

Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo

Regression models to predict the harvest with variables associated with the quality of the fruit, the time of defoliation and the altitude of the Jarillo peach

Enrique Quevedo-García^{1*} ; Miguel Antonio Murcia-Rodríguez² ; Martha Patricia Ochoa-Reyes³ 

¹Universidad de Pamplona, Departamento de Agronomía, Programa de Ingeniería Agronómica. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: enriquegarcia@unipamplona.edu.co

²Universidad de Pamplona, Departamento de Biología, Programa de Biología, Maestría en Biología Molecular y Biotecnología. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: miguel.murcia.r@gmail.com

³Universidad de Pamplona, Departamento de Biología, Programa de Biología. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: martha.ochoa@unipamplona.edu.co

*autor de correspondencia: enriquegarcia@unipamplona.edu.co

Cómo citar: Quevedo-García, E.; Murcia-Rodríguez, M.A.; Ochoa-Reyes, M.P. 2023. Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2235. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2235>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: marzo 9 de 2022

Aceptado: octubre 2 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El cultivo de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.) es de gran importancia en la provincia de Pamplona, dada su adaptación a la zona, como un frutal caducifolio. Los modelos matemáticos son relevantes en la agricultura para evitar muestreos destructivos, lo que supone la pérdida de material de investigación y la compra de costosos equipos de medición. Para estimar variables de respuesta de características del fruto del cultivar Jarillo a diferentes altitudes, se llevó a cabo un estudio en el paisaje de montaña de Norte de Santander, Colombia, evaluando 660 frutos desde el inicio de la formación hasta su maduración, a una altitud de 1.670, 1.870 y 2.170 m s.n.m. El rendimiento y el número de frutos totales fue mayor en la menor altitud evaluada. A 1.870 m s.n.m. el contenido de sólidos solubles totales fue menor; la relación de madurez tendió a incrementarse en las tres altitudes, pero en menor proporción, para 1.870 m s.n.m. El análisis de regresión lineal múltiple indicó diversos modelos de regresión lineal simple adecuados, según, sea el caso, para estimar sólidos solubles totales, cosecha total y peso fresco del durazno por altitud.

Palabras clave: Árbol de hoja caduca; Calidad de fruto; Fisiología vegetal; Gradiente altitudinal; Modelación.

ABSTRACT

The peach crop (*Prunus persica* (L.) Batsch.) is of great importance in the province of Pamplona, due to its adaptation to the area as a deciduous fruit tree. Mathematical models are relevant in agriculture to avoid destructive sampling, which involves the loss of research material and the purchase of expensive measuring equipment. To estimate response variables of fruit characteristics of the Jarillo cultivar at different altitudes, a study was carried out in the mountain landscape of Norte de Santander, Colombia, evaluating 660 fruits from the beginning of fruit formation to fruit ripening at an altitude of 1,670, 1,870, and 2,170 m a.s.l. Yield and number of total fruits were higher at lower altitudes and decreased at higher altitudes. At 1,870 m a.s.l., total soluble solids content was lower. The maturity relation tended to increase at all three altitudes, but to a lesser extent at 1,870 m a.s.l. Multiple linear regression analyses indicated several simple linear regression models suitable for estimating total soluble solids, total yield, and fresh weight of peaches by altitude.

Keywords: Altitudinal gradient; Deciduous tree; Fruit quality; Plant physiology; Modelling.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad económica destacada en Colombia, pero su participación en la producción nacional ha descendido durante las últimas décadas, que pasó de representar el 25 % del producto interno bruto (PIB), en 1965, a 6,3 %, en 2017 (Cárdenas *et al.* 2018). La reducción de dicha participación se encuentra asociada con problemas estructurales y se caracteriza por una escasa utilización de tecnología, reducida investigación agrícola, ineficiencias en el uso del suelo e incorrecta asignación de los recursos públicos (Cano, 2013; Perfetti *et al.* 2013; Junguito *et al.* 2014).

La producción de durazno *Prunus persica* (L.) Batsch es una de las actividades agrícolas más desarrolladas en el mundo en comparación con otras especies frutales de hoja caduca (Cancino *et al.* 2018). Los países con mayor producción incluyen la República Popular China, Italia y Estados Unidos. En Latinoamérica, Chile se ubica en primer lugar, con 97.564 toneladas al año, seguido de México y Brasil. En el trópico alto colombiano también se produce, destacándose el departamento de Norte de Santander (Pinzón *et al.* 2014), donde se cultiva, principalmente, el cultivar Jarillo (Campos, 2013). Este departamento ha venido posicionándose como una zona apta para los frutales caducifolios, introduciendo nuevas áreas para el cultivo de durazno (Pinzón *et al.* 2014). Los municipios de Cácuta y Silos de la provincia de Pamplona, son importantes en la producción comercial de durazno (Quevedo-García *et al.* 2017).

La capacidad de adaptarse de un organismo a diferentes entornos se denomina plasticidad fenotípica, lo cual, permite la aparición de diversos fenotipos en función del medio al que esté expuesto el organismo (Parejo-Farnés *et al.* 2019). El conocimiento de la plasticidad fenotípica del durazno permite seleccionar plantas con baja demanda de horas frío, bajo la influencia de un factor de estrés externo, como la altitud, mediante la evaluación de cambios en los componentes primarios y la producción secundaria.

La defoliación es la eliminación de la lámina foliar de las plantas de forma manual o química, o por inducción, mediante prácticas culturales (Baldissera & Petri, 2020). Los cambios que sufren las hojas de las plantas con los defoliantes son similares a los causados por la defoliación natural: cambios de pigmentación con o como resultado de la acumulación de clorofila, carotenoides y, a veces, antocianinas; deshidratación; hidrólisis de carbohidratos; aumento de fracciones de nitrógeno soluble; disminución del ácido sulfhídrico y aumento de la respiración (Gulfishan *et al.* 2019).

La altitud representa un gradiente ambiental complejo, donde la temperatura, la radiación solar y las condiciones del suelo, como la humedad y los nutrientes, varían significativamente (Fischer *et al.* 2022). La altitud tiene una influencia sustancial en la temperatura; a menor altitud la temperatura aumenta e impulsa el metabolismo, la proliferación celular, la tasa fotosintética y, por tanto, el crecimiento de la planta (Bhattacharya, 2022). Las condiciones climáticas de la zona de producción igualmente influyen sobre la calidad de los frutos (Galindo *et al.* 2014; Reig *et al.* 2015; Romeu *et al.* 2015) y

varían de acuerdo con la temperatura (Lee *et al.* 2022) y la altitud, como lo reportado para *P. armeniaca* (Naryal *et al.* 2020) y otras especies perennes (Sarmiento-Soler *et al.* 2020).

