *3.1.4 Sólidos solubles (SS), pH y acidez titulable total*

En la Figura 9 se muestra los sólidos solubles, pH y acidez titulable total de los ecotipos de tomate de árbol en estudio a diferentes rangos de altitud.

Parámetros químicos del fruto de los ecotipos de tomate de árbol a diferentes rangos de altitud

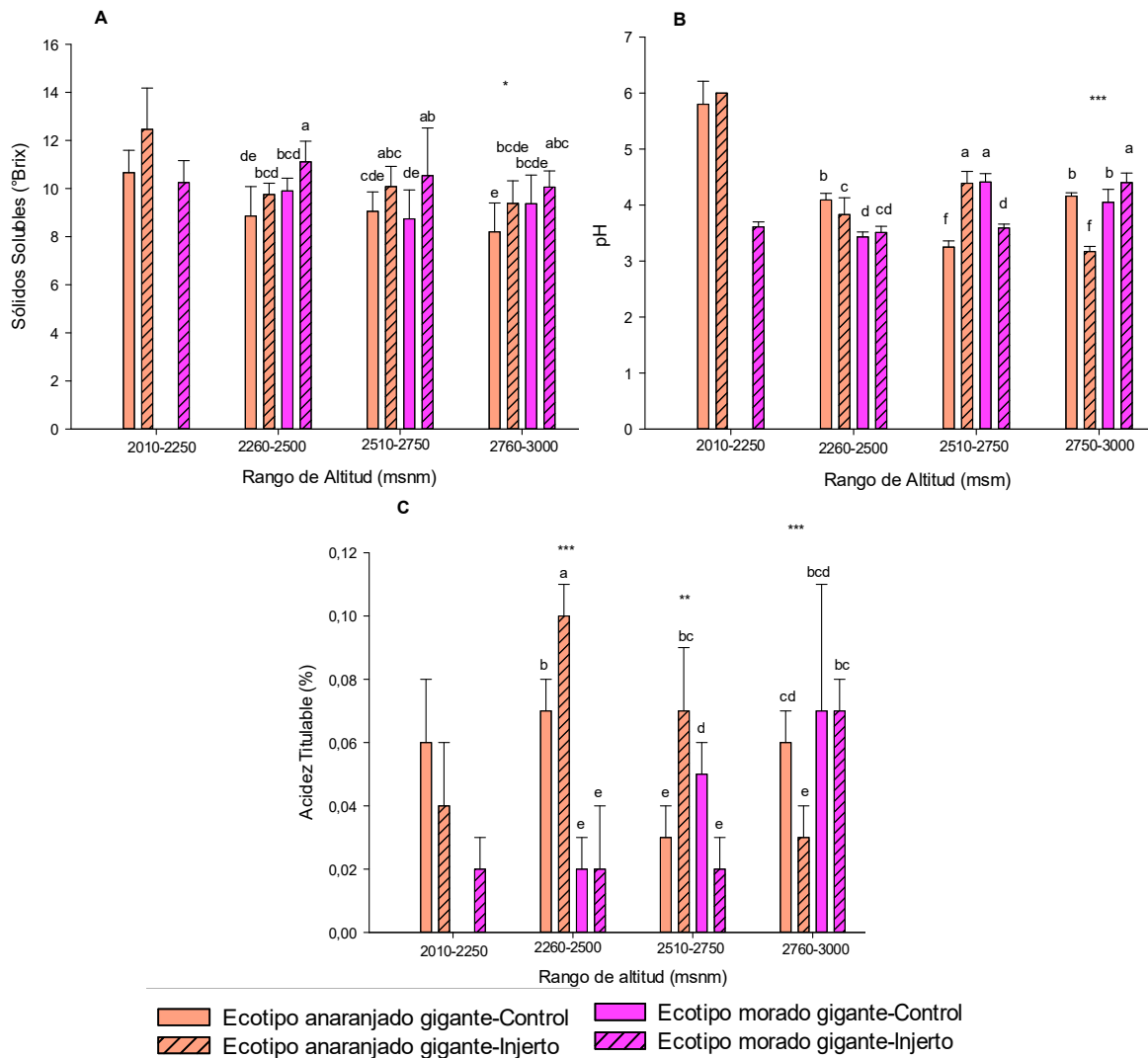


Figura 9. Sólidos solubles (°Brix) (A), pH (B), Acidez titulable total (% en ácido cítrico) (C) a diferentes rangos de altitud.

Nota: Letras minúsculas diferentes señalan diferencia significativa para la prueba Tukey's ( $p < 0,05$ ) en el análisis factorial entre la altitud, el ecotipo y portainjerto. Los asteriscos muestran diferencia estadística entre los ecotipos en estudio en un mismo rango de altitud; \*\*\*,  $p < 0.001$ ; \*\*,  $p < 0.001$ ; \*,  $p < 0.1$  baja significancia

Elaborado por: La Autora, 2021

El contenido de sólidos solubles (SS) (Figura 9A) mostró un rango entre 8,2 a 10,6 °Brix en el control y entre 9,4 a 12,5 °Brix en el injerto para ecotipo 'anaranjado gigante'; mientras que el ecotipo 'morado gigante' mostró un rango entre 8,7 a 9,9 °Brix en el control y entre 9,7 a 11,1 °Brix en el injerto. Así, los valores del contenido de SS obtenido en el estudio guardaron relación a los reportado por el INIAP con valores de 12,7 y 10,7 °Brix para el ecotipo

