UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS
Jardín Botánico de Bogotá

Informe de investigación

EVALUACIÓN DE PARAMÉTROS FISICOQUÍMICOS DURANTE EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y POSCOSECHA DE LAS ESPECIES *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES Y ANÁLISIS CUALITATIVO DE METABOLITOS SECUNDARIOS PRESENTES EN ESTAS Y OTRAS ESPECIES PRIORIZADAS EN EL PROYECTO "BIODIVERSIDAD ALTOANDINA AL PLATO DE TODOS"

MILEIDY CAICEDO PINEDA
Estudiante de pregrado de Licenciatura en Química
JOSUE ANSELMO GARCÍA ORTIZ
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
JARDÍN BOTÁNICO DE BOGOTÁ JOSÉ CELESTINO MUTIS
SUBDIRECCIÓN CIENTÍFICA

2018
BOGOTÁ D.C.

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis
Mutisia clematis L.f.
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar parámetros fisicoquímicos durante el crecimiento, desarrollo y poscosecha de los frutos de las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, cuantificar los polifenoles totales y analizar cualitativamente la presencia de metabolitos secundarios presentes en estas y otras especies priorizadas en el proyecto de "Biodiversidad Altoandina al plato de todos".

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos durante el crecimiento, desarrollo y poscosecha de los frutos de las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.

- Cuantificar los polifenoles totales de las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.

- Analizar, mediante métodos cualitativos, los metabolitos secundarios presentes en las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., *Symplocos theiformis* (L. f.) Oken, *Galinsoga parviflora Cav., Satureja viminea, Chenopodium quinoa Willd., Salvia hispanica L., Vaccinium meridionale Sw., Solanum muricatum Aiton, Sechium edule (Jacq.) Sw., Arracacia xanthorrhiza Bancr., Smallanthus sonchifolius (Poepp.) H.Rob.*

METODOS

Para llevar a cabo este trabajo, fueron seleccionadas tres especies, las cuales corresponden a *Vasconcellea pubescen* (Papayuela), *Solanum quitoense var. Septentrionale* (Lulo de páramo) y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío); así mismo, algunos de los procedimientos descritos fueron efectuados en las especies *Symplocos theiformis* (L. f.) Oken,

Galinsoga parviflora Cav., Satureja viminea, Chenopodium quinoa Willd., Salvia hispanica L., Vaccinium meridionale Sw., Solanum muricatum Aiton, Sechium edule (Jacq.) Sw., Arracacia xanthorrhiza Bancr., Smallanthus sonchifolius (Poepp.) H.Rob.

4.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos durante el crecimiento desarrollo y poscosecha

4.1.1. Análisis de crecimiento

Para llevar a cabo el análisis de crecimiento se establecieron dos etapas, las cuales se describen a continuación:

4.1.1.1. Etapa I

En las huertas agroecológicas ubicadas dentro del Jardín Botánico José Celestino Mutis se identificaron varios individuos pertenecientes a las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. Se asignaron entre cuatro a cinco grados de madurez para cada especie, según su coloración tal como se puede apreciar en las figuras 1, 2 y 3, y se seleccionaron 15 frutos por cada grado; esta selección dependió de las características de los frutos en cada estado de desarrollo según la especie. Los frutos seleccionados fueron marcados con ayuda de nailon y trozos de papel, de 1x1 cm^2, plastificados y numerados de forma tal que se pudieran diferenciar los frutos. Posterior al marcaje, se procedió a realizar las mediciones de longitud y diámetro de cada uno de los frutos marcados; estas se hicieron con ayuda de un calibrador, cada 8 días durante un mes.

La Postulación de modelos logísticos se desarrolló de acuerdo con los métodos reportados por Hernández et al (2007); la regresión logística y modelos de regresión lineal se calcularon utilizando el paquete estadístico R. El producto de correlación de Pearson se calculó entre las variables utilizadas para el modelo del crecimiento del fruto.

Figura 1. Cuatro grados de madurez seleccionados para *Vasconcellea pubescens* (Papayuela)

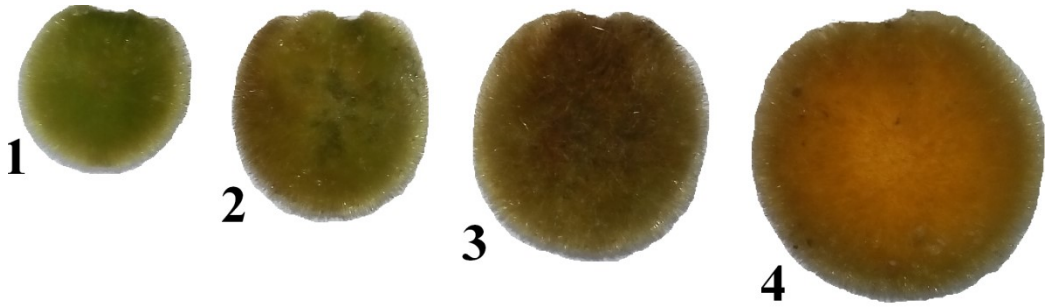

Figura 2. Cuatro grados de madurez seleccionados para *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo)

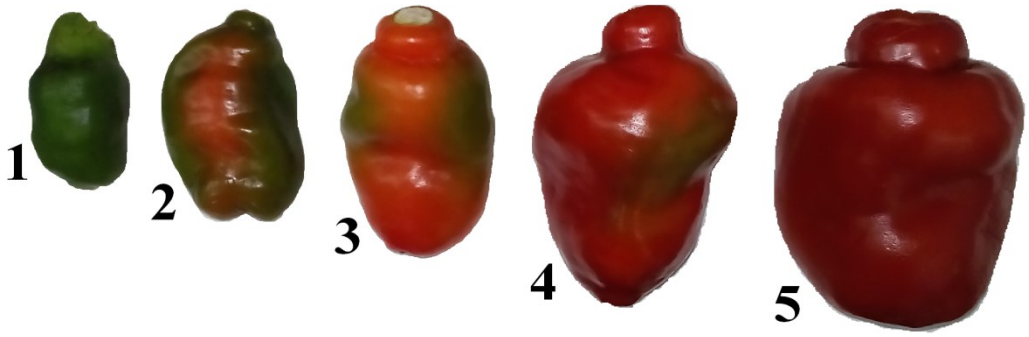

Figura 3. Cinco grados de madurez seleccionados para *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío)

4.1.1.2. Etapa II

Con el fin de conocer el crecimiento de los frutos de cada especie, a lo largo del proceso de desarrollo, se hizo una selección de tres frutos por especie, a los cuales se les designó las a, b y c, con el fin de diferenciarlos. Estos se marcaron en su primer grado de madurez, siguiendo el procedimiento de marcaje descrito en la etapa I, y las mediciones de longitud y diámetro fueron efectuadas por termino de 60 días, realizando mediciones cada semana; así mismo, se llevó a cabo un registro fotográfico del proceso de crecimiento de cada uno de los frutos seleccionados. Al finalizar las mediciones, se tabularon los datos obtenidos y se desarrolló una gráfica de crecimiento.

4.1.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos

Para conocer la variación de los parámetros fisicoquímicos se tuvo en cuenta dos momentos; el primero enfocado a los procesos de crecimiento y desarrollo, y el segundo orientado al proceso de poscosecha. Los anteriores se exponen a continuación:

4.1.2.1. Evaluación de parámetros fisiquimicos durante el crecimiento y desarrollo

Para la evaluación de parámetros fisicoquímicos durante el crecimiento y desarrollo de las especies, se realizaron mediciones por triplicado de la densidad, firmeza, °Brix, pH y acidez titulable; para lo cual se tomó un fruto por cada uno de los grados de madurez establecidos en el apartado 3.1.1.1. Estas mediciones se efectuaron a partir de los siguientes procedimientos:

4.1.2.1.1. Medición de la firmeza

Para determinar la firmeza de la fruta se utilizó un comprobador de dureza de frutas digital (Extech instruments, modelo FHT200) y una punta de 6 mm; esta medición se realizó sobre el eje ecuatorial.

Preparación del jugo

Se licuó el fruto hasta conseguir su homogenización, luego se hizo tamizaje para separar las semillas del jugo. El filtrado será utilizó para hacer la determinación de °Brix, pH y acidez titulable.

4.1.2.1.2. Determinación de Solidos solubles totales (°Brix)

El contenido de solidos solubles totales se expresó en °Brix, los cuales fueron medidos con un refractómetro digital marca Sper Scientific modelo 300053. En el lente del refractómetro se colocó una gota del jugo preparado y se medió directamente el valor de los sólidos solubles totales, según el A.O.A.C (2007), 932.12, (37.1.15).

4.1.2.1.3. Medición del pH

La medición del pH se realizó con un pH-metro electrónico, marca FieldScout SoilStik, según se describe en el A.O.A.C (2007), 981.12, (42.1.04)

4.1.2.1.4. Determinación de acidez titulable

Se tomó una alícuota de 1 mL de jugo preparado y se diluyó en 9 mL de agua destilada; la titulación se efectuó con una solución estándar de NaOH 0,1 N. Este procedimiento se llevó a cabo con ayuda de una bureta digital marca VITLAB® modelo continuous E/RS.

4.1.2.2. Evaluación de parámetros fisicoquimicos en poscosecha

Se cosecharon de tres a cuatro frutos de cada una de las especies en mención; estos frutos se marcaron en su último grado de madurez y en condiciones físicas óptimas. Posterior a la cosecha, los frutos se transportaron, en bolsas plásticas con cierre hermético, al laboratorio y se realizaron las mediciones de firmeza, °Brix, pH y acidez titulable, siguiendo los procedimientos descritos en el apartado 3.1.2.1. Para las primeras mediciones, se tomó uno de los cinco frutos cosechados y se llevaron a cabo las mediciones el primer día de poscosecha. Al tercer día, se tomó un segundo fruto y se le aplicó el mismo procedimiento; los parámetros fisicoquímicos del tercer y el cuarto fruto fueron evaluados a los 8 y 10 días de poscosecha, respectivamente.

4.2. Preparación del extracto vegetal

Se colectaron entre 250 a 300 g de muestra, y se le hicieron cortes finos con el fin de obtener una disminución de partícula y facilitar la extracción. Posteriormente, la muestra se dejó secar durante 2 a 5 días a 60 o 40°C. Luego de reducir la humedad al máximo, la muestra se sometió a un proceso de extracción por maceración con etanol a temperatura ambiente; el producto de la extracción se concentró con ayuda de un rotaevaporador; finalmente, la cantidad obtenida de extracto

concentrado se dejó en el horno a una temperatura de 40°C, por un periodo de 3 días. El extracto final fue el material con el cual se llevó a cabo los procedimientos para la cuantificación de polifenoles totales y los análisis cualitativos de metabolitos secundarios.

4.3. Cuantificación de polifenoles totales

Para la cuantificación de los polifenoles totales se empleó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu. Inicialmente, para la preparación de las muestras de las especies *Vasconcellea pubescen, Solanum quitoense* var. *Septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, se pesaron 10 mg de extracto y se le adicionaron 10 mL de metanol; así mismo, se preparó una curva de calibración de ácido gálico, en un rango de 0 a 100 ppm. En tubos previamente rotulados, se adicionó 1mL de muestra y se agregaron 5 mL del reactivo de Folin- Ciocalteu, el cual se preparó en una proporción de 1:10 en agua destilada; la mezcla obtenida se dejó en reposo durante 5 min y luego se adicionaron 4 mL de solución de Na_2CO_3 al 10%, la mezcla se dejó reposar por 2 horas a temperatura ambiente, evitando exposición a la luz. La adición del reactivo y de la solución de Na_2CO_3 también se realizó para la curva de ácido gálico. Pasadas las 2 horas, se procedió a realizar las mediciones de absorbancia, a 740 nm, en un espectrofotómetro, marca Thermoelectron. Finalmente, por medio de regresión lineal, se determinó la concentración de polifenoles presentes en cada muestra.

4.4. Análisis cualitativo de metabolitos secundarios

Para comprobar la presencia de metabolitos secundarios, se llevaron a cabo dos procedimientos: el tamizaje fitoquimico y la Cromatografía en capa fina (CCF). Este análisis se aplicó a las especies *Vasconcellea pubescen, Solanum quitoense* var. *Septentrionale, Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, *Symplocos theiformis* (L. f.) Oken, *Galinsoga parviflora Cav., Satureja viminea, Chenopodium quinoa Willd., Salvia hispanica L., Vaccinium meridionale Sw., Solanum muricatum Aiton, Sechium edule (Jacq.) Sw., Arracacia xanthorrhiza Bancr., Smallanthus sonchifolius (Poepp.) H.Rob.*

4.4.2. Preparación de la muestra

Se pesó 1g de extracto, obtenido a partir de procedimiento descrito en el apartado 3.2., y se le adicionó 10 mL de etanol; la mezcla se agitó con ayuda de un vortex, hasta conseguir la homogenización. La muestra obtenida fue la base para los ensayos en tubo y la CCF.

4.4.1. Tamizaje Fitoquímico

Se llevaron a cabo diferentes ensayos con reacciones químicas, en donde los resultados positivos fueron identificados por medio de cambios de coloración o formación de precipitado. Los ensayos realizados fueron: Shinoda, Comportamiento ácido y básico (Zn/HCl), $FeCl_3$, Gelatina-NaCl, Formación de espuma, Erlich, Lieberman-Bouchard, Salkowski, Baljet, Dragendorff y Wagner, para la determinación de los metabolitos secundarios: Flavonoides, Quinonas, Taninos, Saponinas, Cumarinas, Esteroides, Sesquiterpenlactonas y Alcaloides, respectivamente.

4.4.2 Cromatografía en capa fina (CCF)

Para corroborar los resultados obtenidos con el tamizaje fitoquimico, se realizó cromatografía en capa fina, para lo cual se empleó, como fase estacionaria, sílica gel soportada en placas metálicas, y como fase móvil, se emplearon diferentes mezclas de solventes, dependiendo el tipo de muestra analizada. Las cromatoplacas se revelaron con radiación UV a dos longitudes de onda, 254 y 365 nm, $FeCl_3$, Vainillina/H_3PO_4, yodo y amoniaco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos durante el crecimiento desarrollo y poscosecha

5.1.1. Análisis de crecimiento

5.1.1.1. Etapa I

A continuación, se presentan las curvas de crecimiento correlacionadas, obtenidas a partir de los datos de las mediciones realizadas al diámetro polar (longitud) y axial (diámetro), de los frutos seleccionados, en diferentes grados de madurez, de las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum*

quitoense var. *Septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. Según Hunt *et al*. (2002), el crecimiento del fruto es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales, ya que en cualquier sistema biológico, el crecimiento vegetativo es consecuencia de la división y elongación celular; es por ello que resulta de gran importancia la elaboración de curvas de crecimiento, ya que permite conocer el modo como crece el fruto en función del tiempo; así mismo, cabe mencionar que la curva representativa del crecimiento de un fruto varía con la especie evaluada (Casierra y Cardozo, 2009), lo cual se pondrá de manifiesto en los siguientes apartados.

- *Vasconcellea pubescens*

En la figura 4 se puede observar la variación del diámetro polar y axial, de los frutos seleccionados y organizados en 4 grados de madurez de papayuela; esta variación presentó una relación positiva, la cual corresponde a la correlación Pearson r, con un valor equivalente a 0.992 y un valor positivo para la covarianza de 165,7 (Tabla 2), esto significa que tanto el diámetro como la longitud de los frutos se incrementan en igual proporción, durante el ciclo de desarrollo hasta los 22 días de evaluación； se establece este análisis ya los puntos que conforman la curva, se ubican cerca de la línea, lo que indica que existe una relación lineal fuerte entre las variables. La relación es positiva porque a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta. (Minitab.com, 2017)

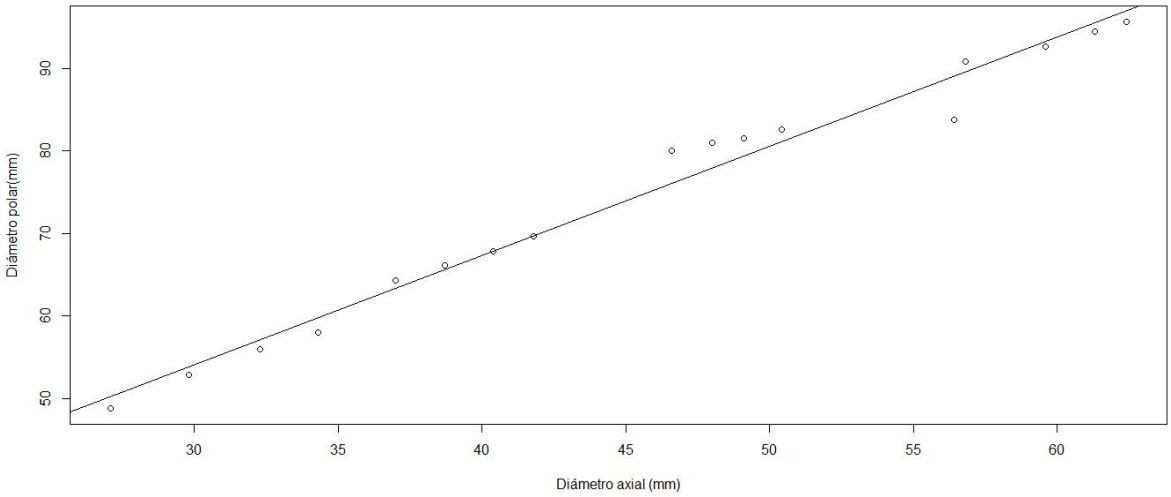

Figura 4. Curva de correlación de las variaciones en la longitud (D. polar) y diámetro (D. axial) durante el crecimiento y desarrollo de *Vasconcellea pubescens* (Papayuela)
1= 0,33 da 0,43 dp

Tabla 1. Valores (mm) registrados para el diámetro y la longitud de los frutos *Vasconcellea pubescens* (Papayuela)

Grado de madurez	Variable	Día			
		1	7	14	22
1	*Diámetro*	27,09	29,81	32,30	34,33
	Longitud	48,83	52,86	55,96	58,03
2	*Diámetro*	37,02	38,65	40,41	41,81
	Longitud	64,25	66,13	67,95	69,67
3	*Diámetro*	46,57	48,05	49,14	50,36
	Longitud	79,99	81,46	82,64	83,77
4	*Diámetro*	56,84	59,57	61,34	62,41
	Longitud	90,85	92,69	94,46	95,69

Tabla 2. Media, varianza, desviación típica (DT), covarianza y coeficiente de correlación en la longitud y el diámetro de los frutos *Vasconcellea pubescens* (Papayuela)

Variable	Media	Varianza	DT
Diámetro	44,73	121,421	11,019
Longitud	74,07	229,588	15,152
Covarianza		**Correlación**	
165,722		0,992	

Los datos registrados en la tabla 1 muestran los promedios de las mediciones realizadas, durante 22 días, a los diámetros axial y polar de los 15 frutos seleccionados por cada grado de madurez. Se observa que, en el primer grado, los frutos de papayuela presentaron 27,09 y 48,83 mm de ancho y largo, respectivamente; durante 7 días estos alcanzaron a crecer 2,72 mm de ancho y 4,03 mm de largo; después de 14 días, se dio un aumento de 5,21 mm en la longitud y 7,13 mm en el diámetro; posteriormente, transcurridos los 22 días desde la primera medición, los frutos habían crecido 7,24 mm de ancho y 9,2 mm de largo; estas últimas se aproximan a las medidas reportadas para los frutos en el segundo grado de madurez, en su primer día de medición.

Para el segundo grado de madurez se encontró que los frutos tenían 37,02 mm de diámetro y 64,25 mm de longitud; 7 días después de la primera medición, se registró un aumento de 1,63 mm en el

ancho y 1,88 mm en el largo. A los 14 días se encontró una variación de 3,39 mm para el diámetro y 3,7 mm para longitud. Las mediciones finales mostraron que, en promedio, los frutos se habían expandido 4,79 y 5,42 mm de ancho y largo, respectivamente.

En el primer día de medición, se encontró que los frutos en tercer grado de madurez tenían en promedio un diámetro axial de 46,57 mm y un diámetro polar de 79,99 mm. En el séptimo día, se observó que las medidas para el ancho y largo de los frutos habían aumentado en 1,38 y 1,47 mm, respectivamente. Posteriormente, transcurridos los 14 días, se evidenció un aumento proporcional a los valores obtenidos en las mediciones anteriores, ya que el ancho de los frutos se había expandido hasta alcanzar un valor de 19,14 mm y un largo de 82,64. Para el día 22 se encontró que, en total, el diámetro de los frutos había aumentado en 3,79 mm y longitud en 3,78 mm desde el primer hasta el último día de medición.

Las mediciones obtenidas para los frutos en el cuarto grado de madurez mostraron un aumento significativo para las variables estudiadas. En el primer día se registraron valores de 56,84 y 90,85 mm para el diámetro y la longitud, respectivamente; para el día 7 se encontró que los frutos se habían expandido 2,73 mm de ancho y 1,84 mm de largo. Así mismo, transcurridos los 14 días, se siguió evidenciando un aumento en las dimensiones de los frutos, y para el día 22 se encontró que los frutos habían alcanzado un máximo de 62,41 y 95,69 mm para el diámetro y la longitud, respectivamente. Durante 22 días, las dimensiones de los frutos aumentaron 5,57 mm en el ancho y 4,84 mm en el largo.