Con la ayuda de modelos de simulación de crecimiento y desarrollo es posible conocer la respuesta de producción de una especie frente a las fluctuaciones ambientales, como: valores diarios u horarios de radiación solar, temperatura, lluvia o riego; también son útiles, por ejemplo, para evaluar las características genéticas de adaptación a los factores del cambio climático (Hammer *et al.* 2020).

En este contexto, el desarrollo de modelos matemáticos o estadísticos es fundamental en la agricultura, ya que es posible predecir el peso fresco de la fruta, los sólidos solubles totales y el rendimiento total del durazno, sin realizar muestreos destructivos, con la consiguiente pérdida de material de investigación y la adquisición de equipos de medición costosos (Quevedo García *et al.* 2017).

El objetivo de este estudio fue determinar las mejores ecuaciones de regresión lineal múltiple para la predicción del peso fresco y los sólidos solubles totales del fruto en tres estadios secundarios (72, 75 y 87) y uno para la cosecha total (87), según la normativa internacional BBCH, de plantas de durazno cultivar Jarillo, en tres altitudes de la Provincia de Pamplona-Norte de Santander, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se llevó a cabo dentro de la zona fisiográfica de la montaña santandereana, que comprendió las zonas medias de la cordillera oriental, en el departamento de Norte de Santander (Colombia), entre los 1.600 y 2.300 m s.n.m. Primera altitud, a 2.170 m s.n.m., en el municipio de Pamplona, vereda Chíchira (Cuenca del Catatumbo), 7°22'43,6" N, 72°37'41,1" O, temperatura media de 16 °C, precipitación con régimen bimodal de 933,9 mm y suelo Inceptisol. Segunda altitud, a 1.870 m s.n.m., en el municipio Chitagá, vereda Carrillo (Cuenca del Orinoco), 7°11'15" N, 72°39'7,3" O, con temperatura media de 18 °C, precipitación de 879,5 mm de régimen unimodal y suelos del orden Inceptisol (IGAC, 2011). La tercera altitud, a 1.670 m s.n.m., en el municipio Pamplonita, vereda Batagá (Cuenca del Catatumbo), 7°26'18,1" N, 72°38'9" O, temperatura media 20 °C, precipitaciones frecuentes y acumuladas anuales que superan los 1.200 mm en régimen bimodal y suelos pertenecientes al orden Inceptisol (IGAC, 2011).

Material vegetal. El durazno Jarillo se caracteriza por ser un fruto de cáscara y pulpa amarilla, de pequeño tamaño, forma redondeada, de alta producción prolífica y susceptible a mancharse cuando se manipula en húmedo durante la postcosecha. El cultivar Jarillo no requiere de compensación de frío (Herrera *et al.* 2008). Los principales cultivares de durazno presentes en Venezuela, se originaron de un número limitado de genotipos provenientes de Estado Unidos, en el siglo XX y presentan alto grado de autopolinización natural; de allí, que la base genética del durazno Jarillo es estrecha (Sangronis *et al.* 2017).

Muestreo. Para el muestreo de árboles en cada altitud, se utilizó un muestreo hipercubo latino condicional, ya que es un método eficiente para muestrear, usando una covariable morfofisiológica (Minasny *et al.* 2012). Se identificaron 48 árboles (6 filas y 8 columnas), con una red rígida, donde se involucró, como variable auxiliar o covariable, el área del involucro foliar del árbol de forma, aproximadamente, elíptica.

El muestreo se fijó para cada altitud y con la ayuda de la librería *clhs* del software R, se generó una muestra de 13 árboles por altitud, de los cuales, se tomaron 3 hojas y 10 frutos del tercio medio del árbol, de apariencia similar en color en diámetro ecuatorial y longitudinal, que también formaron parte de las variables auxiliares del muestreo condicional. Estas muestras conformaron una matriz de 660 observaciones, discriminadas en 220 datos por altitud.

Los muestreos se realizaron entre los siguientes estadios fenológicos de desarrollo: etapa secundaria 72: ovario verde rodeado de corona de pétalos que mueren; 75: fruto de aproximadamente la mitad del tamaño final y 87: fruto maduro para la cosecha, de la etapa principal 7: formación del fruto y 8: maduración del fruto, de la escala no extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt Chemise) (Enz & Dachler, 1998; Mounzer *et al.* 2008; Fadón *et al.* 2015; Lisandru *et al.* 2017).

Durante cada una de las fases productivas, se efectuaron observaciones semanales a tres ramas productivas de la misma edad e identificadas en cada uno de los individuos, con el fin de determinar la cantidad de días en que se presentaron los efectos agrupados, según los estadios de desarrollo evaluados.

Variabes regresoras. En el trabajo de investigación se involucró una matriz de datos, construida con la información obtenida de los estadios secundarios de desarrollo de los árboles, dependiendo de la función de regresión (Fadón *et al.* 2015), para lo cual, se definieron diversas variables determinadas en los órganos.

El comportamiento diferencial de las variables morfológicas, fisiológicas histológicas y agronómicas del cultivo de durazno Jarillo fueron determinadas por las condiciones particulares de los factores edafoclimáticos del gradiente altitudinal 1.670, 1.870 y 2.170 m s.n.m., de los días después de la defoliación (ddf) del cultivo, que comprenden estados fenológicos entre los estadios secundarios 72 al 87 y de sus respectivas interacciones.

Variabes morfológicas. Se escogieron tres ramas mixtas de la misma edad por árbol, ubicadas en el tercio medio; posteriormente, se marcaron con cintas azules (ramas y hojas), rojas (frutos) y números consecutivos, teniendo también en cuenta tres frutos en crecimiento activo por 13 árboles, que presentaban un desarrollo secundario 72.