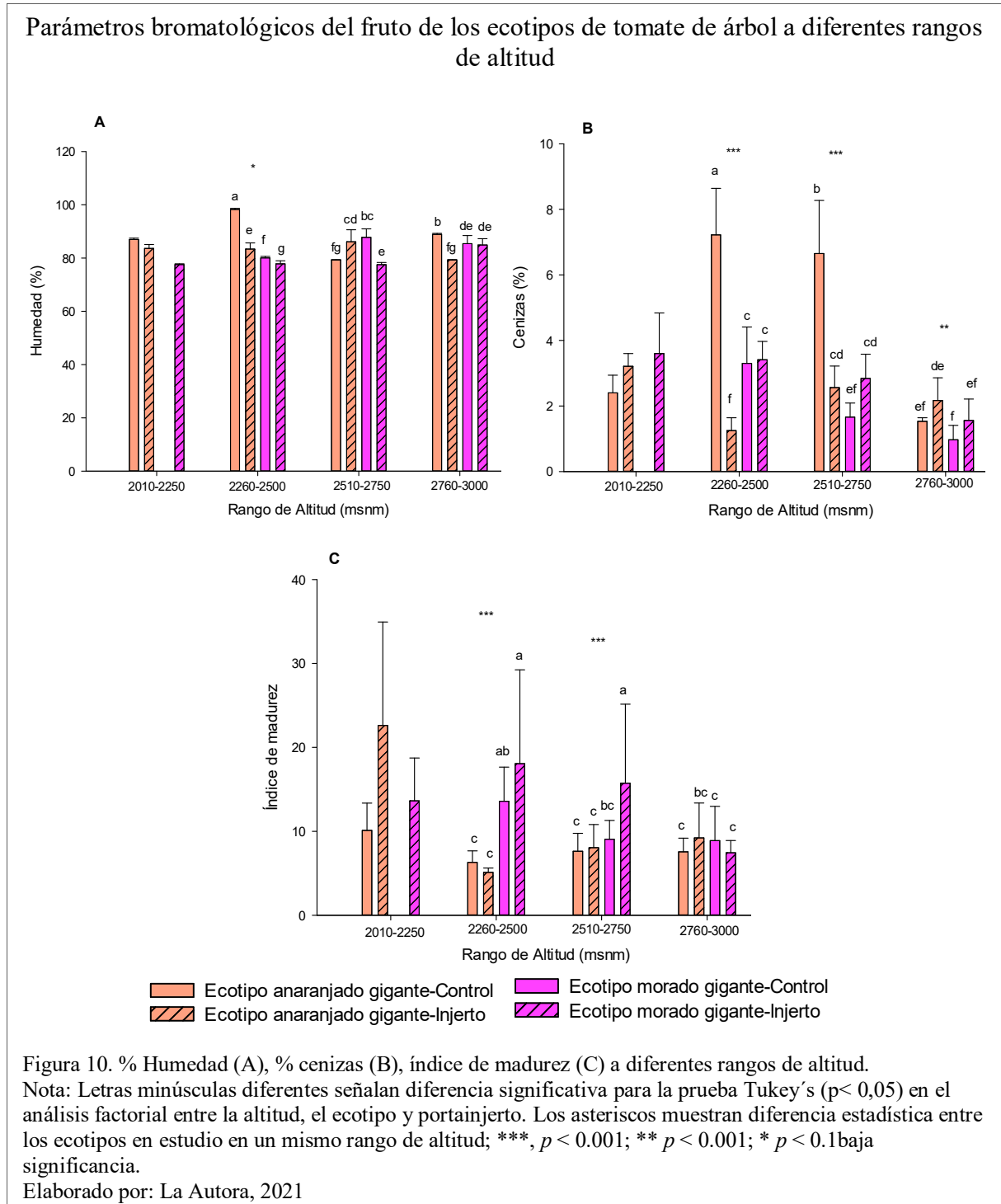
anaranjado y ‘morado gigante’, respectivamente. Así también, los valores obtenidos son superior a 9 °Brix en los ecotipos estudiados, que en comparación con la normativa INEN 1909 de tomate de árbol cumplen con la madurez de consumo que indica un valor mínimo de 9 °Brix.

Los valores de pH (Figura 9B) mostraron un rango entre 3,3 a 5,8 en el control y 3,2 a 6,0 en el injerto en ecotipo ‘anaranjado gigante’, mientras que para el ecotipo ‘morado gigante’ se obtuvo valores entre 3,4 a 4,4 en el control y 3,5 a 4,4 en el injerto. Los resultados que se obtuvo en este estudio fueron similares a otros estudios que reportan valores de 3,8 (‘anaranjado gigante’) y 3,5 (‘morado gigante’), mismos que evidencian que el ecotipo ‘anaranjado gigante’ es ligeramente más ácido que el ‘morado gigante’ (Viteri et al., 2010).

Los valores de acidez titulable total expresados en % de ácido cítrico (Figura 9C) mostró un rango entre 0,03 % a 0,07 % en el control y entre 0,03 a 0,10 % en el injerto para el ecotipo ‘anaranjado gigante’; mientras que para el ecotipo ‘morado gigante’ mostró un rango entre 0,02 % a 0,07 % en el control y entre 0,01 % a 0,07 % en el injerto. El contenido de acidez titulable con valores superiores se encontró a un rango de altitud de 2260-2500 msnm teniendo una media de 0,09 % para el ecotipo ‘anaranjado gigante’, y 0,07 % a un rango de altitud de 2760-3000 msnm para el ecotipo ‘morado gigante’. Valores inferiores se reportan a un rango de altitud de 2510-2750 msnm, principalmente en el ecotipo ‘morado gigante’. Así, los resultados obtenidos se encontraron dentro de los requisitos de acidez titulable para la madurez de consumo del fruto de tomate de árbol que indica un máximo de 2 % (ácido cítrico) (NTE INEN 1909, 2015). Sin embargo, estos valores difieren de estudios similares que indican valores de acidez titulable del fruto de 1,2 a 1,8 (% base fresca) obtenida de la pulpa pelada sin semillas (Wang & Zhu, 2020). Este parámetro se ve influenciado por la altitud como lo indica Crespo et al, 2010, quien informa una tendencia hacia la acidez a gran altitud (Guerrero-Chavez et al., 2015).

### 3.1.5 Humedad, % ceniza e índice de madurez

En la figura 10 se muestra el % de humedad, % de cenizas e índice de madurez de los ecotipos de tomate de árbol en estudio a diferentes rangos de altitud.



El porcentaje de humedad (Figura 10A) mostró valores para el ecotipo 'anaranjado gigante' entre 79,3 a 98,3 % en el control y 79,3 a 86,1 % en el injerto; y para el ecotipo 'morado

gigante' mostró un rango entre 80,0 a 87,8 % en el control y 77,5 a 84,9 % en el injerto. Los resultados mostraron el menor porcentaje de humedad a un rango de altitud de 2260-2500 msnm para el ecotipo 'morado gigante' (77,5 %) y 2510-2750 msnm para el ecotipo 'anaranjado gigante' (82,7 %), además los ecotipos injertos presentaron menor cantidad de humedad, lo que sugiere mayor resistencia a magulladuras que disminuyen la calidad del fruto, enfermedades, tal como señalan algunos autores (Diep et al., 2020).

