

UCUENCA

**Facultad de Ciencias Agropecuarias
Carrera de Ingeniería Agronómica**

Determinación del área foliar mediante métodos no destructivos
en *Solanum betaceum* Cav.

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

Autor:

José Antonio Mejía Minchala

CI: 0302727946

josme2014805@gmail.com

Director:

Ph.D. Eduardo José Chica Martínez

CI: 0912795101

**Cuenca, Ecuador
18 de julio de 2022**

RESUMEN

El tomate de árbol *Solanum betaceum* (Cav.) es un cultivo importante de las familias de la sierra ecuatoriana y, además, constituye un rubro económico significativo para el país. Por tal razón, diversas investigaciones se han desarrollado sobre todo para mejorar su rendimiento. Sin embargo, un aspecto importante que no ha sido considerado dentro de la fisiología de esta especie, es el área foliar. Esta información es de mucha utilidad sobre todo para estudiar la capacidad de captura de luz del dosel, así como la relación existente entre la acumulación de biomasa y el rendimiento. En el presente estudio se determinó un método simple, de alta precisión, no destructivo para la estimación del área foliar en tomate de árbol. Para lo cual, se establecieron 4 sitios de muestreo y se aplicaron 3 metodologías que son: mediciones lineales de la hoja, el uso de una aplicación móvil y el escaneo y análisis de imágenes digitales de la hoja. Con estos datos se establecieron ecuaciones alométricas mediante regresiones para determinar en un alto grado el área foliar y obtener la ecuación que arroje como resultado un valor muy cercano al real. Los resultados mostraron que la aplicación móvil obtuvo un 92% de capacidad explicativa de la variabilidad los resultados estimados. No obstante, su eficiencia estuvo determinada por las características morfológicas de la planta, el ángulo de la cámara y las combinaciones de RGB. Por otro lado, los modelos de regresión basados en las dimensiones de la hoja proporcionaron estimaciones de alta precisión para la determinación rápida y económica del área foliar, con coeficientes de determinación superiores al 78%. Sin embargo, si utilizamos el largo por el ancho de la hoja con modelos potencial o lineal, el coeficiente de determinación será del 92%, señalando así una estrecha relación entre los datos estimados y observados.

Palabras clave: *Solanum betaceum*. Relaciones alométricas. Área foliar. Ecuaciones de regresión.

ABSTRACT

Tree tomato *Solanum betaceum* (Cav.) is an important crop for families in the Ecuadorian highlands and also constitutes a significant economic activity for the country. Therefore, several studies have been carried out to improve its productivity. However, an important aspect that has not been considered in the physiology of this species is the leaf area. This information is essential to study the light capture capacity of the canopy, as well as the relationship between biomass accumulation and productivity. In this study, a simple, accurate, non-destructive method for leaf area estimation in tree tomato was determined. For this purpose, 4 sampling sites were established and 3 methodologies were applied: linear measurements of the leaf, a mobile application and the scanning and analysis of digital images of the leaf. These data were used to establish allometric equations by using regressions to determine to a high degree the leaf area and to obtain the equation that provides as a result a very close value to the real one. The results showed that the mobile application obtained a 92% explanatory capacity for the variability of the estimated results. However, their efficiency was determined by the morphological characteristics of the plant, camera angle and RGB combinations. On the other hand, regression models based on leaf dimensions provided highly accurate estimates for the rapid and economical determination of leaf area, with coefficients above 78%. However, if we use length x width of leaf with potential or linear models, the coefficient of determination will be 92%, indicating a close relationship between the estimated and observed data.

Keywords: *Solanum betaceum*. Leaf area. Allometric relationships. Regression equations.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO II: OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo General	17
2.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Tomate de árbol	18
3.1.2 Tomate de árbol en el Ecuador	18
3.2 Descripción botánica	19
3.3 Área foliar (AF)	20
3.4 Métodos para determinación de foliar	21
3.4.1 Métodos destructivos	21
3.4.2 Métodos no destructivos	22
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	25
4.1 El área de estudio	25
4.1.1 Condiciones edáficas de los sitios de muestreo	26
4.2. Determinación del área foliar en el software Image J	27
4.3 Determinación del área foliar con el uso App Easy Leaf Área Free	27
4.4 Determinación del área foliar con ecuaciones de regresión	28
CAPÍTULO V: RESULTADOS	29
5.1 Área foliar de Referencia	29
5.2 Comparación entre el Área foliar de Referencia y el Área foliar Estimada por la App Easy Leaf Área Free	29

UCUENCA

5.3 Ecuaciones de regresión para calcular el área foliar a partir de dimensiones lineales.	30
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	37
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades edáficas de los sitios de muestreo.	27
Tabla 2. Ecuaciones de Regresión para determinar el error del método evaluado.	30
Tabla 3. Ecuaciones de regresión para el cálculo del área foliar con base en las dimensiones de la hoja.....	36

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ecotipos de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.). A: Redondo; B: Anaranjado puntón, C: Rojo Mora, D: Amarillo.....	19
Ilustración 2. Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.).....	20
Ilustración 3. Determinación de área foliar a través de la app Easy Leaf Area Free	23
Ilustración 4. Ubicación de los sitios de muestreo con respecto a la división político-administrativa del territorio.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Histograma de los valores de área foliar estimados con el programa Image J	29
Figura 2. Relaciones entre el área foliar de referencia con el largo de la lámina foliar. A: Lineal, B: Exponencial, C: Polinómica, D: Potencial.....	31
Figura 3. Relaciones entre el área foliar de referencia con el ancho de la lámina foliar. A: Lineal, B: Exponencial, C: Logarítmica, D: Potencial.	32
Figura 4. Correlación entre el area foliar de referencia con el producto del largo por ancho de la lámina foliar. A: Lineal, B: logarítmica, C: Polinomial, D: Potencial.....	33
Figura 5. Validación de los mejores modelos para la estimación de área foliar. Variables: Largo: A (Polinomial), B (Potencial); Ancho: C (Polinomial), D (Potencial); LxA: E (Lineal), F (Potencial)	35

Cláusula de Propiedad Intelectual

José Antonio Mejía Minchala, autor del trabajo de titulación Determinación del área foliar mediante métodos no destructivos en *Solanum betaceum Cav.*, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 18 de julio de 2022



José Antonio Mejía Minchala


C.I: 0302727946

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

José Antonio Mejía Minchala en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación Determinación del área foliar mediante métodos no destructivos en *Solanum betaceum* Cav., de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 18 de julio de 2022



José Antonio Mejía Minchala

C.I: 0302727946

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones y a mi familia que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

De igual forma, agradezco a mi director de Tesis, Ing. Eduardo Chica, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. También quiero agradecer a la Universidad de Cuenca, directivos y profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

A: Sr. Flavio Rea, Ing. Carlos Jiménez (director de la Estación Experimental de Austro), Sr. Ángel Rivera, Dr. Segundo Maita (Encargado de la granja “El Romeral”), quienes me permitieron con absoluta amabilidad realizar este trabajo de investigación en sus predios.

En fin, gracias por todo su tiempo, apoyo y cariño: Carlos Minchala, Vicente Naula, Patricio Minchala, Juan Romero, Jhony Naula y toda la Estación Experimental del Austro por su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Este trabajo principalmente está dedicado a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y su apoyo incondicional. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. Y como olvidar de mi hermano, quien siempre estuvo ahí en las buenas y malas, en fin, se la dedico a toda mi familia, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

cm: centímetros

cm²: centímetros cuadrados

m: metros

m²: metros cuadrados

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar

t ha⁻¹: toneladas métricas por hectárea

T°: temperatura

°C: grados centígrados

L: largo de la lámina foliar

A: ancho de la lámina foliar

LxA: largo por ancho

R²: Coeficiente de determinación

AIC: Criterio de información de Akaike

CME: Cuadrado medio del error

d: Índice de Willmott

RGB: combinación de colores entre rojo, verde, azul

App: Aplicación

AF: Área foliar

p: valor de probabilidad

t: toneladas

N: nitrógeno

K: potasio

P: fósforo

Ca: calcio

UCUENCA

Mg: Magnesio

ppm: partes por millón

CE: conductividad eléctrica

MO: materia orgánica

pH: medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución

En la Sierra Ecuatoriana, el tomate de árbol es un cultivo que en los últimos años ha alcanzado importancia económica, debido a la creciente demanda para consumo en fresco y uso agroindustrial, que lo ha convertido en fuente de ingresos para el país (Viteri et al., 2010). Según Moreno et al., (2020), la demanda de este cultivo se ha incrementado un 70% con respecto al año 2017, lo que ha significado un crecimiento en área cultivada y en las exportaciones.

El interés en el aprovechamiento de esta especie ha generado el desarrollo de varias investigaciones en diferentes áreas. Los estudios realizados han tratado temas como la germinación de semillas (Estévez, 2019), el manejo de plagas y enfermedades como la antracnosis (Maita, 2011), asociaciones micorrícicas (Viera et al., 2017), programas de fertilización y riego (Revelo & Maila, 2004), entre los principales temas.

A pesar de los avances que se han obtenido con los estudios mencionados, aún existen brechas en la información y conocimiento que permita aprovechar las tecnologías modernas, que están alineadas a una agricultura de precisión y un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales. En este sentido, disponer de información base que nos permita conocer la capacidad fotosintética, predecir periodos de cosecha, cuantificar daños por plagas y enfermedades y estimar rendimientos del cultivo se torna un aspecto trascendental (Ramírez & Kallarackal, 2019). Es por ello, que para obtener las variables antes mencionadas debemos de partir por conocer el área foliar.

El área foliar de una planta es una variable relacionada directamente con la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo (Villa et al., 2017). Además, nos sirve para relacionarla con factores como: el estrés por sequía, daños por plagas y enfermedades y evaluaciones sobre eficiencia bioenergética (Citadinni & Peri, 2006). En base a estos criterios y dada la importancia del cultivo de tomate de árbol, resulta valioso contar con información de su área foliar.

En la actualidad, existen métodos destructivos y no destructivos para calcular el área foliar, todos a diferentes niveles de precisión. Los métodos

UCUENCA

destructivos consisten en la toma de muestras representativas del cultivo y se mide el área foliar con dispositivos electrónicos en laboratorio (Silva et al., 2013). Mientras que los métodos no destructivos hacen referencia a la toma de datos *in situ* de las dimensiones de la hoja o con equipos especializados en determinación de área foliar (Toebe et al., 2012).

Sin embargo, los métodos destructivos son muy costosos pues requiere de equipos caros y procedimientos más extensos, además de que se destruye la planta (Citadinni & Peri, 2006). Por lo cual, resulta conveniente disponer de métodos sencillos, rápidos y no destructivos como el uso de relaciones alométricas.

Las relaciones alométricas no son más que una relación entre la velocidad de un proceso y cualquier medida de la planta (volumen, masa, altura, etc.) (Montoya et al., 2017). Estas relaciones se apoyan en ecuaciones de variables fáciles de medir como el largo y ancho de hoja, que pueden desarrollar modelos de regresión para obtener el área foliar (Leite et al., 2019). Este tipo de métodos son recomendables principalmente porque son fáciles de usar en el campo, y no requieren la destrucción de la hoja (Pierozan & Kawakami, 2013). Esta idea cobra mayor relevancia si se considera un escenario de trabajo en condiciones de limitada disponibilidad de recursos.

