

Evaluación de híbridos de *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth. por sus componentes de fruto

Silvana Lizeth Riascos Arcos¹, Jhon Fredy Tarapues Guerrero¹

¹Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño. liz.silis93@hotmail.com.com

¹Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño. jhon.tara96@gmail.com

RESUMEN

El tomate de árbol (*C. betacea*) es un frutal de gran importancia para la fruticultura de Colombia, su fruta tiene un gran potencial debido a su contenido de vitaminas, minerales y propiedades antioxidantes; sin embargo, existe muy poca información sobre las variables que aportan a su expresión; por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar nueve híbridos intervarietales por sus componentes de fruto. Este trabajo se realizó en el departamento de Nariño a 2500 msnm (San Juan) y 2156 msnm (La Pradera). Se midieron el eje polar (EP), diámetro ecuatorial (DE) y peso del fruto (PF), peso de cien semillas (PCS), peso de semillas (PSPF) y contenido de jugo por fruto (CJ), sólidos solubles totales (°Bx), acidez titulable (AC) e índice de madurez (IM). La información fue sometida al Análisis de Varianza combinado bajo el modelo de Bloques Completos al Azar, igualmente, a los análisis de Correlación y Regresión. Los PF oscilaron 107,60 y 49,86 g; los SST entre 10,39 y 11,74 °Bx. El AC fluctuó entre 2,53 y 3,33% y el IM entre 2,24 y 3,09. El CJ presentó un rango entre 32,77 y 65,73 ml. Se encontró una correlación directa entre el DP y DE, PF, CJ. Los modelos de Regresión cuadrática y Gompertz, fueron los de mejor ajuste para el crecimiento del fruto.

Palabras clave: peso, crecimiento, modelos, Gompertz, diámetro, jugo.

Evaluation of hybrids of *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth. for its components of fruit

ABSTRACT

The tree tomato (*C. betacea*) is a fruit tree of great importance for the fruitculture of Colombia, its fruit has great potential due to content of vitamins, minerals and antioxidant properties; however, there is very little information about the variables that contribute to its expression; therefore, the objective of this work was to evaluate 9 intervarietal hybrids for their fruit component. This work was carried out department of Nariño at 2500 meters above sea level (San Juan) and 2156 meters above sea level (La Pradera). The polar axis (PA), the equatorial diameter (ED) and the fruit weight (WF), weight of one hundred seeds (WOHS), weight of seeds (WS) and the content of juice per fruit (JF), total soluble solids (°Bx) titratable acidity (TA) and the maturity index (MI) were measured. The information was submitted to the Analysis of combined variance under the model of Complete Random Blocks, as well as to the analysis of Correlation, Regression and Path. The FW oscillated 107.60 and 49.86 g, the TSS between 10.39 and 11.74 ° Bx. The TA fluctuated between 2.53 and 3.33% and the MI between 2.24 and 3.09. The JF presented a range between 32.77 and 65.73 ml. A direct correlation was found between the PA and ED, WF, JF. The models of quadratic regression and Gompertz, were the best fit for the growth of the fruit.

Keywords: weight, growth, models, Gompertz, diameter, juice

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol es una fruta exótica originaria del área andina (Bernal y Díaz, 2003). En América Latina, es cultivado en forma marginal en Perú, Chile, Bolivia, Argentina, Brasil, Venezuela, Costa Rica, Guatemala, Jamaica, Puerto Rico y Haití, en Colombia y Ecuador se produce más extensamente (CIAT *et al.*, 2008). Como fruta exótica, ha abierto mercados internacionales para una amplia gama de productos como mermeladas, jaleas, conservas en almíbar, deshidratados, postres, licores y también como fruta congelada o encerada (PROEXANT, 2007). En Colombia existe un área sembrada de 9335,16 ha sembradas, con una producción de 186.032,24 t y rendimiento de $10,37 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nariño reportó para este mismo año 413,10 ha cosechadas con una producción de 2976,74 t y un rendimiento de $7,21 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, con un aporte del 1,60% a la producción Nacional (Agronet, 2018).

A pesar de su riqueza y gran potencial, ésta especie todavía se encuentra en proceso de domesticación (CRFG, 2007) y con un sistema de producción aún no consolidado. Además, su crecimiento como cultivo es lento y a veces negativo, debido a causas de índole genética y ambiental. La escasa oferta de cultivares mejorados para siembra, ha sido uno de los mayores limitantes en el desarrollo de este frutal. En la mayoría de los casos, la siembra se lleva a cabo con semilla de origen desconocido u obtenida por los propios productores en pequeñas parcelas con escaso nivel tecnológico, uso excesivo de pesticidas y alta incidencia de problemas sanitarios. Lo anterior debido al bajo nivel de selección a que ha sido sometida la especie y a la falta de un programa continuo de mejoramiento genético (Lobo, 2006).

Los estudios de Márquez *et al.* (2007), permitieron confirmar al tomate de árbol como un fruto no climatérico con un tiempo óptimo de maduración de 10 días de postcosecha, tiempo después del cual presenta un ligero aumento en el contenido de azúcares de 10 a 11% SST y una leve disminución del % de acidez de 2,9 a 2,0. Ocampo *et al.* (2009), determinaron que los frutos maduros presentaron un ligero aumento en el contenido de azúcares de 8,2 a 11 °Brix y una leve disminución en la acidez de 2,78 a 2,72%.

Revelo (2011), en su investigación sobre la calidad postcosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol, encontró altos contenidos de sólidos solubles con 13,04 a 14,24 ° Brix y un acidez de 1,04 a 2,08 g/100g. Torres (2012), indica que los frutos del tomate de árbol están en estado de madurez y para consumo cuando los SST llegan a 10,51°Brix, resultados que pueden ser un aporte al conocimiento acerca de las propiedades físicas y químicas del fruto que permiten diversificar su consumo y empleo como un ingrediente funcional con un potencial en compuestos antioxidantes y la presencia de pectina, de interés en el desarrollo de productos alimenticios.