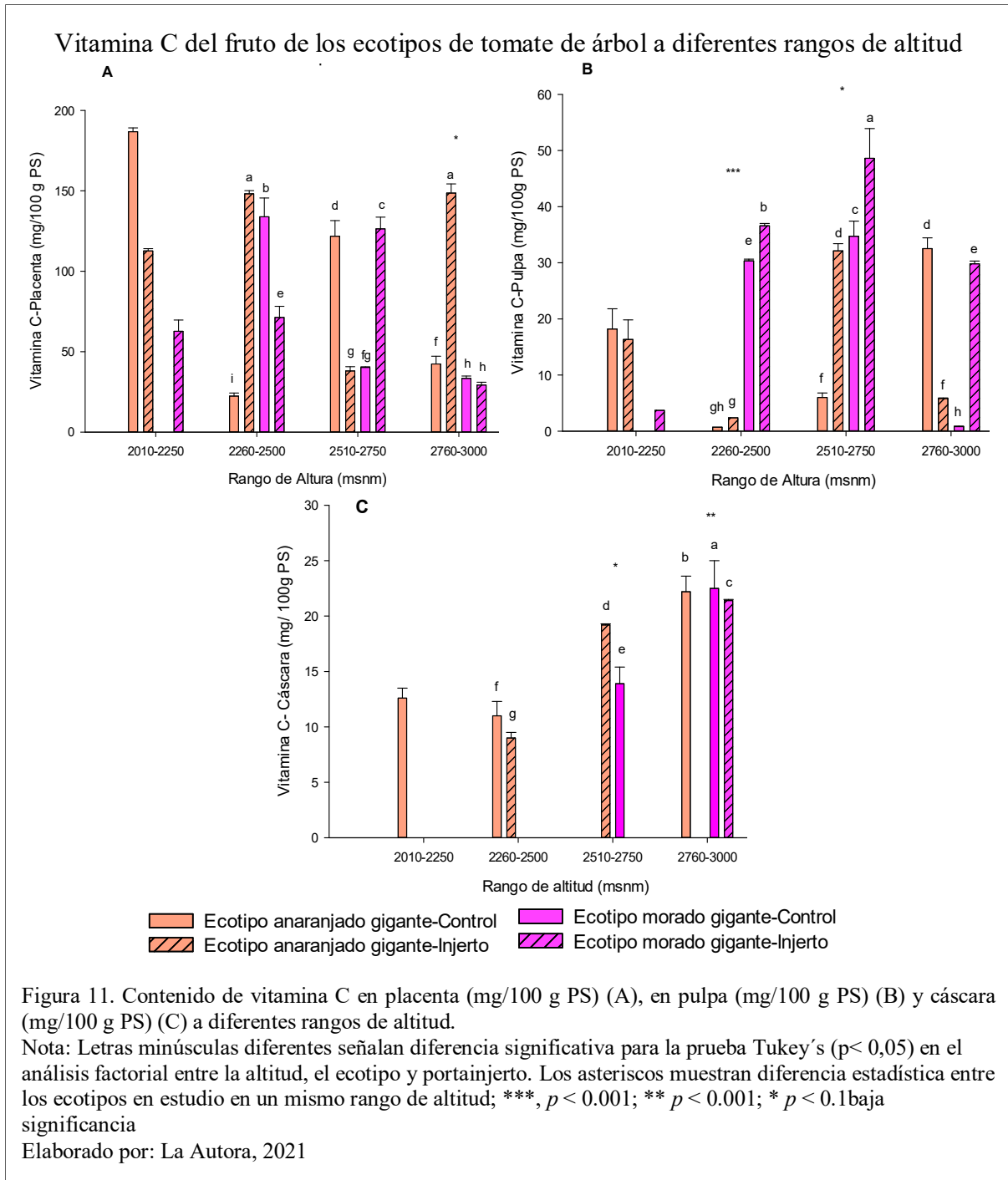
En la Figura 10B se puede observar los resultados del % de ceniza que mostró un rango entre 1,5 a 7,22 % en el control y entre 1,3 a 3,2 % en el injerto para el ecotipo 'anaranjado gigante'; mientras que para el ecotipo 'morado gigante' mostró un rango entre 1,0 a 3,3 % en el control y entre 1,6 a 3,6 % en el injerto. Así, se indicó que el ecotipo 'anaranjado gigante' contiene mayor porcentaje de cenizas con respecto al ecotipo 'morado gigante'. Los valores superiores de cenizas se obtuvo a un rango de altitud de 2260-2500 msnm para el ecotipo 'anaranjado gigante' control (7,22 %), y para el ecotipo 'morado gigante' injerto (3,3 %). Se observó que a altitudes mayores el porcentaje de ceniza tiende a disminuir. Los resultados obtenidos indicaron valores superiores de ceniza con respecto a otros cultivares de tomate de árbol (Wang & Zhu, 2020), en los que se indicó un rango entre 0,7 a 0,9 % en base seca de pulpa de frutos de tomate de árbol ecuatorianos. Con relación a los ecotipos control e injerto se evidenció que los frutos control presentaron un porcentaje superior de ceniza (4,6 %) con respecto a los frutos injertos (2,3 %).

Finalmente, los valores de índice de madurez (Figura 10 C) obtenidos para el ecotipo 'anaranjado gigante' mostró un rango entre 6,3 a 7,1 (°Brix/ % ácido cítrico) en el control y 5,1 a 22,6 (°Brix/ % ácido cítrico) en el injerto; y para el ecotipo 'morado gigante' un rango entre 8,9 a 13,6 (°Brix/ % ácido cítrico) en el control y 7,5 a 18,1 (°Brix/ % ácido cítrico) en el injerto. Los resultados obtenidos estuvieron dentro de la madurez de consumo del fruto que indica la normativa INEN 1909, misma que establece un mínimo para este parámetro de 4,5 (°Brix/ %

ácido cítrico). Así, a un rango de altitud de 2010-2250 msnm el ecotipo ‘anaranjado gigante’ injerto presentó una media superior de índice de madurez de 22,6 (°Brix/ácido cítrico) y a un rango de altitud de 2260-2500 msnm el ecotipo ‘morado gigante’ injerto presentó una media superior de 15,83 (°Brix/ácido cítrico); además, los ecotipos injertos en general presentaron los mayores índices de madurez. Varios autores han señalado que el índice de madurez de los frutos es importante para definir las diferencias de calidad entre cultivares, además que la calidad puede ser mejorada incrementando el contenido total de azúcares y ácidos (Rosales Laguna & Arias Arroyo, 2015).

### 3.2. Contenido de vitamina C

En la figura 11 se muestra el contenido de vitamina C en placenta, en pulpa y cáscara (mg/100 g de peso seco (PS)) de los ecotipos de tomate de árbol en estudio a diferentes rangos de altitud.