Ante lo expuesto, se ha establecido la importancia que el cultivo de tomate de árbol tiene para el país (Maita, 2011), sin embargo, en el Ecuador no se han reportado estudios de área foliar en esta especie, por lo que esta investigación pretende comparar metodologías aplicables localmente para estimación de esta variable y determinar un método simple, preciso, no destructivo y que ahorre tiempo para la estimación del área foliar en tomate de árbol.

CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- ❖ Determinar el área foliar mediante métodos no destructivos en *Solanum betaceum* Cav.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Determinar el área foliar de referencia utilizando el método destructivo Image J.
- ❖ Determinar el área foliar mediante la aplicación Easy Leaf Area Free.
- ❖ Establecer ecuaciones de regresión utilizando relaciones alométricas de la hoja.

3.1 Tomate de árbol

El tomate de árbol, *Solanum betaceum* Cav. es una planta nativa de América del Sur, posiblemente originaria de las selvas y bosques de la reserva Tucumano, al sur de Bolivia y noreste de Argentina. No obstante, su domesticación se sitúa en el norte de Perú y sur de Ecuador (Díaz et al., 2017).

El tomate de árbol es un frutal semi perenne que inicia su producción desde el primer año de plantado y se alarga hasta los dos años, dependiendo del manejo y la zona altitudinal en la que se encuentre (Feicán et al., 2016). El origen de esta especie está en los bosques andinos, de climas templados de altura, en altitudes de entre 1500 a 2600 msnm, pero puede adaptarse a altitudes desde los 1000 a 3000 msnm (Revelo & Maila, 2004).

Dentro de los principales productores de tomate de árbol se encuentran Brasil, Colombia, Nueva Zelanda, Kenia, Sudáfrica y la India. Adicionalmente en América se destacan Ecuador, Bolivia, Perú y Venezuela (MAGAP, 2017).

3.1.2 Tomate de árbol en el Ecuador

En Ecuador, el tomate de árbol ocupa una superficie comercial de cerca de 5000 ha, las cuales se encuentra distribuidas a lo largo de los valles de toda la sierra ecuatoriana, registrando rendimientos de 60 a 80 t ha/año (Feicán et al., 2016). Su fruta es apreciada por su sabor, aroma, contenido nutricional y uso medicinal, por lo que en los últimos años se ha convertido en un rubro importante para alimentación como para a economía de los productores (Revelo & Maila, 2004).

Actualmente, se calcula que existe una producción anual de 39 725 t de tomate de árbol, de las cuales 30 500 t son aprovechadas por la agroindustria y exportadoras, mientras que el resto son comercializadas en estado fresco a nivel local y regional (Moreno et al., 2020). Esto ha llevado a que se marque una tendencia de crecimiento en los últimos años.

Según Feicán et al. (2016) en el Ecuador no se han realizado mejoramiento de cultivares, sino que se usan ecotipos locales como el

UCUENCA

anaranjado puntón, rojo mora, amarillo y el redondo, de los cuales se destaca el primero por su buen rendimiento y frutos de calidad (Ilustración 1).



Ilustración 1. Ecotipos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). A: Redondo; B: Anaranjado puntón, C: Rojo Mora, D: Amarillo.

Fuente: (Feicán et al., 2016)

En el país, Santillan (2001) publicó un manual sobre la propagación sexual y asexual en esta especie, siendo la primera la más utilizada. Mientras que León et al., (2004) presentó un estudio acerca de estrategias de fertilización con minerales, en base a la interpretación del análisis de suelo, complementadas con enmiendas de materia orgánica. Maita (2011) publicó un manejo para combatir la antracnosis, una enfermedad que devastó las plantaciones en etapa de fructificación. En el 2016, Feicán propone prácticas de manejo y podas con el fin de mejorar la productividad y rendimiento del cultivo. Siendo estas las investigaciones más relevantes en los últimos años.

3.2 Descripción botánica

El tomate de árbol es un arbusto cuyo tamaño varía de dos a seis metros de altura, posee una raíz pivotante, con ramificaciones que permiten establecer su anclaje. Su tallo es semileñoso, alcanzando un diámetro de 5 a 10 cm, que se ramifica a diferentes alturas comprendidas entre los 1, 20 y 1,40 m (Feicán et al., 2016). Sus hojas son simples, grandes (30-40 cm de largo y 20-35 cm de ancho), sin estípulas, persistentes, alternas y dispuestas en espiral; con una venación corrugada, su ápice es obtuso, su base es acorazonada de borde entero y un peciolo largo (Ramírez & Kallarackal, 2019).

El tomate al igual que otras especies de solanáceas se caracterizan por producir inflorescencias en forma de cimbras escorpioides y sus flores son simétricas y hermafroditas. El fruto es una baya carnosa, halocarpa, reniforme y

su tamaño depende de la variedad, edad de la planta y fertilidad del suelo (Maita, 2011).



Ilustración 2. Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

Fuente: Autoría propia

3.3 Área foliar (AF)

La hoja en la mayoría de plantas es el principal órgano fotosintético y realiza múltiples funciones importantes como la transferencia de radiación y flujo de gases, que permiten a la planta un correcto funcionamiento fisiológico y morfológico (Sauceda et al., 2017). A partir de esto, es de vital importancia conocer el área de la hoja o área foliar.

El área foliar se define como la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa, la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas, para la fabricación de tejidos y la elaboración de compuestos alimenticios (Warnock et al., 2006); es por ello que el AF está asociada con la mayoría de procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos, que incluyen el análisis de crecimiento, la fotosíntesis, la

transpiración, la interceptación de luz, la asignación de biomasa y el balance de energía (Cabezas et al., 2009).

La medición del AF y el conocimiento de la variación temporal de los cultivos, es útil para la evaluación técnica de prácticas culturales como podas, fertilización, irrigación y aplicación de productos químicos (Montoya et al., 2017). Además, es una variable principal para el modelaje de los mecanismos de intercambio de agua y energía que ayuda a comprender las interacciones cultivo-ambiente (Warnock et al., 2006).

3.4 Métodos para determinación de foliar

La determinación del AF se realiza con frecuencia en la investigación agrícola, y durante décadas se han empleado en estudios básicos de fisiología, mejoramiento genético, nutrición vegetal, tasa de asimilación y para cuantificar el daño por plagas y enfermedades (Leite et al., 2019). Para medir el área foliar se han desarrollado sistemas y aparatos electrónicos altamente sensibles, precisos y costosos (Rincón et al., 2012), que en ocasiones su determinación se hace difícil, por cuanto los sitios experimentales se encuentran alejados de los centros de investigación y las condiciones de desplazamiento, tiempo, clima y recursos, dificultan el muestreo (Cabezas et al., 2009).

En la actualidad, se cuentan varios métodos para la determinación del área foliar, que pueden clasificarse en destructivos, no destructivos, directos e indirectos.

3.4.1 Métodos destructivos

Los métodos destructivos son aquellos que requieren la eliminación de hojas u otras estructuras de la planta, lo que a menudo no es posible debido al número limitado de plantas en la parcela experimental (Adami et al., 2006). Dentro de estos métodos vamos a encontrar varios procedimientos como: el análisis de fotografías digitales o imágenes escaneadas, método de discos, el uso de papel milimétrico y mecanismos gravimétricos. Hay que recalcar que estos métodos son relativamente precisos, sin embargo, conllevan el uso de aparatos electrónicos que no están al alcance de los agricultores e investigadores o que conllevan el uso de demasiado tiempo (Citadini & Peri, 2006).

- **Image J**

El uso de scanner acoplados a computadoras con software especializados para el análisis de imágenes digitales ayuda a determinar el AF. Uno de estos programas es el Image J.

El Image J es un software con licencia y gratuito que permite estimar el área foliar a través del procesamiento de imágenes digitales. Este programa requiere de algoritmos que alteran los píxeles de la imagen para mejorar su análisis y presentarnos la información que solicitamos (Rasband, 2007).

3.4.2 Métodos no destructivos

En los métodos no destructivos, las mediciones se toman en la misma planta, sin necesidad de remover estructuras, preservando su integridad y permitiendo que las mediciones continúen en la misma planta (Adami et al., 2006). La ventaja de utilizar estos métodos radica en la posibilidad de monitorear el crecimiento y expansión foliar de la misma hasta el final de su ciclo o evaluación, además de ser rápido y relativamente preciso (Silva et al., 2013).

Dentro de los procedimientos no destructivos encontramos el uso de LICOR® y el CID 202, que son sensores portátiles que nos permite conocer el área foliar de forma inmediata y precisa, sin embargo, su costo lo hace inaccesible para los productores e investigadores de países en vías de desarrollo (Adami et al., 2006).

También se cuenta con aplicaciones móviles para celulares como Easy Leaf Área Free y el uso de ecuaciones basadas en las dimensiones de la hoja para estimar el AF (Citadinni & Peri, 2006). Estos métodos son una alternativa por su rapidez y economía en la determinación del AF, sin embargo, en el caso de la aplicación móvil, su eficiencia puede estar condicionada por el ángulo de la foto, la luz, calidad del lente y la morfología de la hoja, que reducen su efectividad (Cabezas et al., 2009). Por lo cual, estos dos métodos pueden ser complementarios.

- **App: Easy Leaf Area Free**

Easy Leaf Area Free es un software gratuito y de código abierto que mide rápidamente el área de la hoja en imágenes digitales en formato jpeg o tiff

UCUENCA

(fotografías o imágenes de escáner). Esta aplicación utiliza el valor RGB de cada píxel para identificar las regiones de la hoja y de la escala en cada imagen y así determinar el área foliar en cm^2 (Easlon, 2013).

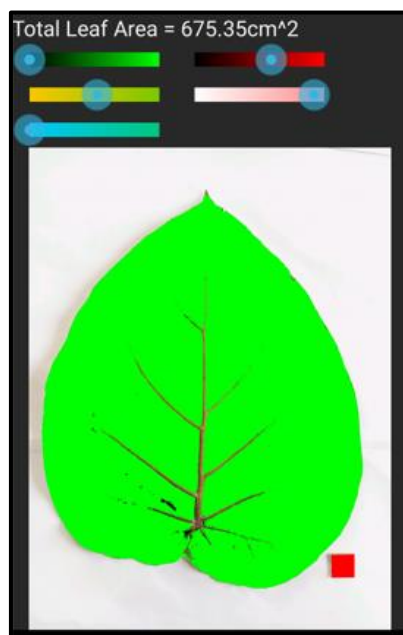


Ilustración 3. Determinación de área foliar a través de la app Easy Leaf Area Free

Fuente: Autoría propia

- **Ecuaciones alométricas**

Los métodos de cálculo de ecuaciones alométricas consisten en aproximar en alto grado el área de la hoja, mediante regresiones que pueden ser relaciones lineales, logarítmicas, exponenciales o de otro tipo, donde la medición de un atributo, ya sea el largo de la lámina foliar, el ancho de la hoja o los dos combinados, representen un factor altamente dependiente, que, al ser multiplicado por un coeficiente, arroje como resultado un valor muy cercano al real (Cabezas et al., 2009).

Para Cabezas et al, (2009) el uso del largo o ancho de la lámina foliar puede estimar con un alto nivel de confiabilidad el área foliar de la hoja en especies forestales, sin embargo, el mismo autor aclara que al usar el producto del largo por el ancho permite tener mayor grado de exactitud y precisión. Esta respuesta coincide con lo encontrado por Leite et al., (2019) en mijo, Silva et al., (2013) en gramíneas forrajeras, Astegiano et al., (2001) en tomate de mesa y Casierra et al., (2017) en durazno y ciruelo. Sin embargo, el último autor aclara

UCUENCA

que la determinación de una ecuación alométrica se debe hacer para cada especie, debido a las diferencias morfológicas que presentan.