Se determinó el largo (cm) y ancho (cm) de la hoja, el diámetro ecuatorial (cm) y longitudinal (cm) del fruto. Las medidas de los diámetros se determinaron con un pie de rey electrónico marca Ubermann (Fa, Sodimac, Santiago, Chile). Los datos se registraron

durante dos años, sin efecto del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y cada 15 ddf, durante 22 muestreos y tres estados fenológicos secundarios, usando la escala BBCH (estadios secundarios 72, 75 y 87) (Fadón *et al.* 2015; Lisandru *et al.* 2017). Los resultados de la determinación de las variables morfológicas del fruto y de crecimiento vegetativo se analizaron descriptivamente, a través de modelos de regresión, para explicar el crecimiento vegetal.

Variabes fisiológicas. Se midió la temperatura de la hoja (°C) y el peso fresco del fruto durante un año y cada 15 ddf, usando la escala BBCH no extendida (estadios secundarios 72, 75 y 87).

La temperatura de la hoja en °C se determinó durante 22 muestreos, realizados en el periodo de dos años, cada 15 ddf y durante tres estados fenológicos secundarios específicos, mediante la escala BBCH no extendida (Enz & Dachler, 1998).

En lo que respecta al peso fresco del fruto (g), se obtuvo en ochenta frutos seleccionados al azar por altitud, mediante el uso de una balanza electrónica (Lexus®, China), con rango de medida 3.600 g y precisión 0,01 g (Quevedo-García *et al.* 2017; Quevedo García *et al.* 2017b).

Variabes histológicas. Se recolectaron tres hojas por árbol en el estrato medio de la planta de durazno. Las hojas se cortaron a nivel central en dos regiones (Voltan *et al.* 1992). Las muestras de tejido de las hojas fueron colectadas de la parte media de cada hoja (evitando la nervadura central) y se fijaron en FAA (10 ml de formol, 35 ml de agua destilada, 5 ml de ácido acético glacial y 50 ml de etanol al 95 %). Se midió el grosor de la hoja (GH) (µm) durante dos ciclos productivos, cada 15 ddf hasta los 185 ddf. La información generada se organizó en una base de datos, siguiendo el orden de una matriz para su análisis.

Respuesta productiva del durazno Jarillo. Además, se realizaron dos cosechas, con sus respectivos pases, de los frutos en el estadio secundario 87, que corresponde a que el 70 % de los frutos muestran el color típico de madurez, para 39 árboles, ubicados en las tres altitudes, en el primer y segundo ciclo productivo. Se utilizó una balanza H-110 digital con una capacidad de 50 kg, resolución de 20 g y tolerancia de 40 g de fabricación China y bolsas de papel, para identificar la producción por árbol y parcela. Se midieron las siguientes variables: número de frutos, cosecha total por árbol (kg/árbol) y peso fresco del fruto.

Determinación de la calidad del fruto. Se seleccionaron 10 frutos de 10 árboles (uno por árbol), ubicados en cada altitud. Los frutos se cosecharon desde el inicio del estado fenológico 72 (inicio de formación del fruto), a los 33 ddf hasta 87 (estado final para la cosecha del fruto); se recolectaron en total 30 frutos por muestra de las tres altitudes durante 10 muestreos, para estimar las variables: sólidos solubles totales (SST) y acidez total titulable (ATT) del fruto.

Sólidos solubles totales (SST). Los SST se determinaron colocando una gota de jugo extraída del fruto (AOAC, 1995), en un refractómetro portátil (00~32 °Brix), marca BRIXCO FG109, con una precisión de 0,2 °Brix y compensación automática de temperatura.

Acidez total titulable (ATT). La acidez total se determinó mediante la titulación ácido-base (AOAC, 2005).

Relación de madurez (RM). La relación de madurez se calculó mediante la expresión:

$$RM = \frac{SST \text{ (}^\circ\text{Brix)}}{ATT \text{ (\%)}}$$

Esta se determinó después de siete meses de defoliación y durante los dos ciclos de producción, para los tres pisos altitudinales.

Análisis estadístico. Se escogieron los modelos de regresión lineal múltiple de mayor ajuste, utilizando el paquete estadístico SPSS 23, con el método de selección de variables Stepwise, donde se introdujeron las variables regresoras y las de respuesta, para estimar el peso fresco del fruto, los sólidos solubles totales y la cosecha total por altitud, considerando que el R^2 fuese, al menos, de 0,8, el cual, representa la proporción de variación explicada por la regresión. Antes de proceder con el análisis estadístico, se realizó un análisis exploratorio de datos, para identificar valores aberrantes, inconsistencias en los datos y los supuestos que exige la regresión lineal múltiple, como: linealidad, normalidad e independencia de los errores y su varianza constante u homocedasticidad y la no-colinealidad de las variables independientes, para lo que se utilizó, como indicador, el factor de inflación de varianza VIF. Por último, para observar la relación entre los datos, se realizó la comparación de los datos observados con los estimados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la figura 1, los mayores valores de SST y rendimiento se presentaron en la menor altitud y los menores a mayor altitud, lo que indica la estrecha relación entre los SST y

la cosecha total por altitud. En la figura 2, se presenta el modelo de regresión para estimar SST, en la fase comprendida entre el inicio del crecimiento del fruto (estadio 72), endurecimiento del endocarpo del fruto o estadio secundario 75 y la cosecha (estadio secundario 87), durante los dos ciclos de producción y cada altitud, incorporando el tiempo como variable regresora (ddf), el cual, se ajustó (Tabla 1), según las siguientes ecuaciones:

Para 1.670 m s.n.m.:

$$SST = 0,029DDF + 0,018RM + 1,41ATT + 0,088TH + 2,284 \text{ (} R^2 = 0,838; p = 4,4E-171 \text{)}$$

Para 1.870 m s.n.m.:

$$SST = 0,35RM + 2,71ATT + 2,78 \text{ (} R^2 = 0,807; p = 1E-50 \text{)}$$

Para 2.170 m s.n.m.:

$$SST = 0,024DDF + 0,205RM + 5,6 \text{ (} R^2 = 0,851; p = 1,4E-58 \text{)}$$

Para el combinado de las altitudes:

$$SST = 0,025DDF + 0,172RM + 0,011GH + 4,87 \text{ (} R^2 = 0,903; p = 8,5E-77 \text{)}$$

Para las variables de regresión se escogió el modelo representado por la ecuación para 1.670, 1.870, 2.170 m s.n.m. y combinado para las tres altitudes. Por las ecuaciones obtenidas, se puede deducir que el tiempo de crecimiento del fruto o su estadio de desarrollo son factores determinantes para estimar el SST (Figura 2). En el modelo combinado se puede ver que RM, DDF y GH son variables regresoras importantes para estimar los SST.

