



ISSN: 2595-1661

ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](#)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



Análisis del índice de sitio y eficiencia volumétrica de *Liquidambar styraciflua*: Implicaciones para la gestión forestal sostenible en los Andes ecuatoriales

Site index analysis and volumetric efficiency of *Liquidambar styraciflua*: Implications for sustainable forest management in the equatorial Andes

DOI: 10.55892/jrg.v9i20.282

ARK: 57118/JRG.v9i20.2868

Recebido: 16/01/2026 | Aceito: 21/01/2026 | Publicado on-line: 22/01/2026

Carvajal-Benavides, José Gabriel

<https://orcid.org/0000-0001-9920-4991>

Universidad Técnica del Norte; Ecuador, Ibarra

E-mail: jgcarvajalb@utn.edu.ec

Winston Aníbal Burgos Vera

<https://orcid.org/0009-0002-4440-6216>

Colegio de Ingenieros Forestales de Imbabura, Ecuador, Ibarra

E-mail: waburgosv@utn.edu.ec

Paredes-Rodríguez, Hugo Orlando

<https://orcid.org/0000-0002-5880-1607>

Universidad Técnica del Norte; Ecuador, Ibarra

E-mail: hoparedes@utn.edu.ec

Varela Jácome, Guillermo David

<https://orcid.org/0000-0002-4070-8201>

Universidad Técnica del Norte; Ecuador, Ibarra

E-mail: gdvarela@utn.edu.ec

Villalba-Flores, Euler Adonis

<https://orcid.org/0009-0006-5078-639X>

Universidad Técnica del Norte; Ecuador, Ibarra

E-mail: eavillalbf@utn.edu.ec

Cifuentes-Vásquez, Johanna Katherine

<https://orcid.org/0009-0009-0472-2303>

Universidad Técnica del Norte; Ecuador, Ibarra

E-mail: jkcifuentesv@utn.edu.ec

Valencia Valenzuela, Xavier Germán

<https://orcid.org/0000-0002-3209-9581>

Colegio de Ingenieros Forestales de Imbabura, Ecuador, Ibarra

E-mail: xavierger@hotmail.com



Resumen

El índice de sitio es utilizado en la silvicultura para evaluar la calidad del sitio de una bosque o plantación, esto se refiere a la capacidad del suelo y las condiciones ambientales del lugar para determinar el crecimiento y el desarrollo óptimo de los árboles. El objetivo de esta investigación fue determinar el índice de sitio de *Liquidambar styraciflua* en el campus La Favorita, con el fin de evaluar la calidad del sitio para el crecimiento y desarrollo óptimo de esta especie forestal. Se utilizó estadística descriptiva, el lugar presenta un suelo limo arenoso del orden de los Inceptisoles; se utilizaron diferentes fórmulas con el fin de calcular y medir la altura (H) promedio por parcela, (DAP) promedio por parcela, área basal (AB), área basal (AB/P) por parcela, área basal (AB/S)



por calidad de sitio, incremento medio anual (IMA) del área basal, así mismo, se realizó un muestreo para calcular la superficie a intervenir, las variables evaluadas fueron, diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura total, Volumen, Altura estimada y para el cálculo de índice de sitio se tomó en cuenta la densidad y la altura estimada. Los resultados muestran que los árboles de la Parcela 2 tienen un crecimiento más vigoroso con $17,52\text{m}^3$ en comparación a la Parcela 1 y 2, el valor del índice de sitio mayor fue de un 15,03% siendo valores sumamente bajos. Se determinó que la especie *Liquidambar styraciflua* tiene un comportamiento propio a las condiciones edafoclimáticas del Campus La Favorita y es diferente a su lugar de origen.

Palabras clave: Índice de sitio forestal; Eficiencia volumétrica; Modelos altura-diámetro; Silvicultura sostenible andina; *Liquidambar styraciflua*

Abstract

The site index is used in forestry to evaluate the site quality of a forest or plantation; this refers to the ability of the soil and environmental conditions of the site to determine the optimal growth and development of trees. The objective of this research was to determine the site index of Liquidambar styraciflua on the La Favorita campus, in order to evaluate the quality of the site for the optimal growth and development of this forest species. Descriptive statistics were used, the place has a sandy silt soil of the order of Inceptisols; Different formulas were used in order to calculate and measure the average height (H) per plot, average (DAP) per plot, basal area (AB), basal area (AB/P) per plot, basal area (AB/S) by site quality, average annual increase (IMA) of the basal area, likewise, sampling was carried out to calculate the surface to intervene, the variables evaluated were diameter at breast height (DBH), total height, volume, height estimated and for the calculation of the site index the density and estimated height were taken into account. The results show that the trees on Plot 2 have more vigorous growth with 17.52m^3 compared to Plot 1 and 2, the value of the largest site index was 15.03%, being extremely low values. It was determined that the species Liquidambar styraciflua has a behavior specific to the edaphoclimatic conditions of the La Favorita Campus and is different from its place of origin.