Para Citadinni & Peri, (2006) este tipo de modelos requieren de pruebas estadísticas y de campo para validar su aplicación, el cual permite obtener datos confiables y repetibles con el tiempo. Este método tiene grandes ventajas puesto que reduce el muestreo destructivo, permite valorar un mayor número de muestras y no depende de equipos ni condiciones de electricidad y energía de trabajo (Cabezas et al., 2009).

4.1 El área de estudio

El muestreo de las hojas se situó en 4 sitios dentro de la provincia del Azuay. El sitio 1, que pertenece a la plantación ubicada en la granja “El Romeral”, en el cantón Guachapala, que está ubicado en las coordenadas UTM X= 753890 y Y= 9694136, a una altura de 2200 msnm (Ilustración 4). Esta zona tiene un clima templado, con temperaturas que van desde los 4° hasta los 20°C y precipitaciones desde 600 a 1400 mm anuales, característico de un Clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo y Húmedo. La plantación es del cultivar anaranjado puntón, que se encuentra en etapa vegetativa y tiene una edad de 8 meses (GAD-Guachalapa., 2013).

En sitio 2 corresponde a la plantación del señor Flavio Rea, que se encuentra en la parroquia Bulàn perteneciente al cantón Paute. Se sitúa en las coordenadas UTM X= 747750 y Y= 9696230, a una altura de 2377 msnm (Ilustración 4). Este cantón tiene un Clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo y Húmedo y un Clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña. El primero lo encontramos en zonas desde los 1 900 m hasta los 3 000 m; las temperaturas medias anuales están entre los 12° y 20° C y precipitaciones entre los 500 mm y los 2000 mm anuales. El Clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña se ubica en alturas sobre los 3200 m y las precipitaciones están entre los 800 mm y 2000 mm anuales (GAD-Guarainag, 2015). La plantación es del cultivar anaranjado puntón, tiene 16 meses de edad y se encuentra en la etapa de floración.

El sitio 3, se encuentra en el cantón Gualaceo, en las coordenadas UTM X= 756968 y Y= 9683006, a una altura de 2330 msnm. Goza de climas templados y fríos que se caracterizan por sus temperaturas medias que van desde los 6 °C, en los períodos muy fríos y los 25 °C en los días soleados. Las precipitaciones van desde 800 a 1 100 mm anuales (GAD-Gualaceo, 2021). Esta plantación pertenece a la Estación Experimental del Austro. La edad del cultivo es de 4 meses y es del cultivar anaranjado puntón.

UCUENCA

Finalmente, el sitio 4 se encuentra ubicada en la parroquia Principal del cantón Chordeleg, es de propiedad del señor Ángel Rivera y está en las coordenadas UTM X= 748118 y Y= 9679919, a una altura de 2507 msnm (Ilustración 4). Su clima está dividido en clima de alta montaña que influye en el 60% del territorio y el clima ecuatorial mesotérmico Semi-húmedo que influye en el 40%. En el clima de alta montaña encontramos temperaturas inferiores a los 0°C hasta los 20°C, con precipitaciones anuales que van desde los 800 a 2 000 mm. Mientras que en el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo generalmente encontramos temperaturas entre los 12 y 20°C y precipitaciones entre los 1000 a 2000 mm anuales (GAD-Chordeleg., 2016). Este cultivo tiene 16 meses de edad y se encuentra en etapa de fructificación. Es del cultivar anaranjado puntón.

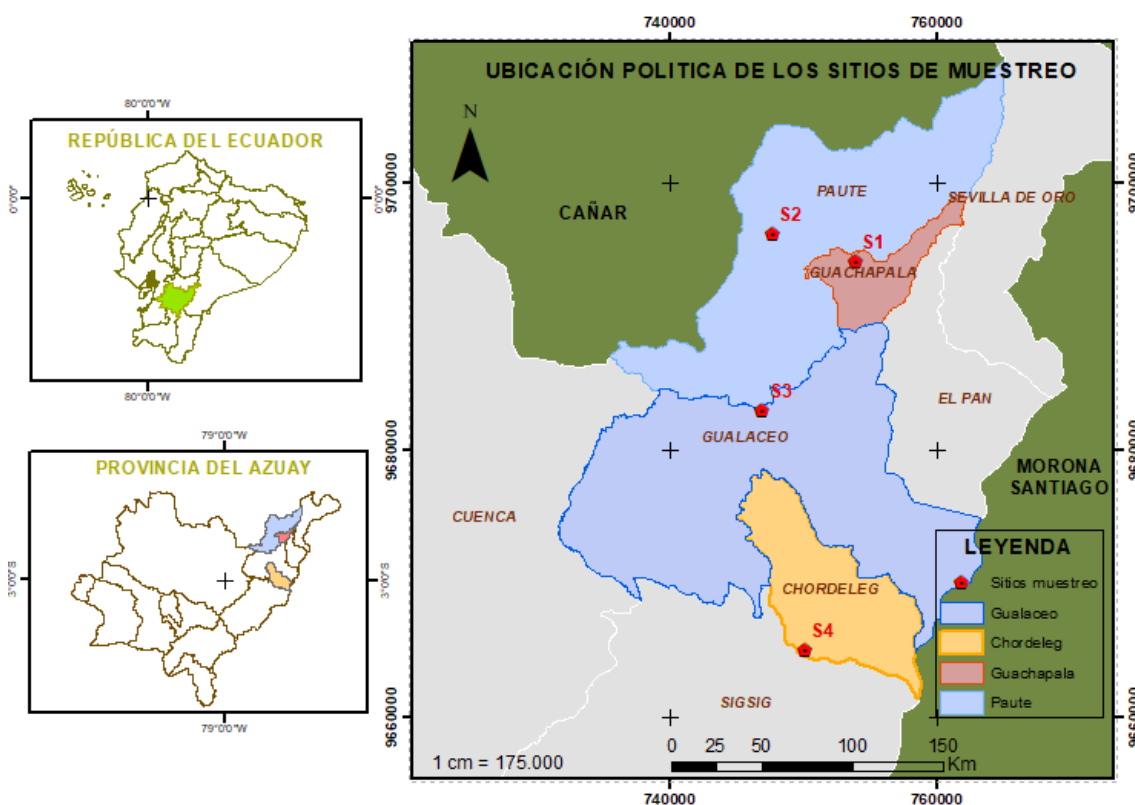


Ilustración 4. Ubicación de los sitios de muestreo con respecto a la división político-administrativa del territorio.

Fuente: Autoría propia

4.1.1 Condiciones edáficas de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo presentan las siguientes condiciones edáficas:

Tabla 1. Propiedades edáficas de los sitios de muestreo.

Sitios/ variables	pH	CE ms/cm	Mg meq/100ml	Ca meq/100ml	N ppm	P ppm	K ppm	MO %
Guachapala	7,52	0,6	4,3	20	9	4	0,3	2,0
Paute	7,77	0,5	3,1	20	16	47	0,5	3,7
Gualaceo	7,60	0,4	1,5	19	5	4	0,7	2,9
Principal	5,88	0,1	1,5	10	33	4	0,3	5,8

Fuente: Autoría propia

Metodología para el objetivo 1: “Determinar el área foliar de referencia utilizando el método destructivo Image J”.

4.2. Determinación del área foliar en el software Image J

Para determinación del área foliar a través del software libre Image J, se procedió con la colecta de 180 hojas de tomate de árbol producidas durante la etapa juvenil del cultivar anaranjado puntón. En cada sitio de muestreo se colectó 45 hojas, las mismas que estuvieron sanas y libres de daños por plagas o enfermedades. Se colocaron en prensas botánicas y se condujeron al sitio de procesamiento para escanear y digitalizar las hojas.

Las imágenes obtenidas fueron desplegadas en el programa y se fijó una medida de referencia de tamaño. Luego se usaron secuencialmente los comandos Analyze> Set Scale> Known distance: 2, Unit of length: cm, Global scale. Para procesar imágenes se usaron los comandos: Image> Type: 8 bits> Adjust>Threshold. Para la medición de área se seleccionó la región de la hoja con la herramienta “Wand” y se utilizaron los comandos Analyze>ROI Manager> Measure y se obtuvo los valores de área foliar en cm² (Rincón et al., 2012), siendo esta nuestra área de referencia.

Metodología para el objetivo 2: “Determinar el área foliar mediante la aplicación Easy Leaf Area Free.”

4.3 Determinación del área foliar con el uso App Easy Leaf Área Free

Con las 180 hojas colectadas, cada una de ellas se colocó en una superficie blanca junto con una escala de referencia (4 cm²) para capturar su respectiva foto. Luego se calibró las bandas de colores RGB, hasta obtener que

UCUENCA

toda la zona de la hoja este de color verde y la escala de referencia de color rojo. Inmediatamente la aplicación nos determinó el área foliar de la hoja. El área obtenida por este método se comparó con el área obtenida usando el software Image J (considerado como el método estándar de referencia) usando modelos de regresión y se calculó el coeficiente de determinación (R^2) a través del programa Microsoft Excel.

Metodología para el objetivo 3: “Establecer ecuaciones de regresión utilizando relaciones alométricas de la hoja”

4.4 Determinación del área foliar con ecuaciones de regresión

Cada una de las hojas muestreadas se midió el largo, ancho y el producto de las dos, y se almacenó en una base de datos en el programa Microsoft Excel. Con el 50% de los datos registrados se procedió a realizar los respectivos análisis de regresión para las variables: largo, ancho y producto del largo por ancho, con el área de referencia que se obtuvo en el programa Image J. Para cada modelo ajustado se calculará el coeficiente de determinación (R^2), el criterio de información de Akaike, el cuadrado medio del error (CME) y el índice de Willmott. Luego se aplicó estadística inferencial a través del programa R, para conocer el nivel de significancia de cada modelo.

A partir de los resultados encontrados, se escogieron los modelos que presentaron los mayores coeficientes de determinación y del índice de Willmott y los menores cuadrados medios del error y del criterio de información de Akaike. Una vez seleccionados los modelos de mayor grado de precisión se tomó el 50 % de hojas restantes y se aplicó los modelos encontrados, mediante la sustitución de valores. Posteriormente, los datos de área foliar estimada y de referencia, se llevaron a un análisis de regresión lineal, para validar los modelos. Para ello, se utilizó el programa Microsoft Excel.

5.1 Área foliar de Referencia

En la Figura 1, se muestra un histograma con los valores de área foliar calculados, a partir del uso de imágenes escaneadas y procesados en el programa Image J. Estos datos están agrupados en categorías cada 100 cm², las mismas que van desde 200 a los 1200 cm². El valor del área mínima calculada es de 204,98 cm² y una máxima de 1070,39 cm², que nos da un área promedio de 495,94 cm². La mayor cantidad de muestras se ubican entre los 200 y 700 cm², sin embargo, existe una alta variabilidad de tamaños de hojas muestreadas.