Durán *et al.* (2014), diseñó una matriz de 16 sensores de gases químicos que fue acondicionada para la detección de tres índices de madurez del tomate de árbol (verde, maduro y sobremaduro). Se analizó cierto número de medidas con las pruebas físico-químicas con el objeto de evaluar las propiedades físicas, químicas y sensoriales que luego se compararon con los resultados de la nariz electrónica. En este trabajo, los °Brix oscilaron entre 10,9 a 11 en cuatro días de análisis.

Con base en lo anterior, en este trabajo se evaluaron nueve híbridos intervarietales de *C. betacea* obtenidos por el Grupo de Investigación de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño, con el objeto de establecer su comportamiento a través de los componentes de fruto en dos localidades de la región natural Andina del departamento de Nariño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Los ensayos sobre los cuales se hizo el presente estudio, se ubicaron en dos localidades de la región natural Andina del departamento de Nariño. El primer ensayo se sembró en el corregimiento de San Juan (municipio de Ipiales) a 0°53'33,6"LN, 77°32'55,5"LO, 2500 msnm. El suelo presentaba un pH de 6,46, 2,38% de materia orgánica, 16,4 cmol.kg⁻¹ de CIC, 0,09% de N, 172 mg/kg de P, 11,5 cmol/kg de Ca, 3,43 cmol/kg de Mg, 1,14 cmol/kg de K, 75,4 mg/kg de Fe, 24,7 mg/kg de Mn, 6,19 mg/kg de Cu, 3,70 mg/kg de Zn, 0,82mg/kg de B, 1,09 g/cm³ de densidad aparente y una textura Arcillosa Arenosa al tacto. Con riego por goteo de 2 L/h.

La Pradera (municipio de Pasto) se encuentra a 01°19'01,9"LN, 077°19'51"LO, 2156 msnm. El suelo presentaba un pH de 5,35, 16,3% de materia orgánica, 47,9 cmol.kg⁻¹ de CIC, 0,55% de N,

2,45 mg/kg de P, 1,44 cmol/kg de Ca, 0,29 cmol/kg de Mg, 0,31 cmol/kg de K, 17,5 mg/kg de Fe, 0,26 mg/kg de Mn, 0,22 mg/kg de Cu, 0,03 mg/kg de Zn, 0,16 mg/kg de B, 0,70 g/ ³ de densidad aparente y una textura Franca. Con riego por goteo de 2 L/h.

El análisis de los frutos se realizó en los laboratorios del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA) ubicados en la Universidad de Nariño a 2540 msnm, 01°12'13"LN y 77°15'23"LO.

Material Vegetal. Los híbridos intervarietales de tomate de árbol (*C. betacea*) fueron obtenidos por el GPFA en el año 2015, con materiales genéticos seleccionados en la evaluación hecha por Portilla (2013) en la cual analizó el comportamiento agronómico y adaptabilidad de 81 genotipos de tomate de árbol *C. betacea* en la región alto andina de Nariño, Colombia. Las características más importantes del material genético utilizado en este trabajo aparecen en la Tabla1.

Tabla 1. Características de los híbridos y testigo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth.) evaluados en dos localidades de la región natural andina del departamento de Nariño.

Material genético	PF	EP	DE	RTO
CBc11/Cbl77	96,04	6,35	5,04	15,06
CBc11/CBc95	92,99	6,21	5,03	14,66
CBcon33/CBu87	89,20	6,29	4,98	15,10
CBsj36/CBu87	89,12	6,15	5,08	16,04
Cba09/CBb75	85,70	6,17	4,90	14,97
CBb06/CBl77	94,67	6,26	5,06	13,86
CBp19/CBu94	90,19	6,14	4,90	14,10
CBb08/CBsj38	83,72	6,16	4,83	13,67
CBb06/CBco41	87,65	6,03	4,91	14,33
UDENAR Contadero (Testigo)	91,78	6,41	5,06	16,10

Fuente Informe Técnico de Avance GPFA, 2017.

NN/nn = híbrido, PF = peso de fruto (g), EP = eje polar (cm), DE = diámetro ecuatorial (cm), RTO = rendimiento (t/ha).

Diseño experimental. El diseño experimental utilizado en cada localidad fue el de Bloques Completos al Azar con 10 tratamientos y tres repeticiones. En cuanto a los tratamientos, nueve correspondieron a los híbridos intervarietales y el testigo UDENAR Contadero. El área

experimental de cada ensayo fue de 1620 m², donde la parcela experimental tenía 45 m² y un área útil de 30 m². Las distancias de siembra fueron de 2,5 m entre plantas y 2,5 m entre surcos, para una densidad de 1600 plantas por hectárea.

VARIABLES EVALUADAS. Las estimaciones de las variables evaluadas en los frutos se realizaron cada 15 días durante seis meses hasta su maduración en etapa cinco según la norma técnica NTC4105 (ICONTEC, 1997). Se hizo el seguimiento a 15 frutos por tratamiento, los cuales fueron escogidos al azar durante su formación, para un total de 450 frutos en cada localidad. Estos frutos fueron marcados y en ellos se registraron las siguientes variables:

Eje polar del fruto (EP). Se midió el eje polar en mm, desde la base hasta el ápice en los frutos.

Diámetro ecuatorial del fruto (DE). Se midió en mm el diámetro en la parte central de frutos.

Peso de fruto (PF). En la cosecha, se determinó el peso del fruto en g.

Sólidos solubles totales (SST). Esta variable se determinó con el método refractométrico. Se tomó una gota del zumo del fruto y se depositó sobre el lente del refractómetro digital ATAGO, se registró el valor en grados brix (°Bx) corregido a 20°C.