Keywords: Forest site index; Volumetric efficiency; Height-diameter models; Sustainable Andean forestry; *Liquidambar styraciflua*

1. Introducción

Ecuador es uno de los países con una diversidad de condiciones edafoclimáticas, con una ubicación geográfica que favorece a la variedad climática, diversidad de especies maderables, velocidad de crecimiento en especies forestales, entre otros; el cual se adapta a especies con valor comercial que es demandado por el mercado nacional e internacional (Garrido Quintero, 2022). Un claro ejemplo se encuentra en el territorio AWA donde en la actualidad constituye el último remante de Chanul (*Humiriastrum procerum*) en Ecuador. (Paredes et al., 2022)

En América Latina las plantaciones forestales se han convertido en una inversión del capital externo, innovación de estudios y tecnología en el sector forestal (Ormeño, 2017). La evaluación de los bosques plantados es una actividad importante para determinar aspectos coherentes al desarrollo, productividad y dinámica de crecimiento de las mismas. Por lo tanto, es crucial gestionarlas de manera sostenible donde se consideran los impactos ambientales y sociales para garantizar su contribución a largo plazo (James, 2017). El beneficio del capital invertido aumenta con la implementación de

sistemas de producción sustentables y según menciona Carvajal *et al.* (2023a), existen tres tipos, los sistemas agrosilvícolas, sistema silvopastoril y el sistema agrosilvopastoril. “La evaluación de los bosques plantados es una actividad fundamental para determinar aspectos relacionados con su desarrollo, productividad y dinámica de crecimiento, siendo indispensable gestionarlos de manera sostenible para garantizar su contribución ambiental, social y económica a largo plazo” (Paredes Rodríguez *et al.*, 2022).

Moreno (2012) menciona que el índice de sitio es utilizado en la silvicultura para evaluar la calidad del sitio de una bosque o plantación, esto se refiere a la capacidad del suelo y las condiciones ambientales del lugar para determinar el crecimiento y el desarrollo óptimo de los árboles. Dentro de la importancia del índice de sitio en la gestión forestal permite adaptar prácticas silviculturales como es la selección de especies, espaciamiento de árboles y manejo del dosel tomando en cuenta las condiciones de cada sitio. Además, facilitó la toma de decisiones en la planificación de proyectos forestales, asimismo en la evaluación de riesgos y la mitigación de impactos, contribuyendo a la conservación de los bosques a largo plazo (Aguirre, y Vizcaíno, 2010). Esto es de mucha importancia en la silvicultura urbana para establecer la especie *Liquidambar* sp en lugares adecuados y evitar accidentes físicos y sociales que pueden resultar en heridas graves o fatales (Garrido, 2023).

Liquidambar styraciflua L. es una especie de la familia Altingiaceae, crece consecuentemente en muchos estados de EE.UU. También crece en localidades nororientales de México central, Guatemala, Salvador. Existe estudios limitados en donde se ve la presencia de esta especie en países como Colombia, Chile y Ecuador dentro del proyecto ITTO PD25/93 auspiciado por la Organización Internacional de Maderas Tropicales (Loewe, González, 1997). En el Herbario Universidad Técnica del Norte existe una gran cantidad de muestras botánicas donde puede ser comparado las muestras botánicas de la especie en mención y realizar investigaciones (Paredes *et al.*, 2023).

En la Estación Experimental La Favorita (actualmente denominado campus “La Favorita”, perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, se dió inicio, entre 1946 y 1947, al establecimiento de experimentos para la plantación de diversas especies forestales, incluyendo el *Liquidambar styraciflua*, que se estableció en 1946. En la década de los 90, el Proyecto “Evaluación del Progreso del Ecuador hacia el cumplimiento de la meta año 2000”, con el respaldo de la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT), llevó a cabo una evaluación. Esta valoración se realizó en colaboración con el Instituto Nacional Ecuatoriano de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN), con el objetivo de introducir especies tropicales provenientes de distintos países. Esto se hizo con miras a su posible manejo futuro con propósitos maderables y comerciales, además de evaluar las plantaciones establecidas en el país (Aguirre y Vizcaíno, 2010). Según la investigación realizada por Congo *et al.* (2022) para el transporte del producto forestal aserrado es necesario contar con las guías de circulación desde el bosque hacia el destino final.