En general, estos resultados muestran que las dimensiones de los frutos aumentaron uniformemente, a medida que transcurría el periodo de crecimiento y desarrollo. Resultados similares han sido encontrados por David *et* al. (2011), en donde reportan que las variables evaluadas, longitud y diámetro de los frutos de *V. cundinamarcensis* B, indicaron un crecimiento gradual desde el estado inicial de formación del fruto (90 días) hasta su maduración (210 días). Según los estudios de la biología floral de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) realizados por Fischer (1989), el desarrollo en tamaño tiene un rápido crecimiento durante los primeros 10 días después del cuajamiento de los frutos; lo anterior es complementado por David *et* al. (2011) al sugerir que el fruto tiende a crecer más en longitud después del cuajamiento, contrario a lo que sucede en su madurez, cuando crece más en diámetro; así mismo, indican que la madurez del fruto constituye la última fase del proceso reproductivo y se caracteriza por la presencia de profundos cambios físicos y químicos en las estructuras. Después de la fertilización del óvulo, el ovario comienza a

aumentar rápidamente de tamaño. Este incremento va acompañado de cambios de color, peso, contenido de humedad, olor, sabor, textura y consistencia, así como, del incremento de carbohidratos, ácidos orgánicos, minerales y compuestos nitrogenados Lutte, *et* al. (1993).

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

En la figura 5 se muestra la variación del promedio de los diámetros polar y axial, de los frutos de lulo seleccionados y organizados en 4 grados de madurez, a partir de los datos obtenidos organizados en la tabla 3; esta variación presentó una relación positiva, la cual es establecida por la correlación Pearson r, con un valor equivalente a 0.99 y un valor positivo para la covarianza de 382,28 (Tabla 4), esto representa un incremento proporcional tanto para el diámetro como para la longitud de los frutos, durante el tiempo de medición； lo anterior resulta de la proximidad que conservan los puntos con la curva (Figura 5), indicando una relación lineal entre las variables.

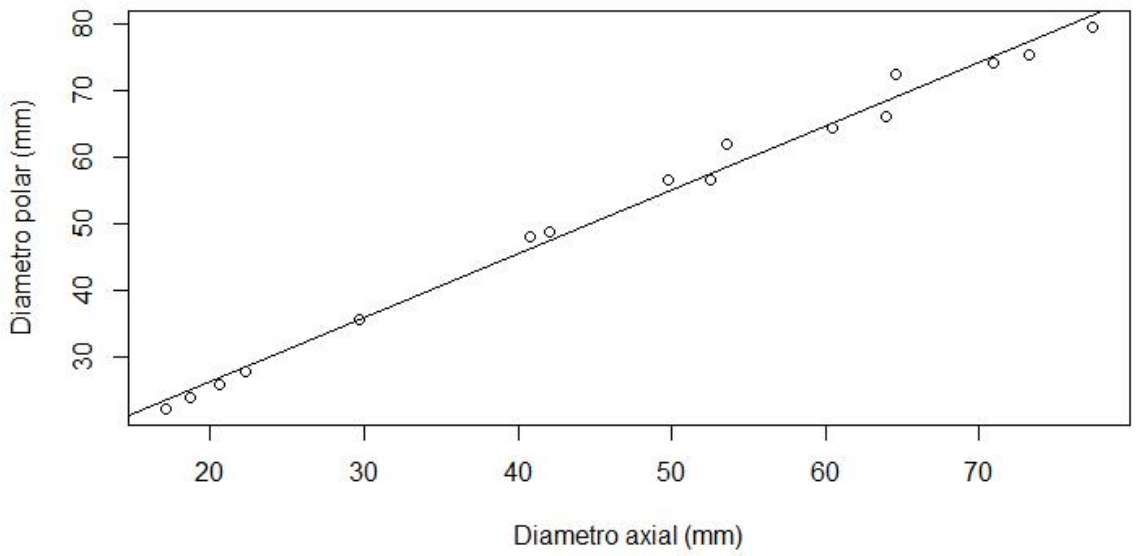

Figura 5. Curva de correlación de las variaciones en la longitud (D. polar) y diámetro (D. axial) durante el crecimiento y desarrollo de *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo)

Tabla 3. Valores (mm) registrados para el diámetro y la longitud de los frutos *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo)

Grado de madurez	Variable	Día			
		1	7	14	22
1	*Diámetro*	17,07	18,68	20,64	22,31
	Longitud	22,30	24,14	25,94	28,03
2	*Diámetro*	29,74	42,00	53,65	64,59
	Longitud	35,83	48,90	61,93	72,35
3	*Diámetro*	40,76	49,81	60,41	70,86
	Longitud	48,12	56,68	64,26	73,96
4	*Diámetro*	52,45	63,93	73,23	77,35
	Longitud	56,59	66,07	75,44	79,52

Tabla 4. Media, varianza, desviación típica (DT), covarianza y coeficiente de correlación en la longitud y el diámetro de los frutos de *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo)

Variable	Media	Varianza	DT
Diámetro	47,34	400,134	20,003
Longitud	52,5	368,332	19,191
Covarianza 382,279		**Correlación** 0,995	

En la tabla 3 se muestran los promedios de las mediciones realizadas, durante 22 días, a los diámetros axial y polar de los 15 frutos de lulo seleccionados por cada grado de madurez. En el primer grado, los frutos presentaron 17,07 y 22,30 mm en el diámetro y la longitud, respectivamente. Transcurridos 7 días, se evidenció un crecimiento de 1,53 mm en el ancho y 1,84 mm en el largo; después de 14 días el tamaño de los frutos se expandió hasta alcanzar un diámetro ecuatorial de 20,64 mm y una longitud de 25,94 mm; posteriormente, a los 22 días de medición, se encontró que los frutos habían crecido 1,67 mm de ancho y 2,09 mm de largo. Durante los 22

días de evaluación, los frutos, en el primer estado de madurez, se expandieron 5,24 mm en diámetro y 5,73 mm en longitud.

Para los frutos en segundo grado de madurez se encontró que, en la primera medición, el diámetro era de 29,74 mm con una longitud de 35,83 mm; transcurridos 7 días, se calculó que las dimensiones de los frutos habían aumentado considerablemente en 12,26 mm de ancho y 13,07 mm de largo. A los 14 días, se evidenció nuevamente un incremento significativo tanto en la longitud como en el diámetro, ya que se obtuvieron valores de 61,93 y 53,65 mm, respetivamente. Los valores registrados en el día 22 mostraron que, en 8 días, los frutos se habían expandido 10,94 y 10,42 mm de ancho y largo, respectivamente. La totalidad de las mediciones muestran que, en promedio, los frutos se expandieron 34,85 y 36,52 mm de ancho y largo, respectivamente.

Para los frutos en tercer grado de madurez se registró inicialmente un diámetro de 40,76 mm y una longitud de 48,12 mm. Al séptimo día de evaluación, se evidenció que las medidas para el ancho y largo de los frutos habían aumentado en 9,05 y 8,56 mm, respectivamente. Posteriormente, transcurridos los 14 días, se encontró que las dimensiones de los frutos se habían expandido hasta alcanzar un diámetro de 60,41 mm y un largo de 64,26 mm. En las mediciones finales, realizadas el día 22, se registró un aumento de 10,45 mm en el diámetro y 9,7 mm en la longitud. Durante 22 días, las dimensiones de los frutos aumentaron 30,01 mm en el ancho y 25,84 mm en el largo.

Al igual que en los primeros estados, los frutos de lulo en cuarto grado de madurez mostraron variaciones significativas en sus dimensiones. En el primer día se registraron valores de 52,45 y 56,59 mm para el diámetro y la longitud, respectivamente. Para el día 7 se evidenció que los frutos se habían expandido 11,48 mm de ancho y 9,48 mm de largo. Transcurridos los 14 días, se encontró que los frutos habían crecido 73,23 mm de diámetro y 75,44 mm de longitud; los valores obtenidos para el día 22 mostraron que los frutos habían experimentado un crecimiento leve, en comparación a los anteriores días, ya que se dio un aumento de 4,12 mm en el ancho y 4,08 mm de largo. En 22 días, los frutos se expandieron 24,9 mm en el eje ecuatorial y 22,93 en el eje axial.

Monteiro P. (2010) muestra resultados similares en su investigación realizada con frutos de *solanum quitoense* Lam. Var. *Septentrionale*; en su trabajo expone una ganancia significativa tanto en la longitud como en el diámetro de los frutos, durante los primeros días de evaluación. Para la longitud, encontró que el punto de curvatura máxima ocurrió a los 47,57 DAA con un valor de 55,81 mm; mientras que, para el diámetro, obtuvo el punto de curvatura máxima a los 42,26 DAA con un máximo de 55,25 mm. Al respecto, Chitarra y Chitarra (2005) y Kluge el at. (2002),

mencionan que la primera fase es predominantemente, de intensa divisa celular, la segunda fase, de expansión rápida y la tercera fase, de maduración. De acuerdo con Taiz y Zeiger (2008), durante la fase en donde se presenta un gran incremento en la longitud y el diámetro, se da el estiramiento celular y los polímeros de la pared son constantemente sintetizados, al mismo tiempo que la pared preexistente se expande.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

La figura 6 muestra la variación del promedio de los diámetros polar y axial, de los frutos de ají seleccionados y organizados en 5 grados de madurez, a partir de los datos obtenidos organizados en la tabla 5. Se observa una relación positiva, la cual es establecida por la correlación Pearson r, con un valor equivalente a 0.98 y un valor positivo para la covarianza de 103,15 (Tabla 6), lo cual establece que las dimensiones de diámetro y longitud, de los frutos, incrementan proporcionalmente a medida que transcurre el tiempo de medición; lo anterior resulta de la proximidad que conservan los puntos con la línea recta presentada en la Figura 5.

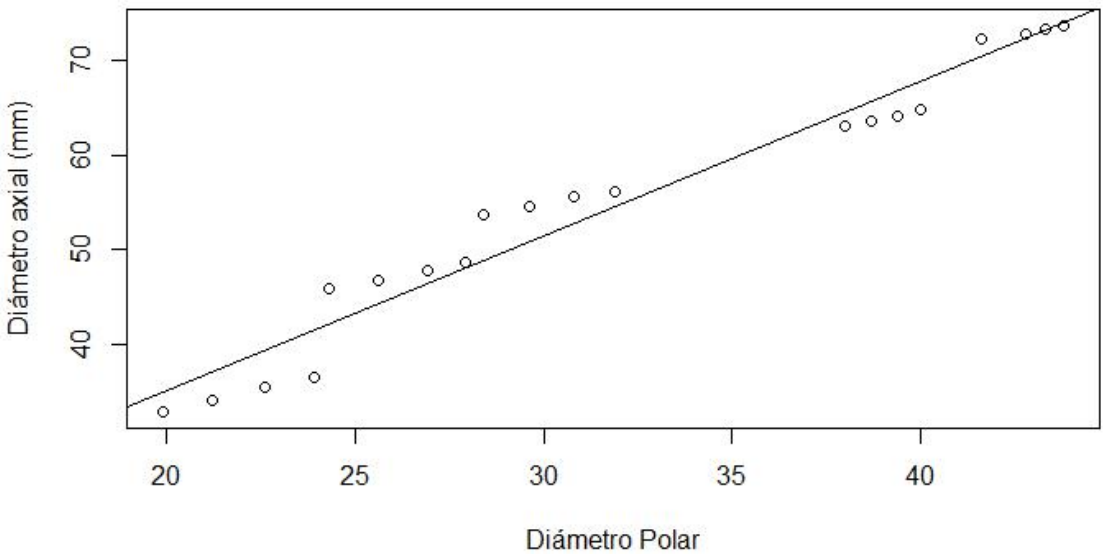

Figura 6. Curva de correlación de las variaciones en la longitud (D. polar) y diámetro (D. axial) durante el crecimiento y desarrollo de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío)

Tabla 5. Valores (mm) registrados para el diámetro y la longitud de los frutos *capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío)

Grado de madurez	Variable	Día			
		1	7	14	22
1	*Diámetro*	19,88	21,15	22,65	23,89
	Longitud	32,83	34,13	35,41	36,37
2	*Diámetro*	24,32	25,64	26,92	27,95
	Longitud	45,77	46,83	47,78	48,58
3	*Diámetro*	28,39	29,6	30,79	31,87
	Longitud	53,7	54,65	55,55	56,22
4	*Diámetro*	38,03	38,67	39,36	40
	Longitud	63,1	63,71	64,22	63,93
5	*Diámetro*	41,63	42,78	43,26	43,78
	Longitud	72,39	72,84	73,38	73,84

Tabla 6. Media, varianza, desviación típica (DT), covarianza y coeficiente de correlación en la longitud y el diámetro de los frutos de C*apsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío)

Variable	Media	Varianza	DT
Longitud	54,811	177,286	13,315
Diámetro	32,028	62,661	7,916
Covarianza 103,148		**Correlación** 0,979	

Los valores obtenidos para la variación del diámetro y la longitud en los frutos de ají en 5 estados de madurez, durante los 22 días de evaluación del crecimiento, se encuentran promediados y tabulados en la tabla 5. Los frutos seleccionados para el primer grado presentaron medidas en el ancho y el largo de 19,88 y 32,83 mm, respectivamente. A los 7 días, se evidenció que el diámetro había aumentado en 1,27 mm y la longitud en 1,30 mm; transcurridos los 14 días, los frutos se

expandieron hasta alcanzar un diámetro ecuatorial de 22,65 mm y una longitud de 35,41 mm. Pasados los 22 días de medición, se calculó que los frutos habían crecido 1,24 mm de ancho y 0,46 mm de largo. En 22 días, los frutos se expandieron 4,01 mm en el eje ecuatorial y 3,54 en el eje axial.

Los valores obtenidos, en la primera medición, para los frutos en segundo grado de madurez, fueron de 24,32 mm para el diámetro y 45,77 mm para la longitud; transcurridos 7 días, se calculó que el ancho y largo de los frutos había aumentado en 1,32 y 1,06 mm, respectivamente. Así mismo, pasados los 14 días, se evidenció nuevamente un incremento de 1,28 mm en el diámetro y 0,95 mm en la longitud; para el último día de medición se encontró que el diámetro y la longitud de los frutos habían alcanzado valores de 27,95 y 48,58 mm, respectivamente. Durante 22 días, las dimensiones de los frutos aumentaron 3,63 mm en el ancho y 2,81 mm en el largo.

Para los frutos en tercer grado de madurez se registró inicialmente un diámetro de 28,39 mm y una longitud de 53,70 mm. Pasados los 7 días, se evidenció que las medidas para el ancho y largo de los frutos habían aumentado en 1,21 y 0,95 mm, respectivamente. Posteriormente, transcurridos los 14 días, se encontró que las dimensiones de los frutos se habían expandido hasta alcanzar un diámetro de 30,79 mm y un largo de 55,55 mm. Para el día 22, se calculó un incremento de 1,08 mm en el diámetro y 0,67 mm en la longitud. La totalidad de las mediciones muestran que, en promedio, los frutos se expandieron 3,48 y 2,52 mm de ancho y largo, respectivamente.

En el primer día se registró que el diámetro y la longitud, de los frutos de ají en cuarto grado de madurez, medían 38,03 y 63,1, respectivamente. En el día 7 se evidenció que los frutos se habían expandido 0,64 mm de ancho y 0,61 mm de largo. Transcurridos los 14 días, se encontró que los frutos habían crecido hasta alcanzar un diámetro de 39,36 mm y una longitud de 64,22 mm; posteriormente, se encontró que para el día 22 el diámetro de los frutos había aumentado en 0,64 mm, mientras que la longitud disminuyó en 0,29 mm. Con base a los valores obtenidos durante 22 días, se puede establecer que, en promedio, los frutos crecieron 1,97 mm de ancho y 0,83 mm de largo.

En cuanto a los frutos en el quinto grado de madurez, se registró, para el primer día, valores de 41,63 mm de diámetro y 72,39 mm de longitud; transcurridos los 7 días de evaluación, se evidenció un crecimiento de 1,15 mm para el ancho y 0,45 mm para el largo. En las mediciones del día 14 se encontró que el diámetro y la longitud de los frutos habían aumentado en 43,26 y 73,38 mm, respectivamente. Los valores obtenidos para el día 22 mostraron que el ancho de los frutos se

expandió en 0,52 mm y el largo en 0,46 mm. Durante los 22 días de evaluación, los frutos se expandieron 2,15 mm sobre el eje ecuatorial y 1,45 sobre el eje axial.

En un estudio realizado por Barrera *et* al. (2008), con frutos de tres accesiones de C. annuum y una accesión de C. frutescens, cosechados en el trapecio amazónico de Colombia, encontraron que el crecimiento máximo de los frutos se produjo entre los 20 y 33 días después del cuajado; durante el proceso de crecimiento se observó que los frutos tenían formas alargadas u ovaladas, las cuales dependen de las condiciones ambientales o genotípicas. Así mismo, señalan que el aumento del diámetro longitudinal o ecuatorial, se acompañó con la elongación celular y la acumulación de azúcares y ácidos orgánicos como las reservas principales.

5.1.1.2. Etapa II

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos (registros fotográficos y curvas de crecimiento) en la etapa II del presente trabajo, el cual consistió en el seguimiento, durante 22 días, del proceso de crecimiento y desarrollo de tres frutos correspondientes a las especies *Vasconcellea pubescens, Solanum quitoense* var. *Septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav., seleccionados en su primer grado de madurez.

- *Vasconcellea pubescens*

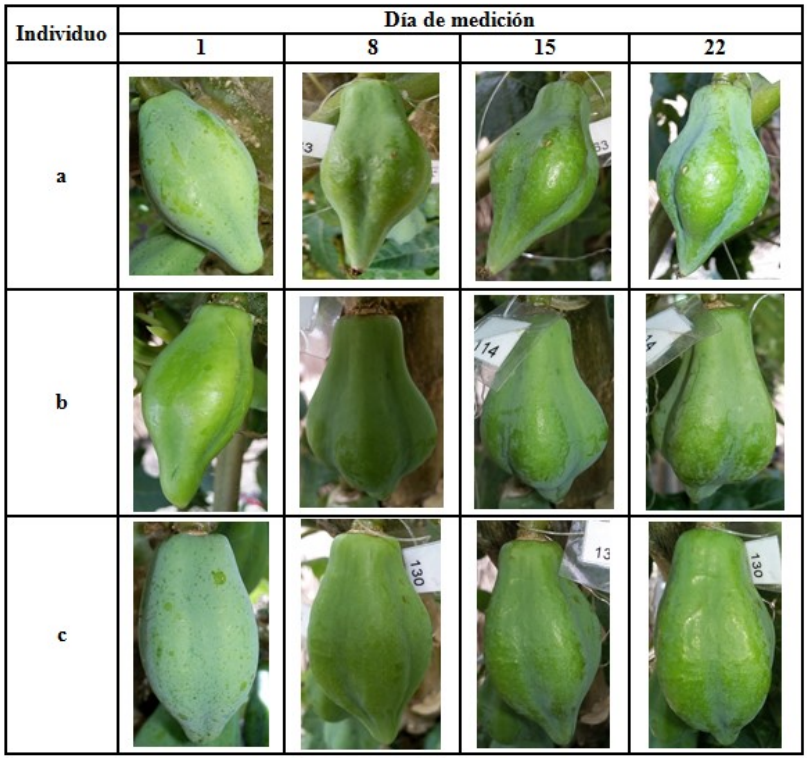

Figura 7. Registro fotográfico del proceso de crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**, pertenecientes a la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela), durante 22 días.

En la figura 7 se puede observar como los tres frutos seleccionados, de la especie *Vasconcellea pubescens*, van presentando variaciones morfológicas, a medida que transcurre el tiempo; estas variaciones se acentúan en el diámetro de los frutos y en la luminosidad del color de estos. Los frutos de esta especie, también conocida como papaya de montaña, Carica pubescens (A. DC.), C. candamarsensis, V. cundinamarsensis, Badillo (Simirgiotis *et al.,* 2009) o Chamburo (Campozano y Saltos, 2013), se caracterizan por tener una forma oblonga (Uribe *et al.* 2015); es por ello que, como se puede observar en la figura 7, la parte inferior de los frutos va aumentando gradualmente su tamaño, de manera tal que el fruto alcance su forma característica de "huevo" (Simirgiotis *et*

al., 2009) al llegar a su estado de madurez. Con respecto a las variaciones en las propiedades del color, el caso más representativo lo expone el registro fotográfico del fruto **c**, ya que en este se puede observar como el tono verde del epicarpio del fruto va ganando luminosidad durante los días de seguimiento.

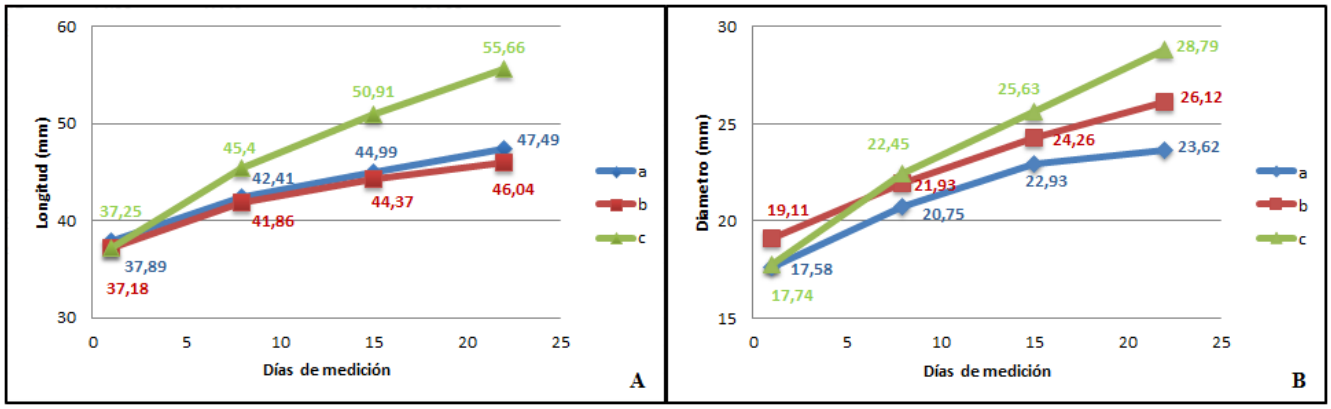

Figura 8. Variación de la A) Longitud y el B) Diámetro durante el crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**; pertenecientes a la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela).