Acidez titulable (AC). Se determinó a través del método de titulación. Se usó NaOH al 0,1N y fenolftaleína (1%) como indicador. Se utilizó 1 ml de jugo de tomate y 9 ml de agua, que se tituló hasta que el indicador cambió a color rosado (ICONTEC, 1997). Se expresó como porcentaje del ácido cítrico predominante en la fruta. Para el tomate de árbol, la acidez titulable en términos de ácido cítrico (AC), se calculó mediante la fórmula:

$$AC = \left(\left(\frac{V1}{V2} \times N \right) \times K \times 100 \right)$$

Donde:

AC = ácido cítrico (%)

V1 = volumen de NaOH consumido en ml

V2 = volumen de la muestra (10ml)

K = peso equivalente del ácido cítrico (0,064 g/meq)

N = normalidad del NaOH (0,1 meq/ml)

Índice de madurez (IM). El IM es la relación entre el contenido de sólidos solubles (SST) y la acidez titulable (AC) del jugo de los frutos. El IM se calculó mediante la ecuación:

$$IM = \frac{SST}{AC}$$

Contenido de jugo (CJ). Se midió la cantidad de jugo por fruto en ml.

Peso de 100 semillas (PCS) y peso de semillas por fruto (PSPF). Se separaron las semillas de la pulpa, luego se secaron a temperatura ambiente durante siete días para garantizar que estuvieran secas. Posteriormente, se pesaron para obtener el PSPF en g. Después se pesaron 100 semillas para determinar el PCS en g.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se sometieron al Análisis de Varianza Combinado (ANDEVA) bajo el modelo de Bloques Completos al Azar (BCA). La diferencia encontrada en la interacción genotipo por localidad, en las variables evaluadas, de acuerdo con lo establecido por Portilla (2013), es un indicativo de la respuesta diferencial de los genotipos (híbridos y testigo) a las variaciones ambientales, donde plantea un estudio más detallado para analizar y cuantificar la naturaleza de dicha interacción y establecer los ambientes que más contribuyan a la misma.

Con el fin de destacar los mejores materiales, se realizó una prueba de hipótesis teniendo como $H_0: g_i = \bar{X}$ y $H_a: g_i > \bar{X}$ donde g_i es el promedio del genotipo y \bar{X} de todos los genotipos, con base en lo planteado por Lagos (2012) quien establece que los valores superiores de una característica en particular son los que superaron a la media general más una vez la desviación estándar ($\mu + \sigma$). Además, con base en el programa Curve Expert se realizó el Análisis de Regresión Cuadrático para modelar el crecimiento del fruto en función del Eje Polar. Finalmente, se hizo el Análisis de Correlación de Pearson para las variables estimadas PF, EP, DE, SST, AC, IM, CJ, PCS y PSPF.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANDEVA combinado (Tabla 2), muestra los cuadrados medios para el peso del fruto (PF), eje polar del fruto (EP), diámetro ecuatorial del fruto (DE), sólidos solubles totales (SST), ácido cítrico

(AC), índice de madurez (IM), contenido de jugo (CJ), peso de cien semillas (PCS) y peso de semillas por fruto (PSPF). Para todas las variables mencionadas se encontraron diferencias significativas en las fuentes de variación de localidades y tratamientos (híbridos y testigo). La interacción localidad por tratamiento también fue significativa en todas las variables, por lo tanto, se enfatizará la discusión en esta fuente, tal como lo recomienda Lagos (2006).

Tabla 2. Cuadrados medios del ANDEVA combinado para las variables relacionadas con los componentes de fruto de tomate de árbol (*C. betacea*) evaluadas en dos localidades de la región natural andina del departamento de Nariño (Colombia).

FV	GL	PF	EP	DE	SST	AC
Localidades (L)	1	16181,25*	830,90*	520,14*	1,02*	0,22*
Bloques	4	336,10*	29,46*	24,04*	0,42*	0,03
Tratamientos (T)	9	226,95*	16,26*	16,00*	0,44*	0,14*
T x L	9	154,16*	19,88*	9,47*	0,45*	0,20*
Error	36	132,88	6,99	5,62	0,31	0,001
C.V (%)		14,34	4,27	4,86	5,16	13,86
MEDIA		80,34	61,91	48,74	10,86	2,89

FV	GL	IM	CJ	PCS	PSPF
Localidades (L)	1	0,77*	4151,01*	0,010*	0,93*
Bloques	4	0,084	198,55*	0,006*	0,03*
Tratamientos (T)	9	0,18*	115,92*	0,002*	0,09*
T x L	9	0,21*	120,75*	0,002*	0,05*
Error	36	0,12	76,79	0,002	0,036
C.V (%)		13,86	17,30	10,32	18,11
MEDIA		2,58	50,66	0,47	1,04

*= diferencias significativas al 95% de confiabilidad. PF = peso de fruto (g), EP = eje polar del fruto (mm), DE = diámetro ecuatorial del fruto (mm), SST = sólidos solubles totales (°Bx), AC = ácido cítrico (%), IM = índice de madurez, CJ = contenido de jugo (mL), PCS = peso de cien semillas (g), PSPF = peso de semillas por fruto (g).

Según el Análisis de Correlación de Pearson (Tabla 3), se observaron asociaciones altas significativas del PF con el EP ($r = 0,94$) y el DE ($r = 0,96$), y entre EP y DE ($r = 0,93$). El signo y la magnitud de estas relaciones indican una correlación directa casi perfecta, lo cual quiere decir que si aumenta el PF también aumentan el EP y el DE, así mismo, al aumentar el EP también lo hace el DE. También se observó que el PF está fuertemente relacionado con el CJ ($r = 0,83$) y moderadamente con el PCS ($r = 0,37$). Es muy importante destacar que al acrecentar el PF también se incrementa el CJ. Resultados similares fueron encontrados por Duarte (2012) con

frutos de diámetro amplio que permiten valores altos de peso de pulpa más semilla, contenido de jugo, peso de semilla por fruto y número total de semillas. Otras correlaciones significativas se presentaron entre el AC y el IM ($r = -0,77$). La magnitud y dirección de esta relación indica que al aumentar el AC disminuye el IM, lo cual es entendible, porque el IM es una variable generada por la relación entre los SST y la AC, además del carácter ácido del jugo del tomate de árbol.