Los valores de vitamina C en placenta (Figura 11A) para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ presentó valores entre 22,4 a 121,8 mg/100 g PS en el control y entre 38,0 a 148,6 mg/100 g PS en el injerto; mientras que el ecotipo ‘morado gigante’ mostró valores entre 33,4 a 133,9 mg/100 g PS en el control y 29,3 a 126,4 mg/100 g PS en el injerto. Los valores más altos y bajos de vitamina C se encontraron en el ecotipo ‘anaranjado gigante’ control (186,8 mg/100 g PS) a un rango de altitud de 2010-2250 msnm y 22,4 mg/100 g PS a un rango de altitud de 2260-2500 msnm, respectivamente. Se observó que a medida que la altitud aumenta el contenido de vitamina C disminuye. Esto difiere de lo obtenido en frutos argentinos cultivados a una altitud menor (600 msnm) en la que se obtuvo valores inferiores de Vitamina C (56,8 mg equivalente de ácido ascórbico / 100 g de polvo) (Orqueda et al., 2017).

El contenido de vitamina C en pulpa (mg/100 g PS) mostró valores superiores a una altitud de 2510-2750 msnm para el ecotipo ‘morado gigante’ (34,7 a 48,6 mg/100 g PS), y ecotipo ‘anaranjado gigante’ (6,0 a 32,1 mg/100 g PS). A diferencia de valores inferiores obtenidos a un rango de altitud de 2260-2500 msnm, para el ecotipo ‘anaranjado gigante’ (0,7 mg/100 g PS), y a un rango de altitud de 2760-3000 msnm para el ecotipo ‘morado gigante’ (0,8 mg/100 g PS). Los resultados obtenidos fueron inferiores a los reportados por Mutalib et al., 2017 de 55,9 mg / 100 g PS de ácido ascórbico en pulpa pelada sin semilla de frutos de tomate de árbol maduros provenientes de Malasia. De igual manera, Preciado-Iñiga & Bárcenas-Pozos, 2014 reportó valores de 19,7 a 57,8 mg/100 g PS en frutos de tomate de árbol. Así en pulpa, el ecotipo ‘morado gigante’ presentó mayor cantidad de vitamina C (30,1 mg/100 g PS). El mayor contenido de vitamina C en tomate de árbol se encuentra en las partes comestibles del fruto. En general, en placenta y pulpa los ecotipos injertos presentaron mayor cantidad de vitamina C, resultados que confirman que los injertos influyen en el contenido de compuestos bioactivos en frutas y verduras, generalmente aumentando el contenido tal como sugieren otros autores (Rouphael et al., 2012).

Por otro lado, el contenido de vitamina C en cáscara (Figura 11C) reportaron límites no detectables en el ecotipo ‘morado gigante’ a un rango de altitud de 2010-2500 msnm, mientras que a una altitud de 2510-2750 msnm y 2760-3000 se detectó una concentración de 13,9 y 22,5 mg/100 g PS para ecotipo control, respectivamente. Con relación al ecotipo ‘anaranjado gigante’ se mostraron concentraciones entre 11,0 a 20,2 mg/100 g PS en el control, y 9,0 a 19,2 mg/100 g PS en el injerto. Resultados similares de concentración de vitamina C en cáscara fueron presentados por Ramirez et al., 2019 (25 mg/100 g). En general, el ecotipo ‘anaranjado gigante’ presentó mayor cantidad de vitamina C en cáscara (9,9 mg/100 g PS).

Finalmente, se evidenció un mayor contenido de vitamina C a una menor altitud, estos resultados difieren con los reportados por Mphahlele et al., 2014 que indica que la acumulación de vitamina C en la fruta se sintetiza de manera óptima a partir del azúcar durante la fotosíntesis a mayor intensidad de luz, lo que sugiere que el aumento de la concentración de vitamina C en la fruta a una mayor altitud podría asociarse con una mayor intensidad de luz en comparación con frutas colectadas a menor altitud que tienen menor intensidad de luz.

### 3.3 Análisis factorial

En la tabla 4 se resume el análisis factorial 3x2x2 de la altitud, el ecotipo y el portainjerto (control e injerto) con respecto a los parámetros de calidad comercial y vitamina C del fruto de tomate de árbol.

**Tabla 4.**

Valores  $p$  del análisis multifactorial considerando la altitud, ecotipo e injerto

	Altitud	Ecotipo	Injerto	Interacción entre los tres factores
DE (cm)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003
DL (cm)	0,0595	0,0440	0,9197	0,0001
Peso fruto (g)	0,0082	0,1426	0,0000	0,0001
Sólidos solubles (°Brix)	0,0000	0,1036	0,0000	0,3170
pH	0,0000	0,0000	0,0027	0,0001
% de acidez titulable	0,0000	0,0000	0,6894	0,0001
% Ceniza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
% Humedad	0,2488	0,2956	0,0263	0,0001
Color	L*	0,0000	0,3158	0,0000
	h <sub>ab</sub>	0,0000	0,0362	0,0169
	C <sub>ab</sub> *	0,0000	0,0000	0,5234
Índice de madurez	0,0000	0,0000	0,0008	0,0027
Vitamina C (mg/100 g PS)	Cáscara	0,0000	0,2607	0,0000
	Pulpa	0,0000	0,0000	0,0043
	Placenta	0,0000	0,0000	0,1768

Nota: Números en negro señalan diferencias significativas con  $p < 0,001$ .