Tabla 7. Coeficiente de determinación (R^2) de la variación de Longitud y Diámetro durante el crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**; pertenecientes a la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela)

Variable	**Coeficiente de determinación (R^2)**		
	a	**b**	**c**
Longitud	0,9763	0,9473	0,9836
Diámetro	0,93	0,9916	0,9893

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

Individuo	Día de medición			
	1	8	15	22
a				No Registrado
b				
c				

Figura 9. Registro fotográfico del proceso de crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**, pertenecientes a la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo), durante 22 días.

Antes de analizar los cambios registrados de los tres frutos seleccionados, de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*, durante su crecimiento y desarrollo, resulta importante señalar algunos datos básicos acerca de la morfología de los frutos, con el fin de que el lector pueda generar distinción entre esta y otras variedades de lulo que presentan amplia similitud.

Según estudios realizados por algunos investigadores, acerca de las variedades botánicas existentes de lulo, se han identificado dos de estas: *Solanum quitoense* var. *Quitoense* y *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*, las cuales resultan siendo las más importantes en Colombia (Cardona *et al.*, 2016) y se caracterizan por la no presencia de espinas y por la presencia de ellas, respectivamente

(Whalen *et al*., 1981; Morton, 1987); comúnmente a estas especies también se les conoce como lulo de Selva (*Quitoense*) y lulo de Castilla (*Septentrionale*) (Franco *et al.* 2002). El presente trabajo se enfocó en el estudio de la variedad que presenta espinas, es decir, la *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* o lulo de Castilla; es por ello, que en las imágenes registradas en la figura 9, se observa la presencia de vellosidades en los frutos seleccionados; estas resultan siendo una característica evolutiva que le permite a la especie sobrevivir bajo ciertas condiciones, ya que se comportan como una capa que le brinda protección al fruto del ataque de ciertos insectos. Con respecto a los cambios observados en el proceso de crecimiento y desarrollo, durante el tiempo establecido, se puede apreciar en la figura 9 como los frutos mantienen su forma globosa a medida que van creciendo; en lo que se refiere al color de la epidermis de los frutos, no se observan cambios significativos; si bien se puede apreciar una tonalidad café en las espinas, esto no es producto del proceso de crecimiento y desarrollo sino más bien de las mediciones, de diámetro y longitud, realizas con el calibrador, procedimiento que resultó siendo bastante invasivo. No obstante, cabe señalar que el color observado en los frutos coincide con lo reportado por algunos autores, "el índice de madurez de los frutos de lulo se determina visualmente por el color de la epidermis, que cambia de verde oscuro a verde claro" (Casierra *et al*., 2004) siendo el verde oscuro, el color representativo de los frutos de lulo en su primer grado de madurez.

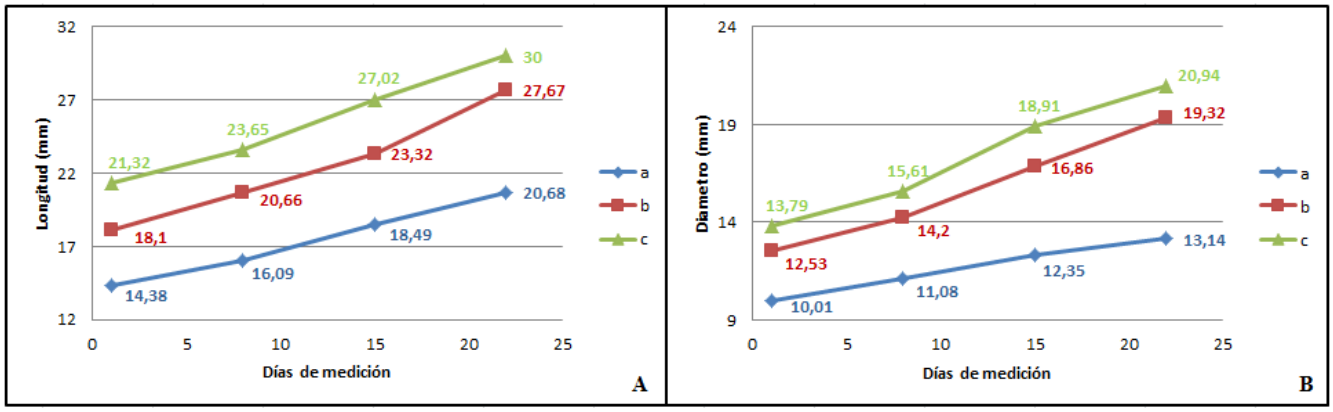

Figura 10. Variación de la A) Longitud y el B) Diámetro durante el crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**; pertenecientes a la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo).

Tabla 8. Coeficiente de determinación (R^2) de la variación de Longitud y Diámetro durante el crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**; pertenecientes a la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo).

Variable	Coeficiente de determinación (R^2)		
	a	b	c
Longitud	0,9957	0,9815	0,9952
Diámetro	0,9925	0,9915	0,9875

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

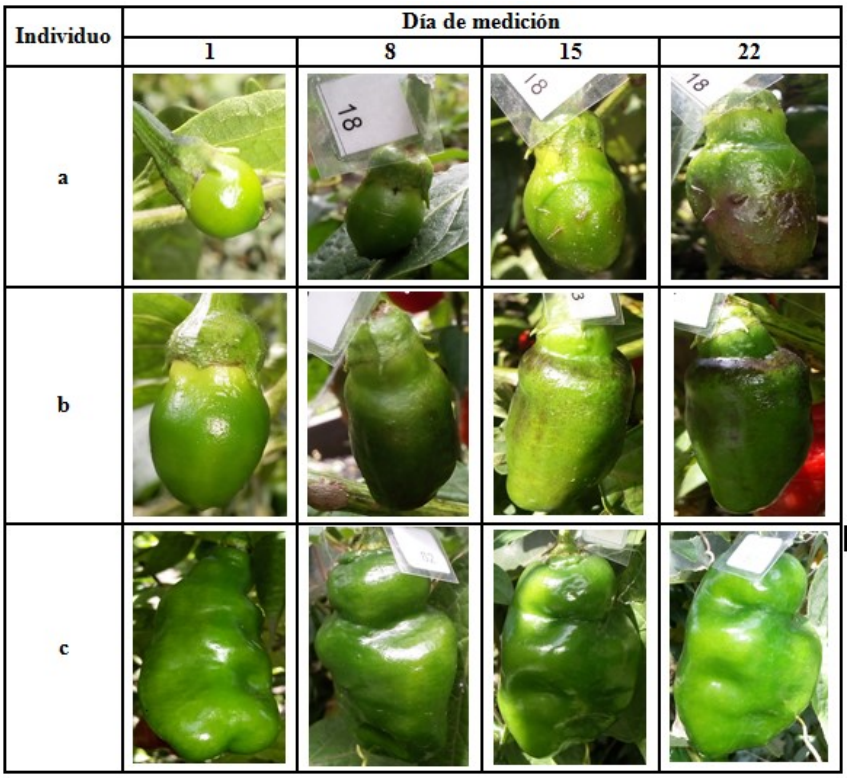

Figura 11. Registro fotográfico del proceso de crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**, pertenecientes a la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío), durante 22 días.

A partir de varias investigaciones realizadas del género Capsicum, se han identificado 35 especies; las cuales, las *Capsicum annuum*, *C. chinense* Jacq. y *C. frutescens* L., son las más importantes económicamente a nivel mundial; sin embargo, existen otras dos especies cultivadas, la *C. pubescens* Ruiz et Pav. y *C. baccatum* L., que se consumen principalmente en América Latina (Bo y Carrizo, 2015). La especie *Capsicum pubescens* Ruiz et Pav., es conocida comúnmente como "'rocoto", se cultiva en las tierras altas de Sudamérica, desde México hasta el noroeste de Argentina (Bo y Carrizo, 2015). Los frutos son bayas con una amplia gama de variaciones en tamaño, forma y color, aunque los cultivares bien definidos no se pueden delimitar (Rick, 1950; DeWitt y Bosland, 2009). Esto último se puede evidenciar en el registro fotográfico del proceso de desarrollo y crecimiento de los frutos seleccionados de la especie; en la figura 8 se observa como los frutos **a** y **b**, en el primer día de seguimiento, tenían una forma semiregular y a medida que fueron creciendo iban desarrollando una forma irregular hasta llegar a un punto en el cual los tres frutos tenían formas bastante diferentes entre sí, esto coincide con lo citado anteriormente; sin embargo, a pesar de que los frutos de esta especie presenten una amplia gama de formas, se puede establecer, como generalidad, que la forma tiende a ser triangular y campanulada (Yamamoto *et al.* 2013). El color de los frutos, que se puede apreciar en la figura 11, es verde; teniendo en cuenta que los frutos fueron seleccionados en su primer grado de madurez, el color observado coincide con lo expresado por algunos autores: "el color de los frutos, en su estado inmaduro, es verde" (Meckelmann *et al.* 2015).

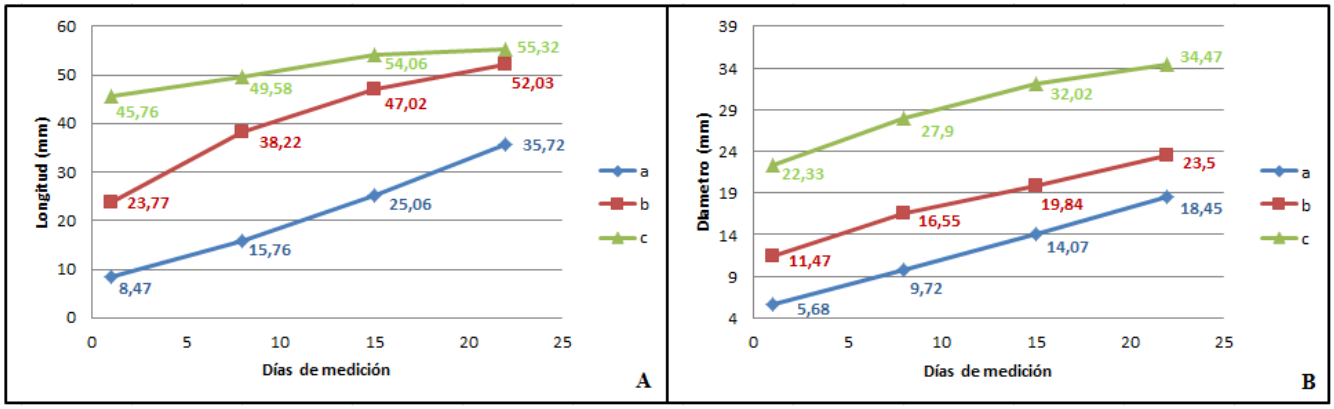

Figura 12. Variación de la A) Longitud y el B) Diámetro durante el crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**; pertenecientes a la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío).

Tabla 9. Coeficiente de determinación (R^2) de la variación de Longitud y Diámetro durante el crecimiento y desarrollo de los individuos **a**, **b** y **c**; pertenecientes a la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío).

Variable	**Coeficiente de determinación (R^2)**		
	a	**b**	**c**
Longitud	0,9931	0,9512	0,9583
Diámetro	0,9996	0,9906	0,9712

5.1.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos

5.1.2.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos durante el crecimiento y desarrollo

5.1.2.1.1. Medición de la firmeza

- *Vasconcellea pubescens*

En la figura 13 se presentan los valores obtenidos para la firmeza de los frutos seleccionados de *vasconcellea pubescens*, durante su crecimiento y desarrollo, en cuatro estados de madurez. Se observa como la firmeza va disminuyendo a medida que aumenta el grado de madurez; para el primer grado de madurez se encontró que la firmeza era de 62,5 N; para los frutos en el segundo grado, el valor fue de 57,8 N, mientras que para los frutos en el tercer y cuarto grado de madurez fue 53,24 y 49,3 N, respectivamente; calculando la diferencia de los valores de firmeza obtenidos en cada estado de madurez se encontró que, en promedio, la firmeza disminuye 4,4 N entre cada estado. Estos resultados coinciden con los reportados por Gayosso y colaboradores (2010), en donde se estableció que la firmeza de la carne de papaya tendió a disminuir con la etapa de maduración y los valores iniciales de la fruta, disminuyendo de 3.9-1.4 N

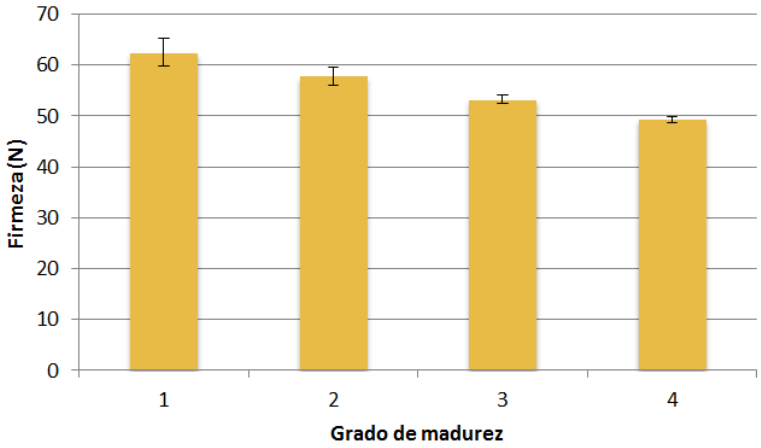

Figura 13. Variación de la Firmeza (N) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Según estudios realizados en otras variedades de papayas, la firmeza de los frutos en etapas tempranas se debe a la estructura rígida de la cual es responsable las protopectinas altamente esterificadas generalmente insolubles en agua (Badui, 2013). Por otra parte, el ablandamiento durante la maduración se debe a la actividad de hidrólisis de los polisacáridos que conduce a una modificación de la composición de las paredes celulares (Yao *et* al., 2014)

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

A partir de los resultados obtenidos para la firmeza, representados en la figura 14, se observa que esta variable tiene un comportamiento ascendente para los frutos en los primeros 3 grados de madurez, y descendente entre los grados de madurez 3 y 4. Para los frutos en el primer estado de madurez se obtuvo un valor de 52.3 N y para los frutos en el segundo grado fue de 72.4 N, lo que significa un aumento de 20.1 N; esta variación se dio de forma similar entre los estados 2 y 3, ya que se encontró un aumento de 15.5 N. No obstante, la firmeza, para los frutos en el cuarto grado de madurez, disminuyó 17.6 N.

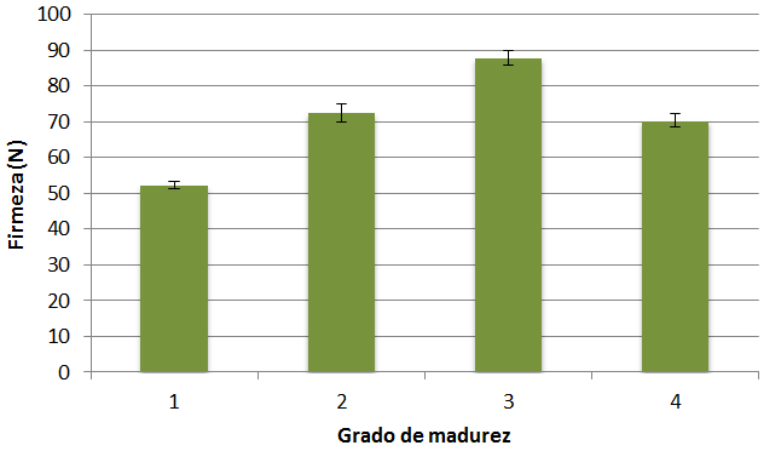

Figura 14. Variación de la Firmeza (N) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

En el trabajo realizado por Casierra-Posada et al. (2004) también se encontraron diferencias altamente significativas para los valores de firmeza entre cada estado de madurez; al respecto, ellos señalan que las diferencias encontradas en la firmeza de los frutos, se debieron al efecto de la temperatura y la humedad relativa, así como a los cambios bioquímicos internos que conllevan a la maduración de los frutos dependiendo del grado de maduración en que fueron cosechados, estos factores, actuando de manera simultánea, afectaron positiva o negativamente la firmeza de los frutos. Sin embargo, en un estudio realizado por Almanza y colaboradores (2016) reportaron que la firmeza, en la especie *Solanum quitoense* Lam, aumentó en los primeros grados de madurez, hasta alcanzar un máximo de 80 N aproximadamente, y posteriormente se dio una disminución por debajo de los 70 N; lo cual se asemeja a los resultados reportados en el presente trabajo.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

A partir de los resultados obtenidos, representados en la figura 15, se observa una relación inversamente proporcional entre los valores de firmeza obtenidos para los frutos de ají y su grado de madurez. Para los frutos correspondientes al primer estadio, se encontró un valor máximo de 37.55 N en la firmeza; en el segundo grado de madurez se encontró que la firmeza había disminuido en 11.9 N, respecto a la medición en el primer estado; posteriormente, la firmeza siguió disminuyendo gradualmente, obteniéndose así valores de 18.19, 12.02 y 7.27 N para el tercer, cuarto y quinto grado de madurez, respectivamente.

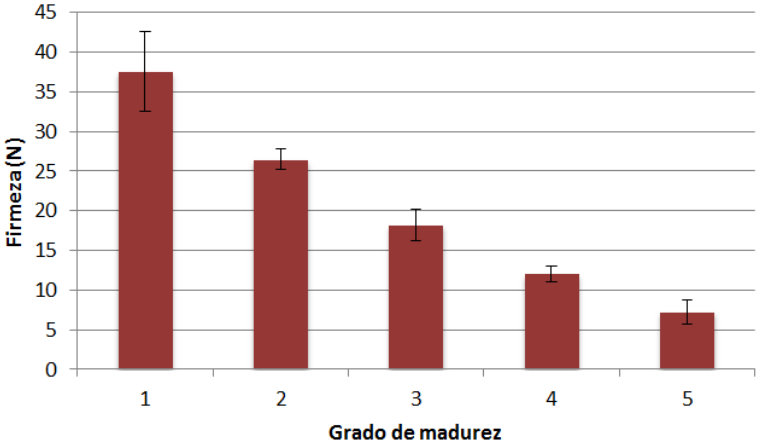

Figura 15. Variación de la Firmeza (N) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

En un estudio realizado por Tadesse y colaboradores (2002) se obtuvo que la firmeza de los pimientos rojos cv. Domino aumentó con el tamaño de la fruta; ellos expresan que la firmeza de la fruta aumenta con la edad del fruto, al igual que el grosor del pericarpio. Sin embargo, según el informe realizado por Tut *et* al. (2013) los frutos del chile habanero (*capsicum chinense*), en diferentes variedades, presentan una disminución significativa en la firmeza a medida que el grado de madurez aumenta; de esta forma, los frutos de la variedad Mayapan, presentan una firmeza de 11 a 13 N cuando están verdes y de 5.7 a 6.4 N cuando están maduros, para la variedad Jaguar, va de 8.6 a 9.7 N cuando los frutos están verdes y de 5.1 a 6.6 N cuando los frutos están maduros y para la variedad Calakmul, es de cerca de 11 N en los frutos verdes y de cerca de 5 N en los frutos maduros; lo cual, se asemeja a los resultados obtenidos en el presente estudio.

5.1.2.1.2. Determinación de Solidos solubles totales (°Brix)

- *Vasconcellea pubescens*

En la figura 16 se observa como la variación de los sólidos solubles totales, en los frutos de papayuela, va en aumento a medida que el grado de madurez es mayor. Para los frutos en el primer, segundo, tercero y cuarto grado de madurez se obtuvo un valor de 3.0, 3.6, 4.4 y 5.2 °Brix, respectivamente; a partir del cálculo de la diferencia entre los valores obtenidos para cada grado madurez, se sabe que, en promedio, los SST aumentan a razón de 0,7 °Brix entre cada grado de madurez. Estos resultados se asemejan a los reportados por Barragán *et* al. (2018) con los cuales

indicaron un aumento gradual de TSS cuando los frutos de color verde cambiaban a color rojo durante la maduración en el árbol. Así mismo, se ha encontrado que los valores de TSS en etapas posteriores pueden alcanzar valores superiores a 10.96 ± 1.30% para la fruta en la etapa de madurez completa (Corral Aguayo et al., 2008)

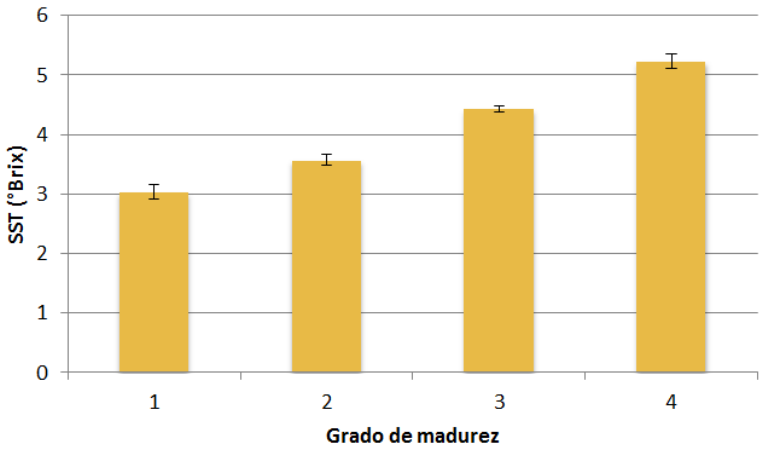

Figura 16. Variación de los SST (°Brix) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Según Thompson A. K. (2015) durante los cambios relacionados con la maduración en la piel y el color de la pulpa, el TSS aumenta en la pulpa mientras se ablandaba debido a una degradación de los componentes de la pared celular y una acumulación de carbohidratos de bajo peso molecular. Consecuentemente, durante la maduración en el árbol, los frutos desarrollan hasta 40% del contenido de TSS; esa tendencia lineal de los valores de TSS durante la maduración se atribuye a una mayor producción de azúcares Barragán *et* al. (2018). Igualmente, se ha demostrado previamente que los azúcares (principalmente sacarosa) comienzan a acumularse aproximadamente 110 días después de la antesis, durante los últimos 28-42 días de desarrollo de la fruta (Zhou y Paull, 2001)

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

En la figura 17 se observa un comportamiento creciente de los sólidos solubles totales durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de lulo de paramo. Para los frutos en el primer grado de madurez se obtuvo un valor de 3.97 °Brix, el cual aumentó en 0.9 °Brix para los frutos en el

segundo estado de madurez; para el tercer grado se encontró que los SST habían aumentado significativamente hasta alcanzar un valor de 7.8 °Brix y finalmente, para los frutos en el cuarto grado de madurez, se alcanzó un valor máximo de 9,1 °Brix.