Tabla 3. Análisis de Correlación de Pearson para nueve variables asociadas al componente de fruto de tomate de árbol (*C. betacea*) evaluadas en dos localidades de la región natural andina del departamento de Nariño (Colombia).

Variable	PF	EP	DE	SST	AC	IM	CJ	PCS	PSPF
PF	1	0,94*	0,96*	-0,021	0,25	-0,34	0,83*	0,37*	-0,097
EP		1	0,93*	-0,041	0,26	-0,36	0,75*	0,38*	-0,009
DE			1	-0,011	0,22	-0,32	0,79*	0,36*	0,0075
SST				1	0,24	0,22	-0,06	0,05	0,037
AC					1	-0,77*	0,05	0,11	0,16
IM						1	-0,12	-0,17	-0,19
CJ							1	0,19	-0,10
PCS								1	0,12
PSPF									1

*= correlaciones significativas al 95% de confiabilidad. PF = peso de fruto (g), EP = eje polar del fruto (mm), DE = diámetro ecuatorial del fruto (mm), SST = sólidos solubles totales (°Bx), AC = ácido cítrico (%), IM = índice de madurez, CJ = contenido de jugo (mL), PCS = peso de cien semillas (g), PSPF = peso de semillas por fruto (g).

Peso del fruto (PF). San Juan fue la localidad con los mayores promedios de PF (Tabla 4). El mayor PF lo obtuvieron los híbridos CBbc11/CbI77 y CBb06/CbI77 con valores de 107,60 y 104,47 g, respectivamente. Estos híbridos superaron estadísticamente a los demás tratamientos, cuyos PF oscilan 83,69 y 103,08 g. De acuerdo con la norma NTC4105 (ICONTEC, 1997), los

híbridos sobresalientes se ubican en el calibre B, mientras que los ocho materiales genéticos restantes prestan calibres que van desde D, hasta C y B. La Pradera fue la localidad con promedios de PF menores (Tabla 5). El híbrido CBsj36/CBu87 con un peso de 74,43 g, que corresponde al calibre D (ICONTEC, 1997), superó estadísticamente a los demás tratamientos, los cuales presentaron promedios entre 51,05 y 70,82 g con calibres D y E. Según la norma NTC 4105 (ICONTEC, 1997) y el Manual del exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos (2000), para el Calibre A, los frutos deben pesar en promedio 129g, en el Calibre B 118 g, en el calibre C 99 g, en el calibre D 83g y en el calibre E 66 g. Por lo tanto, en el material genético evaluado se pueden encontrar frutos que pertenecen a los calibres B, C, D y E.

Tabla 4. Promedio de las variables relacionadas con los componentes de fruto de tomate de Árbol (*C. betacea*) evaluadas en San Juan, región natural andina del departamento de Nariño (Colombia).

<i>Tratamiento</i>	<i>PF</i>	<i>EP</i>	<i>DE</i>	<i>SST</i>	<i>AC</i>	<i>IM</i>	<i>CJ</i>	<i>PCS</i>	<i>PSPF</i>
CBbc11/Cbl77	107,60*	68,43*	52,94	10,95	3,06	2,37	65,73*	0,51	1,07*
CBc11/CBc95	97,47	66,26	50,71	10,73	3,00	2,36	59,42	0,42	0,84
CBcon33/CBu87	94,52	66,23	51,38	11,10*	2,93	2,49	56,49	0,52*	1,00
CBsj36/CBu87	94,03	63,47	51,79	10,86	2,76	2,66*	59,46	0,49	0,85
Cba09/CBb75	94,21	65,00	51,19	10,63	3,10*	2,27	59,58	0,46	0,84
CBb06/CBl77	104,47*	66,14	53,21*	10,39	3,00	2,32	64,18*	0,52*	1,00
CBp19/CBu94	95,18	63,76	51,28	10,46	2,76	2,55	58,42	0,48	0,83
CBb08/CBsj38	83,69	63,21	48,99	10,55	3,00	2,72*	52,44	0,44	0,76
CBb06/CBco41	93,40	66,04	51,31	10,56	3,06	2,29	56,55	0,49	1,03*
U. Contadero	103,08	67,78*	54,09*	11,13*	2,83	2,65*	57,49	0,52*	0,96
MEDIA	96,77	65,63	51,69	10,74	2,95	2,47	58,98	0,49	0,92
D.E	6,84	1,77	1,44	0,26	0,13	0,17	3,81	0,04	0,11
M+D.E	103,60	67,40	53,12	11,00	3,08	2,64	62,79	0,52	1,02

*= diferencias significativas al 95% de confiabilidad. D.E = desviación estándar, PF = peso de fruto (g), EP = eje polar del fruto (mm), DE = diámetro ecuatorial del fruto (mm), SST = sólidos solubles totales (°Bx), AC = ácido cítrico (%), IM = índice de madurez, CJ = contenido de jugo (mL), PCS = peso de cien semillas (g), PSPF = peso de semillas por fruto (g).

Tabla 5. Promedio de las variables relacionadas con los componentes de fruto de tomate de Árbol (*C. betacea*) evaluadas en La Pradera, región natural andina del departamento de Nariño (Colombia).