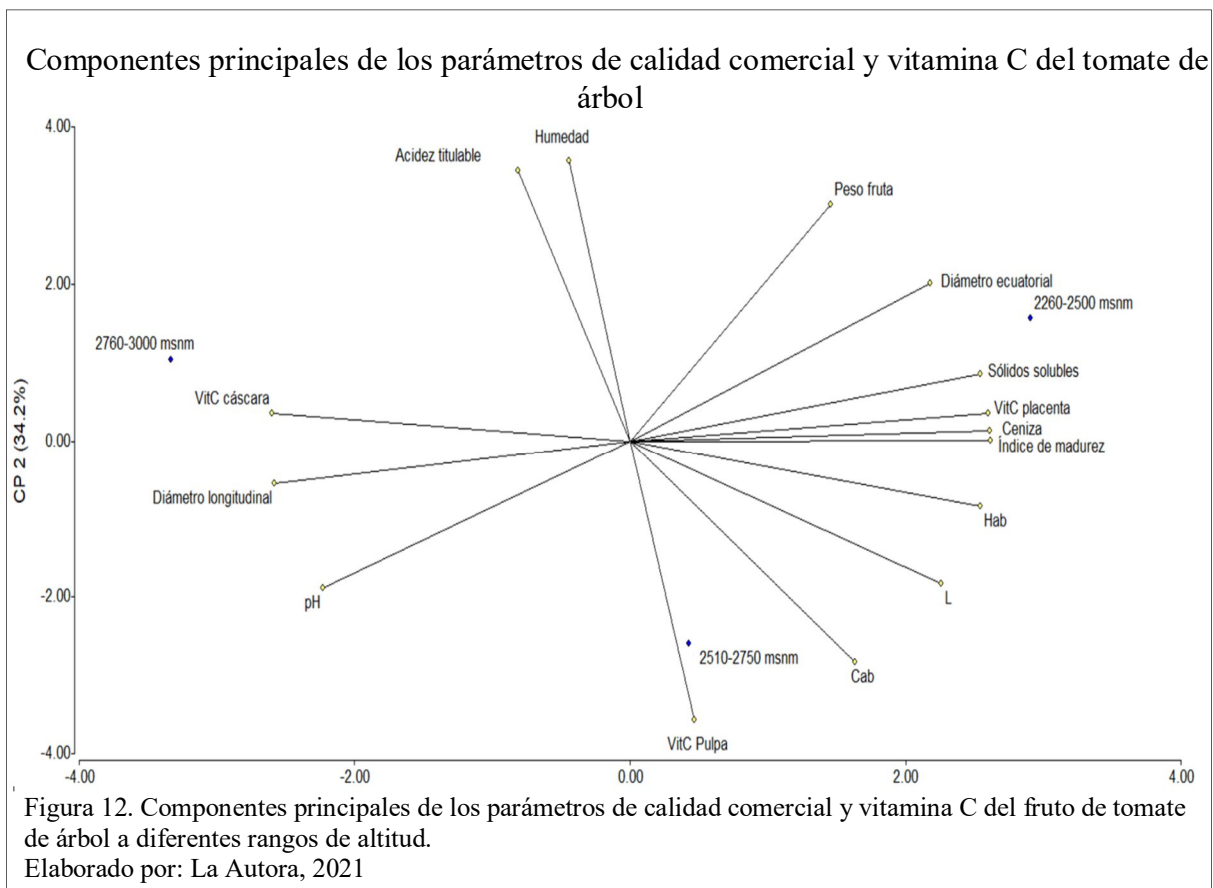
Elaborado por: La Autora, 2021

En general, el análisis factorial reportó que el DL, el % de acidez titulable, C<sub>ab</sub>\* y concentración de vitamina C en placenta mostraron mayor influencia con la altitud y el ecotipo; el peso, los sólidos solubles, % humedad, L\* y concentración de vitamina C en cáscara fueron influenciados mayormente con la altitud y el injerto; finalmente el DE, pH, % Ceniza, h<sub>ab</sub>, índice de madurez, concentración de vitamina C en pulpa mostraron influencia con la altitud, el ecotipo y el injerto. Sin embargo, todos los parámetros analizados en este estudio excepto los sólidos solubles y C<sub>ab</sub>\* no presentan variación con respecto a la altitud, ecotipo y portainjerto.

Estos resultados guardas cierta relación con otros estudios que señalan que los factores agronómicos y las condiciones climáticas modifican los parámetros de calidad comercial y contenido de metabolitos secundarios en los frutos (Coyago, 2017; Guerrero-Chavez et al., 2015; Magwaza et al., 2017).

### 3.4 Análisis de componentes principales

En la Figura 12 se presenta las componentes principales, con respecto a los parámetros de calidad comercial y vitamina C del fruto de tomate de árbol estudiados considerando los diferentes rangos de altitud. Además, en la tabla 5 se indica los valores de las componentes principales.



**Tabla 5.**

Valores de las componentes principales de los parámetros de calidad comercial y vitamina C en frutos de tomate de árbol.

<b>Parámetros bromatológicos y Vitamina C</b>	<b>Cp1</b>	<b>Cp2</b>
% Humedad	-0,05	0,44
% Ceniza	0,32	-0,003
Sólidos solubles	0,31	0,10
pH	-0,27	-0,23
Acidez titulable	-0,10	0,42
Índice de madurez	0,32	-0,003
Diámetro longitudinal	-0,31	-0,07
Diámetro ecuatorial	0,27	0,24
Peso fruta	0,18	0,37
L	0,28	-0,22
Hab	0,31	-0,01
Cab	0,20	-0,31
Vitamina C-Placenta	0,34	0,14
Vitamina C-Pulpa	0,14	-0,46
Vitamina C-Cáscara	-0,35	-0,08

Elaborado por: La Autora, 2021

El análisis de componentes principales mostró que a una altitud de 2260-2500 msnm los frutos de tomate de árbol presentaron mayor diámetro ecuatorial y mayor peso en fruto completo. Esto coincidió con lo reportado por Navarro et al., 2018 en el cual se recolectó muestras de tomate de árbol a dos altitudes, mostrando que a menor altitud se obtuvo mayor tamaño y peso del fruto fresco. Así también, considerando la componente 1, se observó que los parámetros de color L\* fue mayor a una altitud de 2510-2750 msnm, esto probablemente se debe a que se encuentran más expuestos a la radiación solar, provocando que se sintetizen más pigmentos en la planta como lo indican Navarro et al., 2018. A su vez, se encontró una mayor relación entre el índice de madurez, % de ceniza, vitamina C en placenta y sólidos solubles. En cuanto al contenido de vitamina C se pudo observar que la pulpa y placenta tienen una relación inversa a la vitamina C en cáscara, es decir, que a mayor concentración de vitamina C en

placenta y pulpa menor será el contenido de vitamina C en cáscara, lo que concuerda con lo mencionado por otros autores quien señalaron que la placenta se concentra la mayor cantidad de compuestos bioactivos (Navarro et al., 2018).

Por otra parte, en la componente 2, se encontró una relación inversa entre el pH y el % de acidez titulable, lo que guarda concordancia con lo expuesto por Torres et al., 2013, quienes reportaron que el aumento del pH producía una disminución del % de acidez titulable, este efecto fue observado también por Moreno-Álvarez et al., 2007. Así también, se observó una mayor relación entre la humedad y el % de acidez titulable, mientras que el % de ceniza y la concentración de vitamina C en pulpa mostraron una relación inversa, esto coincidió con lo reportado por Torres, 2012, en el cual se obtuvo un menor % de ceniza (0,88%) y mayor contenido de vitamina C en pulpa (23 mg ácido ascórbico/100g), cubriendo el 38% del valor de ingesta diaria recomendada (VDR).