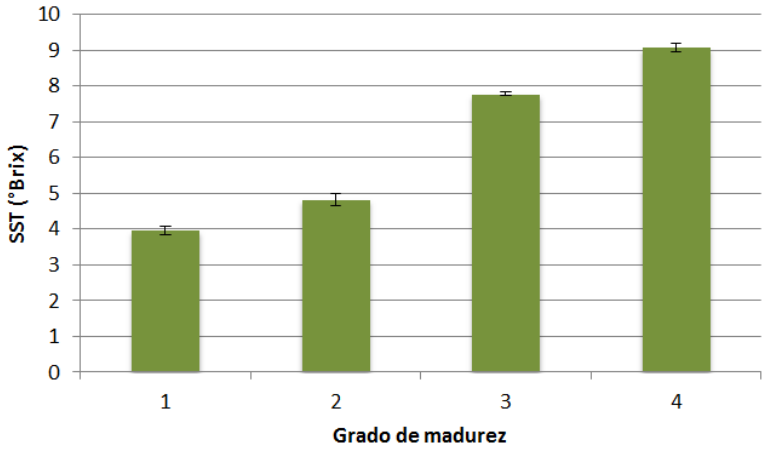

Figura 17. Variación de los SST (°Brix) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

Estos resultados son similares a los reportados por Martínez *et* al. (2017) para la especie *Solanum quitoense* Lam, en donde encontraron que, para los 3 grados de madurez establecidos, verde, semi-maduro y maduro, la variación para los SST fue del orden de 6.5, 8.4 y 10.1 °Brix, respectivamente. Igualmente, Mejía y colaboradores (2012) encontraron que los sólidos solubles totales se incrementaron a medida que el fruto maduraba Al respecto, Rodríguez y Restrepo (2011) mencionan que, durante el proceso de maduración, los sólidos solubles aumentan cuando hay degradación de polímeros de carbohidratos insolubles en moléculas de carbohidratos simples y solubles; así mismo, Prasanna *et* al. (2007) indican que las protopectinas de la pared celular se hidrolizan a pectinas solubles y contribuyen a la mayor concentración de sólidos solubles durante el proceso de maduración

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

El comportamiento de los sólidos solubles totales, para los frutos de ají en los 5 grados de madurez, fue ascendente, según lo representado en la figura 18. Inicialmente, se encontró que los frutos en primer grado de madurez tenían el valor mínimo de SST, correspondiente a los 3.50 °Brix, mientras

que para los frutos en el segundo estadio el valor de los SST fue de 3.83 °Brix. Entre los grados de madurez 3 y 4, se dio un cambio bastante notorio; ya que se obtuvo 4.13 °Brix para los frutos en el tercer grado y 5.00 °Brix para los frutos en el cuarto estadio, lo que significó un aumento de 0.87 °Brix. Finalmente, el valor máximo obtenido se registró en los frutos correspondientes al último grado de madurez, el cual fue de 5.37 °Brix.

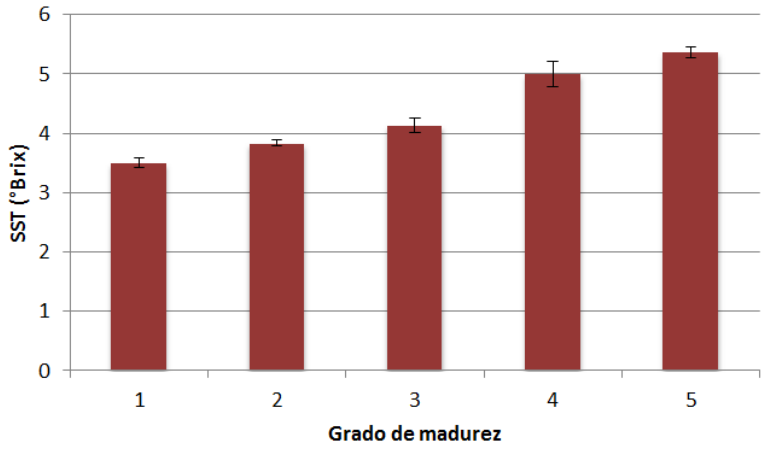

Figura 18. Variación de los SST (°Brix) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

Estos resultados son similares a los reportados por Tadesse et al. (2002); ya que observaron que los SST, del pimiento rojo cv. Domino, aumentaron ligeramente del 5 al 6% durante las 2-6 semanas posteriores a la antesis, y se evidenció un aumento rápido del 6 al 8% durante la maduración de la fruta. Al respecto, ellos mencionan que el aumento de los SST, en el pimiento dulce, es probablemente el resultado del aumento de la acumulación de hexosa durante la maduración de la fruta, ya que existe una estrecha correlación positiva entre el aumento de SST y azúcares solubles. Igualmente, Antoniali y colaboradores (2007) encontraron que los sólidos solubles totales, en el pimiento amarillo "Zarco HS", aumentaron a medida que aumentaba la maduración de la fruta, esto debido a la mayor degradación o biosíntesis de los polisacáridos y la acumulación de azúcares.

5.1.2.1.3. Determinación de pH

- *Vasconcellea pubescens*

Los resultados obtenidos para los valores de pH están representados en la Figura 19; allí se observa como la variación del potencial de Hidrogeno tiene un comportamiento descendiente a medida que el grado de madurez aumenta. De esta forma se tiene que para los frutos de papayuela en el primer grado de madurez el valor de pH fue de 5.3, en el segundo grado fue de 4.9, en el tercero de 4.4 y en el último estado de madurez fue de 3.9; a partir de estos resultados se podría establecer que, a medida que los frutos de papayuela alcanzan su estado de madurez, la acidez resulta siendo mucho mayor. No obstante, en otros estudios han reportado que el pH varía proporcionalmente con el grado de madurez; es decir que, a mayor estado de madurez mayor será el pH en los frutos.

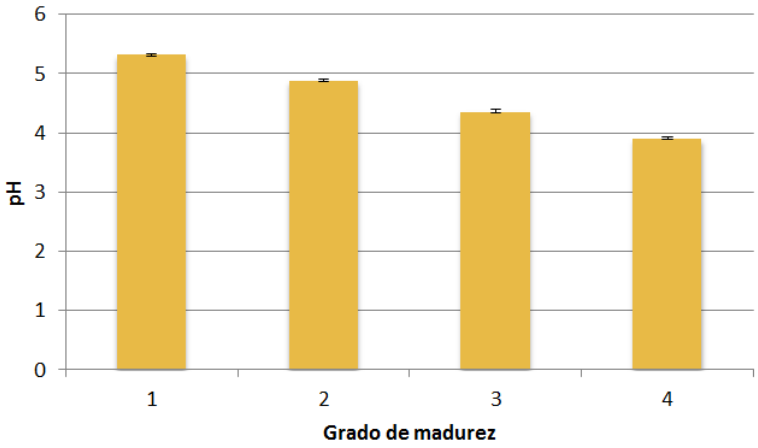

Figura 19. Variación del pH durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Siguiendo lo anterior, Moya *et* al. (2004) encontraron que a medida que se desarrolla la maduración de la papaya de montaña *(V. pubescens)*, se observa un aumento lento en el pH; así mismo, Barragán *et* al. (2018) mostraron que los valores de pH, para la especie C. papaya, tuvieron cambios significativos durante la maduración y que el aumento en el pH se debió a una disminución en la cantidad de iones de hidrógeno proporcionados por los ácidos orgánicos durante el proceso de maduración.

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

Los valores obtenidos de pH para los cuatro grados de madurez se muestran en la figura 20. Se observa como el potencial de hidrogeno va disminuyendo a medida que el grado de madurez aumenta; para los frutos seleccionados en el primer grado de madurez se obtuvo que el pH, en promedio, fue de 5.44 y se dio una disminución de 0.77 cuando hizo la medición con los frutos en el segundo estado; en el tercer grado de madurez se obtuvo un valor 3.92 y finalmente, para los frutos en el cuarto grado de madurez se encontró que el pH tenía un valor mínimo de 3.65.

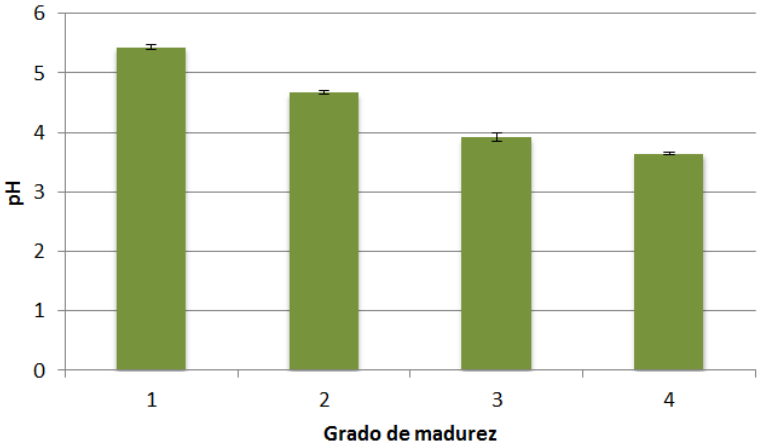

Figura 20. Variación del pH durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

Este comportamiento descendente del pH también es reportado por Martínez *et* al. (2017) para los estados de madurez verde, semi-maduro y maduro, en donde obtuvieron valores de 3.54, 3.21 y 3.16, respectivamente. No obstante, otros autores como Mejía y colaboradores (2012) observaron que el pH aumentó en el estadio 5 e indicaron que este aumento estuvo dado por la disminución de la concentración de iones H+ vacuolar y el aumento de aminoácidos libres.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

La figura 21 representa la variación de pH de los frutos de ají en 5 estados de madurez; allí se observa como los valores obtenidos van disminuyendo a medida que el grado de madurez aumenta. De esta forma, se obtuvo que, para los frutos en el primer estado de madurez, el pH correspondió

al valor máximo valor obtenido de 5.37; posteriormente, se encontró una variación significativa de pH entre el primer y segundo grado ya que, en este último, el valor de pH disminuyó hasta alcanzar un valor de 5.22. Seguidamente, para los frutos en estado de maduración 3, 4 y 5, se siguió evidenciando una disminución de pH, con valores de 5.15, 5.04 y 5.0, respectivamente.

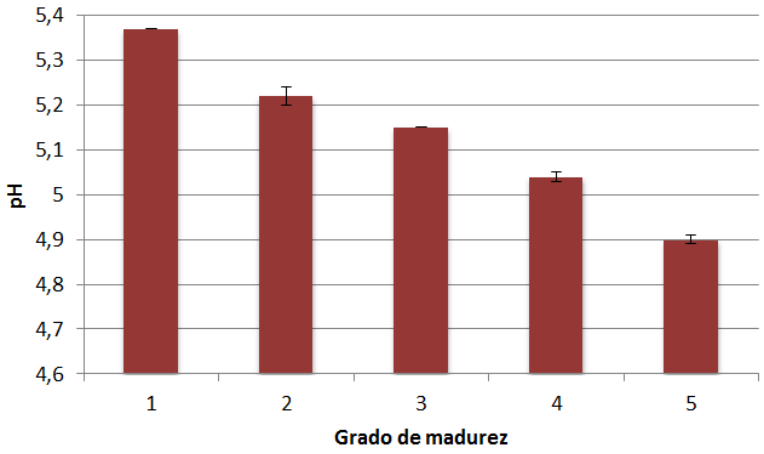

Figura 21. Variación del pH durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

Méndez et al. (2004) encontraron que los frutos de los materiales evaluados tuvieron un pH ácido (entre 5,5 y 6,2) y que, similar a los resultados obtenidos para el presente estudio, se evidenció un comportamiento descendente hasta llegar al estado de madurez fisiológica; ellos mencionan qué esos cambios de pH son ocasionados por la salida de ácidos orgánicos de la vacuola, lo cual se relaciona con el cambio en la coloración del fruto.

5.1.2.1.4. Determinación de acidez titulable

- *Vasconcellea pubescens*

A partir de los resultados obtenidos, los cuales se encuentran representados en la figura 22, se encontró que la acidez titulable aumentaba significativamente a medida que el grado de madurez en los frutos de papayuela era mayor. Para el primer grado de madurez se obtuvo el valor mínimo

en porcentaje de ácido cítrico; para los frutos en el segundo, la concentración de ácido cítrico se incrementó en 0,44% respecto al valor en el primer estado. Posteriormente, se siguió evidenciando un aumento significativo en los frutos seleccionados para el tercer y cuarto grado de madurez, ya que se calculo una acidez titulable de 0,97 y 1,13%.

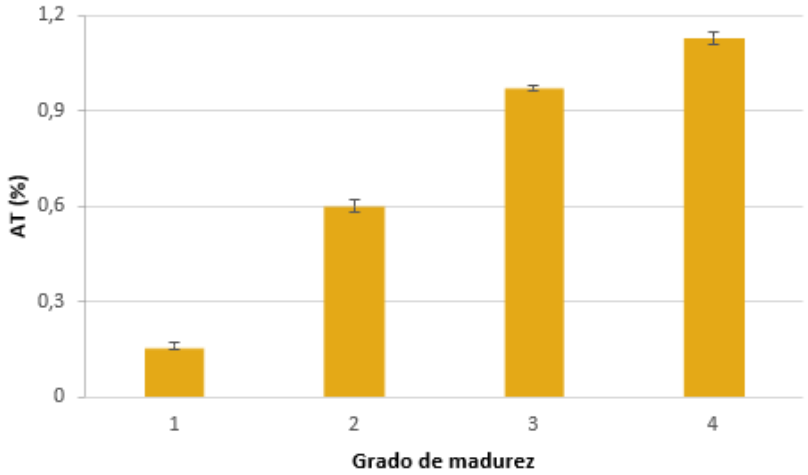

Figura 22. Variación de la acidez titulable (AT) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Este incremento de la acidez titulable también fue reportado por Barragán *et* al. (2018) en su estudio realizado con la especie *Carica papaya*; ellos encontraron que la acidez titulable mostró un aumento significativo en las primeras etapas de maduración, indicando así, un mayor contenido de ácido cítrico en los frutos maduros. De acuerdo con Lazan et al. (1989) la acidez titulable aumenta con la maduración del fruto hasta aproximadamente el 75% de la piel amarilla, luego disminuye. No obstante, Moya *et* al. (2004) encontró que los valores de la acidez titulable en la papayuela se habían reducido, de forma general, en los diferentes estados de madurez.

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

En la figura 23 se encuentran representados los resultados obtenidos para la variación de la acidez titulable en los frutos de lulo, clasificados en cuatro grados de madurez. Allí se observa un incremento significativo entre los estados 1,2 y 3,4, ya que la concentración de ácido cítrico aumenta en 0,62 y 0,67%, respectivamente. Por lo contrario, se obtuvo que en los estados 2,3 la

acidez titulable disminuyó en 0,16%. La concentración máxima de ácido cítrico se encontró en los frutos seleccionados para el cuarto grado de madurez.

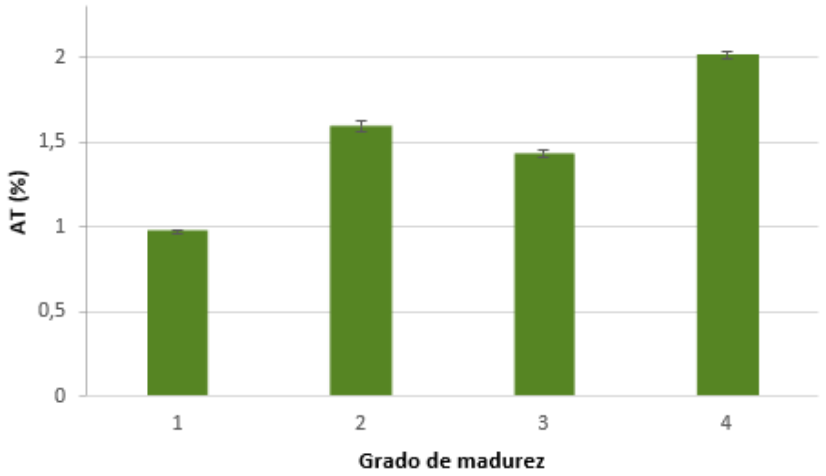

Figura 23. Variación de la acidez titulable (AT) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

Resultados similares han sido reportados por Ochoa y colaboradores (2016), en donde encontraron que la AT aumentó rápidamente entre los 60 y los 160 DDA y, luego, disminuyó durante la etapa de maduración; ellos mencionan que el aumento de la ATT hasta la maduración se deba a un aumento en la actividad de la enzima citrato sintasa (CS). Igualmente, Almanza *et* al. (2016) reportaron un comportamiento ascendente de la AT, para las variedades de lulo Chonto y Criollo, hasta los 120 dda; posteriormente, observaron un descenso y estabilización en los valores hasta el momento de la cosecha. González et al. (2014) informan que la reducción en la acidez puede ser consecuencia de la degradación de los ácidos orgánicos en los procesos de respiración, mecanismo vital que ocurre durante la etapa de maduración del fruto; lo anterior explicaría el aumento y disminución en la AT.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

La acidez titulable, de los frutos de ají, mostró una tendencia hacía el aumento conforme aumentaba el grado de madurez. En la figura 24 se observa como la concentración de ácido cítrico aumentó paulatinamente entre los tres primeros grados de madurez; en promedio, la AT aumentó

0,05% entre los estados 1,2 y 3. Para los frutos en el cuarto grado de madurez se encontró que la AT se había incrementado significativamente, obteniendo una variación de 0,16%; así mismo, en los resultados obtenidos para los frutos en el ultimo estado de madurez, se evidenció un ligero aumento, hasta alcanzar el valor máximo de 0,51%.

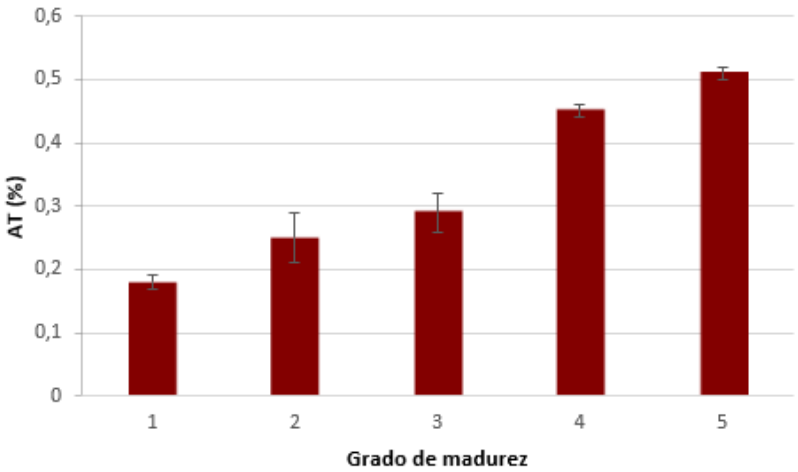

Figura 24. Variación de la acidez titulable (AT) durante el crecimiento y desarrollo de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

Estos resultados también han sido reportados por Antoniali *et* al. (2007); ellos encontraron que la acidez titulable de los pimientos amarillos aumentó a medida que el grado de madurez era mayor; ellos mencionan que, para los pimientos totalmente verdes, los ácidos orgánicos están presentes en pequeñas cantidades, ya que el proceso de maduración aún no ha comenzado, presentando diferencias en relación con las otras etapas de maduración. Igualmente, Rubio *et* al. (2009) informaron que la AT, en los frutos de *capsicum annuum* L., se incrementó conforme aumentaba el estado de madurez, obteniendo así un valor de 0,10 y 0,27% para los frutos verdes y rojos, respectivamente.

5.1.2.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en poscosecha

5.1.2.2.1. Medición de la firmeza

- *Vasconcellea pubescens*

Los valores obtenidos para la firmeza de los frutos durante los días de poscosecha se muestran en la figura 25. Allí se aprecia un comportamiento decreciente en la firmeza a medida que transcurren los días de almacenamiento; entre el primer y tercer día se da una disminución de2 N. Después de 16 días de almacenamiento, se encontró que la firmeza había disminuido de forma significativa en 13,3 N. Estos resultados son similares a los reportados por Gaete *et* al. (2009) en donde exponen que la firmeza de la fruta disminuyó rápidamente durante los primeros días de vida útil, con valores mínimos de firmeza alcanzados después de 7 d y que en total se perdió más de 7N de firmeza durante todo el proceso de ablandamiento.