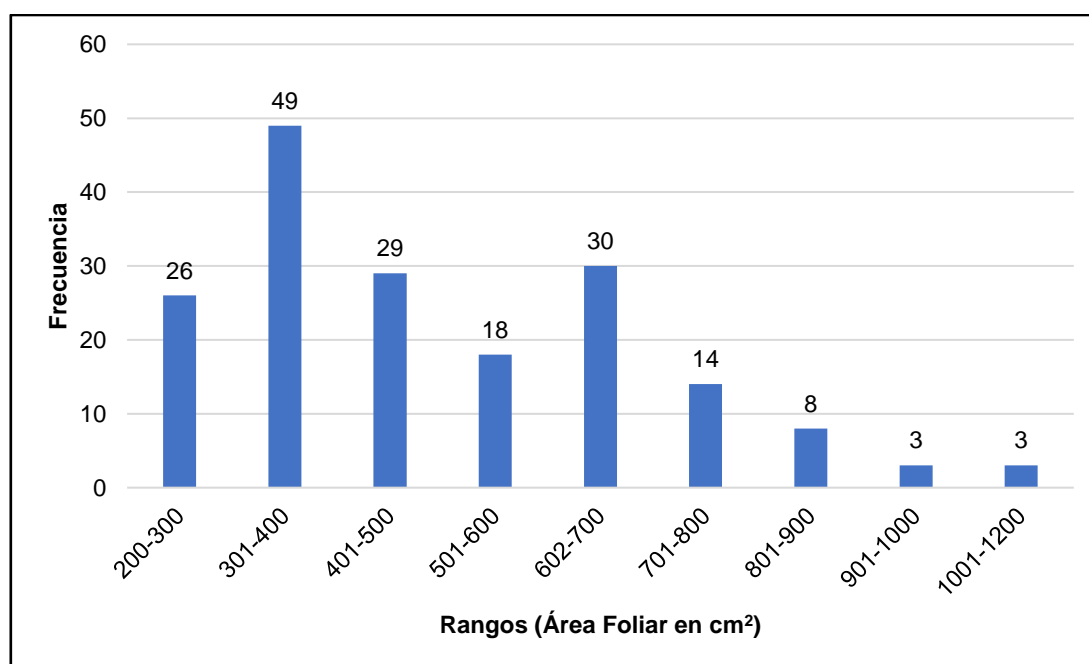


Figura 1. Histograma de los valores de área foliar estimados con el programa Image J

Fuente: Autoría propia.

5.2 Comparación entre el Área foliar de Referencia y el Área foliar Estimada por la App Easy Leaf Area Free

Al relacionar el área de referencia calculado con el programa Image J con los valores obtenidos a través de la aplicación móvil Easy Leaf Area Free, se obtuvieron valores del coeficiente de determinación que fluctuaron entre 0,88 y

0,92. El menor valor de R^2 se registró en el modelo de regresión logarítmica y los valores más altos se registraron en los modelos: lineal, polinomial y potencial. Con esta información se puede inferir que, a través de la aplicación móvil podemos obtener un 92% de capacidad explicativa de la variabilidad de los resultados estimados (Tabla 2) ya sea de manera lineal o exponencial.

Tabla 2. Ecuaciones de Regresión para determinar el error del método evaluado.

Método	Modelo	Ecuación	R^2
Easy leaf área free	Lineal	$Y = 1.07x - 2.94$	0.92
	Exponencial	$Y = 172.30 e^{0,002x}$	0.89
	Logarítmica	$Y = 487.44 \ln(x) - 2466.98$	0.88
	Polinómica	$Y = 0.0002 x^2 + 0.85x + 45,78$	0.92
	Potencial	$Y = 1,11 x^{0,99}$	0.92

Fuente: Autoría propia

5.3 Ecuaciones de regresión para calcular el área foliar a partir de dimensiones lineales.

Los datos de los parámetros foliares presentaron un largo promedio de 28,33 cm, un ancho promedio de 22,48 cm y un promedio del producto del largo por ancho de 675,08 cm². De acuerdo a la Tabla 3, los modelos analizados presentaron coeficientes de determinación superiores a 0,78, todos con alto nivel de significancia estadística para la regresión ($p < 0,001$). Los mejores coeficientes se obtuvieron en los modelos que tenían como variable el producto del largo por ancho (LxA), mientras que los peores se registraron en los que solo se consideraba la longitud foliar.

El análisis de regresión con la variable longitud foliar, se encontraron coeficientes de determinación entre 0,78 y 0,86. Los valores más altos se registraron en modelos de tipo polinómico y potencial, con 0,86, mientras que el menor coeficiente se encontró en el modelo logarítmico (0,78) (Tabla 3).

Los valores que presenta el cuadrado medio del error (CME) son altos, siendo el modelo polinómico el que menor error promedio posee. Mientras que, con el criterio de información de Akaike, el modelo exponencial resultó el mejor, ya que presenta el menor valor dentro de su categoría (-79,87), es decir, entre más pequeño es su valor, mejor será el modelo. En el índice de Willmott el valor

más alto fue de 0,849 en el modelo polinomial, denotando así un alto grado en el cual las observaciones estimadas fueron tomadas de forma correcta por el modelo.

Si partimos del principio de parsimonia y de variabilidad, el modelo potencial sería el recomendado para aplicación, pues la simplicidad de su ecuación lo hace práctico, además que su R^2 y AIC son uno los mejores dentro de este grupo. La información planteada con anterioridad, se observa en la Figura 2 y Tabla 3.

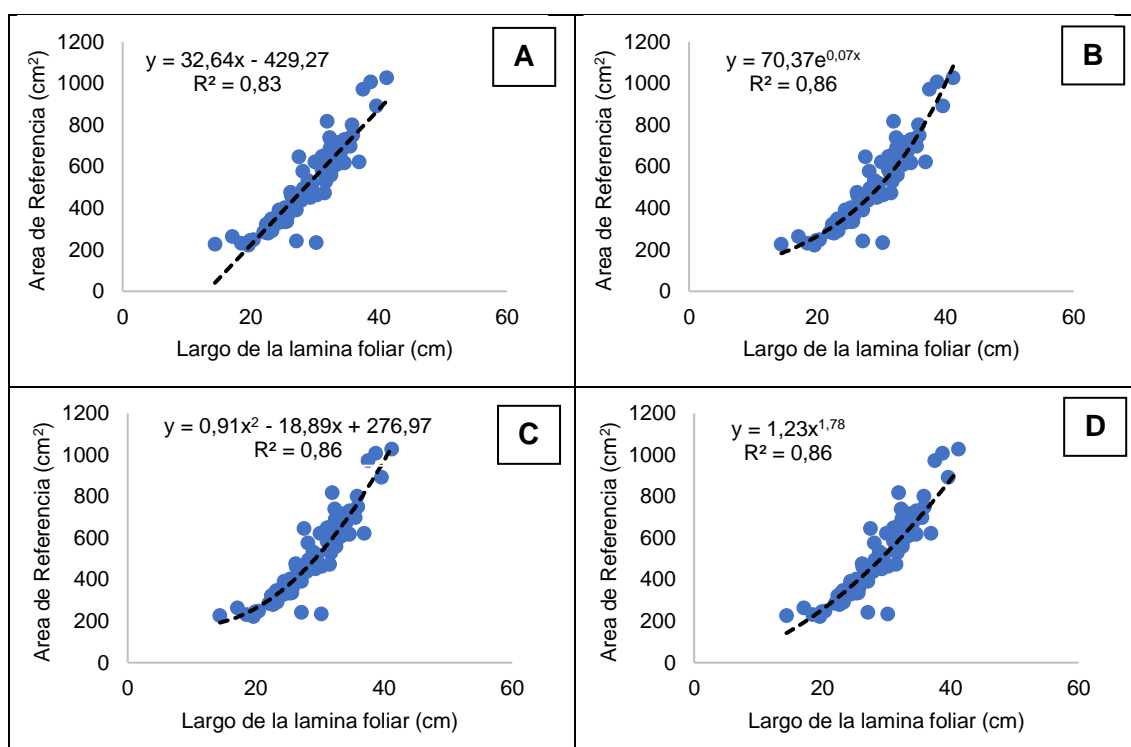


Figura 2. Relaciones entre el área foliar de referencia con el largo de la lámina foliar. A: Lineal, B: Exponencial, C: Polinómica, D: Potencial.

Fuente: Autoría propia

Los análisis de regresión con la variable ancho de la lámina foliar, presento coeficientes de determinación entre 0,83 y 0,86, lo cual expresa que estas funciones de regresión explican que el ancho de la hoja está en relación directa con la variable Y. Los coeficientes de R^2 más altos los encontramos en los modelos potencial y polinomial con 0,86. Además, el modelo polinomial presenta el CME más bajo, seguido por el potencial, sin embargo, este último tiene los mejores valores de AIC y del índice el Willmott (Tabla 3).

Por otro lado, el modelo logarítmico para la variable ancho de la hoja, fue el que presentó el R^2 más bajo, representando una mayor variabilidad en los datos estimados. Para el modelo lineal el R^2 es alto, sin embargo, los valores que se obtienen en el AIC y el índice de Willmott lo desacredita. El modelo que menos se ajusta a la realidad es el logarítmico, pues presenta el mayor CME y AIC y el menor índice de Willmott y R^2 (Tabla 3).

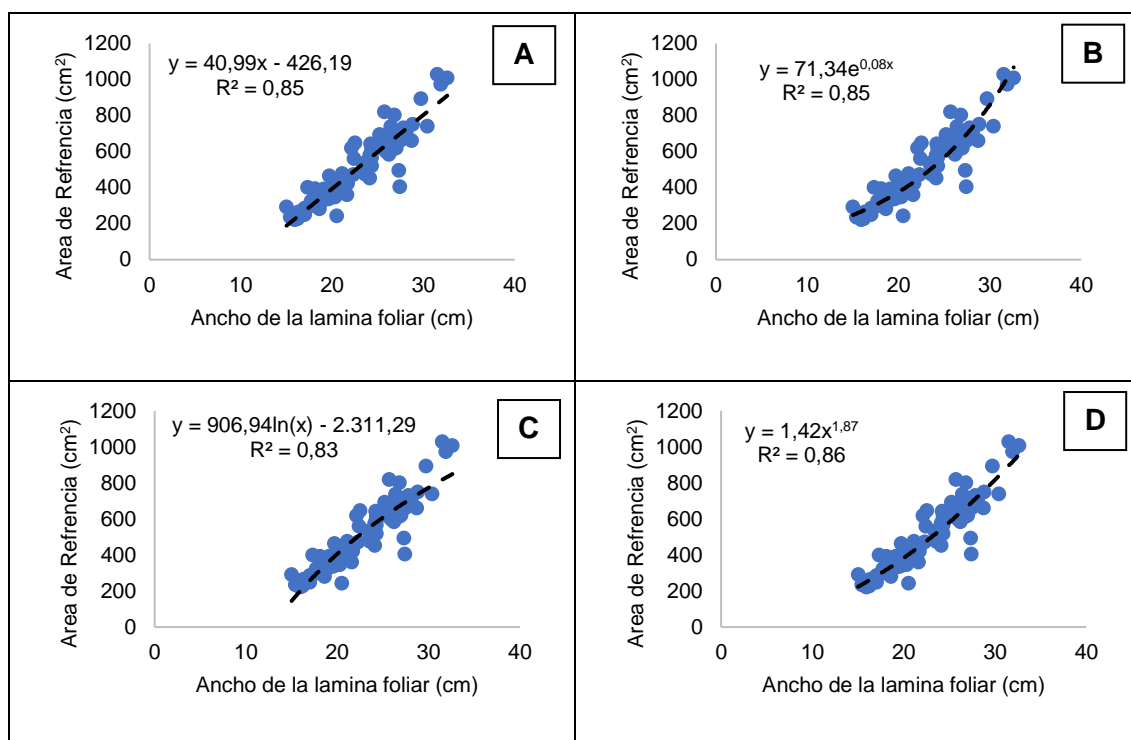


Figura 3. Relaciones entre el área foliar de referencia con el ancho de la lámina foliar. A: Lineal, B: Exponencial, C: Logarítmica, D: Potencial.