## Conclusiones

Los factores ambientales, genéticos y prácticas culturales influyen en la calidad comercial y en la fitoquímica de los frutos. Dentro de esto se ha estudiado diferentes factores que influyen sobre los frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Sin embargo, ha sido poco estudiado la influencia de la altitud e injerto en la calidad comercial y los compuestos bioactivos en los ecotipos ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la altitud en el contenido de ácido ascórbico de *Solanum betaceum* Cav. Injerto en *Nicotiana glauca*. De este modo se concluye que, la altitud influye en los parámetros de calidad comercial evaluados. Así, a un rango de altitud de 2260-2500 msnm y 2510-2750 msnm se obtuvo los frutos con mayor tamaño, peso, ceniza y acidez titulable. Así también, la altitud y el portainjerto influyen en los parámetros físico-químico del fruto de *Solanum betaceum* Cav de los ecotipos ‘anaranjado gigante’ y ‘morado gigante’.

A su vez, el fruto de tomate de árbol es una fuente importante de vitamina C, en sus tres componentes: placenta, pulpa y cáscara. La mayor concentración de vitamina C se encontró en el ecotipo ‘anaranjado gigante’ en la placenta con valores de hasta 186,8 mg/100 g PS a un rango de altitud de 2010 a 2250 msnm. En pulpa y placenta a medida que aumenta la altitud se evidenció una disminución de vitamina C. Así, la altitud, el ecotipo y el portainjerto influyeron en la concentración de vitamina C en pulpa.

## Recomendaciones

Realizar más estudios relacionados con las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos, en frutos injerto de *Solanum betaceum*, con la finalidad de obtener frutos de mejor calidad que ayuden a los agricultores a obtener cultivos sustentables-

Realizar pruebas in vitro y cuantificar otros compuestos bioactivos como fenoles y carotenoides, con la finalidad de designar al fruto de *Solanum betaceum*, como un nutracéutico en los principales cultivares del país considerando la influencia de la técnica de portainjertos.



## Referencias bibliográficas

- Abdul Mutalib, M., Rahmat, A., Ali, F., Othman, F., & Ramasamy, R. (2017). Nutritional compositions and antiproliferative activities of different solvent fractions from ethanol extract of *Cyphomandra betacea* (Tamarillo) fruit. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 24(5), 19–32. <https://doi.org/10.21315/mjms2017.24.5.3>
- Acosta-Quezada, P., Martínez-Laborde, J., & Prohens, J. (2011). Variation among tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) accessions from different cultivar groups: Implications for conservation of genetic resources and breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(6), 943–960. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9634-9>
- Acosta-Quezada, P., Raigón, M., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M., Plazas, M., Burneo, J. I., Figueroa, J., Vilanova, S., & Prohens, J. (2015). Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. *Food Chemistry*, 169, 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.152>
- Acosta-Quezada, P., Riofrío-Cuenca, T., Rojas, J., Vilanova, S., Plazas, M., & Prohens, J. (2016). Phenological growth stages of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an emerging fruit crop, according to the basic and extended BBCH scales. *Scientia Horticulturae*, 199, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.045>
- Akram, N. A., Shafiq, F., & Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 8(April). <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>
- Amadou, N., Waingeh, N., Sylvanus, N., Yunenyui, M., & Helène, I. (2020). Physicochemical and sensory properties of tree tomato (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtner) drink Njoya. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 06(02), 9–16. <https://doi.org/10.30574/wjarr>
- Ayala, D., de Lourdes Torres, M., & Arahana, V. (2011). *Nicotiana glauca* plant regeneration protocol from mesophyll protoplasts. *Journal of Crop Improvement*, 25(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/15427528.2011.518303>
- Bakshi, P., & Jammu, T. (2016). Tamarillo (*Cyphomandra betacea*). In *Underutilized Fruit Crops: Importance and Cultivation* (Issue November, pp. 1271–1294).
- Buono, S., Aguirre, C., Abdo, G., Perondi, H., & Ansonnaud, G. (2018). Tomate árbol. *Instituto Iberoamericano de Cooperación Para La Agricultura*, 18.
- Castaño, J., Ramírez, J., Patiño, L., & Morales, J. (2015). Alternativa para el manejo de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en *Solanum betaceum* Cav. mediante inductores de resistencia. *Revista de Protección Vegetal*, 30(3), 204–212.
- Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 8398(October). <https://doi.org/10.1080/10408399309527614>
- CODEX STAN 234. (1999). Metodos De Analisis Y De Muestreo Recomendados Codex Stan 234-1999 Primera Parte. *Codex Alimentarius*, 3–85.
- Correia, S., Gonçalves, B., Aires, A., Silva, A., Ferreira, L., Carvalho, R., Fernandes, H.,

- Freitas, C., Carnide, V., & Silva, A. P. (2016). Effect of harvest year and altitude on nutritional and biometric characteristics of blueberry cultivars. *Journal of Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/8648609>
- Coyago, E. (2017). Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional. *Tecnología Poscosecha e Industria Agroalimentaria*, 1–238.
- Criollo, H., Insuasti, K., & Degaldo, W. (2016). Regeneración in vitro de plántulas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav. Sendt.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 252–261. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5750>
- Díaz, L., Canto, M., Alegre, J., Camarena, F., & Julca, A. (2017). Sostenibilidad social de los subsistemas productivos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) en el cantón Guachapala, provincia de Azuay - Ecuador. *Ecología Aplicada*, 16(2), 99. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1013>
- Diep, T., Pook, C., Rush, E. C., & Yoo, M. J. Y. (2020). Quantification of carotenoids,  $\alpha$ -tocopherol, and ascorbic acid in amber, mulligan, and laird's large cultivars of New Zealand tamarillos (*Solanum betaceum* Cav.). *Foods*, 9(6), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods9060769>
- Diep, T., Pook, C., & Yoo, M. J. Y. (2020). Physicochemical properties and proximate composition of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from New Zealand. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92, 103563. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103563>
- Espín, S., Gonzalez-Manzano, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda-Durán, B., Gonzalez-Paramas, A. M., & Santos-Buelga, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 194, 1073–1080. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.131>
- Felcán-Mejía, C., Encalada-Alvarado, C., & Becerril-Román, A. (2016). Descripción agronómica del cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Agroproductividad*, 9(8), 78–86.
- Fortes, A. M., Granell, A., Pezzotti, M., & Bouzayen, M. (2017). Editorial: Molecular and metabolic mechanisms associated with fleshy fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 8(July), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01236>
- G. Preciado-Iñiga, & M.E. Bárcenas-Pozos. (2014). El tamarillo (*Cypomandra betacea*) y su importancia como fuente de compuestos antioxidantes. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 48–53. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2015/05/TSIA-81-Preciado-Iniga-et-al-2014.pdf>
- Gannasin, S. P., Adzahan, N. M., Hamzah, M. Y., Mustafa, S., & Muhammad, K. (2015). Physicochemical properties of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) hydrocolloid fractions. *Food Chemistry*, 182, 292–301. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.010>
- Goldschmidt, E. E. (2014). Plant grafting: New mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers in Plant Science*, 5(DEC), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>
- Guerrero-Chavez, G., Scampicchio, M., & Andreotti, C. (2015). Influence of the site altitude on strawberry phenolic composition and quality. *Scientia Horticulturae*, 192, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.017>