En los trabajos de Bacelar de Morais *et al.* (2017), se consideró que valores de SST superiores a 10 °Brix eran los mínimos aceptados por los consumidores para seleccionar los frutos durazno de color amarillo. Este valor fue alcanzado por los frutos evaluados en las tres altitudes (Figura 2) e, incluso, fueron mayores a ese valor mínimo a partir de los 87 ddf, los cuales, aumentaron durante el proceso de maduración.

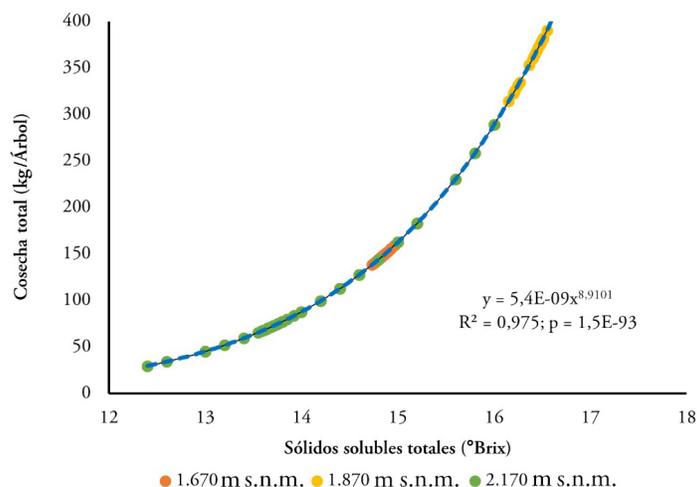


Figura 1. Ecuaciones, R cuadrados de los modelos de regresión potencial, para estimar la cosecha en las tres altitudes para el duraznero Jarillo, durante dos ciclos de producción combinados.

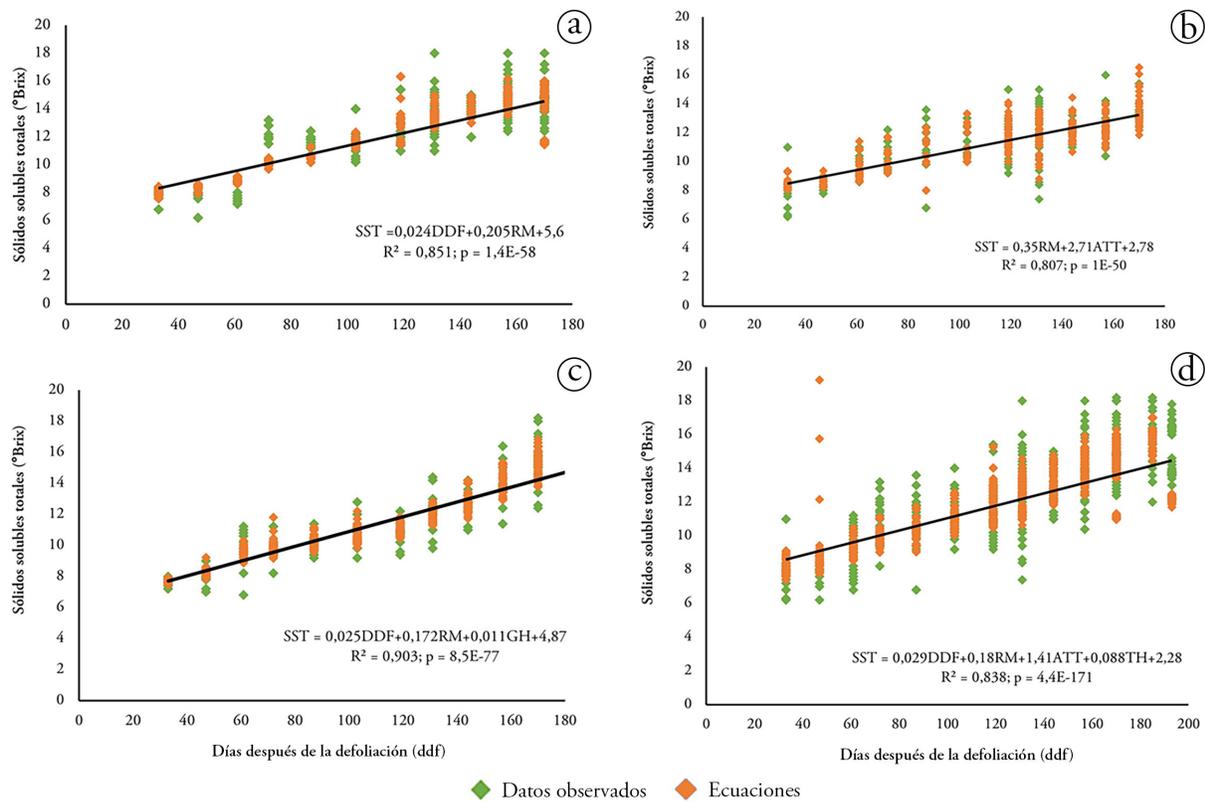


Figura 2. Ecuaciones, R cuadrados de los modelos de regresión lineal múltiple, para estimar sólidos solubles totales SST del fruto de duraznero Jarillo, en las tres altitudes y combinados, durante dos ciclos de producción. a) 1.670 m s.n.m., b) 1.870 m s.n.m., c) 2.170 m s.n.m. y d) combinado del año y las altitudes.

Tabla 1. Valores de estimación de la cosecha total de frutos y su correspondiente significancia, en los modelos de regresión lineal múltiple, para las diferentes altitudes evaluadas durante el desarrollo del fruto del durazno Jarillo.

Modelo	Coefficientes no estandarizados (B)	t-student	Sig.	VIF
Cosecha del primer ciclo de producción				
Constante	-1.253,53	-24,370	0,000	
Número total de frutos	-0,04	-6,509	0,000	1,203
Sólidos solubles totales	100	32,324	0,000	1,203
Cosecha del segundo ciclo de producción				
Constante	127,69	5,528	0,000	
Número total de frutos	0,04	7,140	0,000	1,001
Altitud	-0,03	-3,276	0,001	1,001

Al final de la presente evaluación los valores de SST obtenidos fueron mayores y se indica que los aumentos en SST están asociados al proceso de maduración del fruto, tal como lo afirmaron Huan *et al.* (2016) y Cremasco *et al.* (2016). La fruta producida a la menor altitud evaluada maduro primero debido, probablemente, a la ocurrencia de temperaturas más altas durante el día, tal como lo hallado por Cremasco *et al.* (2016), quienes señalaron que fue la principal causa para el aumento de los sólidos solubles totales en la fruta.