Fuente: Autoría propia

Entre las variables, área foliar de referencia y el producto del largo por el ancho existen coeficientes de determinación entre 0,86 y 0,92. El mayor coeficiente de R^2 se encontró con los modelos lineal, polinomial y potencial, mientras que la ecuación logarítmica, presentó mayor variabilidad, con un R^2 de 0,86. No obstante, todos los modelos presentaron coeficientes muy cercanos a la unidad, lo que indica una dependencia total entre las dos variables.

Si tomamos en cuenta CME, el AIC y el coeficiente de determinación, el mejor modelo para estimar el área foliar es el potencial, pues sus valores son los mejores en su categoría y respaldan su precisión. Si aplicamos el principio de

parsimonia y de variabilidad, este modelo es simple y preciso, ya que considera que el 87% del producto del largo por el ancho de la hoja elevado a un coeficiente cercano a la unidad se obtiene el área foliar con una precisión relativamente alta (Figura 4).

En el índice de Willmott el mejor modelo fue el polinómico, seguido por el lineal y potencial, sin embargo, este modelo no tiene buenos valores de CME y el AIC, pero esto no sería motivo para rechazarlo. Puesto que tiene un R^2 y un índice de Willmott alto, el cual explica en un grado la relación entre la variable Y (área de referencia) y el producto del largo por ancho. Cabe destacar que el modelo polinomial sólo es significativo para el término lineal y no para el término cuadrático (Tabla 3). La información gráfica de las relaciones entre el área de referencia y el ancho de la hoja se muestran en la Figura 3.

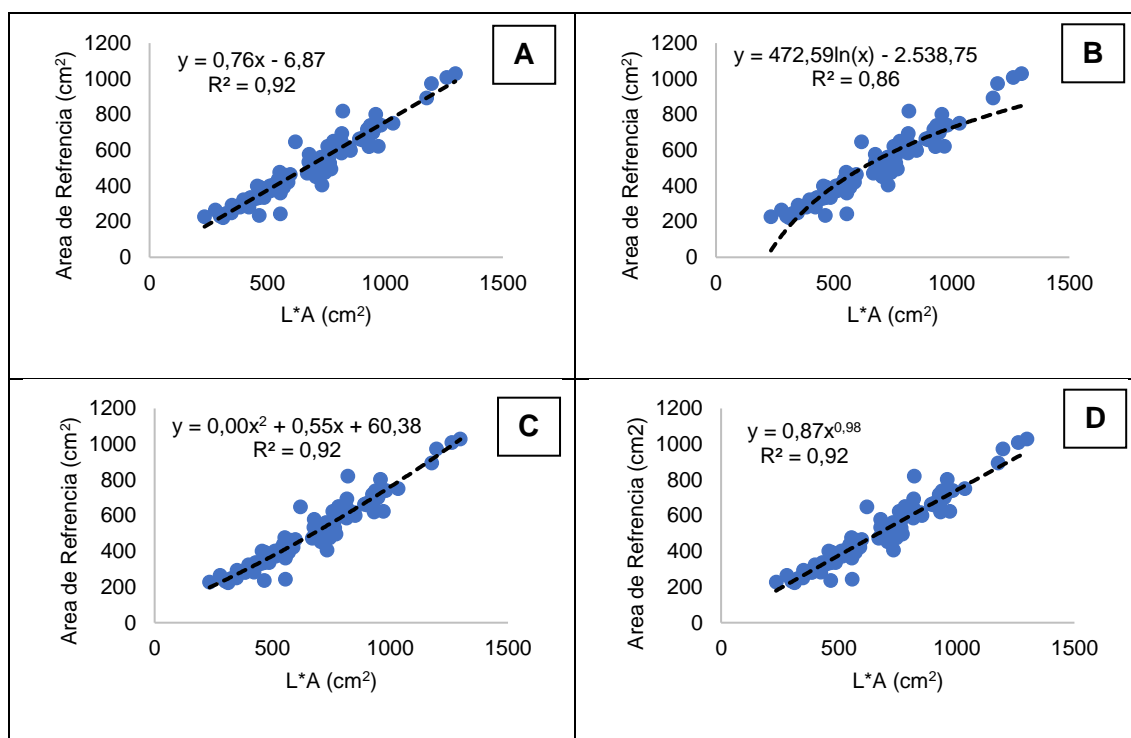


Figura 4. Correlación entre el área foliar de referencia con el producto del largo por ancho de la lámina foliar. A: Lineal, B: logarítmica, C: Polinomial, D: Potencial.

Fuente: Autoría propia

Por otro lado, el modelo lineal para la variable LxA , presenta un coeficiente de determinación de 0,92, pero con CME y AIC alto, pero si comparamos con el índice del Willmott, el modelo refleja en un valor alto (Tabla 3).

UCUENCA

La validación de los modelos se realizó con las ecuaciones que presentaron mejores coeficientes de determinación y del índice de Willmott y los que tenían los menores valores para el CME y el criterio de información de Akaike. Los modelos que tenían la variable, largo, presentaron un coeficiente de determinación del 0,85 tanto en polinomial como en potencial, es decir que los resultados obtenidos por estas ecuaciones van a explicar 85% de las observaciones reales.

Por otro lado, los modelos en base al ancho de la hoja, se obtuvo un coeficiente de 0,87 en las ecuaciones polinomial y potencial. Mejorando así los resultados anteriores. Sin embargo, con los modelos basados en el producto del LxA el coeficiente de determinación se incrementó al 0,90 tanto para el modelo lineal como potencial. Si consideramos el principio de parsimonia, las dos ecuaciones son simples y concretas. Por lo cual, se podría inferir que el uso de cualquiera de las dos podría servir para estimar el área foliar en tomate de árbol con un alto poder explicativo.

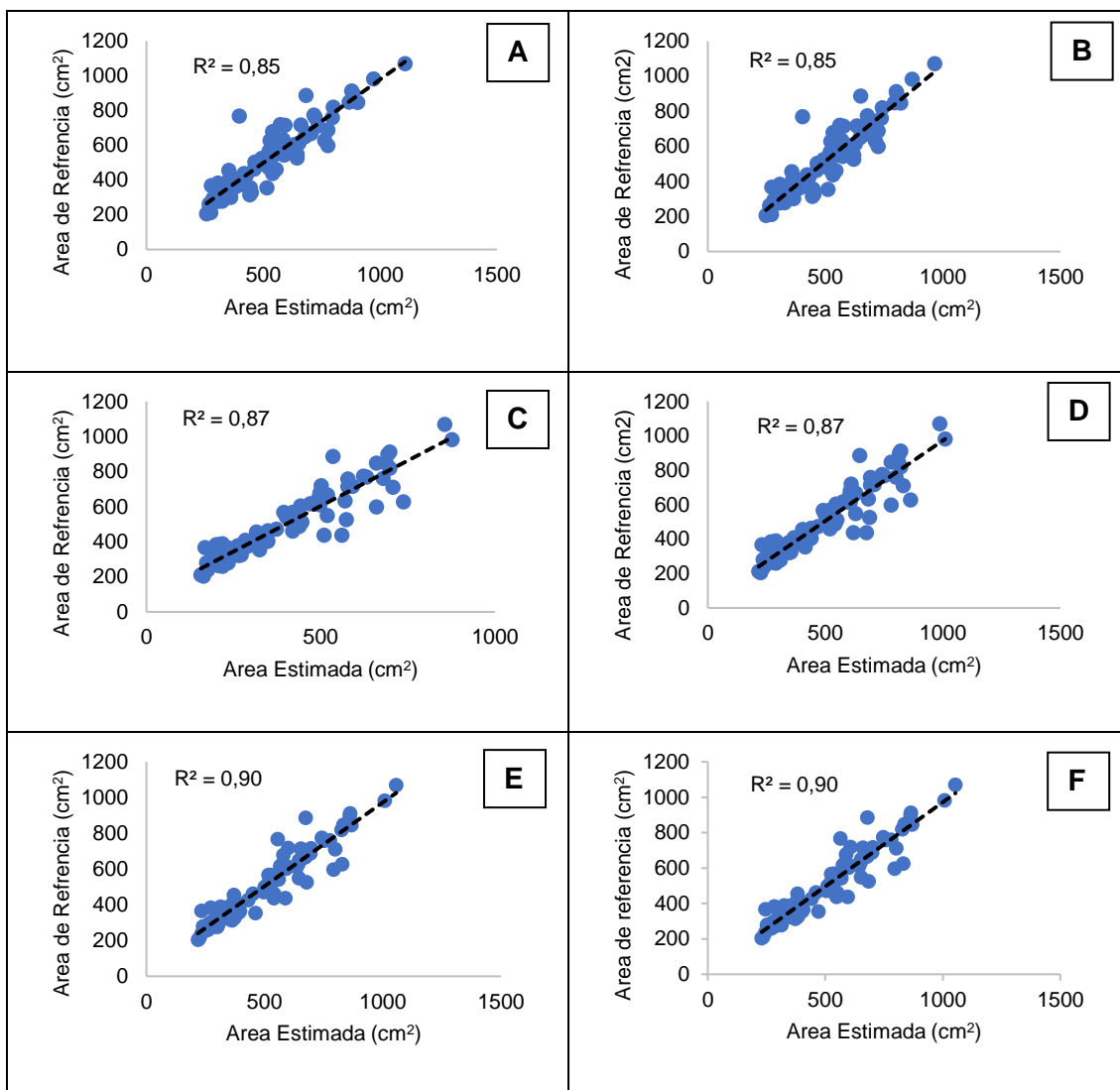


Figura 5. Validación de los mejores modelos para la estimación de área foliar. Variables: Largo: A (Polinomial), B (Potencial); Ancho: C (Polinomial), D (Potencial); LxA: E (Lineal), F (Potencial)

Fuente: Autoría propia

Tabla 3. Ecuaciones de regresión para el cálculo del área foliar con base en las dimensiones de la hoja.

Método	Modelo	Ecuación	R ²	CME	AIC	Willmott
Relación alométrica (Largo)	Lineal	$Y = 32.64x - 429.27$	0,83**	6022,96	1043,48	0,830
	Exponencial	$Y = 70,37 e^{0.07x}$	0,86**	5145,30	-79,87	0,844
	Logarítmica	$Y = 858.72 \ln(x) - 2360.3$	0,78**	7920,68	1069,35	0,794
	Polinómica	$Y = 0.91 x^2 - 18,89x + 276.97$	0,86*	4911,35	1028,23	0,849
	Potencial	$Y = 1.23 x^{1.78}$	0,86**	5572.11	-67,86	0,835
Relación alométrica (Ancho)	Lineal	$Y = 40.99x - 426.19$	0,85**	5268,84	1032,669	0,252
	Exponencial	$Y = 71.34 e^{0.08x}$	0,85**	6802,23	-87,31	0,836
	Logarítmica	$Y = 906.94 \ln(x) - 2311.29$	0,83**	6066,75	1045,36	0,816
	Polinómica	$Y = 0.84 x^2 - 2.15x + 6.51$	0,86*	5012,66	1030,17	0,840
	Potencial	$Y = 1.42 x^{1.87}$	0,86**	5023,71	-91,90	0,843
Relación alométrica (L*A)	Lineal	$Y = 0.76x - 6.87$	0,92**	5012,66	978,890	0,884
	Exponencial	$Y = 169.44e^{0.001x}$	0,90**	3960,73	-114,70	0,865
	Logarítmica	$Y = 472.59 \ln(x) - 2 538.75$	0,86**	4962,44	1027,27	0,840
	Polinómica	$Y = 0.0001 x^2 + 0.55x + 60.38$	0,92*	3730,00	977,88	0,887
	Potencial	$Y = 0.87 x^{0.98}$	0,92**	2962,05	-122,52	0,879

Los asteriscos junto al valor de R² representan el valor p (* < 0.05; ** < 0.01) para el correspondiente modelo de regresión

Fuente: Autoría propia

El desarrollo foliar de una planta es el resultado de una serie de procesos regulatorios a nivel celular, del tejido y del órgano, dando como resultado la forma y tamaño característicos de las hojas para cada especie (Zhang et al., 2007). Es por ello, que es posible inferir que los rasgos funcionales de la hoja, como su forma, longitud y ancho, entre otros, tienen un fundamento genético. Por lo tanto, son bastante estables y confiables como para utilizarlas con el propósito de proponer funciones matemáticas para la estimación del área foliar en las plantas (Casierra et al., 2017).