<i>Tratamiento</i>	<i>PF</i>	<i>EP</i>	<i>DE</i>	<i>SST</i>	<i>AC</i>	<i>IM</i>	<i>CJ</i>	<i>PCS</i>	<i>PSPF</i>
CBbc11/Cbl77	68,74	59,43	45,86	11,33	2,53	2,98	47,33	0,47	1,23
CBc11/CBc95	49,86	52	42	11,42	2,63	3,02*	32,77	0,43	0,83
CBcon33/CBu87	70,82	60,66	48,93*	10,6	2,63	2,86	48,44	0,42	1,53*
CBsj36/CBu87	74,43*	59,46	49,16*	11,11	2,53	3,09*	58,22*	0,45	1
Cba09/CBb75	54,26	56,1	43,23	10,17	2,96	2,34	41,24	0,46	1,18
CBb06/CBl77	70,42	59,83	47,33	10,85	3,1	2,37	38,26	0,46	1,29
CBp19/CBu94	62,99	57,9	45,63	11,74*	3,1	2,5	36,13	0,50*	1,22
CBb08/CBsj38	67,22	61,73*	46,33	11,16	3,06	2,56	47,91	0,48*	1,11
CBb06/CBco41	51,05	54,97	42,43	10,46	2,4	2,97	33,47	0,46	1
U.Contadero	69,42	59,8	47,1	11,12	3,33*	2,24	39,63	0,47	1,29
MEDIA	63,92	58,19	45,8	11	2,83	2,69	42,34	0,46	1,17
D.E	8,96	2,99	2,53	0,48	0,32	0,32	8,02	0,02	0,19
M+D.E	72,88	61,17	48,33	11,47	3,15	3,02	50,36	0,48	1,36

*= diferencias significativas al 95% de confiabilidad. D.E = desviación estándar, PF = peso de fruto (g), EP = eje polar del fruto (mm), DE = diámetro ecuatorial del fruto (mm), SST = sólidos solubles totales (°Bx), AC = ácido cítrico (%), IM = índice de madurez, CJ = contenido de jugo (mL), PCS = peso de cien semillas (g), PSPF = peso de semillas por fruto (g).

Eje polar (EP) y diámetro ecuatorial (DE) del fruto. Dado que el PF está altamente correlacionado con el EP y el DE del fruto, se considera que al analizar el PF, se está caracterizando indirectamente las otras dos variables. Según la norma NTC 4105 (ICONTEC, 1997) y el Manual del exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos (2000), frutos con calibre mayor o igual a 61 mm se ubican en el Calibre A, para el Calibre B deben estar entre 60-55 mm, en el calibre C se ubican entre 54 y 51 mm y en Calibre D se encuentran entre 50 y 46 mm y los menores o iguales a 45 mm en Calibre E.

Según García (2008), los productores generalmente clasifican el tomate de árbol por diámetro en tres grupos: grueso con diámetro mayor a 61 mm, parejo con diámetro entre 51 y 60 mm y pica con diámetros inferiores a 50 mm. Cuando se clasifican con base en su diámetro, el calibre se determina por el diámetro máximo de la sección ecuatorial (Resolución técnica No. 0038, 2015).

De tal manera, que en la localidad de San Juan (Tabla 4) los frutos que se encuentran en el calibre C forman parte UDENAR Contadero (54,09 mm) y el híbrido CBb06/CBI77 (53,21 mm) y los demás hacen parte de la categoría D con valores que fluctúan entre 52,94 y 48,99 mm. En La Pradera (Tabla 5) CBsj36/CBu87 con (49,16 mm) y CBcon33/CBu87 (48,93 mm) presentan frutos categorías D y los demás tratamientos, se ubican entre las categorías D y E con diámetros entre 47,33 y 42mm. Sin embargo, basados en el EP, en San Juan se encuentran en calibre A y en la Pradera se pueden encontrar calibres A, B y C.

Sólidos solubles totales (°Bx). En San Juan (Tabla 4), se destacaron UDENAR contadero (11,13 °Bx) y CBcon33/CBu87 (11,10 °Bx), los cuales no difieren entre ellos, pero si presentaron diferencias estadísticas con los demás que exhibieron promedios entre 10,95 y 10,39 °Bx. En La Pradera (Tabla 5) se destaca el híbrido CBp19/CBu94 con 11,74 °Bx, el cual supera estadísticamente a los demás con promedios que fluctuaban entre 11,42 y 10,17 °Bx. Los valores que se presentan en las dos localidades superan el promedio establecido en la norma NTC 4105 (ICONTEC, 1997), de tal manera que se puede considerar unos frutos dulces. Esta norma establece que frutos en estado 5 de maduración deben contener entre 9,1 y 9,9 °Bx.

El contenido de SST varía a medida que el fruto presenta un estado de maduración superior. Esto se debe a la hidrólisis de los almidones y a la síntesis de la sacarosa, así como a la oxidación de ácidos consumidos en la respiración (desdoblamiento de sustancias de reserva) (Hernández, 2001). En el tomate de árbol, los azúcares totales representan el 5% en peso de fruta fresca una vez que el fruto se encuentra formado y continúa aumentando hasta alcanzar la maduración completa (Rojas *et al.*, 2004).

Carrasco y Encina (2008), registraron un contenido de 11,57 °Bx. Gracias a la hidrolisis de los almidones que se desdoblán en disacáridos y monosacáridos más simples como la sacarosa, fructuosa y glucosa, así los valores máximos de cosecha se encuentran entre 9,3 y 10,3 °Bx (Ocampo *et al.*, 2009). Cuevas (2012), reportó un valor de 11,33 °Bx. En este caso, no se observan muchas variaciones entre los tratamientos evaluados cuyo rango es de 10,4 a 11,70 °Bx, aunque al ser de diferente constitución genética (híbridos) debería esperarse un mayor nivel de variabilidad entre ellos, tal como lo indica Portilla (2013). Durán *et al.* (2014), encontraron que los SST en cuatro días de análisis, presentó algunas diferencias significativas en cada uno de

los estados de madurez (verde, maduro y sobremaduro). En el estado maduro los contenidos de °Bx oscilaron entre 11,10 para el primer día; 10,73 para el segundo; 9,73 para el tercero y 10,90 para el cuarto. Estos valores coinciden con los obtenidos en esta investigación.