El rendimiento en las diferentes altitudes, al finalizar el ciclo productivo de los árboles de durazno, expresado en número de

frutos cosechados por árbol fue mayor durante el primer ciclo de producción, a 1.670 m s.n.m., con 1.917,33 frutos, mientras que durante el segundo ciclo de producción fue para la altitud de 1.870 m s.n.m., con 1.641,99; sin embargo, durante la evaluación se observó un incremento en el número de frutos cosechados (1.172,98; 1.323,3 y 1.735,52 número de frutos, respectivamente, para cada altura), en la medida que disminuyó la altitud. Estos resultados indicaron que el medio ambiente de la cuenca del Orinoco con una mayor precipitación (895 mm) y humedad relativa (81,14 %,) influyó sobre la expresión de los componentes del rendimiento, lo que concuerda con los resultados de Reig *et al.* (2015).

El rendimiento agronómico, se vio influenciado por variables, tales como: el contenido de SST y el número de frutos cosechados durante el primer ciclo de producción, mientras que durante el segundo ciclo de producción las regresoras fueron el número total de frutos y la altitud.

Para el cálculo del rendimiento (carga inicial) se construyó una expresión estadística lineal múltiple, que incluyó las variables SST y número de frutos cosechados durante el primer ciclo de producción. Y durante el segundo ciclo de producción, número de frutos cosechados y la altitud, con el fin de poder predecir con una alta precisión el rendimiento final para las tres altitudes.

Se elaboró un modelo para estimar el rendimiento final, durante los dos ciclos productivos, obteniéndose las siguientes ecuaciones de regresión lineal múltiple:

$$CT(\text{cosecha total 1er ciclo productivo})=100(\text{SST})-0,043(\text{NFT}(\text{número de frutos totales})) -1.253,53 (R^2=0,979;p=5,4E-96)$$

$$CT(\text{cosecha total 2do ciclo productivo})=0,041(\text{NFT}(\text{número de frutos totales}))-0,034 (\text{ALT}(\text{altitud}))+127,69 (R^2=0,445;p=3,1E-08)$$

En las figuras 3a y 3b, se comparan los valores del rendimiento estimado y observado por altitud. Se pudo observar que a la altitud de Chitagá (1870 m s.n.m.), se obtuvo un mayor rendimiento durante el primer ciclo productivo (Figura 3a). Como se observa en la figura 3b, el mayor rendimiento se obtuvo en la menor altitud y se redujo a medida que se aumentaba la altitud. El número de frutos cosechados fue el determinante más importante del rendimiento, para estimar la cosecha del durazno Jarillo, por presentar el mayor coeficiente no estandarizado (B) de regresión parcial (Tabla 1), resultado similar al obtenido por Scarlato *et al.* (2017). De acuerdo con Ganji Moghadam *et al.* (2021), el peso del fruto, la altura del árbol y la sección transversal del tallo son las variables determinantes en el modelo de estimación del rendimiento en el cultivo de durazno.

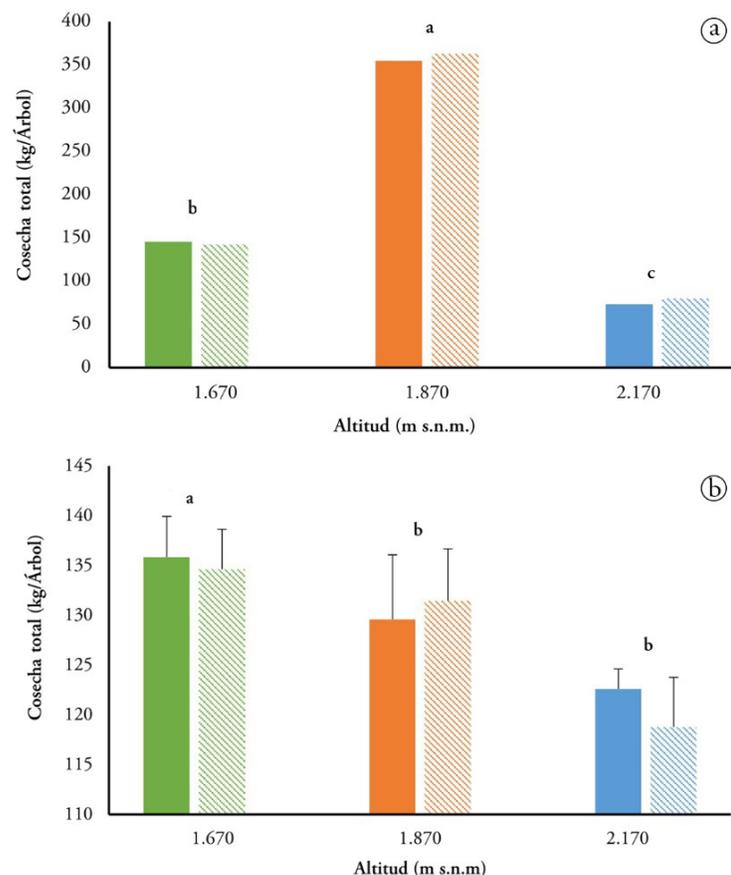


Figura 3. Estimación de la cosecha total del duraznero en función de sólidos solubles totales SST y el número de frutos totales, para tres altitudes del departamento de Norte de Santander, Colombia. a) primer ciclo de producción; b) segundo ciclo de producción.

Valores observados color sólido y valores estimados rayas en diagonal.

Las letras diferentes indican diferencias significativas (Anova, $p=5,8E-92$ y $p=3,5E-05$, respectivamente).