En concordancia con la metodología implementada en este estudio, se han realizado varias investigaciones con el propósito de establecer una relación confiable entre el área foliar y las dimensiones de la hoja. Estos trabajos han concluido que existe una estrecha relación entre la longitud, el ancho y el área foliar, con coeficientes de determinación superiores a 0,9 (Cristofori et al., 2007). Es por esto, que resulta acertado el uso de estas variables para proporcionar estimaciones precisas de área foliar.

En los modelos de regresión que utilizan el largo de la hoja (L), se obtuvieron coeficientes entre 0,78 y 0,86. Siendo la regresión de potencia quien obtuvo la mayor capacidad explicativa (86%). Además, presentó un CME bajo (4911,35) al igual que su AIC y un índice de Willmott de 0,83 (Tabla 3). En tanto que, con la regresión lineal obtuvo un R^2 de 0,83, el cual difiere a lo encontrado por Cristofori et al. en el 2007 y Cabezas et al. en el 2009, quienes obtuvieron un R^2 de 0,89 en avellana y 0,92 en aliso. No obstante, esto podría corresponder a las diferencias morfológicas entre especies. Cabe destacar que el modelo polinomial también presentó valores semejantes al modelo potencial, sin embargo, estadísticamente fue solo significativo para el término lineal.

Con el ancho de hoja, el modelo potencial fue el que mostró el mejor ajuste del R^2 (0,86) y el menor valor en AIC (- 91,90) a comparación con los demás modelos de regresión estudiados (Tabla 3). Al igual que en los modelos anteriores Cabezas et al., (2009) nos presenta valores más altos de R^2 (0,93) y un CME de 306,32, siendo uno de los valores más bajos dentro de su

UCUENCA

investigación en aliso. Por su parte Warnock et al. (2006), encontró coeficientes de determinación entre 0,92 y 0,99 en genotipos de fréjol, en la que concluye que la variable ancho y largo de la hoja está altamente relacionada con su área foliar. Este criterio es compartido por Toebe et al., (2012), quien concluye en su estudio que para estimar el área foliar en fréjol, solo es necesario basarse en el ancho de hoja. Estos fundamentos concuerdan con lo expresado por Cabezas et al., (2009) quien dice que “Es posible utilizar solo una medición, ya sea el largo o ancho de su lámina foliar, para estimar, con alto nivel de confiabilidad, el área foliar total....”.

Las ecuaciones que utilizan el producto del largo por ancho (LxA) presentaron los mejores coeficientes de determinación, pues sus valores están sobre los 0,9, a excepción del modelo logarítmico que tiene un R^2 de 0,86. Dentro de los 5 modelos planteados, el potencial fue el más eficiente para explicar la relación entre el área de referencia y el producto del LxA, ya que presentó un coeficiente de determinación del 92%, un índice de Willmott cercano al mejor (0,87) y los menores valores del CME (-122,52) y AIC (2962,05). Resultados semejantes obtuvo de Lucena et al., (2019), donde presentó valores de R^2 del 99% y un índice de Willmott del 0,97 en plantas de tuna. Por su parte, Leite et al., (2019) también obtuvo valores de R^2 de 99,96% y un índice de Willmott de 0,99. Estos datos respaldan lo que indicaron Citadini & Peri, en el 2006, que al usar el producto de la longitud de la hoja por el ancho como variable explícita es más preciso para predecir el área foliar que al usar la longitud o el ancho.

Según Lucena et al., (2018), los modelos potenciales y lineales son los que mejor se ajustan para explicar la relación existente entre área foliar y el producto del LxA. No obstante, para Silva et al., (2013), los mejores modelos son el exponencial y lineal, con coeficientes de determinación superiores a 0,97. Cabe recalcar que los valores antes mencionados resultaron de investigaciones en pastos, por lo cual difiere con los resultados de mi estudio, pues los coeficientes de determinación encontrados en tomate de árbol no superan 0,92 con los modelos potencial, exponencial y lineal.

Finalmente, el coeficiente de determinación que se obtuvo con los datos generados con la aplicación móvil es de 0,92. Haciendo de ello un método con

UCUENCA

alto grado de precisión. Aunque, Rincón et al., (2012) publicaron resultados de área foliar en cítricos con el uso de fotografías tomadas con un teléfono móvil, donde obtuvo coeficientes de determinación superiores a 0,99. Esta diferencia podría deberse a la coloración que tiene la hoja de tomate de árbol, al momento de realizar la combinación de colores del RGB en la aplicación Easy Leaf Area Free o a diversos factores como el ángulo de la foto, la luz y la calidad del lente, que reducen su efectividad (Cabezas et al., 2009).

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación, los modelos de regresión basados en las dimensiones de la hoja, pueden proveer estimaciones de alta precisión para la determinación rápida y económica del área foliar en tomate de árbol, con coeficientes superiores al 78%.

El producto del largo por el ancho de la hoja es un parámetro apropiado para usar como variable independiente en los modelos de regresión, pues se obtienen coeficientes de determinación superiores al 86%. Sin embargo, el modelo de potencia ($0.87 X^{0.98}$) es el método que se podría recomendar para estimar área foliar en el ecotipo anaranjado puntón en etapa vegetativa, con un coeficiente de determinación del 92%.

No obstante, los otros modelos analizados no serían motivo de rechazo, ya que las ecuaciones se podrían utilizar siempre y cuando se tenga presente que los datos obtenidos se ajustarán en un menor porcentaje a la realidad, en relación con el modelo antes mencionado.

Por otro lado, el uso de la aplicación móvil Easy Leaf Area Free, determinó en un alto grado (92%) el área foliar en tomate de árbol, sin embargo, su eficiencia está determinada por las características morfológicas de la planta, el ángulo de la cámara y las combinaciones de RGB de la APP.

Finalmente se sugiere seguir con esta línea de investigación y se tome este trabajo como punto de partida para estudios que relacionen el área foliar con procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración, el crecimiento de órganos, el uso eficiente del agua y el uso eficiente de la radiación solar. De la misma manera es oportuno que se realice un análisis de los modelos propuestos en otros ecotipos de tomate.

REFERENCIAS

- Adami, M., Hastenreiter, F. A., & Flumignan, D. L. (2006). *Estimativa De Área De Folíolos De Soja Usando Imagens. Li 3100*, 1053–1058.
- Astegiano, E. D., Favaro, J. C., & Bouzo, C. A. (2001). Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill .) utilizando medidas foliares lineales. *Investigación Agropecuaria: Producción y Protección Vegetal*, 16(2), 250–256.
- Cabezas, M., Peña, F., Duarte, H., Colorado, J., & Lora Silva, R. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121–130. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.648>
- Casierra, F., Zapata, V., & Cutler, J. (2017). *A comparison of direct and indirect methods for estimating leaf area in peach (Prunus persica) and plum (Prunus Salicina) Cultivars*. 11(1), 30–38.
- Citadinni, E., & Peri, P. (2006). Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *Revista de Investigaciones Agropecurias*, 35(1), 143–150.
- Cristofori, V., Roupael, Y., Gyves, E. M. de, & Bignami, C. (2007). A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.02.006>
- Díaz, L., Canto, M., Alegre, J., Camarena, F., & Julca, A. (2017). SOSTENIBILIDAD SOCIAL DE LOS SUBSISTEMAS PRODUCTIVOS DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav) EN EL CANTÓN GUACHAPALA, PROVINCIA DE AZUAY - ECUADOR. *Ecología Aplicada*, 16(2), 99. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1013>
- Easlon, H. (2013). Easy Leaf Area Free: Análisis automatizado de imágenes digitales para una medición rápida y precisa del área foliar. In *Universidad de California*.
- Estévez, M. (2019). *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Evaluación de diferentes medios de cultivo*

para la germinación in - vitro de semilla de cultivares de tomate de árbol (Solanum betaceum).

Feicán, C., Encalada, C., & Becerril, A. (2016). Descripción agronómica del cultivo de tomate de árbol. *Agroproductividad*, 9(January), 78–86. https://www.researchgate.net/publication/312938646_DESCRIPCION_AGRONOMICA_DEL_CULTIVO_DE_TOMATE_DE_ARBOL_Solanum_betaceum_Cav

GAD-Chordeleg. (2016). Sitio web del GAD Parroquial de Chordeleg. In *Datos generales del Canton Chordeleg*. <https://chordeleg.gob.ec/datos-generales/>

GAD-Guachalapa. (2013). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL “CANTON GUACHAPALA.”*

GAD-Gualaceo. (2021). *Sitio Web del GAD Parroquial de Gualaceo*. <https://www.gualaceo.gob.ec/gualaceo/datos-geograficos/>

GAD-Guarainag. (2015). *Plan de desarrollo ordenamiento territorial de la parroquia Guarainag perteneciente al cantón Paute, provincia del Azuay*. <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-PARROQUIA-GUARAINAG-2015-2019.pdf>

Leite, M. L. de M. V., de Lucena, L. R. R., da Cruz, M. G., de Sá Júnior, E. H., & Simões, V. J. L. P. (2019). Leaf area estimate of *P. glaucum* by linear dimensions. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 41(1). <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.42808>

León, J; Viteri, P; Cevallos, G. (2004). INIAP -Estación Experimental Santa Catalina. *INIAP*. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>

Lucena, L., Leite, M., Cruz, M., & De Sá Júnior, E. (2018). Estimativa da área foliar em *Urochloa mosambicensis* por dimensões foliares e imagens digitais. *Archivos de Zootecnia*, 67(259), 408–413. <https://doi.org/10.21071/az.v67i259.3798>

Lucena, L. R. R., de Mello Vieira Leite, M. L., da Cruz Junior, C. B., Carvalho, J. D., dos Santos, E. R., & de Oliveira, A. D. M. (2019). Estimation of cladode

area of *Nopalea cochenillifera* using digital images. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 21(September), 32–42.

MAGAP. (2017). *Boletín Situacional*.

Maita, S. (2011). Manejo del “ojo de pollo” o antracnosis (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) en el cultivo del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav). *Universidad Católica de Cuenca*, June 2011.

Montoya, E., Hernández, D., Arredondo, J., Muñoz, Á., & Flórez, C. (2017). Estimación del área foliar en café variedad castillo ® a libre exposición y su relación con la producción. *Cenicafé*, 68(1), 55–61.