- Hassler, M. (2018). *World plants: Synonymic checklists of the vascular plants of the world (version Nov 2018)*. In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2020-09-01 Beta (Roskov Y.; Ower G.; Orrell T.; Nicolson D.; Bailly N.; Kirk P.M.; Bourgoin T.; DeWalt R.E.; Decock W.; Nieukerken E. van; Penev L.; Eds.). <https://doi.org/ISSN 2405-8858>.
- Ibraheem, N. a, Hasan, M. M., Khan, R. Z., & Mishra, P. K. (2012). Understanding color models : A Review. *ARPN Journal of Science and Technology*, 2(3), 265–275.
- INEC. (2018). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria Continua-2018*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Kewscience. (2017). *Solanum betaceum Cav.* Plants of World Online. <http://powo.science.kew.org/taxon/306169-2#source-KBD>
- KONICA-MINOLTA. (2020). *Entendiendo El Espacio de Color CIE L\*A\*B\**. Konica Minolta Sensing Americas, Inc. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Lagos, T. C., Benavides, C. A., Paredes, R., & Lagos, L. K. (2012). Distribución del tomate de árbol *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. y caracterización eco-climática en las zonas del cultivo de Nariño. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(1), 11–19. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1249>
- Lee, K. M., Lim, C. S., Muneer, S., & Jeong, B. R. (2016). Functional vascular connections and light quality effects on tomato grafted unions. *Scientia Horticulturae*, 201, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.013>
- Leme de Castro, I. (2014). *Solanum betaceum*. In *Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro-Unirio* (Vol. 7).
- León, J., Viteri, P., & Cevallos, G. (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP)*, 51. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Llerena, W., Ang, I., Brito, B., & Ortiz, B. (2019). Biocompounds content prediction in ecuadorian fruits using a mathematical model. *Foods*, 8(284), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods8080284>
- Maciel, K. S., de Lima, P. A. M., Madalon, F. Z., de Paiva Caetano Bucker Moraes, S., Cabanez, P. A., Fávares, N. A. B., de Freitas, A. R., Carvajal, N. V., Alexandre, R. S., & Lopes, J. C. (2018). Characterization of fruits in contrasting environments and germination of tamarillo seeds at different temperatures. *American Journal of Plant Sciences*, 09(01), 23–33. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.91003>
- Magwaza, L. S., Mditshwa, A., Tesfay, S. Z., & Opara, U. L. (2017). An overview of preharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruit. *Scientia Horticulturae*, 216, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.021>
- Mahunu, G., Osei-Kwarteng, M., & Quainoo, A. K. (2013). Dynamics of graft formation in fruit trees: a review. *Albanian j. Agric. Sci*, 12(2), 177–180.
- Mandal, P., & Ghosal, M. (2012). Antioxidant activities of different parts of tree tomato fruit. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 13(2), 39–47.

- Melnyk, C. W. (2017). Plant grafting: insights into tissue regeneration. *Regeneration*, 4(1), 3–14. <https://doi.org/10.1002/reg2.71>
- Melnyk, C. W., & Meyerowitz, E. M. (2015). Plant grafting. *Current Biology*, 25(5), R183–R188. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.029>
- Mideros, M. F., Mayton, H., Danies, G., Lagos, L. E., Fry, W. E., & Restrepo, S. (2020). Differential susceptibility of tree tomato (*Solanum betaceum*) cultivars to late blight caused by phytophthora betacei. *Plant Disease*, 104(4), 1113–1117. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-19-0307-RE>
- Moskowitz, A., Andersen, L. W., Huang, D. T., Berg, K. M., Grossestreuer, A. V., Marik, P. E., Sherwin, R. L., Hou, P. C., Becker, L. B., Cocchi, M. N., Doshi, P., & Gong, J. (2018). Ascorbic acid, corticosteroids, and thiamine in sepsis: a review of the biologic rationale and the present state of clinical evaluation. *Critical Care*, 22(283), 1–7.
- Mphahlele, R. R., Stander, M. A., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2014). Effect of fruit maturity and growing location on the postharvest contents of flavonoids, phenolic acids, vitamin C and antioxidant activity of pomegranate juice (cv. Wonderful). *Scientia Horticulturae*, 179, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.007>
- Munir, S., Mumtaz, M. A., Ahiakpa, J. K., Liu, G., Chen, W., Zhou, G., Zheng, W., Ye, Z., & Zhang, Y. (2020). Genome-wide analysis of Myo-inositol oxygenase gene family in tomato reveals their involvement in ascorbic acid accumulation. *BMC Genomics*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6708-8>
- NTE INEN 1909. (2015). Frutas frescas. Tomate de árbol.Requisitos. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1909*, 1–13. [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/nte\\_inen\\_1909\\_2r.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/nte_inen_1909_2r.pdf)
- Orqueda, M. E., Rivas, M., Zampini, I. C., Alberto, M. R., Torres, S., Cuello, S., Sayago, J., Thomas-Valdes, S., Jiménez-Aspee, F., Schmeda-Hirschmann, G., & Isla, M. I. (2017). Chemical and functional characterization of seed, pulp and skin powder from chilito (*Solanum betaceum*), an Argentine native fruit. Phenolic fractions affect key enzymes involved in metabolic syndrome and oxidative stress. *Food Chemistry*, 216, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.015>
- Osorio, C., Hurtado, N., Dawid, C., Hofmann, T., Heredia-Mira, F. J., & Morales, A. L. (2012). Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food Chemistry*, 132(4), 1915–1921. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.026>
- Pantoja, L., Andrade, N., Lopes, C., Ganda, R., & Soares, A. (2009). Caracterização física e físico-química de frutos de duas variedades de tamarilho oriundas do norte de Minas Gerais. *Comunicação Científica*, 31(3), 916–919.
- Parra-Coronado, A., Fischer, G., & Camacho-Tamayo, J. H. (2015). Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia. *Bragantia*, 74(3), 359–366. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0459>
- Peng, J., Ling, J., Zhang, X. Q., Zhang, L. Y., Cao, Q. E., & Ding, Z. T. (2015). A rapid, sensitive and selective colorimetric method for detection of ascorbic acid. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 221, 708–716. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.07.002>