Las ecuaciones de regresión para estimar el peso fresco del fruto del durazno Jarillo, entre el inicio del crecimiento del fruto (estadio secundario 72), el endurecimiento del cuesco del fruto (estadio secundario 75) y hasta la cosecha (estadio secundario 87), durante el ciclo productivo del segundo ciclo de producción para cada altitud y el tiempo de evaluación (ddf) estudiado, fueron las siguientes:

Para 1.670 m s.n.m.:

$$PFF(\text{peso fresco del fruto}) = 25,42DL + 0,202DDF - 87,84 \quad (R^2 = 0,913; p = 1E-226)$$

Para 1.870 m s.n.m.:

$$PFF = 18,58DE + 0,096DDF - 71,49 \quad (R^2 = 0,851; p = 4,8E-177)$$

Para 2.170 m s.n.m.:

$$PFF = 18,58DE + 0,92RM - 45,196 \quad (R^2 = 0,97; p \leq 0,0001)$$

Para el combinado de las altitudes:

$$PFF = 24,18DE + 0,072DDF - 62,65 \quad (R^2 = 0,898; p \leq 0,0001)$$

El modelo seleccionado para las variables regresoras fue el representado por la ecuación para 1.670, 1.870, 2.170 m s.n.m. y combinado para las tres altitudes. Por las ecuaciones obtenidas, se puede deducir que el tiempo transcurrido durante el crecimiento del fruto y su estadio de desarrollo, el diámetro del fruto y la RM son factores determinantes para estimar el PFF (Figura 4).

Con relación a los factores determinantes para estimar el PFF del fruto, el diámetro es el principal requisito exigido por el consumidor (Pires Matias *et al.* 2014; Cremasco *et al.* 2016; Bacelar de Moraes *et al.* 2017). En la calidad visible del fruto, el diámetro es una de las principales características que determina el consumo en fresco (Maulión *et al.* 2016). Un fruto de durazno con un diámetro superior a 59 mm se considera de tamaño aceptable en el mercado.

El peso fresco del fruto es un factor genético cuantitativo importante que determina el rendimiento, la calidad de la fruta y la aceptabilidad del consumidor, como lo señalaron Pires Matias *et al.* (2017) en su trabajo y se expresó mejor como un efecto ambiental sobre la fisiología de los árboles, en las altitudes más bajas.

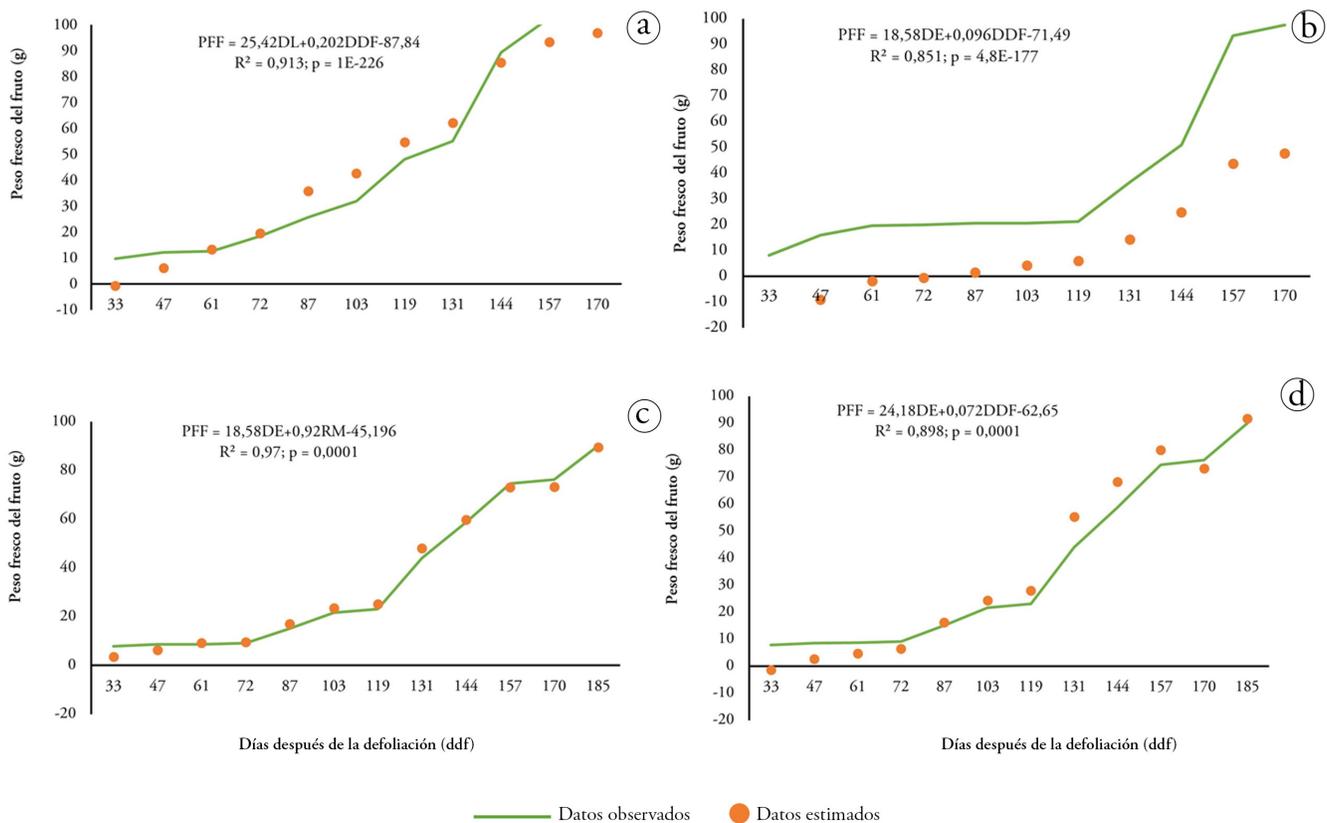


Figura 4. Ecuaciones, R cuadrados de los modelos de regresión, para los modelos de regresión lineal múltiple, para estimar el peso fresco del fruto, en las tres altitudes para el duraznero Jarillo, durante el segundo ciclo de producción. a) 1.670 m s.n.m., b) 1.870 m s.n.m., c) 2.170 m s.n.m. y d) combinado de las altitudes.

La RM del fruto tendió a incrementarse en las tres altitudes evaluadas, pero en menor proporción para 1.870 m s.n.m; el incremento es debido a la disminución de la acidez y el incremento en los sólidos solubles totales, propios del proceso de maduración del fruto (Pires Matias *et al.* 2017). Una baja RM de los frutos, como lo observado para la altitud 1.870 m s.n.m, puede indicar una baja calidad de los frutos en cuanto al sabor; este es un buen indicador para frutas de alta calidad, tal como lo considera en sus trabajos Comiotto *et al.* (2013).