Moreno, C., Molina, J. I., Ortiz, J., Peñafiel, C., & Moreno, R. (2020). The value chain of tree tomato (*Solanum betaceum*) network in Ecuador. *Agronomy Mesoamerican*, 31(1), 13–29. <https://doi.org/10.15517/AM.V31I1.36887>

Pierozan, C., & Kawakami, J. (2013). Efficiency of the leaf disc method for estimating the leaf area index of soybean plants. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 35(4), 487–493. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.16290>

Ramírez, F., & Kallarackal, J. (2019). Tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 248(January), 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.019>

Rasband, W. (2007). *Image J*. US National Institutes.

Revelo, J., & Maila, M. (2004). *INIAP-Estación Experimental Santa Catalina*.

Rincón, N., Quintero, M., & Pérez, C. (2012). Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional Leaf Area Measurement in Photographs Taken with a Webcam, a Cell Phone or a Semi Professional Camera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), 6399–6405.

Santillan, S. (2001). Manual del cultivo sustentable de tomate de arbol. *Universidad de Cuenca, U Ediciones*, 53.

Sauceda, C. P., González, V. A., Sánchez, B. H., Saucedo, R. H., Ramírez, H.

- M., & Quintana, J. G. (2017). Macf-lj, método automatizado para medir color y área foliar mediante imágenes digitales. *Agrociencia*, 51(4), 409–423.
- Silva, W. L. da, Costa, J. P. R., Caputti, G. D. P., Galzerano, L., & Ruggieri, A. C. (2013). Medidas lineares do limbo foliar dos capins xaraés e massai para a estimativa da área foliar. *Biotemas*, 26(3), 11–18. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n3p11>
- Toebe, M., Filho, A. C., Loose, L. H., Heldwein, A. B., & Zanon, A. (2012). Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. *Semina:Ciencias Agrarias*, 33(SUPPL.1), 2491–2500. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2491>
- Viera, W., Campaña, D., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro*, 29(2), 105–114.
- Villa, P. M., Sarmiento, L., Rada, F. J., Machado, D., & Rodrigues, A. C. (2017). Leaf area index of potato (*Solanum tuberosum* L.) crop under three nitrogen fertilization treatments. *Agronomia Colombiana*, 35(2), 171–175. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.62110>
- Viteri, P., Vasquez, W., Leon, J., Encalada, C., Martinez, Revelo, M., Posso, M., & Hinojosa, H. (2010). *Programa Nacional de Fruticultura* (p. INIAP). Estacion Experimental Santa Catalina. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5137/1/iniapscbd371.pdf>
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., & Madriz, P. (2006). Área Foliar, Componentes Del Área Foliar Y Rendimiento De Seis Genotipos De Caraota 1. *Agronomia Trop*, 56(1), 21–42.
- Zhang, X., Madi, S., Borsuk, L., Nettleton, D., Elshire, R. J., Buckner, B., Janick-Buckner, D., Beck, J., Timmermans, M., Schnable, P. S., & Scanlon, M. J. (2007). Laser microdissection of narrow sheath mutant maize uncovers novel gene expression in the shoot apical meristem. *PLoS Genetics*, 3(6), 1040–1052. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030101>

ANEXOS

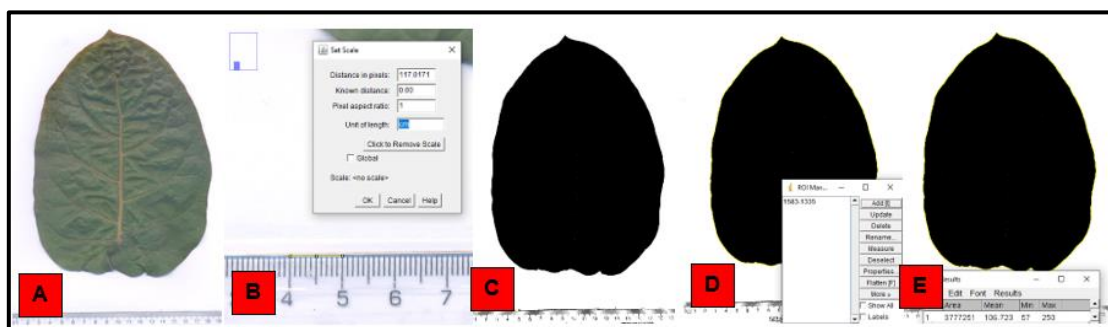
Anexo 1. Proceso de colecta de las muestras para el estudio.



A: Corte de hojas en estado juvenil, B: Colecta de muestras, C: Etiquetado y medición longitudinal, D: Muestras para el proceso de prensado

Fuente: Autoría propia

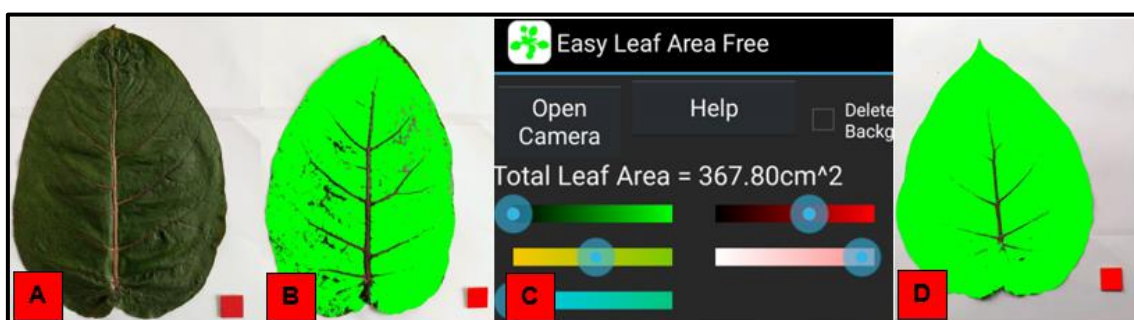
Anexo 2. Proceso de determinación de área foliar con el Image J.



A: Digitalización de la hoja, B: Definición de la escala, C: Contraste de la imagen y aplicación del comando Threshold. D: Aplicación del comando ROI Manager para marcar el área de la hoja, E: Aplicación del comando Measure para la obtención del área foliar.

Fuente: Autoría propia

Anexo 3. Proceso de determinación de área foliar a través de la aplicación Easy Leaf Area Free



A: Fotografía de la hoja junto a la escala de referencia, B: Ingreso de la foto a la App, C: Contraste de RGB, D: Resultado del contraste y determinación del área foliar.

Anexo 4. Resultados de los análisis de suelo de los sitios de muestreo.

	ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS <small>km 12 1/2 vía El Descanso - BULLCAY - Guilaico - www@iniap.gob.ec Azuay - Ecuador Telfax: (07) 2171161</small>	
---	---	---

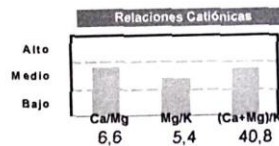
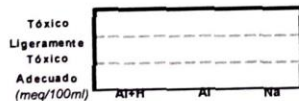
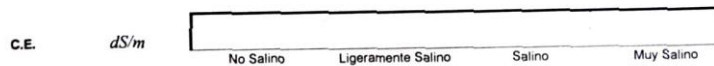
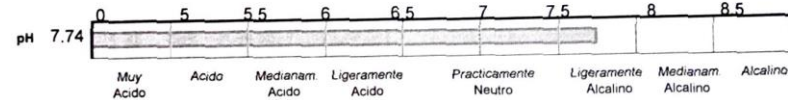
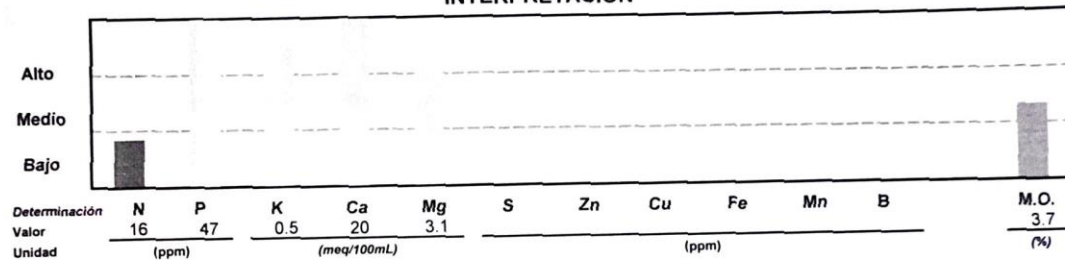
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			
Nombre : JOSE MEJIA MINCHALA (1)	Teléfono : N/E		
Dirección : AZOGUEZ	e-mail : N/E		
Ciudad : Paute			

DATOS DE LA PROPIEDAD			
Nombre :	Parroquia : Paute		
Provincia : Azuay	Ubicación : BULAN		
Cantón : Paute	Latitud : Longitud :		

DATOS DE LA MUESTRA			
No. Laboratorio : 7289	Responsable Muestreo : Cliente	Factura No. : 0	
Identificación : MUESTRA No. 1	Fecha Muestreo : 28/04/2022	Fecha Análisis : 09/05/2022	
Cultivo Actual : N/E	Fecha Ingreso : 01/05/2022	Fecha Emisión : 18/05/2022	

INTERPRETACION



Σ Bases
24,65
meq/100mL

% Materia Seca:
% Humedad:

Determinación	Metodología	Extractante
N, P	Colorimetría	Olsen
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado pH 8.5
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
B	Turbidimetría	Fosfato de Ca
Cl	Colorimetría	Monobásico
CI	Volumetría	Pasta Saturada
M.O	Oxidación	No aplica
	Via Humeda	

Determinación	Metodología	Extractante
pH	Potenciométrica	Suelo Agua (1:2.5)
CE	Conductimetría	Pasta Saturada
Textura	Boysscucia	No Aplica
Al	Volumetría	K, Cl, 1 N
Al + H		
Na	Absorción	Pasta Saturada
E Bases	Atómica	Olsen Modificado pH 8.5

Niveles de Referencia Optimos									
N	20 - 40	S	10 - 20	B	0.5 - 1.0	Na	0.5 - 1.0		
P	10 - 20	Zn	4 - 8	Cl	0 - 0	Ca/Mg	2 - 8		
K	0.2 - 0.4	Cu	1 - 10	M.O	3 - 5	Mg/K	2.5 - 10.0		
Ca	4 - 8	Fe	20 - 40	Al+H	0.5 - 1.5	(Ca+Mg)/K	12.5 - 50.0		
Mg	1 - 3	Mn	5 - 10	Al	0.3 - 1.0				


 Responsable laboratorio


 ESTACION EXPERIMENTAL CHUQUIP:
 Laboratorio de Suelos y Aguas

N/E No Entrega
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a fotocopiar que sea de todo el documento original.