Los SST van incrementando lentamente hasta la semana 20, pasan de 4 a 8 °Bx de la semana 5 a la 20, mientras que de la semana 20 a la 25 alcanza los 12 °Bx. Después de la semana 27 parece estabilizarse. El incremento de los SST es consecuencia de la conversión de almidón en azúcares, principalmente. Esto hace la fruta más dulce y apetecible por el consumidor, por lo tanto, debería recolectarse después de la semana 23, cuando ya ha alcanzado un buen nivel de °BX (García, 2008).

Acidez titulable (AC). En San Juan (Tabla 4), el híbrido que presentó un mayor valor de AC fue Cba09/CBb75 con 3,10%. Los demás tratamientos presentaron valores entre 2,76 y 3,06%. Para La Pradera (Tabla 5) el mayor porcentaje lo obtuvo UDENAR Contadero con 3,33% y los valores de los híbridos estuvieron entre 2,40 y 3,10%. Los datos obtenidos en esta variable, se encuentran dentro de los valores establecidos por la NTC4105 (ICONTEC, 1997). En la industria de alimentos, los frutos de alta acidez son de gran importancia, ya que se logra reducir la adición de acidificantes y proporcionan una mejor nutrición, seguridad alimentaria y calidad organoléptica (Muller, 1977). El porcentaje de acidez total en los alimentos es un índice del valor de los ácidos orgánicos que pueden estar presentes en ellos. Dichos ácidos influyen notoriamente en el color, el sabor y la estabilidad de los productos alimenticios (Calvo, 2009)

Márquez *et al.* (2007), reportaron valores entre 2,0 y 2,9% y señalan que la acidez total en tomate de árbol se incrementa durante el desarrollo y alcanza un máximo en el estado de rojo incipiente y después disminuye gradualmente con estados más avanzados de maduración, por lo que su pH va en aumento y en algunas ocasiones permanece constante si la variación en la acidez total no es muy significativa. Portilla (2013), encontró que el promedio general para AC fue de 2,78% con un valor máximo de 3,45 y un mínimo de 1,78%.

Índice de madurez (IM). Los índices más utilizados para medir la madurez de un fruto son el color de fondo, la firmeza, el contenido de SST, la prueba de almidón y la acidez, siendo todos ellos de empleo práctico. Otros, como el número de días desde plena floración, la intensidad de

respiración y la producción de etileno son más indicados para estudiar las características fisiológicas (Knee y Hattfield, 1989). Según Crisosto, (1994) los IM catalogados como físico químico pueden ser considerados como tradicionales en el mundo de las frutas. Los más utilizados, son la firmeza, la acidez, la colorimetría tradicional, la medición de sólidos solubles y el índice de almidón.

Acorde con lo anterior, en San Juan (Tabla 4), los híbridos que presentaron mayor IM fueron el CBb08/CBsj38 (2,72), CBsj36/CBu87 (2,66) y UDENAR Contadero (2,65), los cuales presentaron diferencias estadísticas con los demás tratamientos, cuyos promedios fluctuaron entre 2,27 y 2,55. En la Pradera (Tabla 5), los híbridos CBsj36/CBu87 (3,09) y CBc11/CBc95 (3,02) fueron los híbridos que mostraron los mayores promedios de IM, con diferencias estadísticas respecto a los demás tratamientos, los cuales presentaron un rango entre 2,24 y 2,98.

EL IM presentó una correlación alta negativa significativa con el AC (Tabla 3), sin embargo, Lagos *et al.* (2013), encontraron una correlación fenotípica y ambiental negativa, pero no significativa, hecho que permite concluir que la relación que puede existir entre estas dos variables es de tipo ambiental.

Contenido de jugo (CJ). La Tabla 4 indica que, en la localidad de San Juan, los híbridos con mayor contenido de jugo fueron CBbc11/Cbl77 y CBb06/CBI77 con 65,73 y 64,18 ml/fruto, respectivamente. Estos no presentaron diferencias significativas entre ellos, y si exhibieron diferencias respecto a los demás materiales genéticos que mostraron un rango entre 52,44 y 59,58 ml/fruto. En La Pradera (Tabla 5), CBsj36/CBu87 con 58,22 mL/fruto fue superior estadísticamente al resto de tratamientos, los cuales produjeron entre 32,77 y 48,44 mL/fruto.

Acorde con lo anterior, para obtener un litro de jugo con los híbridos CBbc11/Cbl77 y CBb06/CBI77 cultivados en San Juan, se necesitan entre 15 a 16 frutos, en su orden. Con los demás híbridos y el testigo se requieren entre 17 y 19, mientras que en la Pradera con el híbrido CBsj36/CBu87 hay que utilizar 17 frutos y con los demás se debe contar con alrededor de 21 a 31 frutos. Según Duarte *et al.* (2012), en la evaluación que realizaron, el CJ de los frutos osciló entre 26,25 y 49,5 mL/fruto, es decir, para obtener un litro de jugo, se necesitan entre 19 a 44 frutos.

Peso cien semillas (PCS) y peso de semillas por fruto (PSPF). En San Juan (Tabla 4), el testigo UDENAR Contadero y los híbridos CBcon33/CBu87 y CBb06/CBI77 tienen un PCS de 0,52 g con diferencias significativas con los híbridos faltantes que registran valores entre 0,42 y 0,51 g. En La Pradera (Tabla 5) se destacaron los híbridos CBp19/CBu94 y CBb08/CBsj38 con PCS de 0,50 y 0,48 g, respectivamente. Los demás híbridos tenían valores de 0,42 a 0,47 g.