Aguirre y Vizcaíno (2010) mencionan que con respecto a la especie *Liquidambar* sp., se observa una falta de conclusión evidente debido a que los datos recopilados durante las evaluaciones dasométricas llevadas a cabo en la década de los 90, no han sido documentados o se desconoce si existe algún registro de base de datos, mientras que explica que, esta ausencia de información sobre la especie coincide con la desaparición del antiguo INEFAN, lo que ha llevado a la pérdida de los datos relacionados con dicha especie. Así mismo, no existe un factor de forma para la correcta cubicación y realizar planes de manejo con volúmenes apegados a la realidad, Carvajal *et al.* (2023) mencionan la falta de información sobre los valores de forma de especies latifoliadas y ello conlleva

a cometer errores en la estimación del volumen. Valencia *et al.* (2023) exponen que el Factor de forma (0,7) utilizado en la fórmula convencional, es una constante muy generalizada para estimar el volumen en pie de todas las especies forestales, es así, que se debe investigar y determinar un Factor de forma para cada especie.

El encargado de la Estación Experimental La Favorita, Ramón Farías, menciona en el 2024 que, la existencia de las plantaciones desde su experiencia en este lugar se evidenciá-la caída de los árboles por el pasar de los años, por lo tanto, este problema se profundiza al no existir información precisa sobre las cualidades de la madera de esta especie el cual permita su correcto aprovechamiento y usos posibles. Congo *et al.* (2023) hace referência que en Ecuador se há mejorado de manera significativa el ordenamiento forestal sostenible de los bosques, existe una normativa robusta con indicadores que deben ser mejorados por los propietarios de los bosques privados. Añazco, Morales, Palacios, y Vega (2010); citado por Valencia *et al.* (2022a, 2022b) exponen que el Ecuador se encuentra contribuyendo con una ordenación forestal sostenible de los bosques, ya que existen progresos importantes en la normativa, pero muchos temas deben ser mejorados para cumplir una ordenación forestal sostenible, uno de ellos es disponer de un Sistema Nacional de Estadística Forestal que permita visualizar el contexto forestal del país. Valencia Valenzuela (2020) expresa que la importancia de generar información sobre estructura, diversidad y regeneración natural del bosque contribuye a realizar un adecuado Manejo Forestal, para garantizar los recursos a futuras generaciones.

Por este motivo la presente investigación se objeta en determinar el índice de sitio de *Liquidambar* sp en el campus La Favorita, con el fin de evaluar la calidad del sitio para el crecimiento y desarrollo óptimo de esta especie forestal.