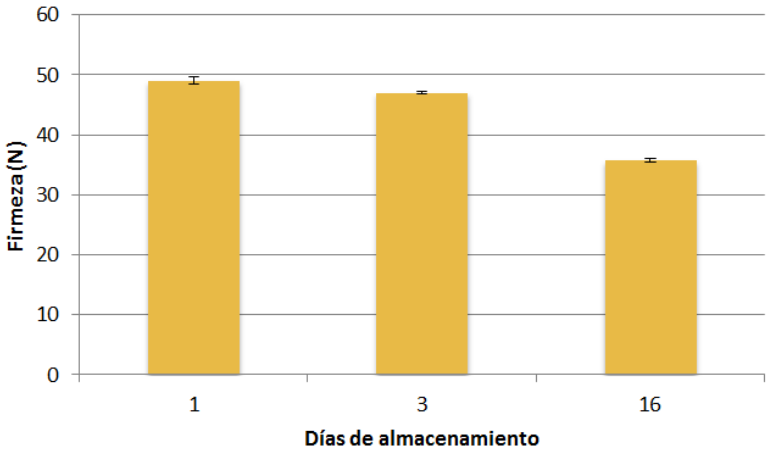

Figura 25. Variación de la Firmeza (N) durante poscosecha de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Según Barragán *et* al. (2018) la excesiva maduración asociada con el ablandamiento es una de las principales causas de pérdida poscosecha, durante el almacenamiento. En este contexto, se ha descrito que los aspectos moleculares de las fracciones de polisacáridos y el metabolismo de las paredes celulares producidas por enzimas están involucrados en este proceso (Manrique y Lajolo, 2004; Sañudo-Barajas et al., 2009). Así mismo, se ha encontrado que la pérdida de firmeza, debida

al metabolismo de carbohidratos en la pared celular durante el almacenamiento, está asociada con una mayor susceptibilidad a la infección por hongos patógenos (Mahmud *et* al. 2008)

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

A partir de la figura 26 se puede observar que la firmeza, de los lulos almacenados a temperatura ambiente, disminuyó a medida que transcurría el tiempo de poscosecha. En el primer día de cosecha, se obtuvo un valor máximo de 55.6 N; transcurridos los 3 días de almacenamiento, este valor disminuyó en 12.1 N; posteriormente, al hacer la medición en el día 8 se encontró que la firmeza de los frutos había disminuido hasta alcanzar un valor de 37.2 N; finalmente, en el día 16, se alcanzó el valor mínimo promedio de 26.3 N.

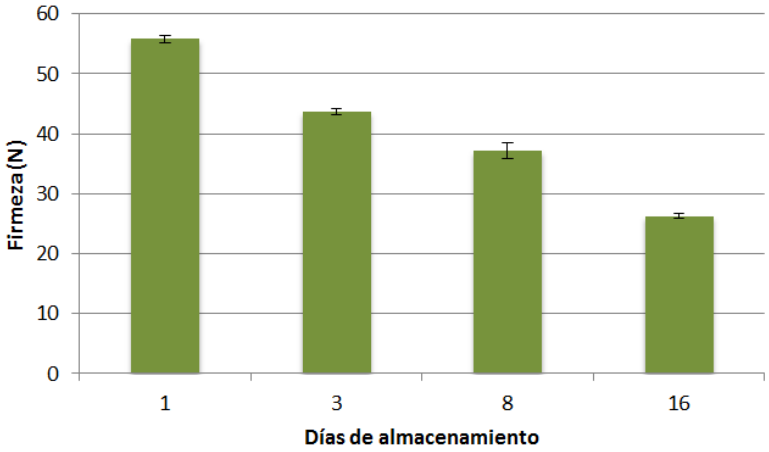

Figura 26. Variación de la Firmeza (N) durante poscosecha de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

Este comportamiento de la firmeza durante los días de poscosecha también ha sido informado por Huyskens-Keil *et* al. (2001) para la especie *Solanum quitoense* Lam, en donde encontraron que la firmeza de la fruta disminuyó durante el almacenamiento de 12 días; sin embargo, también encontraron que la firmeza de las frutas envueltas en la película, utilizada en su tratamiento, había disminuido menos que en las no tratadas. Igualmente, ellos concluyen que el ablandamiento de la fruta se retardó por la envoltura de la película, debido a un intercambio limitado beneficioso de vapor de agua, que conduce a una HR más alta alrededor de la fruta, y por lo tanto a una tasa de transpiración reducida.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

En la figura 27 se puede observar que la firmeza de los frutos de ají almacenados a temperatura ambiente disminuyó a medida que transcurría el tiempo de poscosecha. En el primer, se obtuvo el valor máximo registrado, el cual fue de 26.0 N; transcurridos los 3 días de almacenamiento, este valor disminuyó en 2.3 N; posteriormente, al hacer la medición en el día 8 se encontró que la firmeza de los frutos había disminuido hasta alcanzar un valor de 21.0 N y finalmente, en el día 16, se evidenció una disminución considerable, ya que el valor para la firmeza de los frutos, en el ultimo día de almacenamiento, fue de 15.7 N.

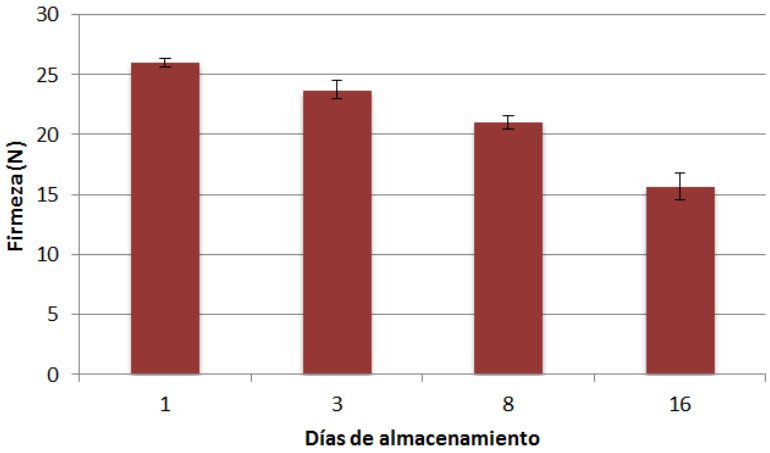

Figura 27. Variación de la Firmeza (N) durante poscosecha de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

Según lo reportado por Espinosa et al. (2010), en el estudio realizado con frutos de la especie Capsicum pubescens Ruíz y Pavón, la pérdida de firmeza se presentó a la cuarta semana de exposición bajo condiciones de ambiente; a partir de lo anterior, ellos sugieren que el almacenamiento a temperatura ambiente provocó un incremento en la producción de CO2 y etileno del fruto, y con ello mayor susceptibilidad a enfermedades y permeabilidad de membranas celulares; así mismo, concluyen que los pimientos almacenados a temperaturas mayores a 7.5 ºC pierden más agua y se arrugan, mientras que a dicha temperatura pueden alcanzar una vida útil de 3 a 5 semanas. Igualmente, en la tesis presentada por Opoku Edusei (2011), se reporta que la firmeza de los frutos desempacados, de la especie *Capsicum* sps, disminuyó drásticamente al final del período de almacenamiento; Opoku también observó que los frutos desempacados se

deshidrataron, se arrugaron, se endurecieron y se volvieron menos firmes al final del período de almacenamiento.

5.1.2.2.2. Determinación de Solidos solubles totales (°Brix)

- *Vasconcellea pubescens*

A partir de los resultados obtenidos, representados en la figura 28, se puede observar una variación significativa en los sólidos solubles totales de los frutos de papayuela durante los días de almacenamiento. Para el primer día se obtuvo un valor de 6.7 °Brix; posteriormente, transcurridos los 3 días de poscosecha, se dio un aumento de 0.7 °Brix. Finalmente, al llegar a los 16 días de almacenamiento se dio una disminución considerable respecto al valor obtenido en el tercer día, ya que los SST disminuyeron en 1.9 °Brix.

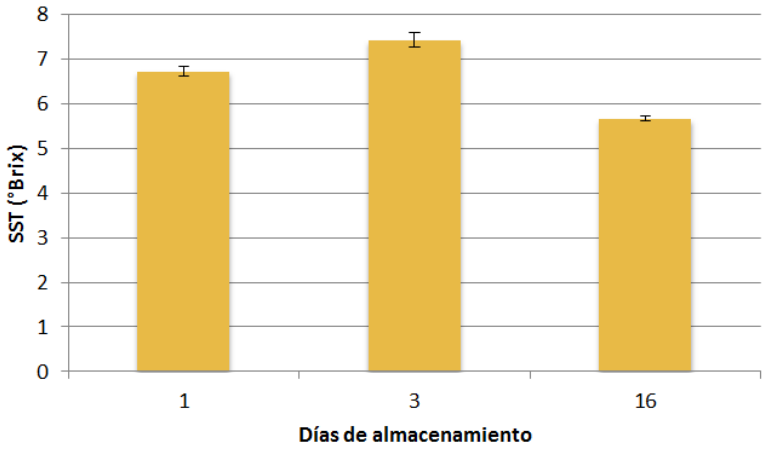

Figura 28. Variación de los SST (°Brix) durante poscosecha de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Al respecto, varios autores como Cheour *et* al. (1990) y Gayosso *et* al. (2010) informaron que la concentración de azúcares libres aumentó progresivamente con el almacenamiento. Es probable que la inconsistencia en los resultados obtenidos esté dada por una mala selección de fruto al momento de la cosecha ya que, como lo menciona Umaña *et* al. (2011) en su trabajo realizado con la papaya hibrida Pococí, los frutos se deben cosechar hasta que presenten un mínimo de color amarillo, de lo contrario, la maduración no es la adecuada y no llegan a alcanzar los azúcares mínimos requeridos para que tengan buen sabor, lo que quizás es más limitante con el

almacenamiento a 14°C. Así mismo, se pudo deber a la temperatura de almacenamiento, ya que como menciona Nunes et al., (2006) almacenar la fruta a temperaturas bajas o altas puede afectar negativamente al TSS, como resultado de la aceleración de la maduración. En ultimas, el contenido de SST de la fruta madura debe ser de al menos 11.5% para cumplir con el grado de mercado (Thompson A. K., 2015).

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

Los resultados obtenidos para los sólidos solubles totales están representados en la figura 29; allí se observa que el comportamiento de estos no es claro, ya que inicialmente, en el primer día de medición se obtuvo un valor de 9.2 °Brix, el cual disminuyó en 8.1 °Brix según las mediciones obtenidas en el día 3; pasados los 8 días de almacenamiento se dio un incremento de los SST hasta alcanzar un máximo de 9.5 °Brix y posterior a ello, con las mediciones realizadas en el día 16, se encontró que estos habían disminuido nuevamente hasta alcanzar el mínimo registrado de 7.6 °Brix.

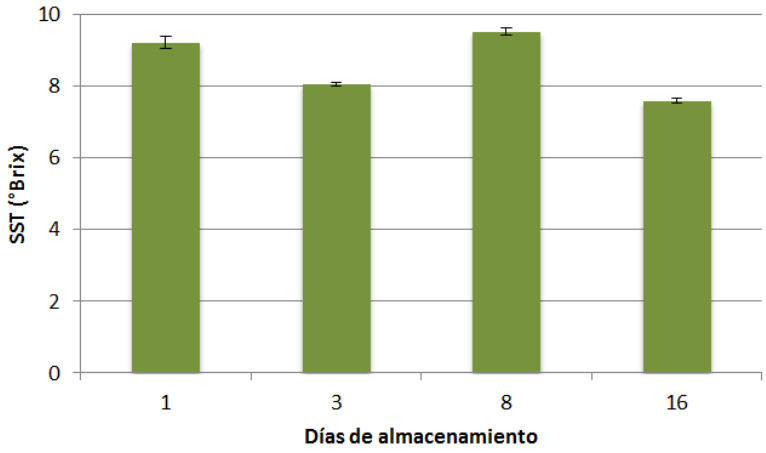

Figura 29. Variación de los SST (°Brix) durante poscosecha de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

En el estudio realizado por Huyskens-Keil *et* al (2001) se informó que los SST, en los frutos de *solanum quitoense* Lam., habían permanecido estables durante la vida útil; mientras que Díaz y Manzano (2000) reportan que la concentración de solidos solubles disminuyó cuando se aumentó la temperatura de almacenamiento. Según lo reportado por Galvis y Herrera (1999), los sólidos

solubles totales, para los frutos de lulo, se incrementan durante el periodo de maduración, variando de 7,8 a 9,3 entre el primer y el séptimo día después de la cosecha; así mismo, informan que los valores para los SST se incrementan también en proporción directa con el grado de maduración en el cual fueron cosechados los frutos.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

Los resultados obtenidos para los sólidos solubles totales en los frutos de ají están representados en la figura 30. Allí se observa que el comportamiento de estos tiene una tendencia lineal ascendente; no obstante, el valor obtenido a los 3 días de almacenamiento, es disonante respecto a los demás valores; ya que inicialmente, en el primer día de medición se obtuvo un valor de 5.5 °Brix, el cual disminuyó en 0.2 °Brix según las mediciones obtenidas en el día 3; posteriormente, a los 8 días de almacenamiento se encontró un incremento de los SST hasta alcanzar un valor de 6.7 °Brix y finalmente, con las mediciones realizadas en el día 16, se encontró que estos habían aumentado hasta alcanzar el máximo registrado de 7.0 °Brix.

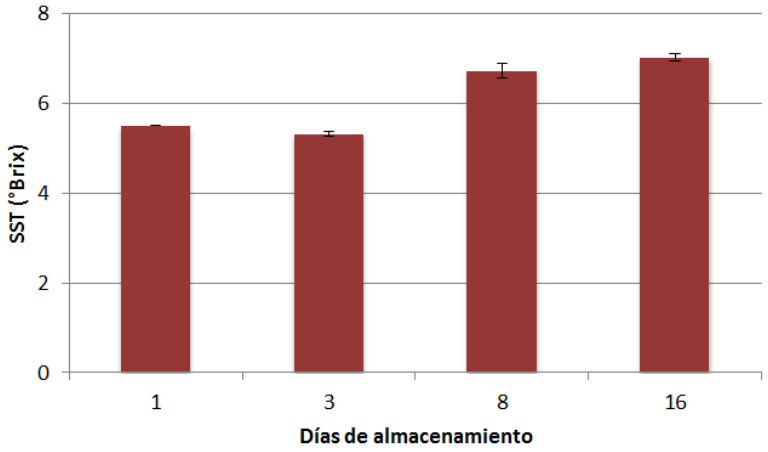

Figura 30. Variación de los SST (°Brix) durante poscosecha de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

El comportamiento de los SST que aquí se reporta es similar a lo obtenido por Pinedo et al. (2017); ya que observaron una tendencia al aumento de SST en los primeros 15 días de almacenamiento. Al respecto, mencionan que esta tendencia ocurre porque los SST aumentan a medida que la fruta va madurando, debido a la degradación y biosíntesis de polisacáridos y la acumulación de azúcares

simples; igualmente, mencionan que la acumulación de azúcares en frutos no climatéricos se asocia con el desarrollo de una calidad óptima para el consumo. Por lo tanto, una mayor acumulación de SST representa un fruto de mayor calidad; para esto último, Tadesse et al. (2002) sugiere que los valores óptimos, para el cultivo de los pimientos, es un mínimo de 6 ° Brix.

5.1.2.2.3. Determinación de pH

- *Vasconcellea pubescens*

En la figura 31 se presentan los resultados de pH para los frutos de papayuela durante el tiempo de poscosecha. En los primeros días de almacenamiento no se observó un cambio significativo del pH; ya que entre primer y tercer día después de la cosecha se obtuvo un aumento 0.03 unidades en el potencial de hidrogeno. No obstante, transcurridos los 16 días de almacenamiento se dio un cambio bastante notorio, pues se encontró que el pH había una unidad durante los días de almacenamiento de los frutos.

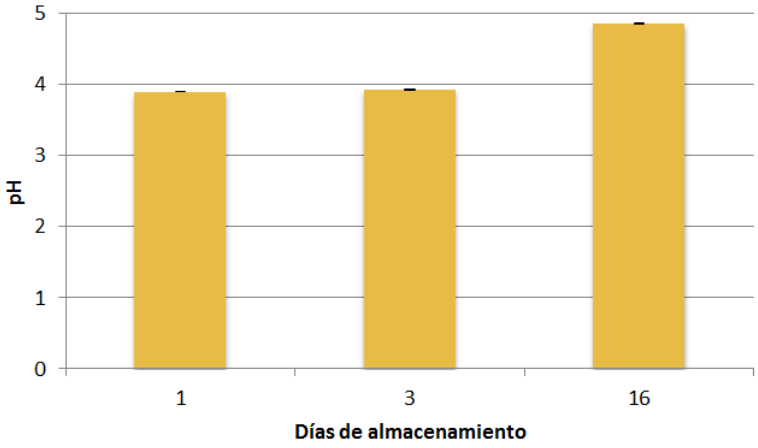

Figura 31. Variación del pH durante poscosecha de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

En los estudios realizados por Barragán *et* al. (2018), con la especie *Carica papaya L.*, en donde también obtuvo un aumento de pH, sugieren que el aumento en el pH estuvo dado por a una disminución en la cantidad de iones de hidrógeno proporcionados por los ácidos orgánicos durante el proceso de maduración. Igualmente, Coseteng y Lee (1987) informaron que los ácidos orgánicos en la papaya son en su mayoría ácidos cítrico y málico y que el aumento del pH durante la

maduración y el almacenamiento se debió a los procesos metabólicos de la fruta que provocaron una disminución de los ácidos orgánicos.

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

Los resultados obtenidos para el pH, representados en la figura 32, muestran una variación poco significativa a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento de los frutos de lulo. Para las mediciones de pH, realizadas en el primer día, se obtuvo un valor de 3.24; transcurridos el tercer y octavo día de almacenamiento, se encontró incrementos de 3.31 y 3.34, respectivamente. Para el día 16, el valor de pH varió un poco más en comparación a los días anteriores, ya que se dio un incremento hasta alcanzar el valor máximo de 3.49.

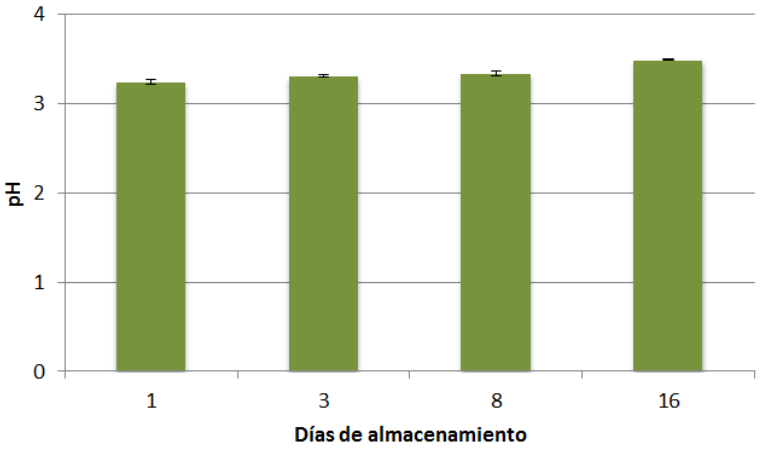

Figura 32. Variación del pH durante poscosecha de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

Estas variaciones en el pH son similares a los resultados reportados por Montenegro L. G. (2015) en donde, por periodos de almacenamiento y a condiciones reguladas de temperatura, encontró que el pH variaba entre un rango de 3.18 a 3.52. Según Galvis y Herrera (1999), el valor del pH es muy similar durante el periodo de maduración del lulo y oscila entre 2,9 y 3,2, entre el primero y el séptimo día después de cosecha.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

Los resultados obtenidos para el pH, representados en la figura 33, muestran un comportamiento ascendente en las tres primeras mediciones y una disminución en la última medición. El valor obtenido de pH en el primer día fue de 4.53; transcurridos el tercer y octavo día de almacenamiento, se encontró que el pH se había incrementado en 4.65 y 5.37, respectivamente. Para el día 16, el valor de pH disminuyó, obteniéndose un valor de 5.29.

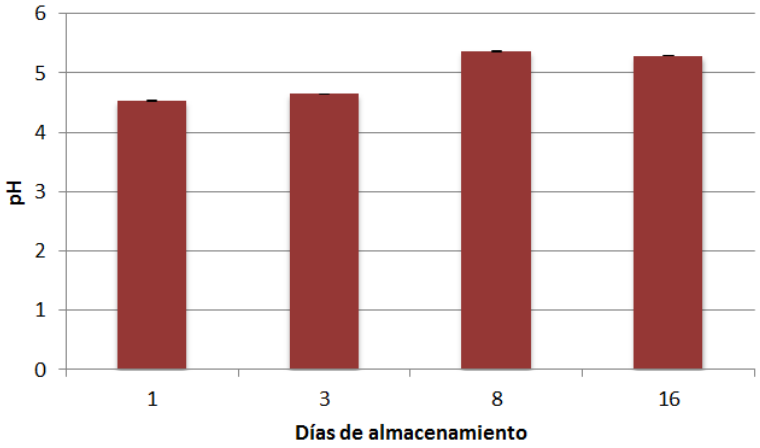

Figura 33. Variación del pH durante poscosecha de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío) Las barras verticales indican el error estándar.

Los valores de pH obtenidos en este son similares a los reportados por Samira et al. (2013) donde encontraron que el pH de los frutos, en todas las variedades, mostró una tendencia creciente durante el período de almacenamiento. Así mismo, Escalona *et* al. (2004) y Horvitz y Cantalejo (2012) mostraron que, a lo largo del periodo de almacenamiento, los valores de pH aumentaron significativamente. Medlicott y Thompson (1985) también informaron que los valores de pH tendían a aumentar con un tiempo de almacenamiento prolongado; según mencionan, esta tendencia al aumento se debe a la disminución de ácido málico predominante, a medida que avanza el proceso de maduración de los frutos. De acuerdo con Mizrach et al. (1997), el metabolismo de carbohidratos y ácido está estrechamente relacionado durante el período de maduración poscosecha, lo que elevaría el pH del producto.

5.1.2.2.4. Determinación de acidez titulable

- *Vasconcellea pubescens*

La acidez titulable de los frutos de papayuela, almacenados a temperatura ambiente, disminuyeron significativamente conforme transcurría el tiempo de almacenamiento. Se encontró que, para el día 1 y 3, los ácidos orgánicos habían disminuido 0,36%; entre los días 3 y 16 se evidenció una disminución bastante marcada, ya que para el día 16, se obtuvo un valor de 0,25% en AT, siendo éste el menor valor registrado.