Los productores de durazno en la cuenca hidrográfica del Orinoco cosechan primero, en comparación con la altitud correspondiente a la cuenca del Catatumbo (Pamplona y Pamplonita), lo que conlleva a que en la cuenca del Orinoco la RM de los frutos sea más baja, debido al menor valor de SST de los frutos. Esta situación conlleva al incremento en el uso de insumos, como el azúcar y, por ende, los costos de producción en la elaboración de productos procesados, como conservas, jaleas, bocadillos.

Lo anterior indicó que las variables regresoras, días después de la defoliación, altitud, relación de madurez, acidez total titulable, temperatura de la hoja, grosor de la hoja, sólidos solubles totales, número de frutos totales, altitud, diámetro longitudinal y ecuatorial del fruto, pueden ser usadas, según sea el caso, para analizar y estimar los sólidos solubles totales, la cosecha total y el peso fresco del fruto de durazno Jarillo.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Pamplona, los productores Carlos Alberto Portilla y William Eduardo Flórez y los autores. Contribución de los autores: Enrique Quevedo García: conceptualización, investigación y visualización. Miguel Antonio Murcia: curaduría de datos, análisis formal. Martha Patricia Ochoa Reyes: escritura del borrador original.

REFERENCIAS

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNACIONAL, AOAC. 1995. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists Internacional. 16th, ed. AOAC Internacional. Maryland, USA.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNACIONAL, AOAC. 2005. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists Internacional. 18th, ed. AOAC Internacional. Maryland, USA.
3. BACELAR DE MORAIS, K.D.; DA SILVA XAVIER, B.; PEREIRA DA SILVA, D.F.; ALVES OLIVEIRA, J.A.; BRUCKNER, C.H. 2017. Avaliação física e química de frutos de cultivares de pessegueiro. Revista Engenharia na Agricultura. 25(2):157-163. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i2.712>
4. BALDISSERA, S.; PETRI, J.L. 2020. Desfolha antecipada e sua relação com o teor de carboidratos em ramos de pessegueiro cv. Chimarrita. IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação. 9(3):70-81.
5. BHATTACHARYA, A. 2022. Effect of low-temperature stress on germination, growth, and phenology of plants: A review. En: Bhattacharya, A. Physiological processes in plants under low temperature stress. Springer, Singapore. p.1-106. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9037-2_1
6. CAMPOS, T. DE J. 2013. Especies y variedades de hoja caduca en Colombia. En: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. (eds.) Los frutales caducifolios en Colombia. Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Sociedad colombiana de ciencias hortícolas (SCCH), asociación hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol), fondo nacional de fomento hortofrutícola, federación colombiana de productores de caducifolios (Fedecaducifolios). Bogotá, Colombia. p. 47-64.
7. CANCINO, S.E.; CANCINO ESCALANTE, G.O.; QUEVEDO GARCÍA, E. 2018. Modelo explicativo de la rentabilidad económica del cultivo de durazno en la provincia de Pamplona, Colombia. Económicas CUC. 39(2):63-76. <https://doi.org/10.17981/econuc.39.2.2018.04>
8. CANO, C.G. 2013. La agricultura colombiana de cara a los pactos bilaterales de Comercio. Revista de Ingeniería. 38:63-70.
9. CÁRDENAS, M.; ECHAVARRÍA, J.; HERNÁNDEZ, G.; MAIGUASHCA, A.; MEISEL, A.; OCAMPO, J.; ZÁRAT, J. 2018. Coyuntura del sector agropecuario colombiano, Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República. Banco de la República-Documentos de Trabajo. 2:1-7.
10. COMIOTTO, A.; FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; GALARÇA, S.P.; MACHADO, N.P.; PREZOTTO, M.E.; HASS, L.B. 2013. Desenvolvimento, produção e qualidade dos frutos de pessegueiros enxertados sobre diferentes porta-enxertos. Semina: Ciências Agrárias. 1(34):3553-3562. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl1p3553>
11. CREMASCO, J.P.G.; MATIAS, R.G.P.; SILVA, D.F.P.; OLIVEIRA, J.A.A.; BRUCKNER, C.H. 2016. Qualidade pós-colheita de oito variedades de pêssego. Comunicata Scientiae. 7(3):334-342.
12. ENZ, M.; DACHLER, N. 1998. Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas. Escala BBCH extendida. Limburgerhof, Alemania. 123p.