En cuanto al PSPF, en San Juan (Tabla 4) sobresalen los híbridos CBbc11/Cbl77 (1,07 g) y CBb06/CBco41 (1,03 g), los que superan estadísticamente a los otros tratamientos que registraron pesos que van desde 0,76 hasta 1 g. En La Pradera (Tabla 5) el híbrido CBcon33/CBu87 (1,53 g) supera estadísticamente a los demás tratamientos, cuyo peso fluctúa entre 0,83 y 1,29 g. Se debe tener en cuenta para la selección, aquellos genotipos con menor número de semillas por fruto, debido a que es un carácter importante para procesos de transformación agroindustriales (Duarte *et al.*, 2012).

Modelo de crecimiento y desarrollo del fruto de tomate de árbol. El modelo cuadrático, es utilizado para describir el crecimiento del fruto del tomate de árbol presentando coeficientes de variación entre 0,97 y 0,99 (Tablas 6 y 7). La regresión no lineal sirve para describir sistemas biológicos y físicos (Rebolledo, 1994). Según Reyes (2011), el modelo de regresión cuadrática es una alternativa cuando el modelo lineal no logra un coeficiente de determinación apropiado, o cuando el fenómeno en estudio tiene un comportamiento que puede considerarse como parabólico, la función que define el modelo es la siguiente:

$$y = a + bx + cx^2$$

Donde:

y = Variable dependiente.

a, b, c = Parámetros de la ecuación, que generalmente son desconocidos.

x = Valor de la observación de la variable independiente.

Para su crecimiento, el tomate de árbol depende de numerosos factores que afectan su desarrollo fisiológico entre los que cabe mencionar la variedad, iluminación, temperatura, nutrición y suministro de agua que actúan en un complejo de interacciones, de ahí que es necesario realizar un manejo eficiente de estos recursos (Bernal y Díaz, 2003).

Tabla 6. Modelo de Regresión Cuadrático para el crecimiento de fruto de híbridos tomate de árbol evaluados en San Juan, región natural Andina del departamento de Nariño.

Tratamientos	Modelo y coeficiente de determinación	
	Cuadrático	R ²
Bb06/Cbl77	$Y=1,58+8,18X-3,3X^2$	0,99
CBb08/CBsj38	$Y=1,48+7,76X-3,15X^2$	0,99
CBsj36/CBu87	$Y=1,27+7,60X-2,95X^2$	0,99
U. Contadero	$Y=1,45+8,56X-3,5X^2$	0,99
CBcon33/CBu87	$Y=1,57+7,59X-2,94X^2$	0,99
CBb06/CBl77	$Y=1,58+7,64X-2,95X^2$	0,99
CBp19/CBu94	$Y=1,90+7,30X-3,02X^2$	0,99
CBb06/CBco41	$Y=1,47+7,87X-3,07X^2$	0,99
Cba09/CBb75	$Y=1,40+7,86X-3,10X^2$	0,99
CBc11/CBc95	$Y=1,70+7,60X-3,01X^2$	0,99

Tabla 7. Modelo de Regresión Cuadrático para el crecimiento de fruto de híbridos de tomate de árbol evaluados en La Pradera, región natural Andina del departamento de Nariño.

Tratamientos	Modelo y coeficiente de determinación	
	Cuadrático	R ²
Cbc11/Cbl77	$Y=1,27+7,43X-2,96X^2$	0,98
CBb08/CBsj38	$Y=1,49+6,99X-2,63X^2$	0,98
CBsj36/Bu87	$Y=1,43+7,25X-2,89X^2$	0,99
U. Contadero	$Y=1,30+7,12X-2,72X^2$	0,99
CBcon33/CBu87	$Y=1,87+6,69X-2,69X^2$	0,98
CBb06/CBl77	$Y=8,95+8,23X-3,36X^2$	0,96
CBp19/CBu94	$Y=1,35+6,70X-2,56X^2$	0,99
CBb06/CBco41	$Y=1,57+6,23X-2,49X^2$	0,98
Cba09/CBb75	$Y=1,75+6,43X-2,64X^2$	0,97
Cbc11/CBc95	$Y=1,46+6,24X-2,52X^2$	0,98

Casierra *et al.* (2007), describieron el crecimiento de frutos de los híbridos de tomate Sofía, Bravona y Granito. En todos los híbridos encontraron que el incremento del diámetro transversal de los frutos de los tres cultivares describe curvas sigmoidales simples Quevedo *et al.* (2017), encontraron que el modelo cuadrático permite estimar el peso seco de órganos y área del limbo del duraznero, variedad Jarillo.

CONCLUSIONES

En cuanto a la estimación correspondiente a la variable peso de fruto, en San Juan se destacan los híbridos CBbc11/Cbl77 (107,60 g) y CBb06/CBl77 (104,47 g) y en La Pradera, el híbrido CBsj36/CBu87 (74,43 g).

Los sólidos solubles totales encontrados en San Juan y La Pradera superan lo establecido en la NTC 4105 y el mayor promedio lo obtuvo el híbrido CBp19/CBu94 en la localidad de La Pradera. La acidez titulable y el IM estimados en las dos localidades están dentro de la norma NTC 4105 para el tomate de árbol.

Se encontraron correlaciones positivas y significativas entre el peso de fruto con el eje polar, el diámetro ecuatorial y el contenido de jugo. El modelo de regresión cuadrática se ajusta al crecimiento del fruto para esta especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGRONET - Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario. (2018). Área producción y rendimiento por cultivo. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>.

Bernal, J., & Díaz, C. (2003). Tecnología para el cultivo del tomate de árbol. CORPOICA. Manual Técnico N° 3. Río Negro, Antioquia: Corpoica. 128 p.

CRFG - CALIFORNIA RARE FRUIT GROWERS. (2007). Tamarillo *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth. Solanaceae. Recuperado de <http://www.crfg.org/pubs/ff/tamarillo.html>.