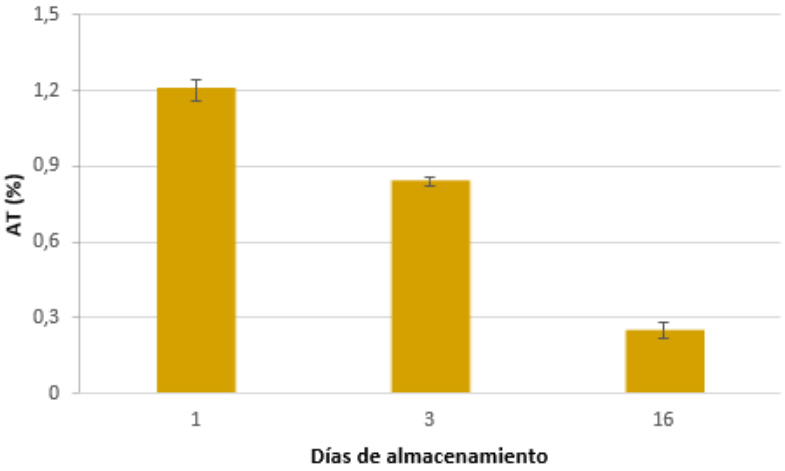

Figura 34. Variación de acidez titulable (AT) durante poscosecha de la especie *Vasconcellea pubescens* (Papayuela). Las barras verticales indican el error estándar.

Resultados similares han sido reportados por varios autores; Eryani *et* al. (2009) encontraron que la acidez valorable disminuyó al aumentar el tiempo de almacenamiento, por lo tanto, establecieron que la disminución de la acidez durante el almacenamiento demostró la maduración de la fruta. Así mismo, Selvaraj y colaboradores (1982) informaron que el ácido cítrico disminuyó en dos tercios durante la maduración del fruto. Leyva *et* al. (2011) también reportaron que a lo largo del periodo de almacenamiento se observó un descenso en el porcentaje de acidez titulable; al respecto, ellos mencionan que esto puede ser atribuido a la degradación de los ácidos orgánicos del fruto durante su almacenamiento, utilizados como reservas de energías durante el metabolismo primario.

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

A partir de los resultados obtenidos en la medición de la acidez titulable, durante el tiempo de poscosecha, de los frutos de lulo, se encontró que la concentración de ácido cítrico varió de forma poco significativa durante los días de almacenamiento. Entre el primer y tercer día, después de la cosecha, se obtuvo un incremento de 0,09% en la acidez titulable. Posteriormente, los valores de AT fueron disminuyendo paulatinamente desde el tercer hasta el último día de almacenamiento; se calculó que, en promedio, la concentración de ácido cítrico disminuyó en 0,14% entre los días 3, 8 y 16.

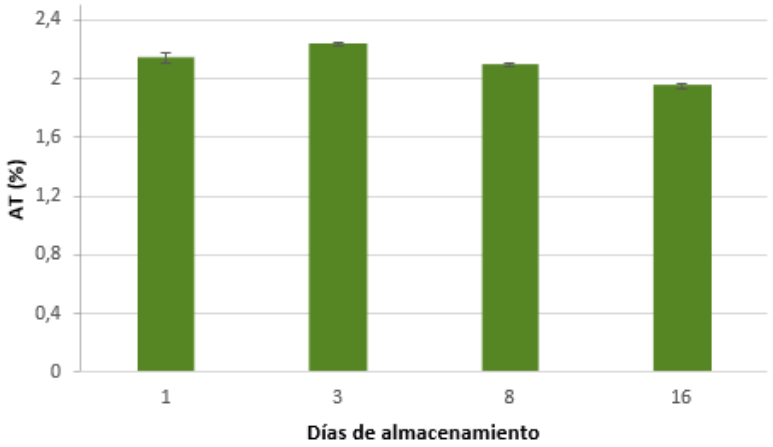

Figura 35. Variación de acidez titulable (AT) durante poscosecha de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* (Lulo de páramo). Las barras verticales indican el error estándar.

Resultados similares han sido reportados por otros autores; Forero et al. (2014) encontraron que el porcentaje de ácidos cítricos disminuyó a medida que el lulo maduraba, sin conservar una tendencia lineal. Así mismo, Pinzón (2000), reporta que la concentración total de ácidos orgánicos, en el lulo "la Selva", se incrementó del cuarto al sexto día de almacenamiento a 7°C y luego disminuyó drásticamente. Al respecto, Ochoa (2013), establece que la acidez titulable en frutos de lulo puede incrementar a medida que se da el proceso de maduración debido a que los sustratos respiratorios son convertidos a azúcares.

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

La figura 36 muestra una tendencia hacía el aumento del ácido orgánico durante los primeros días de almacenamiento, seguido de una disminución registrada para el día 16. Para los días 1, 3 y 8 se encontró que la AT aumentó paulatinamente hasta llegar a un máximo de 1,09%; se calculó que, en promedio, la concentración de ácido cítrico se incrementó en 0,23% entre cada una de las primeras 3 mediciones. Posteriormente, se evidenció una disminución de 0,06% en la AT, transcurridos los últimos 8 días de almacenamiento

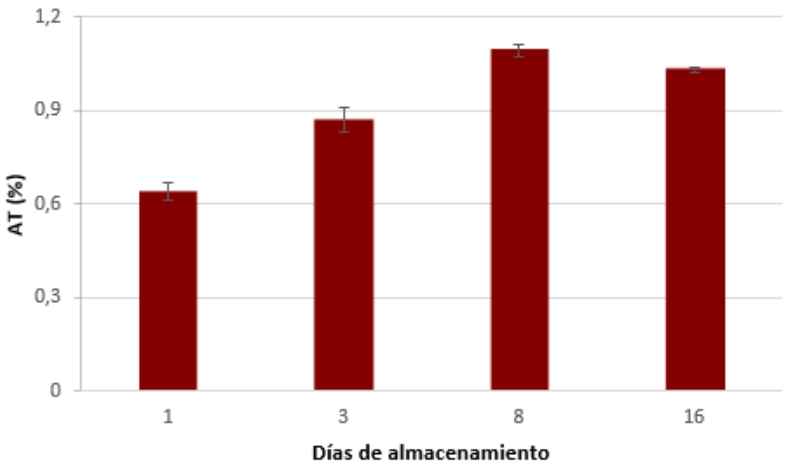

Figura 36. Variación de acidez titulable (AT) durante poscosecha de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frío). Las barras verticales indican el error estándar.

Estos resultados son similares a los reportados por Pinedo et al. (2017), ya que, en el estudio realizado con frutos de Chile Jalapeño, observaron que la AT mostraba una clara tendencia creciente a medida que pasaba el tiempo de almacenamiento. Así mismo, Hernández y colaboradores (2010) encontraron que la acidez titulable, en los frutos de la especie *Capsicum annum* L., aumentó gradualmente conforme transcurrían los 30 días de almacenamiento. Al respecto, Ghasemnezhad *et* al. (2011) mencionan que, cuando los frutos maduran, las reacciones metabólicas aumentan la concentración de ácidos orgánicos implicados en el ciclo de Krebs; estos ácidos sirven como la reserva de energía y participan en reacciones metabólicas para la síntesis de pigmentos, enzimas y otros materiales y la degradación de pectinas y celulosas que son esenciales para los procesos de maduración.

5.2. Cuantificación de polifenoles totales

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, que son determinantes importantes en la calidad sensorial y nutricional de las frutas, verduras y otras plantas. (Lapornik *et* al. 2005). Estos compuestos poseen un anillo aromático que contiene uno o más grupos hidroxilo y sus estructuras pueden variar desde la de una molécula fenólica simple a la de un polímero complejo de alto peso molecular (Balasundram *et* al. 2006). Los compuestos fenólicos, ubicuos en las plantas, son de considerable interés y han recibido más y más atención en los últimos años debido a sus funciones bioactivas. Los polifenoles se encuentran entre los fitoquímicos más deseables debido a su actividad antioxidante; estos componentes se conocen como metabolitos secundarios de plantas y poseen también propiedades antimicrobianas, antivirales y antiinflamatorias junto con su alta capacidad antioxidante (Ignat *et* al. 2011). En particular, se ha informado que los fenoles naturales tienen excelentes propiedades como conservantes de alimentos (Valenzuela *et* al. 1992) y tienen un papel importante en la protección contra una serie de alteraciones patológicas, como la aterosclerosis y la disfunción cerebral. y cáncer (Gordon, 1996).

A continuación se presentan los resultados obtenidos (Tabla 10) en la cuantificación de polifenoles totales contenidos en los frutos de las especies *vasconcellea pubescens*, *solanum quitoense* var. *Septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, mediante el metodo de Folin Ciocalteu.

Tabla 10. Polifenoles totales

Especie	n	Abs.	Promedio	Desviación estándar	CV (%)	Fenoles totales
Capsicum pubescens Ruiz & Pav (Ají)	1	0,170	0,182	0,012	6,59	**12,607**
	2	0,194				
Solanum quitoense var. *Septentrionale* (Lulo)	1	0,194	0,176	0,018	10,23	**12,115**
	2	0,158				
Vasconcellea pubescens (Papayuela)	1	0,190	0,160	0,0305	19,12	**10,762**
	2	0,129				

Estos resultados fueron organizados de forma ascendente en la figura 37. Se encontró que los frutos con menor contenido de polifenoles totales corresponden a la especie de *vasconcellea pubescens* con un valor de 10,76 mg GAE/100 g, seguido de un 12,11 GAE/100 g para los frutos de *solanum*

quitoense y un 12,61 GAE/100 g para los frutos de capsicum pubescens, siendo esta ultima, la especie con mayor contenido de polifenoles, en comparación con las otras dos especies evaluadas.

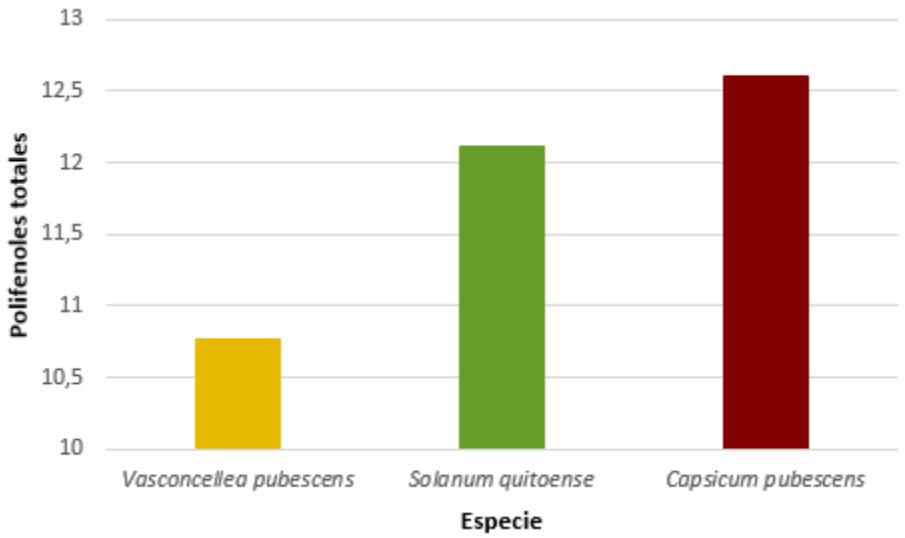

Figura 37. Contenido de polifenoles totales presentes en las especies *Vanconcellea pubescens* (Papayuela), *Solanum quitoense* Var. *Septentrionale* (Lulo de paramo) y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav (Ají de clima frio)

Con respecto a la especie *vanconcellea pubescens*, Repo y Encina (2008) reportaron que los frutos de esta especie contenían 167±0,3 mg de equivalente ácido gálico/100 g muestra, lo cual resulta siendo un valor bastante elevado en comparación con los resultados aquí reportados; no obstante, concluyeron que la papayuela o papaya de monte contenía una mayor cantidad de compuestos fenólicos que las otras frutas estudiadas, procedentes de Perú; así mismo, mencionan que la capacidad antioxidante de esta especie fue mayor que en las demás frutas. Simirgiotis *et* al. (2009) identificaron algunos compuestos fenólicos, en los frutos de papayuela, tales como glucósidos de ácido ferúlico o glucósidos de ácido sinapico y flavonoles, dentro de los cuales se registraron 9 glucósidos de quercetina incluidos rutina y manghaslin; mientras que Lako et al. (2007) reportó la presencia de flavonoles como la miricetina, quercetina, kaempferol y morina. Así mismo, en un estudio realizado con la papaya Maradol, Gayosso *et* al. (2010) encontraron que los contenidos fenólicos totales disminuyeron con la maduración de la fruta; los valores más altos que registraron fueron 471.97 y 1.91 mgEAG / 100 gFW y los más bajos de 358.67 y 0.88 mgEAG / 100 gFW en piel y pulpa, respectivamente.

Por otra parte, para los frutos de la especie *Solanum quitoense* Var. *Septentrionale,* Bagattoli *et* al. (2016) encontraron que la cascara de los frutos de esta especie contenían 8.8 mg GAE/g de compuestos fenólicos totales; igualmente, Arrieta y colaboradores (2010) reportaron que el contenido de fenoles totales en los frutos en estado verde, pintón y maduro, contenían 0.046, 0.058 y 0.107 ppm Acido gálico/mg de muestra, respectivamente. Según un estudio realizado por Gancel et al. (2008), la cascara de los frutos de lulo contenían 1.5 y 2.6 veces más, de compuestos fenólicos, que la pulpa y los tejidos placentarios; también mencionan que al comparar el contenido de compuestos fenólicos totales en los tejidos placentarios y la pulpa (que son las partes comestibles de la fruta de naranjilla) con el contenido en otras frutas tropicales como guayaba, dragón, lichi, mango o papaya, la naranjilla o lulo de paramo parecía tener una cantidad intermedia de compuestos fenólicos.

Para los frutos de *Capsicum pubescens* Pav & Ruiz, Ornelas *et* al. (2010) y Vera *et* al. (2011) reportan resultados similares; ellos encontraron que las concentraciones de fenoles totales, en esta especie, variaron entre 10,6 a 12,6 mg equivalentes de ácido gálico/g base seca. Sin embargo, Rodríguez *et* al (2009) reportaron valores más altos en el contenido de fenoles totales; encontraron que las accesiones de esta especie mostraron valores comprendidos entre 89 y 113.8 mg/100 g, los cuales, a su vez, son ligeramente menores, en comparación con la especie *C. baccatum*. Por otra parte, Oboh y Rocha (2008) estudiaron las diferencias, en el contenido fenólico, de los frutos verdes y maduros de esta especie y los resultados revelaron que el contenido total de fenol del pimiento maduro (117,7 mg / 100 g) fue significativamente mayor que el del pimiento verde (70.5 mg / 100 g); al respecto, ellos mencionan que los cambios fisiológicos que acompañaron la maduración, que producen cambios en los pigmentos, pueden haber causado ese aumento significativo en el contenido total de fenol de *C. pubescens*; así mismo, informan que los compuestos fenólicos se distribuyen por igual entre la carne y las semillas y que la eliminación de estas ultimas causaría una pérdida del 50% en el contenido total de fenoles del pimiento.

5.3. Análisis cualitativo de metabolitos secundarios

5.3.1. Tamizaje Fitoquímico

Los resultados obtenidos en el laboratorio para la verificación de la existencia de metabolitos secundarios presentes en las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*, *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, *Galinsoga parviflora, Chenopodium quinoa,*

Salvia hispánica, Vaccinium meridionale, Symplocos theiformis, Satureja viminea, Solanum muricaton, Arracacia xanthorrhiza, Smallanthus sonchifolius, se encuentran tabulados en la tabla 11.

Tabla 11. Identificación de grupos de compuestos en extractos de las especies

Grupo de compuestos	Reacción de identificación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Flavonoides	Shinoda	0	0	0	1	1	0	1	3	2	0	0	3
Quinonas	Zn/HCl	0	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1
Taninos	Cloruro férrico	0	0	0	2	1	2	1	3	3	3	2	1
	Gelatina-NaCl	0	0	1	2	2	2	1	2	2	0	2	0
Saponinas	Espuma	0	0	0	0	0	0	2	3	2	0	2	0
Cumarinas	Erlich	0	2	3	1	1	2	0	1	0	2	2	0
Esteroides	Lieberman-Bouchard	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0	0	0
	Salkowski	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Sesquiterpenlactonas	Baljet	3	2	0	1	2	3	0	2	2	3	3	2
Alcaloides	Drangendorff	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	2	0
	Wagner	0	0	2	0	3	0	0	0	2	0	2	0

A) Vasconcellea pubescens; *B) Solanum quitoense* var. *Septentrionale*; C) *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.; *D) Galinsoga parviflora; E) Chenopodium quinoa; F) Salvia hispánica; G) Vaccinium meridionale; H) Symplocos theiformis; I) Satureja viminea; J) Solanum muricaton; K) Arracacia xanthorrhiza; L) Smallanthus sonchifolius.* Escala de apreciación cualitativa: 0= No hay reacción; 1= Reacción dudosa; 2= Reacción positiva normal; 3= Reacción positiva alta.

A) *Vasconcellea pubescens*

Primeramente, cabe señalar, que la muestra obtenida en el proceso de preparación de esta, a partir del extracto de esta especie, presentó un inconveniente, ya que no fue posible homogenizar la totalidad del extracto; a pesar de que se repitió dos veces la preparación de la muestra, esta quedó insaturada. Lo anterior conllevó a que, al momento de realizar los ensayos

de tamizaje fitoquímico, solo resultara efectiva 1 de las 11 reacciones de identificación llevadas a cabo.

El resultado positivo en la reacción de Baljet, permitió identificar la abundante presencia de compuestos sesquiterpenlactonicos en los frutos de la especie *Vasconcellea pubescens*. Lo anterior puede sustentarse a partir de algunos estudios realizados al respecto; ejemplo de ello está el trabajo realizo por Corzo D. *et al.* (2016) en donde confirman un resultado positivo en la reacción de Baljet; esto significaría, que el consumo habitual de los frutos de esta especie contribuiría a la salud, ya que, como lo indica Peña, R. (2008), las sesquiterpenlactonas presentan fuerte actividad antiinflamatoria, antitumoral (Daniel, 2006) e incluso, como lo afirma Prada J. *et al* (2016) "el premio Nobel en medicina del año 2015 fue otorgado en parte a la Prof. Youyou Tu, por el descubrimiento y desarrollo de la artemisinina, una sesquiterpenlactona con propiedades muy efectivas contra el parásito causante de la malaria". Por otra parte, a pesar de que en el presente trabajo no fue posible identificar otros grupos de compuestos, Corzo y colaboradores (2016) identificaron, en los frutos de *Vasconcellea pubescens*, flavonoides, quinonas, taninos, esteroides y alcaloides; con respecto a los flavonoides, se ha encontrado que esta especie contiene Rutina (Simirgiotis *et al*., 2009) un compuesto con propiedades antioxidantes y antiespasmódicas. Igualmente, algunos autores han encontrado papaína, una enzima cisteína proteasa (Bauri R. *et al., 2015)*, la cual presenta actividad antihelmíntica contra la infección natural de *Ascaris suum* (Satrija F. *et al.,* 1994)

B) *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

Los resultados obtenidos, en los ensayos de tamizaje fitoquímico, revelaron la presencia de quinonas, Cumarinas y Sesquiterpenlactonas en los frutos de esta especie. Lo anterior coincide con los resultados expuestos en el trabajo realizado por Corzo *et al*. (2016); en donde confirman la presencia de flavonoides, taninos, saponinas, esteroides y alcaloides en *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*. Flechas y colaboradores (2008), en su investigación que comprendió el estudio de las partes aéreas del lulo de monte, también identificaron metabolitos secundarios tales como carotenoides, ácidos grasos, cumarinas, taninos, saponinas, esteroides y triterpenos y polisacáridos, en frutos con estado de maduración verde. La presencia de estos grupos de compuestos le otorga al lulo de paramo o lulo de monte, propiedades de gran importancia para la salud; Flechas et al. (2008) también ha indicado el lulo puede ayudar en el tratamiento contra el cáncer y el Alzheimer, para el control del colesterol, para potenciar el sistema inmunológico, entre

otros, debido a la presencia de sapogeninas. Así mismo, esta especie puede ser aprovechada por la industria farmacéutica; ya que, como lo indica Fontan (1973) las sapogeninas esteroidales obtenidas en general a partir de especies del género *Solanum* pueden ser usadas como materia prima para la producción de medicamentos esteroidales.

C) *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

Según los resultados obtenidos y tabulados en la tabla 11, la especie *Capsicum pubescens* contiene cumarinas y esteroides en abundancia, alcaloides y quinonas en cantidad moderada, y taninos en baja cantidad. Lo anterior puede ser sustentado a partir de varios estudios realizados al respecto; tal es el caso del estudio realizado por Meckelmann *et al.,* (2015), donde reportan, en accesiones de *C. pubescens* peruanas, baja concentración de tocoferoles, grasa y flavonoides (la quercetina, el principal flavonoide de los chiles). Así mismo, Castañeda y colaboradores (2014), obtuvieron resultados positivos para esteroides y alcaloides, siendo estos últimos, los de mayor predominancia. Otros autores también han reportado la presencia de terpenoides (por ejemplo, α-pineno, 1,8-cineol, linalool) en esta especie (Kollmannsberger *et al.,* 2011).