13. FADÓN, E.; HERRERO, M.; RODRIGO, J. 2015. Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*. 192:141-147. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.027>
14. FISCHER, G.; PARRA-CORONADO, A.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E. 2022. Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana*. 40(2):212-227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101854>
15. GALINDO, A.; RODRÍGUEZ, P.; COLLADO-GONZÁLEZ, J.; CRUZ, Z.N.; TORRECILLAS, E.; ONDOÑO, S.; CORELL, M.; MORIANA, A.; TORRECILLAS, A. 2014. Rainfall intensifies fruit peel cracking in water stressed pomegranate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. 194:29-35. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.03.015>
16. GANJI MOGHADAM, E.; GHAREMANI, A.; SEYED MASOUMI KHAYAVI, S.Y. 2021. Evaluation of pomological and morphological traits of some peach (*Prunus persica* L. Batsch) cultivars and genotypes under Khorasan Razavi climatic conditions. *Journal of Horticultural Science*. 35(1):87-102. <https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V35I1.87233>
17. GULFISHAN, M.; JAHAN, A.; BHAT, T.A.; SAHAB, D. 2019. Chapter 16-Plant senescence and organ abscission. En: Sarwat, M.; Narendra, T. (eds.) *Senescence signalling and control in plants*. Academic Press. p.255-272.
18. HAMMER, G.L.; MCLEAN, G.; VAN OOSTEROM, E.; CHAPMAN, S.; ZHENG, B.; WU, A.; DOHERTY A.; JORDAN, D. 2020. Designing crops for adaptation to the drought and high-temperature risks anticipated in future climates. *Crop Science*. 60(2):605-621. <https://doi.org/10.1002/csc2.20110>
19. HERRERA, B.J.; MARTÍNEZ, J.A.; GUTIÉRREZ, M.M.A.; GUTIÉRREZ, T.M.; LUNA, B.J.A.; DURAN, P.E.; BRAVO, S.C.; OROZCO, V.R.; PINEDA, A.M.; ELIÁS, M.H.M. 2008. Guía ilustrada del cultivo del duraznero en el estado de Michoacán. Morelia, México: Fundación Produce Michoacán. p.120
20. HUAN, C.; JIANG, L.; AN, X.; KANG, R.; YU, M.; MA, R.; YU, Z. 2016. Potential role of glutathione peroxidase gene family in peach fruit ripening under combined postharvest treatment with heat and 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*. 111:175-184. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.016>
21. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2011. Estudio general de suelos y zonificación de tierras: del departamento de Norte de Santander. 2ª edición. IGAC. Bogotá.
22. JUNGUITO, R.; PERFETTI, J.; BECERRA, A. 2014. Desarrollo de la agricultura colombiana. Cuadernos de Fedesarrollo. 48:1-82.
23. LEE, S.K.; HAN, J.H.; CHO, J.G.; JEONG, J.H.; LEE, K.S.; RYU, S.; CHOI, D.G. 2022. Effect of temperature on photosynthesis and fruit quality of 'Mihong' peaches under high CO₂ concentrations. *Horticulturae*. 8:1047. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111047>
24. LISANDRU, T.T.; FÜSTÖS, A.; MITRE, V.; DUMITRAS, A. 2017. Sweet cherry (*Prunus avium* L.) and peach (*P. persica* L.) phenological growth stages according to BBCH scale. *Bulletin UASVM Horticulture*. 74(1):65-67. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:12361>
25. MAULIÓN, E.; ARROYO, L.E.; DAORDEN, M.E.; VALENTINI, G.H.; LUCIO CERVIGNI, G.D. 2016. Performance profiling of *Prunus persica* (L.) Batsch collection and comprehensive association among fruit quality, agronomic and phenological traits. *Scientia Horticulturae*. 198:385-397. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.017>
26. MINASNY, B.; MALONE, B.P.; MCBRATNEY, A.B. 2012. *Digital Soil Assessment and Beyond*. 8ª Edición. CRC Press. p.482
27. MOUNZER, O.H.; CONEJERO, W.; NICOLÁS, E.; ABRISQUETA, I.; GARCÍA-ORELLANA, Y.V.; TAPIA, L.M.; VERA, J.; ABRISQUETA, J.M.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. DEL C. 2008. Growth pattern and phenological stages of early-maturing peach trees under a mediterranean climate. *Hortscience*. 43(6):1813-1818. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.43.6.1813>
28. NARYAL, A.; DOLKAR, D.; BHARDWAJ, A.K.; KANT, A.; CHAURASIA, O.P.; STOB DAN, T. 2020. Effect of altitude on the phenology and fruit quality attributes of apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits. *Defence Life of Science Journal*. 5(1):18-24. <https://doi.org/10.14429/dlsj.5.14656>
29. PAREJO-FARNÉS, C.; APARICIO, A.; ALBALADEJO, R.G. 2019. Una aproximación a la ecología epigenética en plantas. *Ecosistemas*. 28(1):69-74. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1605>
30. PERFETTI, J.; BALCÁZAR, A.; HERNÁNDEZ, A.Y.; LEIBOVICH, J. 2013. "Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia". Fedesarrollo, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). Incoder, Finagro, Banco Agrario. Colombia.

31. PINZÓN, E.H.; MORILLO, A.C.; FISCHER, G. 2014. Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus persica* [L.] Batsch.) en el trópico alto. Una revisión. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 17(2):401-411. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.243>
32. PIRES MATIAS, R.G.; PEREIRA DA SILVA, D.F.; RIBEIRO, M.R.; COSTA E SILVA, J.O.; DE OLIVEIRA, S.P.; BRUCKNER, C.H. 2014. Características de frutos de pessegueiros cultivados na Zona da Mata de Minas Gerais. Ciência Rural. 44(6):971-974. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000600003>
33. PIRES MATIAS, R.G.; BRUCKNER, C.H.; PEREIRA DA SILVA, D.F.; SOUZA CARNEIRO, P.C.; ALVES DE OLIVEIRA, J.A. 2017. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de pessegueiro e nectarineira sob condições de clima subtropical. Revista Ceres. 64(5):516-522. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050009>
34. QUEVEDO-GARCÍA, E.; DARGHAN, A.E.; FISCHER, G. 2017. Clasificación de variables morfológicas del duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) 'Jarillo' en la montaña santandereana colombiana mediante análisis discriminante lineal. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 11(1):39-47. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6140>
35. QUEVEDO GARCÍA, E.; CANCINO ESCALANTE, G.O.; BARRAGÁN TORRES, A.R. 2017. Modelos de regresión para estimar el peso seco de órganos y área del limbo del duraznero, variedad jarillo. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. 20(2):299-310. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.388>
36. REIG, G.; ALEGRE, S.; GATIUS, F.; IGLESIAS, I. 2015. Adaptability of peach cultivars [*Prunus persica* (L.) Batsch] to the climatic conditions of the Ebro Valley, with special focus on fruit quality. Scientia Horticulturae. 190:149-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.019>
37. ROMEU, J.F.; SÁNCHEZ, M.C.; GARCÍA-BRUNTON, J. 2015. Potential productivity evolution of flat peach cultivars (*Prunus persica* var. *platycarpa*) grown in different climatic conditions of southeast of Spain. Scientia Horticulturae. 197:687-696. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.036>
38. SANGRONIS, J.; HERNÁNDEZ, A.; AULAR, J.; TORRES, J.; CÁSALES, M. 2017. Variabilidad genética en durazneros cultivados en El Peñón de Gabante, estado Aragua, Venezuela. Bioagro. 29(3):219-224.
39. SARMIENTO-SOLER, A.; VAAST, P.; HOFFMANN, M.P.; JASSOGNE, L.; ASTEN, P.V.; GRAEFE, S.; RÖTTER, R.P. 2020. Effect of cropping system, shade cover and altitudinal gradient on coffee yield components at Mt. Elgon, Uganda. Agriculture, Ecosystems and Environment. 295:106887. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106887>
40. SCARLATO, M.; GIMÉNEZ, G.; LENZI, A.; BORGES, A.; BENTANCUR, Ó.; DOGLIOTTI, S. 2017. Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay. Agrociencia. 21(1):43-57.
41. VOLTAN, R.B.Q.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. 1992. Variação da anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. 4(2):99-105.