- Calvo, M. (2009). Bioquímica de los Alimentos. Recuperado de <http://www.milksci.unizar.es/bioquimica/uso.html>.
- Carrasco, R., & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante de compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista Sociedad Química del Perú*. 74 (2): 108-124 p.
- Casierra, F., Cardozo, M., & Cárdenas, J. (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Revista Agronomía Colombiana*. 25(2). 299-305 p.
- CIAT, CIRAD, CORPOICA, FONTAGRO, INIAP, PROEXANT. (2008). PROYECTO FGT 14-03. 2008. "Desarrollo tecnológico para el fortalecimiento del manejo postcosecha de frutales exóticos exportables de interés para los países andinos: uchuva (*Physalis peruviana* L.), granadilla (*Passiflora Ligularis* L.) y tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Recuperado de https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2003/01/final_infotec_03_14.pdf.
- Crisosto, C. (1994). Optimum procedures for ripening stone fruit, Management of ripening fruit. Recuperado de <http://kare.ucanr.edu/files/123836.pdf>
- Cuevas, M. (2012). Desarrollo de láminas flexibles enriquecidas con calcio de parchita (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa Degenerer) con tomate de árbol (*Chymandra betacea* Sendth) y parchita con fresa (*Fragaria* sp). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 98 p.
- Duarte, D., Lagos, L., & Lagos, T. (2012). Correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales en 81 genotipos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav) Sendth.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 29 (2): 67 - 80.

- Durán, C., Gualdron, O., & Hernández, M. (2014). Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum* Sendth). *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*. 15 (3). 351-362 p.
- García, M. (2008). *Manual de manejo cosecha y poscosecha del Tomate de árbol*. Bogotá: CORPOICA. 98p.
- Hernández, M. (2001). Conservación del fruto de arazá (*eugenia stipitata*) durante la poscosecha mediante la aplicación de diferentes técnicas. Tesis doctoral. Facultad de agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 235 p.
- ICONTEC- Instituto Colombiano De Normas Tecnicas. (1997). Norma técnica colombiana NTC 4105: Frutos frescos. Bogotá: Tomate de árbol. Especificaciones. Bogotá: ICONTEC. Cenicafé. 15 p.
- Knee M., Hatfield S. & Smith,S. (1994). Evaluation of various indicators of maturity for harvest of apple fruits intended for long-term storage. *Journal of Horticultural Science*. 64: 403 – 411 p.
- Lagos, T. (2006). Biología reproductiva, citogenética, diversidad genética y heterosis en parentales de uvilla o uchuva *Physalis peruviana* L. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- Lagos, L. (2012). Evaluación del potencial genético de algunos parentales de tomate de árbol *Cyphomandra betacea* Cav. Sendt. a partir de un dialelico parcial circulante. Tesis Maestría. Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 75 p.
- Lagos, L., Vallejo, F., Lagos, T., & Duarte, D. (2013). Correlaciones genotípicas, fenotípicas y ambientales, y análisis de sendero en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav. Sendth.). *Acta Agronómica*. 62 (3). 215-222 p.

Lobo, M. (2006). Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Revista CORPOICA*. 7 (2).

Manual Del Exportador De Frutas, Hortalizas Y Tubérculos. (2000). Tamarillo (Tomate de árbol). Normas de Calidad. Recuperado de <http://interletras.com/manualcci/Frutas/Tomate/Calidad02.htm>.

Márquez, C., Carlos, J., Otero, E., Margarita, C., Cortés, R., & Misael. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en pos-cosecha. *Revista Vitae*. 14 (2): 9-16 p.

Muller, C. (1977). Efeito de doses de sulfato de amônio e de cloreto de potássio sobre a produtividade e a qualidade de maracujás colhidos em épocas diferentes. Tesis de maestría. Universidad Federal de Vicosa. Mina gerais, Brasil.

Ocampo, E., Barrera, E., & Yepes, D. (2009). Evaluación de las características físico-químicas del tomate de árbol (*Chyphomandra betacea* Sendth) en tres estados de maduración. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Portilla, A. (2013). Comportamiento agronómico y adaptabilidad de híbridos f1 de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth) en la región alto andina de Nariño, Colombia. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 124 p.

PROEXANT - Promoción de Exportaciones Agrícolas no Tradicionales. (2007). Estudio de Mercado para Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea*), Uchuva (*Physalis peruviana* L.), y Granadilla (*Passiflora Ligularis*), en Ecuador, la Unión Europea y Asia, como frutas frescas y procesadas. Ecuador: Desarrollo tecnológico para el mejoramiento del manejo post-cosecha de frutales exportables de interés para los países andinos.

- Quevedo, E., Cancino, G., & Barragán, A. (2017). Modelos de regresión para estimar el peso seco de órganos y área del limbo del duraznero, variedad jarillo. *Rev. U.D.C.A.* 20 (2). 299-310 p.
- Rebolledo, R. (1994). SAS en Microcomputadoras. Análisis de experimentos con fines de optimización de insumos agrícolas. Universidad Autónoma Chapingo Departamento de Suelos. Área de fertilidad. 92 p.
- Resolución Técnica N° 0038. (2015). Guía de buenas prácticas agrícolas para Tomate de Árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Agrocalidad. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/inocuidad/guia-tomate-arbol-min.pdf>.
- Revelo, V. (2011). Evaluación de la calidad poscosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol *Solanum betacea* Cav. Tesis de grado Ingeniero agroindustrial. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politecnica Nacional. Quito, Ecuador. 166 p.
- Reyes, L. (2011). Análisis de regresión cuadrática. Recuperado de <http://reyesestadistica.blogspot.com/2011/07/analisis-de-regresion-cuadratica.html>.
- Rojas, J., Peñuela, A., Gómez, C., Aristizábal, G., Chaparro, M., & López, J. (2004.) Caracterización de los productos hortofrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. Bogotá, Colombia: Cenicafé – Federación Nacional de cafeteros de Colombia – Sena. 44-49 p.
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav. Sendth.). Universidad Simón Bolívar. *Revista ALAN.* 62 (4).