Con respecto a los alcaloides presentes en esta especie, se ha encontrado que todas las especies del género *Capsicum* son conocidas porque producen una sustancia química llamada capsaicina (Cedrón, J. 2013); la capsaicina es un alcaloide de fórmula $C_{18}H_{27}O_3N$ que, conjuntamente con la dihidrocapsaicina (capsaicina que ha perdido el doble enlace por hidrogenación), forman el 90% de todos los compuestos responsables del picor del ají y los pimientos. (Cedrón, J. 2013); siendo la dihidrocapsaicina (1.5 a 65.5 µg mL-1) el alcaloide que predomina en la especie *C. pubescens* (Vera *et al*., 2011). La capsaicina pertenece a la familia de los capsaicinoides; estos compuestos son reconocidos por sus efectos terapéuticos sobre las úlceras gástricas y la artritis reumatoide (Sathyanarayana, 2006); igualmente, puede funcionar como un analgésico que se absorbe eficientemente a través de la piel, una solución de capsaicina al 3% es capaz de aliviar eficientemente el dolor muscular (Cedrón, J. 2013). Entre otras propiedades, *Capsicum pubescens* «rocoto», ha mostrado tener un excelente efecto gastroprotector frente a las lesiones producidas por indometacina, tres veces superior a la ranitidina (Castañeda *et al.,* 2014).

D) *Galinsoga parviflora*

Los resultados obtenidos revelan que los grupos de compuestos, presentes en esta especie, son taninos en cantidad moderada y flavonoides, quinonas, cumarinas y sesquiterpenlactonas en baja cantidad. Respecto a los flavonoides, Plekhanova *et al*. (1978) encontraron que esta especie contiene apigenina y luteolina. Así mismo, la investigación fitoquímica de un extracto acuoso etanólico de Galinsoga parviflora Cav. (Asteraceae) resultó en el aislamiento e identificación de once compuestos, a saber: triacontanol, fitol, β-sitosterol, estigmasterol, 7-hidroxi-β-sitosterol, 7-hidroxiestigmasterol, β-sitosterol-3-O-β-D-glucósido, Ácido 3,4-dimetoxicinámico, ácido protocatecúico, ácido fumárico y uracilo y la identificación de 48 componentes volátiles en el aceite hidrodistilado de las partes aéreas. (Mostafa *et al.,* 2013); igualmente, Mostafa y colaboradores sostienen que se requiere una estrecha monitorización de las variables de seguridad hepática y renal, así como rigurosos estudios de seguimiento clínico a largo plazo antes de que los extractos de esta planta puedan utilizarse como terapia natural.

E) *Chenopodium quinoa*

A partir de los ensayos realizados al extracto de Quinua, la especie *chenopodium quinoa* contiene alcaloides en alta proporción, quinonas, taninos y sesquiterpenlactonas en cantidad moderada y flavonoides y cumarinas en baja cantidad. Con respecto a los alcaloides, no se han realizado estudios en donde se identifique este tipo de compuestos específicamente en las semillas de quinua; no obstante, en un estudio realizado por Gutiérrez y colaboradores (Gutiérrez *et* al., 2004), se identificó la presencia de alcaloides en planta completa en las etapas de botón floral y floración en condiciones de riego y temporal o secano en Montecillo, Edo. de México. Así mismo, son escasos los estudios realizados con *chenopodium quinoa,* en donde se reporte la presencia de quinonas, taninos y sesquiterpenlactonas; esta situación también es descrita en un trabajo que recopila información sobre la quinua "pocos informes se refieren a compuestos antimicrobianos en semillas, aunque muchos de estos compuestos químicos están presentes en semillas o capas de semillas, incluidos alcaloides, lectinas y compuestos fenólicos como lactonas, taninos y flavonoides" (Delatorre *et* al., 2013). Por su parte, los flavonoides si han sido estudiados e incluso se han aislado e identificado algunos como el kaempferol 3-O-(2 ", 6"-di-O-a-ramnopiranosil) β-galactopiranósidos, quercetina 3-O-(2",6"-di-O-α-ramnopiranosil) -β-glucopiranósido y quercetina 3-O- (2"-O-β-apiofuranosilo-6"-O-α-ramnopiranosil) -β-galactopiranósido (Hirose *et* al., 2010). Otro grupo de compuestos que han sido ampliamente estudiado en esta especie son las

saponinas, las cuales se caracterizan por tener efectos biológicos importantes; tal y como lo menciona Ahumada y colaboradores: "La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta que ha alcanzado un valioso reconocimiento por ser una fuente de alimentos altamente nutritivos, así como una especie rica en saponinas triterpénicas contenidas, principalmente, en la cáscara de las semillas; a la fecha, se han identificado alrededor de 30 saponinas derivadas de la hederagenina y de los ácidos oleanólico, fitolacagénico y serjanico en la planta." (Ahumada *et* al. 2016)

F) *Salvia hispánica*

Los resultados obtenidos revelan que el extracto etanólico de semillas de chía contiene sesquiterpenlactonas en gran cantidad, y quinonas, taninos y cumarinas en cantidad moderada. Lo anterior es de difícil contraste con otros estudios, ya que no se han realizado muchas investigaciones respecto a la composición de estos metabolitos secundarios presentes en las semillas de chía. Sin embargo, se han realizado numerosos estudios acerca de la composición en ácidos grasos y flavonoides presentes en esta especie; de esta forma, se sabe que la salvia hispánica es un alimento nutraceútico potencial debido a su alto contenido de ácidos grasos y algunos flavonoides, tales como: Ác. Mirístico, Ác. Palmítico, Ac. Heptadecanoico, Ác. Esteárico, Ác. Eicosanoico, Ác. Docosanoico, Ác. Palmitoleico, Ác. Elaídico, Ác. Oleico, Ác. Octadecaenoico, Ác. Eicosaenoico, Ác. Hexadecadienoico, Ác. Octadecadienoico, Ác. Linoleico, Ác. Eicosadienoico, Ác.γ-Linolénico, Ác Octadecatrienoico y Ác. Linolénico (Jiménez et al., 2013); Ácido alfa-linolénico Omega 3, Omega 6 ácido linoleico, Miricetina, Quercetina, Kaempferol, Ácido cafeico (Ali et al., 2012); 18:2 linoleico, 18:3 alfa-linolénico, Ácido protocatequídico, Ácido gálico, Epicatequina, Kaempferol, Kaempferol 3 - O - glucósido (K3G), Rutina, Ácido p-cumárico y Apigenina (Jin et al., 2012) y Ácido linoleico, ácido linolénico, ácido oleico, ácido palmítico, ácido esteárico, quercetina, ácido clorogénico, Kaempferol, miricetina, 3,4-DHPEA-EDA (Marineli et al., 2014). Así mismo, Martínez y Paredes (2014) aseguran que la chía podría considerarse una semilla con una gran capacidad antioxidante por ser una fuente de isoflavonas, como el ácido rosmarínico, éster etílico protocatéquico, ácido cafeico y el ácido gálico.

G) *Vaccinium meridionale*

A partir de los ensayos realizados, se obtuvo que el extracto etanolico de agraz contiene esteroides y saponinas en concentraciones moderadas y flavonoides, quinonas y taninos en concentraciones bajas. Con respecto a los esteroides, González *et* al. (2017) identificó la

presencia, en abundancia, de taninos, esteroides y triterpenos, así como también flavonoides en mediana cantidad y cumarinas y lactonas sesquiterpenicas en escasa proporción y establece que el jugo de Agraz, tanto liofilizado como no liofilizado, podría ser una fuente potencialmente citotóxica debido a su alta capacidad antioxidante y fenólico total contenido; estos resultados coinciden en gran medida con los reportados en el presente estudio. Así mismo, Garzón *et* al. (2010) reportan un alto contenido de antocianinas, siendo la Cyanidin 3-galactósido la que predomina en mayor cantidad.

H) *Symplocos theiformis*

Para el extracto etanólico del té de Bogotá se encontró que éste contenía flavonoides, taninos y saponinas en alta proporción; quinonas y sesquiterpenlactonas en cantidad moderada, y cumarinas en baja cantidad. Son escasos los estudios que se han realizado con esta especie; no obstante, Mario Salgado, en conjunto con la Biblioteca Nacional de Cuba José Martí, realizaron algunos apuntes acerca de esta especie, en donde se destaca la presencia de alcaloides tales como la charmina o harmalina en el té de Bogotá (Salgado M. Mario, 2010); claramente esta información no permite realizar un contraste con los resultados obtenidos en el presente estudio, pero resulta siendo significativa para ser corroborada en estudios ulteriores. Igualmente, Mario Salgado ofrece algunas notas respecto al uso del té de Bogotá: "*Tiene propiedades estimulantes sobre el Sistema Nervioso Central (SNC), como sudorífico y refrescante al tomarlo como infusión con una concentración de dos o tres gramos por taza, que al ser aplicada en forma de lavado sobre heridas posee propiedades astringentes y que a grandes dosis resulta hipnótico y alucinógeno; esta planta se indica para mejorar estados irritativos del aparato digestivo, de fiebre, cefalea y decaimiento*" (Salgado M. Mario, 2010)

I) *Satureja viminea*

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados con el extracto de *satureja viminea* revelaron la presencia de taninos en gran cantidad; flavonoides, saponinas, esteroides, sesquiterpenlactonas y alcaloides en cantidad moderada, y quinonas en baja cantidad. Estos resultados son de difícil contraste con resultados reportados en otros estudios, ya que no se encontró información respecto a la composición de metabolitos secundarios presentes en esta especie; sin embargo, se sabe que la menta jamaicana, el cual es el nombre común de *satureja*

viminea, es usada para aliviar flatulencias, vómitos, tos, cólicos, malestar estomacal, dolores de estómago, dolores de cabeza, diarrea e hipertensión (Mitchell S., Ahmad M. 2006).

J) *Solanum muricaton*

En el extracto etanólico del pepino dulce se detectó la presencia de sesquiterpenlactonas en alta concentración; cumarinas y taninos en concentraciones moderadas, y quinonas baja concentración. A partir de revisión bibliográfica se encontró que Carvalho y colaboradores detectaron únicamente, por medio del procedimiento de tamizaje fitoquímico, la presencia de taninos en escasa proporción; así mismo, reportaron resultados negativos para flavonoides, lactonas sesquiterpenicas y triterpenos (Carvalho *et* al. 2015); estos resultados distan con los que aquí se reportan, pero pueden resultar siendo un punto de partida para realizar estudios futuros acerca de la composición de metabolitos secundarios presentes en el pepino dulce. En cambio, otros estudios, han identificado la presencia de varias lactonas, lo cual se asemeja a los resultados aquí reportados, respecto a este grupo de metabolitos; según Rodríguez *et* al. (2004) la especie *solanum muricatum* contiene decalactonas, masoialactonas y nanolactonas, los cuales hacen parte del grupo de constituyentes volátiles que le otorgan ese característico aroma al pepino dulce.

K) *Arracacia xanthorrhiza*

Los resultados obtenidos del tamizaje fitoquímico efectuado al extracto etanólico de la arracacha, muestran que las sesquiterpenlactonas se encuentran contenidas en alta proporción; los taninos, saponinas, cumarinas y alcaloides en cantidad moderada, y quinonas en baja cantidad. Poco se sabe acerca de la composición de metabolitos secundarios presentes en esta especie; por lo anterior, los resultados que se reportan en el presente trabajo no pueden ser contrastados. No obstante, resultaría significativo que estos resultados se corroboren en estudios de mayor especificidad, con el fin de obtener más información respecto a la composición fitoquímica de esta especie, ya que la arracacha es considerada como uno los tubérculos de mayor consumo en los países de Latinoamérica.

L) *Smallanthus sonchifolius*

A partir del extracto etanólico de la raíz del yacón se encontró la presencia de flavonoides en gran cantidad; sesquiterpenlactonas en cantidad moderada, y quinonas y taninos en baja cantidad. Numerosos estudios se han realizado con el fin de estudiar esta especie; no obstante, los que se citan a continuación, reportan resultados obtenidos a partir de ensayos realizados con los extractos de las hojas de yacón, en donde, si bien no es la raíz de *samallanthus sonchifolius*, se identificaron los mismos metabolitos secundarios que se reportan en el presente trabajo. Respecto a los flavonoides, Choque y colaboradores reportan que el yacón contiene flavonoides, ácidos fenólicos y triptófano, que exhiben actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticancerígena (Choque *et* al. 2013). Los estudios fitoquímicos realizados por Genta *et* al. (2010) revelaron que las hojas de yacón contienen varias lactonas sesquiterpénicas de tipo melampolida tales como sonchifolina, uvedalin, enhidrina, fluctuanina.

5.3.2 Cromatografía en capa fina (CCF)

- *Solanum quitoense* var. *Septentrionale*

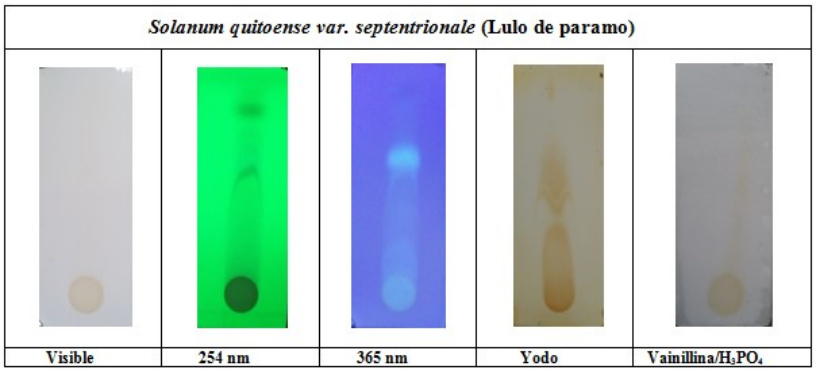

Figura 38.

Se determinó la presencia de hecogenina en frutos verdes de las tres procedencias. Esta estructura molecular corresponde a una sapogenina esteroidal (Flechas *et* al. 2008)

- *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav

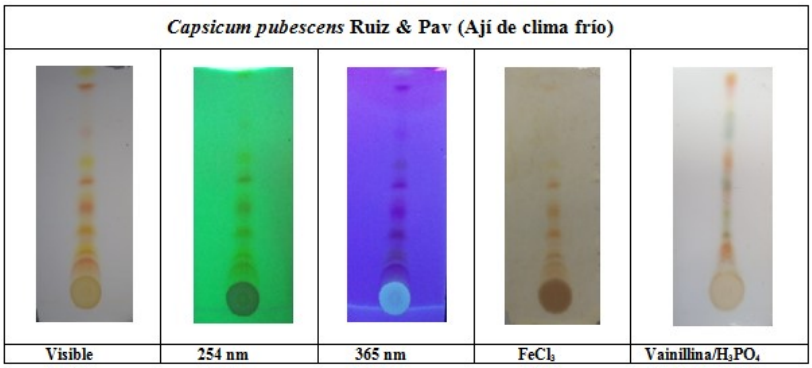

Figura 39.

CONCLUSIONES

Respecto a los procesos durante la etapa de crecimiento, los frutos de la especie *Vasconcellea pubescens* crecen proporcionalmente en diámetro polar y axial, hasta alcanzar su característica forma oblonga. La firmeza de los frutos disminuye a medida que aumenta el grado de madurez; en promedio, 4,4 N entre cada estado. Los sólidos solubles totales, en los frutos de papayuela, aumentan a medida que el grado de madurez es mayor; en promedio, se da un aumento de 0,7 °Brix entre cada grado de madurez; así mismo, el pH desciende a medida que el grado de madurez aumenta. Igualmente, la acidez titulable aumenta significativamente a medida que el grado de madurez en los frutos de papayuela es mayor. Los frutos de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* incrementan tanto su diámetro polar, como axial, de forma uniforme, se caracterizan por la presencia de espinas y mantienen su forma globosa a medida que van creciendo; la firmeza aumenta para los frutos en los primeros 3 grados de madurez, y disminuye en el último grado; los sólidos solubles totales aumentan, mientras que el pH disminuye a medida que el grado de madurez aumenta; la acidez titulable incrementa significativamente entre los estados 1,2 y 3,4. Los frutos de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav incrementan proporcionalmente sus dimensiones de diámetro y longitud a medida que transcurre el tiempo de medición, se caracterizan por tenían una forma semiregular y a medida que van creciendo, hasta alcanzar una forma triangular y campanulada; la firmeza de los frutos disminuye, los sólidos solubles totales

aumentan, el pH disminuye y la acidez tituble aumenta, a medida que aumenta el grado de madurez.

Durante el tiempo de almacenamiento y poscosecha, los frutos de la especie *Vasconcellea pubescens* tienen una disminución en la firmeza, los sólidos solubles totales no presentan un comportamiento definido, el pH varía de forma poco significativa y la acidez titulable disminuye. Para los frutos de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* la firmeza disminuye, los sólidos solubles totales no presentan un comportamiento definido, y el pH y la acidez titulable no presente una variación significativa. Los frutos de la especie *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav presentan una disminución en la firmeza, los sólidos solubles totales no presentan un comportamiento definido, el pH varía de forma poco significativa y la acidez titulable aumenta durante los primeros 10 días de almacenamiento.

En cuanto a los polifenoles totales, el menor contenido de polifenoles totales corresponde a los frutos de la especie *vasconcellea pubescens* con un valor de 10,76 mg GAE/100 g, seguido de un 12,11 GAE/100 g para los frutos de *solanum quitoense* y un 12,61 GAE/100 g para los frutos de capsicum pubescens, siendo esta ultima, la especie con mayor contenido de polifenoles, en comparación con las otras dos especies evaluadas.

La especie *Vasconcellea pubescens* presenta, de manera abundante, compuestos sesquiterpenlactonicos; los frutos de la especie *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* contienen quinonas, Cumarinas y Sesquiterpenlactonas; la especie *Capsicum pubescens* contiene cumarinas y esteroides en abundancia, alcaloides y quinonas en cantidad moderada, y taninos en baja cantidad. Las partes aéreas de la especie *Galinsoga parviflora* presentan taninos en cantidad moderada y flavonoides, quinonas, cumarinas y sesquiterpenlactonas en baja cantidad. La especie *chenopodium quinoa* contiene alcaloides en alta proporción, quinonas, taninos y sesquiterpenlactonas en cantidad moderada y flavonoides y cumarinas en baja cantidad. Las semillas de chía (*Salvia hispánica*) contienen sesquiterpenlactonas en gran cantidad, y quinonas, taninos y cumarinas en cantidad moderada. Los frutos de la especie *Vaccinium meridionale* contienen esteroides y saponinas en concentraciones moderadas y flavonoides, quinonas y taninos en concentraciones bajas. Las hojas de *Symplocos theiformis* presentan flavonoides, taninos y saponinas en alta proporción; quinonas y sesquiterpenlactonas en cantidad moderada, y cumarinas en baja cantidad. *Satureja viminea* contiene taninos en gran cantidad; flavonoides, saponinas, esteroides, sesquiterpenlactonas y alcaloides en cantidad moderada, y quinonas en baja cantidad.

El pepino dulce presenta sesquiterpenlactonas en alta concentración; cumarinas y taninos en concentraciones moderadas, y quinonas baja concentración. La especie *Arracacia xanthorrhiza* contiene sesquiterpenlactonas se encuentran contenidas en alta proporción; los taninos, saponinas, cumarinas y alcaloides en cantidad moderada, y quinonas en baja cantidad. El yacón presenta flavonoides en gran cantidad; sesquiterpenlactonas en cantidad moderada, y quinonas y taninos en baja cantidad.

RECOMENDACIONES

Sería recomendable qué, si se desea hacer reproducción de este trabajo, se tuvieran en cuenta los siguientes aspectos:

- Continuar con el estudio de crecimiento y desarrollo de las especies *Vasconcellea pubescens*, *Solanum quitoense* var. *septentrionale* y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav, expandiendo el tiempo de medición de las variables correspondientes al diámetro axial y polar, hasta conseguir un registro completo de la variación de tamaño de los frutos desde el primer grado de madurez hasta que se evidencie una disminución en el volumen de los mismos.

- A partir de los resultados obtenidos con el extracto etanolico de la especie *Vasconcellea pubescens*, en el análisis cualitativo de metabolitos secundarios, se recomienda utilizar otros métodos de dilución, a parte del calentamiento o uso de vortex, de forma tal que la muestra final esté completamente homogénea y no genere errores relativos a la concentración; tal como se presentó con las pruebas de tamizaje fitoquímico y cromatografía.

- Profundizar en el estudio de los metabolitos presentes en las especies aquí estudiadas, aplicando técnicas tales como espectroscopia infrarroja, espectrometría de masas, 1H-RMN, 13C-RMN y experimentos RMN bi-dimensionales; con el fin de ampliar la información acerca de las propiedades fitoquímicas y farmacológicas de estas especies, y conseguir con ello un mejor aprovechamiento de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Ó., Pérez, A., Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense Lam*.) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 59(1): 88-94.

Ahumada A., Ortega A., Chito D., Benítez R. (2016) Saponinas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.,* Vol. 45(3), 438-469

Ali N., Yeap S., Ho W., Beh ., Tan S., Tan S. (2012) The Promising Future of Chia, Salvia hispanica L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, Article ID 171956, 9 pages

Almanza P., Velandia J., Tovar Y. (2016) Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo en dos variedades de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 10 - No. 2 - pp. 222-231.

Antoniali S.; Martins P.; Magalhães A.; Tsuyoshi R.; Sanches J. (2007) PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF 'ZARCO HS' YELLOW BELL PEPPER FOR DIFFERENT RIPENESS STAGES. *Sci. Agric*. (Piracicaba, Braz.), v.64, n.1, p.19-22

Arrieta M., Higuera B., Martínez T. (2010) Inducción de fenilalanina amonio liasa y variación en el contenido de compuestos fenólicos en frutos de lulo (*Solanum quitoense lam*) infectados con *Colletotrichum acutatum*. Acta biol. Colomb., Vol. 15 Nº1, 129 - 144

Badui, S.D., 2013. Química De Los Alimentos, 5th ed. (México)

Bagattoli P., Cipriani D., Mariano L., Correa M., Wagner T., Noldin V, Cechinel V., and Niero R. (2016) Phytochemical, Antioxidant and Anticancer Activities of Extracts of Seven Fruits Found in the Southern Brazilian Flora. *Indian J Pharm Sci*.; 78(1): 34–40.

Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191–203.

Barragán J., Méndez L., Rodríguez J. (2018) Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (Carica papaya L. cv. Maradol) during ripening on-tree. *Scientia Horticulturae 236*, 272–278

Barrera J., Hernandez M., Melgarejo L., Martínez O., Fernandez J. (2008) Physiological behavior and quality traits during fruit growth and ripening of four Amazonic hot pepper accessions. *J Sci Food Agric* 88:847–857

Bauri, R., Nisha, M. y Saleeb S. (2015) A review on use of medicinal plants to control parasites. *Indian Journal of Natural Products and Resources.* Vol. 6(4), pp. 268-277.

Bo, M., Carrizo, C. (2015) Pollen phenotyping and performance in rocoto chili (*Capsicum pubescens* Ruiz et Pav., Solanaceae). *Grana.* Vol. 54, No. 1, 37–44.

Campozano, S., y Saltos, X. (2013) Diseño de una propuesta gastronómica del (*Carica pubescens)* "chamburo" (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil. Ecuador

Cardona, W., Bautista, L., Flórez, N., y Fischer, G. (2016) Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (Solanum quitoense var. septentrionale) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. Vol. 10 - No. 1, pp. 53-65

Casierra, F. y Cardozo, M. (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 62(1): 4815-4822.

Casierra, F., García. E., y Lüdders P. (2004) Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale). *Agronomía Colombiana*, 22. Pág. 32-39

Castañeda, *B.;* Salazar A. (2014) *Estudio Fitoquimico, Toxicidad Aguda y Efectos Antiulceroso y Antitumoral de los Extractos Acuoso, Etanolico y Metanólico de Capsicum Pubescens, «Rocoto».* Cultura: Lima (Perú) 28: 319-343

Castaño, J., Ramírez, M. (2002) El cultivo del lulo. Manizales, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, Regional Nueve. Edición 1.

Cedrón, J. (2013). La molecula destacada: La Capsaicina. *Revista de Química PUCP*, 2013, vol. 27, nº 1-2

Cheour, F., C. J. Willemot, Y. Arul, J. Desjardins, P.M. Makhlouf, P. and A. Gosselin, 1990. Effects of foliar application of CaCl2 on postharvest strawberry ripening. *J. Am. Soc. Hort. Sci*., 115: 789-792

Chitarra, M.; Chitarra, A. (2005) Pós-colheita de frutos e hortalicas Fisiologia e Manuseio. Lavras, UFLA, 785p

Choque G., Cunha W., Maróstica M., Pastore G. (2013) Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): A Functional Food. *Plant Foods Hum Nutr*. 68:222–228

Corzo, D., Torres M., Pacheco, R., Moreno L., Castañeda, S., Hernández, M, Quiñones, Y., y Chavarro, N. (2016) Biodiversidad altoandina al plato de todos: apuesta para fortalecer la industria agroalimentaria en Colombia. *Agronomía Colombiana 34*

Corral-Aguayo, R., Yahia, E.M., Carrillo-López, A., González-Aguilar, G., 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *J. Agric. Food Chem.* 56, 10498–10504

Coseteng, M.Y. and C.Y. Lee, 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *J. Food Sci*., 52: 985-989

Daniel M. (2006) Medicinal Plants: Chemistry and Properties. *Science Publishers*, Enfield, NH, EEUU, 300 pp.

David S., Osorio K., Lagos T. (2011) EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO, LA MORFOLOGÍA FLORAL YEL FRUTO DE CHILACUÁN (*Vasconcellea cundinamarcensis* B.). *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*. Volumen XXVIII No. 1, Pags. 9 - 23

Delatorre J.,Sánchez M.,Delfino I., Oliva M. (2013) La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), un tesoro andino para el mundo. *IDESIA*. Chile. Volumen 31, Nº2. Páginas 111-114

DeWitt D, Bosland PW. 2009. The complete chili pepper book. *London: Timber Press.*

Diaz J., Manzano J. (2000) Evaluation of Postharvest Quality Parameters in Lulo (Naranjilla) Stored at Different Temperatures. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela S.A.

Eryani A., Mahmud T., Syed S., Mohamed A., Eryani R. (2009). Effects of Calcium and Chitosan Treatments on Controlling Anthracnose and Postharvest Quality of Papaya (*Carica papaya* L.). *International Journal of Agricultural Research*, 4: 53-68.

Escalona, V.H., Aguayo, E. & Artés, F. (2004). Envasado en atmosfera modificada de pimiento de carne gruesa. *Alimentaria*, 352, 89–95.

Espinosa L.; Pérez M.; Martínez M.; Castro R.; Barrios G. (2010) EFECTO DE EMPAQUES Y TEMPERATURAS EN EL ALMACENAMIENTO DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* Ruíz y Pavón). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 16(2): 115-121

Fischer, G. (1989). Aspectos fisiológicos del desarrollo de la Uchuva *Physalis peruviana* L. Memorias IV Seminario Nacional Recursos Vegetales Promisorios, Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 9-19 p.

Flechas H., Sánchez L., Silva J. (2008) Tamizaje fitoquímico y cálculo de rendimiento de sapogeninas esteroidales de tres procedencias de *Solanum quitoense Var. Septentrionale* "naranjillo". *Revista Colombia Forestal*, Vol. 11: 201-211

Fontan, J. (1973) Las saponinas y la botánica. Instituto Español de Fisiología y Bioquímica. McGraw-Hill, Madrid. Pg. 367.

Forero N., Gutiérrez S., Sandoval R., Camacho J., Meneses M. (2014) EVALUACIÓN POSCOSECHA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LULO (*Solanum quitoense*) CUBIERTO CON HOJA DE PLÁTANO. *TEMAS AGRARIOS* - Vol. 19:(1), (73 - 85)

Franco, G., Bernal, J., Giraldo, M., Tamayo, P., Castaño, O., Tamayo, A., Gallego, J., Botero, M., Rodríguez, J., Guevara, N., Morales, J., Londoño, M., Rios, G., Rodríguez, J., Cardona, H., Zuleta, J., Castaño, Z., Ramírez, G. (2002) El cultivo del lulo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, Regional Nueve. Manizales, Colombia.

Gaete C., Figueroa C., Balbontín C., Moya M., Atkinson R., Raúl Herrera R., Moya M. (2009) Expression of an ethylene-related expansin gene during softening of mountain papaya fruit (*Vasconcellea pubescens*). *Postharvest Biology and Technology* 53, 58–65

Galvis, J.A. y A. Herrera. (1999) El lulo *Solanum quitoense* Lam. Manejo de poscosecha. Convenio SENA - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 59 p.

Gancel A., Alter P., Dhuique C., Ruales J., Vaillant F. (2008) Identifying Carotenoids and Phenolic Compounds In Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. Var. Puyo Hybrid), an Andean Fruit. *J. Agric. Food Chem.* 56, 11890–11899

Garzón G., Narváez C., Riedl K., Schwartz S. (2010) Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (Vaccinium meridionale Swartz) from Colombia. *Food Chemistry 122*. Pag 980–986

Gayosso L., Yahia E., Martínez M., González G. (2010) Effect of Maturity Stage of Papaya Maradol on Physiological and Biochemical Parameters. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5 (2): 194-203. ISSN 1557-4989

Genta S., Cabrera W., Mercado M., Grau A., Catalán C., Sánchez S. (2010) Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: Constituents of the most active fractions. *Chemico-Biological Interactions*. 185 143–152

Ghasemnezhad, M.; Sherafati, M.; Payvast, G.A. (2011) Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *J. Funct. Foods*. 3, 44–49.

González, D., L. Ordóñez, P. Vanegas y D. Vásquez. (2014). Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agron*. 63(1), 1-9. Doi: 10.15446/acag.v63n1.31717

González, M., Samudio, I., Gonzalo, L., Celis, C., Iglesias, J., & Morales, L. (2017). Cytotoxic and antioxidant capacity of extracts from *Vaccinium meridionale* Swartz (Ericaceae) in transformed leukemic cell lines. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7(3).

Gordon, M. H. (1996). Dietary antioxidants in disease prevention. *Natural Products Reports*, 265, 273

Gutiérrez A., Soto M., López C., Mendoza G., García A. y Mendoza C. (2004). Nitratos, oxalatos y alcaloides en dos etapas fenológicas de quinua (*chenopodium quinoa* willd) en riego y temporal. *Rev. Fitotec*. Mex. Vol. 27 (4): 313 – 322

Hernández A., Campos R., Pinedo J. (2010) COMPORTAMIENTO POSCOSECHA DE PIMIENTO MORRON (*Capsicum annum* L.) VAR. CALIFORNIA POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y APLICACIÓN DE LOMBRIHUMUS. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. Vol 11(1): 82-91

Hirose Y., Fujita T., Ishii T., Ueno N. (2010) Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. *Food Chemistry*. Vol. 119, issue 4, pag 1300-1306

Horvitz S., Cantalejo M. (2012) Effects of ozone and chlorine postharvest treatments on quality of fresh-cut red bell peppers. *International Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03053.x

Hunt, R., Causton, D., Shipley, B. y Askew, A. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Bot*. 90: 485-488.

Huyskens-Keil, S., Prono-Widayat, H., Schreiner, M. and Peters, P. (2001). EFFECT OF SURFACE COATING AND FILM PACKAGING ON THE KEEPING QUALITY OF SOLANACEOUS CROPS (*Solanum muricatum* Ait., *Solanum quitoense* Lam.). *Acta Hortic*. 553, 621-625
DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.553.150

Ignat I., Volf I., Popa V. (2011) A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126, 1821–1835

Jiménez P., Masson L., Quitral V. (2013) Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Rev Chil Nutr*. Vol. 40, Nº2

Jin F., Nieman D., Sha W., Xie G., Qiu Y., Jia w. (2012) Supplementation of Milled Chia Seeds Increases Plasma ALA and EPA in Postmenopausal Women. *Plant Foods Hum Nutr*., 67:105–110
Kluge R., Nachtigal J., Fachinello J., Bilhalva A. (2002) Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado. Pelotas: Editora UFPel, 163 p.

Kollmannsberger H., Rodriguez A., Nitz S., Nuez F. (2011) Volatile and capsaicinoid composition of ají (Capsicum baccatum) and rocoto (Capsicum pubescens), two Andean species of chile Peppers. *J Sci Food Agric*; 91: 1598–1611

Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaibon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101, 1727e1741.

Lapornik, B., Prosek, M., & Golc, Wondra. A. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering*, 71, 214–222

Lazan, H., Ali, Z.M., Liang, K.M., Yee, K.L., 1989. Polygalacturonasa activity and variation in ripening of papaya fruit with tissue depth and heat treatment. Physiol. Plant. 77, 93–98.

Leyva N., Basilio J., Contreras L., Rangel D., Campos J., González I. (2011) Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad general de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) fresca cortada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 2 (1): 001-015. ISSN: 2218-4384

Lutte, U., Kluge, M y Bauer, G. (1993). Botánica. McGraw-Hill, Madrid. 572 p.

Manrique, G.D., Lajolo, F.M., 2004. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). *Postharvest Biol. Technol*. 33, 11–26.

Marineli R., Aguiar E., Lenquiste S., Teixeira A., Nogueira M., Maróstica M. (2014) Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (Salvia hispanica L.). LWT - *Food Science and Technology*, xxx 1-7

Martínez, E. (2015). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense.* XXXVIII, 315-332.

Martínez A., Higuera B., Martínez S. (2017) The influence of lulo (*Solanum quitoense* Lam) fruit maturity stage on polygalacturonase and pectate lyase secretion by *Colletotrichum acutatum. Tropical Plant Pathology.* Doi.: 10.1007/s40858-017-0209-6

Martínez O., Paredes O. (2014) Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1346 Pag. 43–48

Meckelmann, S., Jansen, C., Riegel, D., Zonneveld, M., Ríos, L., Peña, K., Mueller, E., Petz, M. (2015) Phytochemicals in native Peruvian *Capsicum pubescens* (Rocoto). *Eur Food Res Technol.* DOI 10.1007/s00217-015-2506-y

Medlicott AP, Reynolds JB, Thompson EK (1986) Effects of temperature on the ripening of mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins). *J Sci Food Agric* 37:469–474

Mejía C., Duverney Gaviria D., Duque A., Rengifo L., Aguilar E., Alegría A. (2012) PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE LULO (*Solanum Quitoense* Lam.) CASTILLA VARIETY IN SIX RIPENING STAGES. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmaceutica*. Volumen 19 número 2. ISSN 0121-4004.

Méndez M.; Ligarreto G.; Hernández M.: Melgarejo L. (2004) Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (Capsicum sp.) cultivados en la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana*, 22 (1): 7-17

Mendoza, D., Parra, L., y Loza, S. (2014) Capacidad captadora de radicales libres del aceite esencial y extractos etanólicos de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) H. Robinson, cultivado en Colombia. *Revista Biosalud*; 13(2): 9-23.

Mizrach A, Filtsanov U, Fuchs V (1997) An ultrasonic nondestructive method for measuring maturity of fruit. *Trans ASAE* 40:1107– 1111

Minitab.com. (2017) Interpretar los resultados clave para Correlación. Recuperado de: https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/correlation/interpret-the-results/key-results/#step-2-determine-whether-the-correlation-coefficient-is-significant

Mitchell S., Ahmad M. (2006) Protecting our medicinal plant heritage: the making of a new national treasure. *Jamaica Journal Institute of Jamaica*, Kingston 29: 28-33.

Monteiro P. (2010) Desenvolvimento do fruto de Lulo (*Solanum quitoense* Lam. Var. *septentrionale*) em vicosa, Minas Gerais. Minas Gerais, Brasil.

Montenegro L. G. (2015) Estudio de la inhibición del pardeamiento enzimático por irradiación y de la calidad poscosecha durante el almacenamiento refrigerado de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) irradiada. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Perú.

Morton, J.F. 1987. Naranjilla (Solanum quitoense Lam., Solanum angulatum Lam.), pp. 425- 428. In: Morton, J.F. (ed.). Fruits of warm climates. Creative Resources Systems Inc., Winterville (NC, EUA), 505 p.

Mostafa I., Abd E., Hafez S., Assem A. (2013) Chemical Constituents and Biological Activities of Galinsoga parvifl ora Cav. (Asteraceae) from Egypt. *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, Tübingen,* pp.285-292

Moya A., Moya M, Herrera R. (2004) Ripening of mountain papaya (Vasconcellea pubescens) and ethylene dependence of some ripening events. *Postharvest Biology and Technology* 34, 211–218

Nunes, M.C.N., J.P. Emond and J.K. Brecht. (2006). Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharv. Biol. Technol*., 41: 328-340

Oboh G., Rocha J. (2008) Water extractable phytochemicals from *Capsicum pubescens* (tree pepper) inhibit lipid peroxidation induced by diVerent pro-oxidant agents in brain: in vitro. *Eur Food Res Technol*. 226:707–713 DOI 10.1007/s00217-007-0580-5

Ochoa, L. 2013. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) bajo condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Tunja.

Ochoa L., Balaguera H., Ardila G., Pinzón E., Álvarez J. (2016) Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, Mosquera (Colombia), 17(3): 327-359

Opoku Edusei. (2011) EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING AND STORAGE TEMPERATURE ON THE QUALITY OF GREEN CHILLI PEPPER FRUITS. Thesis. University of Ghana.

Ornelas, J.; Martinéz, J.M.; Ruiz, S.; Santana, V.; Ibarra, V.; Olivas, G.; Pérez, J.D. (2010) Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of mexican peppers. *Food Chemistry.* (Netherlands) 119(4):1619-1625.

Peña, R. (2008) Estandarización en propóleos: antecedentes químicos y biológicos. *Cien. Inv. Agr.* 35(1): 17-26.

Pinedo Z., Hernández A., Ortega H., Benavides A., Cadenas G., Juárez A. (2017) Cu Nanoparticles in Hydrogels of Chitosan-PVA Affects the Characteristics of Post-Harvest and Bioactive Compounds of Jalapeño Pepper. *Molecules*, 22, 926; doi:10.3390/molecules22060926
Plekhanova, T.I., Bandyukova, V.A., Mikhailova, G.A. (1978). Flavonoids of Galinsoga parviflora. *Chemistry of Natural Compounds*, 728–729.

Pinzón, M. (2000). Propiedades físicas de cosecha y poscosecha de frutos de Lulo "La Selva". Memorias del 3er Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. *Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales* (CDTF), Manizales. p386-397.

Prada, J., Orduz, L. y Coy, E. (2016) Baccharis latifolia: Una Asteraceae poco valorada con potencialidad Química y Medicinal en el Neotrópico. *Revista Facultad de Ciencias Básicas.* Volumen 12, Número 1, Páginas 92-105.

Prasanna V, Prabha TN, Tharanathan RN. (2007) Fruit ripening phenomena an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47: 19

Repo R., Encina C. (2008) Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev Soc Quím Perú*. 74, Nº 2 (108-124)

Rick, C. (1950) Capsicum pubescens, a little-known pungent pepper from Latin America. *Missouri Botanical Garden Bulletin.* 38: 36–42

Rodríguez J., Restrepo L. (2011) Activity of pectic enzymes involved in the ripening process of lulo (*Solanum quitoense* Lam). *Agron. Colomb*. 29(1)

Rodríguez A., Prohens J., Nuez F. (2004) Valencia: A New Pepino (*Solanum muricatum*) Cultivar with Improved Fruit Quality. *HortScience*, 39(6): 1500-1502.

Rodríguez A., Prohens J., Raigón, M. D. & Nuez, F. (2009) Variation for bioactive compounds in ají (*Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* R. & P.) and implications for breeding. *Euphytica* 170(1-2), 169–181.

Rubio J., García F., Rubio F., Martínez V. (2009) Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization. Scientia Horticulturae 119; 79–87

Salgado M. Mario. (2010) Martí en la Universidad. Biblioteca Nacional de Cuba José Martí Edición XIII. La Habana. ISBN 978-959-7137-41-2

Samira A., Woldetsadik K., Workneh T. (2013) Postharvest quality and shelf life of some hot pepper varieties. *J Food Sci Technol*. 50(5):842–855 DOI 10.1007/s13197-011-0405-1
Sañudo-Barajas, J.A., Labavitch, J., Greve, C., Osuna-Enciso, T., Muy-Rangel, D., Siller Cepeda, J., 2009. Cell wall disassembly during papaya softening: role of ethylene in changes in composition, pectin-derived (PDOs) production and wall hydrolases. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 158–167.

Sathyanarayana, M. (2006). Capsaicin and gastric ulcers. *Critical Reviews of Foods Science and Nutrition*. 46:275-328.

Satrija F., Nansen P., Bjorn H., Murtini S. y He S. (1994) Effects of papaya latex against *Asacaris suum* in naturally infected pigs. *J Helminth,* 68, 343-346.

Selvaraj, Y., D.K. Pal, M.D. Subramaniam and C.P.A. Iyer, (1982). Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya during growth and development. *J. Hortic. Sci*., 57: 135-143.

Simirgiotis, M., Caligari, P., Schmeda, G. (2009) Identification of phenolic compounds from the fruits of the mountain papaya Vasconcellea pubescens A. DC. grown in Chile by liquid chromatography–UV detection–mass spectrometry. *Food Chemistry 115,* Pág. 75–784. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.12.071

Tadesse T., Hewett E., Nichols M., Fisher K. (2002) Changes in physicochemical atributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and developmet. *Scientia Horticulturae*. 93, 91-103

Taiz L & Zeiger E (2008) Fisiologia vegetal. 4ªed. Porto Alegre, Artmed. 820p.

Thompson A. K. (2015) Fruit and vegetables: Harvesting, Handling and Storage. Wiley Blackwell. Vol. 1

Tut F., Santamaría F., Zavala M., Mier J. (2013) CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES MEJORADOS DE CHILE HABANERO PARA LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. Centro de Investigación Regional Sureste Campo Experimental Mocochá. Folleto Técnico No. 13. Yucatán, México.

Umaña G., Loría C., Gómez J. (2011) Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido Pococí. *Agronomía Costarricense* 35(2): 61-73. ISSN:0377-9424

Uribe, E., Delgadillo, A., Giovagnoli, C., Quispe, I. y Zura, L. (2015) Extraction Techniques for Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity Determination of Chilean Papaya (Vasconcellea pubescens) Fruit. *Journal of Chemistry*, *Volumen 2015,* doi: 10.1155/2015/347532

Valenzuela, A., Nieto, S., Cassels, B. K., & Speisky, H. (1992). Inhibitory effect of boldine on fish oil oxidation. *Journal of American Oil Chemists Society*, 68935, 937.

Vera A., Chávez J., Carrillo J., López M. (2011). Phytochemical Evaluation of Wild and Cultivated Pepper (*Capsicum annuum* L. and C. *pubescens* Ruiz & Pav.) From Oaxaca, Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71(4)

Wang S., Melnyk J.P., Tsao R., Marcone M.F. (2011). How natural dietary antioxidants in fruits, vegetables and legumes promote vascular health. *Food Research International*, 44(1):14-22.

Whalen, M.D.; D.E. Costich y C.B. Heiser. 1981. Taxonomy of Solanum section lasiocarpa. Gentes Herbarium 12(2): 41-129.

Yamamoto, S., Djarwaningsih, T., y Wiriadinata, H. (2013) Capsicum pubescens (Solanaceae) in Indonesia: Its History, Taxonomy, and Distribution. *Economic Botany*, 67(2), pp. 161–170

Yao, B.N., Tano, K., Konan, H.K., Bédié, G.K., Oulé, M.K., Koffi-Nevry, R., Arul, J., (2014). The role of hydrolases in the loss of firmness and of the changes in sugar content during the post-harvest maturation of Carica papaya L. var Solo 8. *J. Food Sci. Technol*. 51 (11), 3309–3316

Zhou, L.L., Paull, R.E. (2001). Sucrose metabolism during papaya (Carica papaya) fruit growth and ripening. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 126, 351–357.