- Prieto, L. (2016). Estudio de los compuestos bioactivos responsables del sabor del tomate de árbol Var. amarilla (*Solanum betaceum* Cav.). In *Universidad Nacional de Colombia*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/55409/>
- Prohens, J., & Nuez, F. (2001). The tamarillo (*Cyphomandra betacea*): A review of a promising small fruit crop. *Small Fruits Review*, 1(2), 43–68. [https://doi.org/10.1300/J301v01n02\\_06](https://doi.org/10.1300/J301v01n02_06)
- Ramakrishnan, Y., Khoddami, A., Gannasin, S. P., & Muhammad, K. (2013). Tamarillo (*Cyphomandra betacea*) seed oil as a potential source of essential fatty acids for food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Acta Horticulturae*, 1012(May 2014), 1415–1422. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.1012.191>
- Ramírez-Gil, J., Gil-Aguirre, A., & Morales-Osorio, J. (2017). Etiology of tree tomato (*Solanum betaceum* CAV.) diseases. *Revista de Protección Vegetal*, 32(1), 33–51.
- Ramírez, F., & Kallarackal, J. (2019). Tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 248(October 2018), 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.019>
- Ramírez, Grijalva, R., Navarrete, X., & Guerrero, R. (2015). Nemátodos fitoparásitos asociados con tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en las provincias de Imbabura, Pichincha y Tungurahua, Ecuador. *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1). <https://doi.org/10.36331/revista.v2i1.2>
- Ramirez, J., Rodriguez, O., Rodriguez, J., & Cardona, A. (2019). Estudio etnográfico de las plantas medicinales de Cundinamarca: Albahaca (*Ocimum basilicum*), Ortiga (*Urtica*), Uchuva (*Physalis peruviana*), Malva (*Malva*) y Hierba mora (*Solanum nigrum*). *Fundación Universitaria Agraria De Colombia Departamento De Ciencias Básicas*, June. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25115.72481>
- Revelo, Pérez, E., & Maila, M. (2004). El cultivo de tomate de árbol. *Quito*.
- Rosales Laguna, D. D., & Arias Arroyo, G. (2015). Vitamina C y parámetros físicoquímicos durante la maduración de *Berberis lobbiana* “untusha.” *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(1), 63–75. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v81i1.15>
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bassal, A., Leonardi, C., Giuffrida, F., & Colla, G. (2012). Vegetable quality as affected by genetic Agronomic and environmental factors. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(3–4), 680–688.
- Saptarini, N. M., & Herawati, I. E. (2018). The effect of acetic acid on total anthocyanins content and antioxidant activity of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav). *Drug Invention Today*, 10(1), 398–401.
- Schotsmans, W. C., East, A., & Woolf, A. (2011). Tamarillo (*Solanum betaceum* (Cav.)). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 4). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.427>
- Smirnof, N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology and Medicine*, 122, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.033>
- Tandazo-Yunga, J. V., Ruiz-González, M. X., Rojas, J. R., Capa-Mora, E. D., Prohens, J., Alejandro, J. D., & Acosta-Quezada, P. G. (2017). The impact of an extreme climatic

- disturbance and different fertilization treatments on plant development, phenology, and yield of two cultivar groups of *Solanum betaceum* Cav. *PLoS ONE*, *12*(12), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190316>
- Tewari, S., Sehrawat, R., Nema, P. K., & Kaur, B. P. (2017). Preservation effect of high pressure processing on ascorbic acid of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Biochemistry*, *41*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12319>
- Torres, A. (2012). Physical, chemical and bioactive compounds of tree tomato (*Cyphomandra betacea*). *Arch Latinoam Nutr.*, *64*(2), 381–288.
- UNAM. (2008). Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos. *UNAM: Departamento de Alimentos y Biotecnología*, 1–51.
- Valente, A., Albuquerque, T. G., Sanches-silva, A., & Costa, H. S. (2011). Ascorbic acid content in exotic fruits : A contribution to produce quality data for food composition databases. *Food Research International*, *44*(7), 2237–2242. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.012>
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., & Kamal-Eldin, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *60*(SUPPL. 7), 278–288. <https://doi.org/10.1080/09637480903099618>
- Viera, W., Campaña, D., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro*, *29*(2), 105–114.
- Viteri, J., Cruz, M., Bravo, J., & Viteri, F. (2011). Estructuración de buenas prácticas agrícolas y aplicación de la radiación UV-C en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Tsafiqui*, *2*, 7. <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i2.45>
- Viteri, P., León, J., Vásquez, W., Encalada, C., Matínez, A., Morán, J., Posso, M., & Hinojosa, M. (2010). Solanáceas silvestres utilizadas como portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) con alto rendimiento, resistencia a enfermedades y mayor longevidad. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP)*, *371*, 23. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Wang, S., & Zhu, F. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum*): Chemical composition, biological properties, and product innovation. *Trends in Food Science and Technology*, *95*(May 2019), 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.004>
- Waswa, S., Waceke, J., & Nchore, S. (2020). Diversity of Plant Parasitic Nematodes of Tree Tomato (*Solanum betaceum* Cav.) In Kiambu and Embu Counties, Kenya. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *9*(October), 605–616. <https://doi.org/10.36632/mejar/2020.9.3.47>
- Wendt, J., & Izquierdo, J. (2002). Manejo y gestión de la biotecnología agrícola apropiada para pequeños productores estudio de caso Ecuador. *Fundacion REBDIO Internacional y Oficina Regional de La Fao*.

Zoratti, L., Karppinen, K., Escobar, A. L., Häggman, H., & Jaakola, L. (2014). Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. *Frontiers in Plant Science*, 5(OCT), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00534>