Fecha Impresión : 24/05/2022



ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
km 12 1/2 via El Descanso - BULLCAY - Guailcaco www@iniap.gob.ec
 Azuay - Ecuador Telefax (07) 2111161



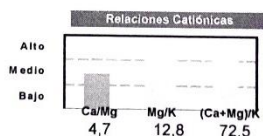
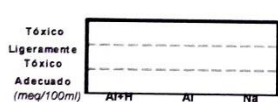
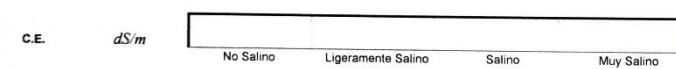
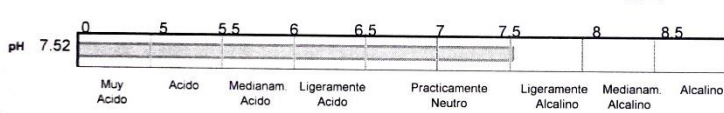
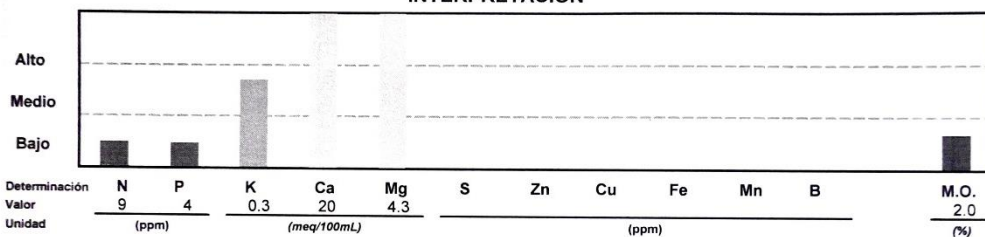
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			
Nombre : JOSE MEJIA MINCHALA (2)	Teléfono: : N/E		
Dirección : AZOGUES	e-mail : N/E		
Ciudad : Guachapala			

DATOS DE LA PROPIEDAD			
Nombre :	Parroquia : Guachapala		
Provincia : Azuay	Ubicación: EL ROMERAL		
Cantón : Guachapala	Latitud : Longitud :		

DATOS DE LA MUESTRA			
No. Laboratorio : 7290	Responsable Muestreo : Cliente	Factura No. : 0	
Identificación : EL ROMERAL (MUESTRA	Fecha Muestreo : 28/04/2022	Fecha Análisis : 09/05/2022	
Cultivo Actual : N/E	Fecha Ingreso : 01/05/2022	Fecha Emisión : 18/05/2022	

INTERPRETACION



Σ Bases
24,98
meq/100mL

% Materia Seca:
% Humedad:

Determinación	Metodología	Extractante
N, P	Colorimetría	Olsen
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado pH 8.5
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	
S	Turbidimetría	Fosfato de Ca
B	Colorimetría	Monotélico
Cl	Volumetría	Pasta Saturada
M.O.	Oxidación	No aplica
	Via Humeda	

Determinación	Metodología	Extractante
pH	Potenciométrica	Suelo: Agua (1:2.5)
CE	Conductometría	Pasta Saturada
Textura	Boyucucus	No Aplica
Al	Volumetría	K, Cl, 1 N
Al + H		
Na	Absorción	Pasta Saturada
E Bases	Atómica	Olsen Modificado pH 8.5

Niveles de Referencia Óptimos					
N	20 - 40	S	10 - 20	B	0.5 - 1.0
P	10 - 20	Zn	4 - 8	Cl	0 - 0
K	0.2 - 0.4	Cu	1 - 10	M.O	3 - 5
Ca	4 - 8	Fe	20 - 40	Al+H	0.5 - 1.5
Mg	1 - 3	Mn	5 - 10	Al	0.3 - 1.0
				(Ca+Mg)/K	12.5 - 50.0


Responsable laboratorio


GRANJA EXPERIMENTAL CHUQUIP
Laboratorio de Suelos
Laboratorista

N/E No Entrega
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a fotocopiar que sea de todo el documento original.

Fecha Impresión : 24/05/2022



ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 km 12 1/2 via El Descanso - BULLCAY - Gualaceo - www@iniap.gob.ec
 Azuay - Ecuador Telef ax: (07) 2171161



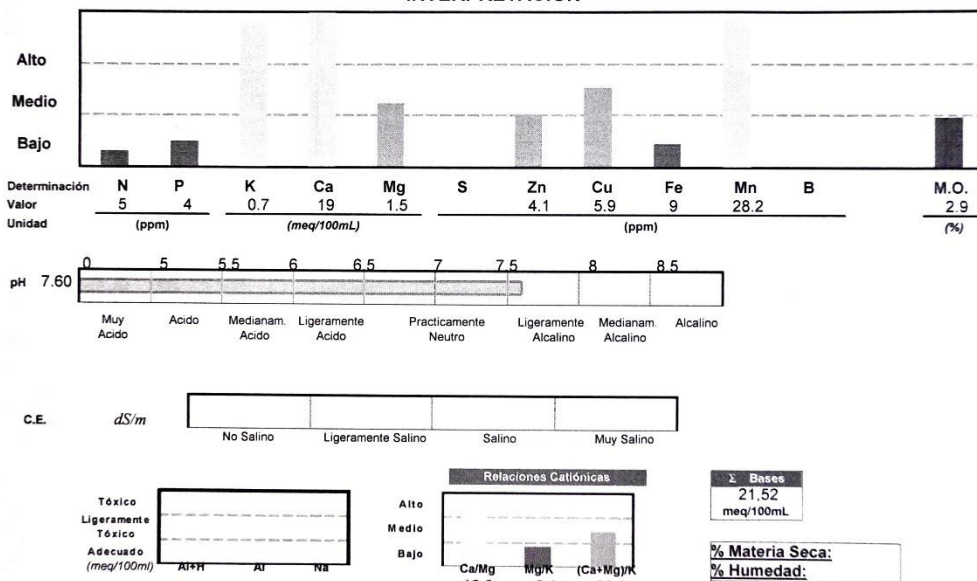
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			
Nombre :	PRODUCCION (EEA)	Teléfono :	N/E
Dirección :		e-mail :	N/E
Ciudad :	Gualaceo		

DATOS DE LA PROPIEDAD			
Nombre :		Parroquia :	Gualaceo
Provincia :	Azuay	Ubicación :	BULLCAY - EEA
Cantón :	Gualaceo	Latitud :	
		Longitud :	

DATOS DE LA MUESTRA			
No. Laboratorio :	7292	Responsable Muestreo :	Cliente
Identificación :		Fecha Muestreo :	05/05/2022
Cultivo Actual :	TOMATE DE ÁRBOL	Fecha Ingreso :	16/05/2022
		Factura No. :	0
		Fecha Análisis :	16/05/2022
		Fecha Emisión :	20/05/2022

INTERPRETACION



Determinación	Metodología	Extractante
N, P	Colorimetría	Olsen
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
S	Turbidimetría	Fosfato de Ca
B	Colorimetría	Monobásico
Cl	Volumetría	Pasta Saturada
MO	Oxidación	No aplica
	Via Humedad	

Determinación	Metodología	Extractante
pH	Potenciométrica	Suelo Agua (1:2.5)
CE	Conductometría	Pasta Saturada
Textura	Boyocucos	No Aplica
Al	Volumetría	K, Cl, N
Al + H		
Na	Absorción	Pasta Saturada
E Bases	Atómica	Olsen Modificado pH 8.5

Niveles de Referencia Optimos							
N	20 - 40	S	10 - 20	B	0.5 - 1.0	Na	0.5 - 1.0
P	10 - 20	Zn	4 - 8	Cl	0 - 0	Ca/Mg	2 - 8
K	0.2 - 0.4	Cu	1 - 10	M.O.	3 - 5	Mg/K	2.5 - 10.0
Ca	4 - 8	Fe	20 - 40	Al+H	0.5 - 1.5	(Ca+Mg)/K	12.5 - 50.0
Mg	1 - 3	Mn	5 - 10	Al	0.3 - 1.0		

Responsable laboratorio

ESTACION EXPERIMENTAL CHUQUIPATA
Laboratorio de SUELOS Y AGUAS
Laboratorista

NE: No Entrega
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a fotocopiar que sea de todo el documento original.

Fecha Impresión : 24/05/2022



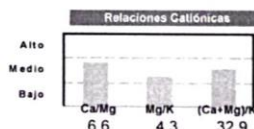
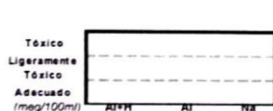
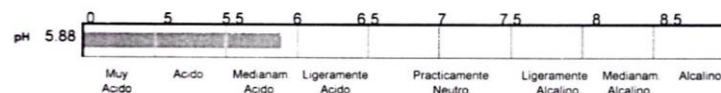
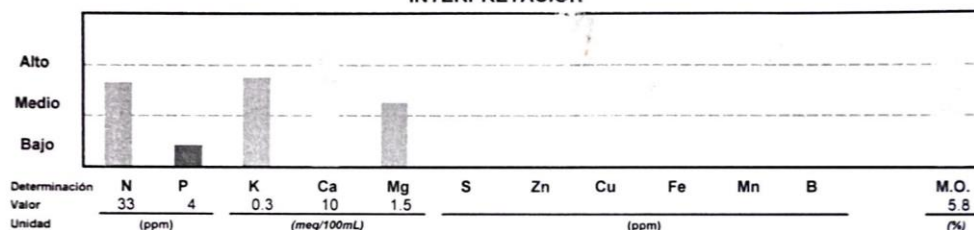
ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
km 12 1/2 vía El Descanso BULLCAY - Guallaceo www@inap.gob.ec
 Azuay - Ecuador TeleFax: (07) 2171161



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO			
Nombre : JOSE MEJIA MINCHALA (3)	Teléfono : N/E		
Dirección : AZOGUES	e-mail : N/E		
Ciudad : Chordeleg			
DATOS DE LA PROPIEDAD			
Nombre :	Parroquia : Chordeleg		
Provincia : Azuay	Ubicación : PRINCIPAL		
Cantón : Chordeleg	Latitud : Longitud :		
DATOS DE LA MUESTRA			
No. Laboratorio : 7291	Responsable Muestreo : Cliente	Factura No. : 0	
Identificación : PRINCIPAL (MUESTRA N°)	Fecha Muestreo : 28/04/2022	Fecha Análisis : 09/05/2022	
Cultivo Actual : N/E	Fecha Ingreso : 01/05/2022	Fecha Emisión : 18/05/2022	

INTERPRETACION



S. Bases
11,87 meq/100mL

% Materia Seca:
% Humedad:

Determinación	Metodología	Extractante
N, P	Colorimetría	Olsen
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
S	Turbidimetría	Fosfato de Ca
B	Colorimetría	Molibdato
Cl	Volumetría	Pasta Saturada
M.O	Oxación	No aplica
	Via Humeda	

Determinación	Metodología	Extractante
pH	Potenciométrica	Suelo Agua (1:2.5)
CE	Conductimetría	Pasta Saturada
Textura	Boyotecnia	No Aplica
AJ	Volumetría	K, Cl, 1 N
Al+H	Absorción	Pasta Saturada
Na	Absorción	Pasta Saturada
E. Bases	Atómica	Olsen Modificado pH 8.5

Niveles de Referencia Optimos									
N	20 - 40	S	10 - 20	B	0.5 - 1.0	Na	0.5 - 1.0	Ca+Mg	2 - 8
P	10 - 20	Zn	4 - 8	Cl	0 - 0	Mg/K	2.5 - 10.0		
K	0.2 - 0.4	Cu	1 - 10	M.O	3 - 5	(Ca+Mg)/K	12.5 - 50.0		
Ca	4 - 8	Fe	20 - 40	Al+H	0.5 - 1.5				
Mg	1 - 3	Mn	5 - 10	Al	0.3 - 1.0				

Responsable laboratorio

ESTACION EXPERIMENTAL CHUQUIPATA
Laboratorio de Suelos y Aguas
Laboratorista

N/E No Entrega
Los resultados emitidos en este informe corresponden unicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo
Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a fotocopiar que sea de todo el documento original

Fecha Impresión : 24/05/2022