2. Metodología

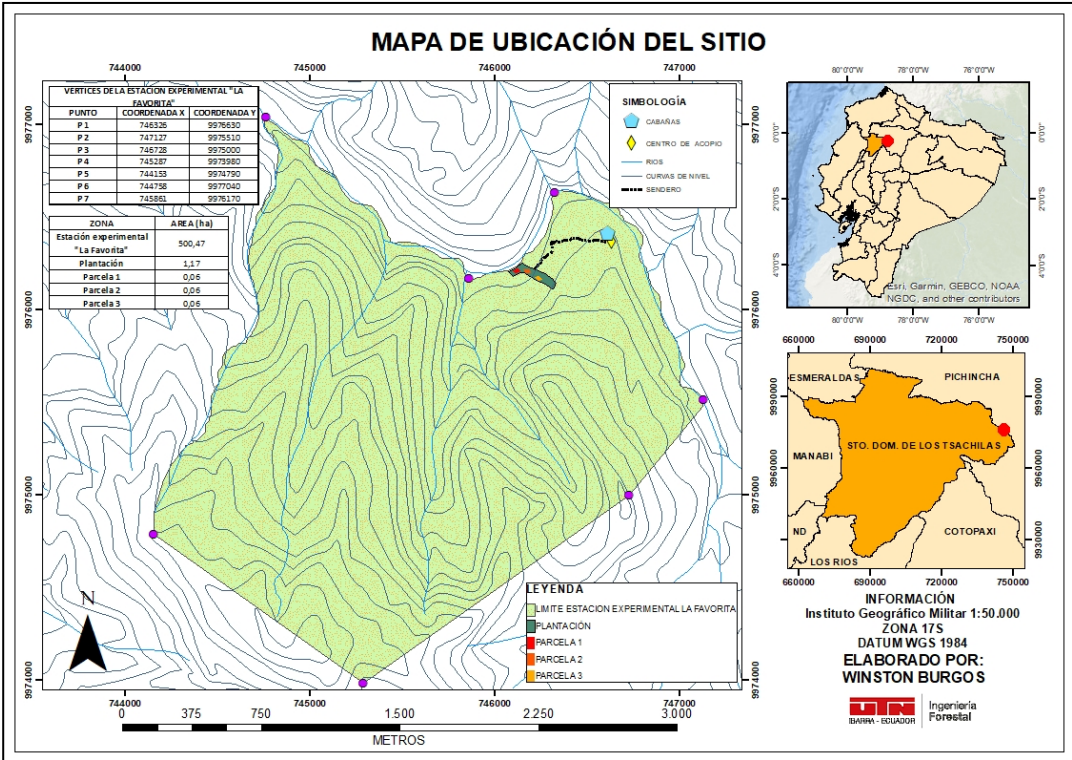
Ubicación del sitio

El estudio de caso se realizó en La Estación Experimental La Favorita, Figura 1, se localiza en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, específicamente en la parroquia de Alluriquín, en el área de Chiriboga. Sus coordenadas geográficas son aproximadamente (744000 – 747000 E, 9974000 – 9978000 S), abarcando una superficie de 504 hectáreas. (Yánez & Meza,2016)

Figura 1.



Ubicación del campus “La Favorita”



Materiales y métodos

Se utilizó varios materiales de oficina y software mismo que se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Materiales, Equipos y Software

| Materiales | Equipos | Software |
|-----------------------|------------|---------------------------------|
| Materiales de oficina | Brújula | ArcGIS |
| Cinta métrica | Celular | Microsoft Office |
| Machete | Computador | UTM Geo Map |
| Eprye de pintura | | Infostat |
| Piola | | Forest Monitoting Tools (Trees) |
| Hojas de campo | | |

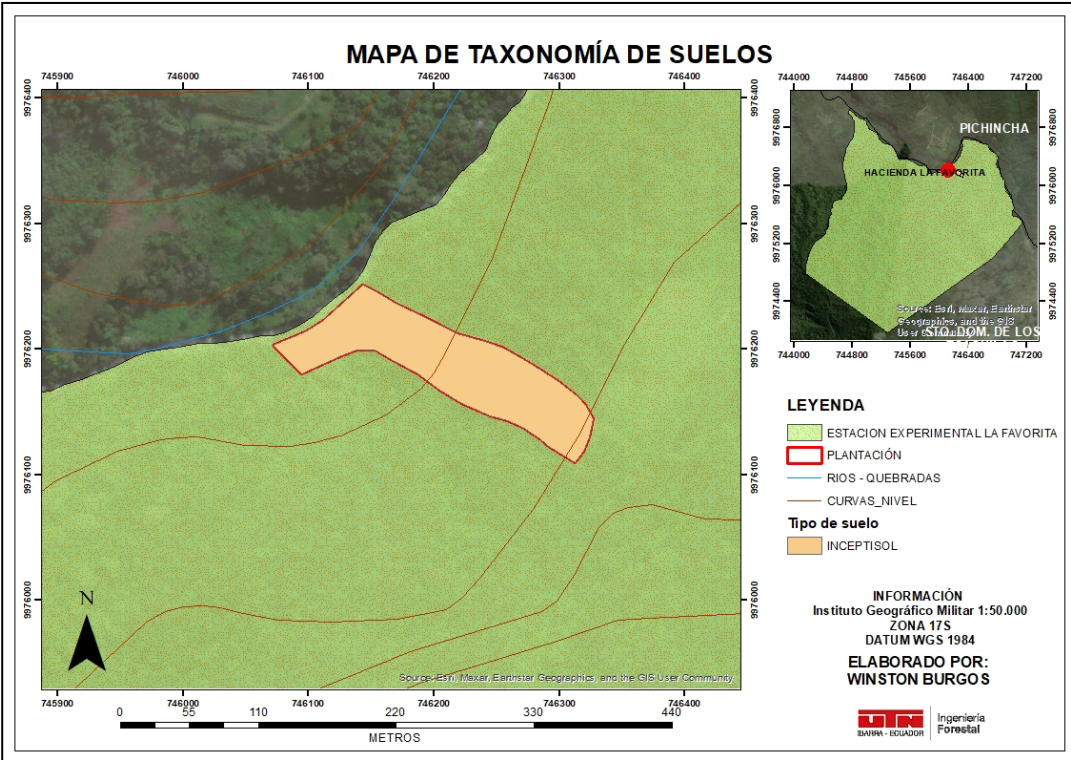
Características edafoclimáticas

Presenta un suelo limo arenoso del orden de los inceptisoles por la pendiente altitudinal en la que se encuentra el lugar de estudio tiene dos zonas de vida: el bosque siempre montano bajo y el bosque siempre verde montano que se distribuye desde los 1.300 hasta los 1.800 m.s.n.m. y 1.600 hasta los 2.500 respectivamente, Figura 2. (Oña, Saransig y Velarde, 2023)

Figura 2.



Taxonomía del suelo



En la Tabla 2 se puede identificar que en la estación experimental 'La Favorita' presenta condiciones edafoclimáticas que difieren en varios aspectos de las preferencias del *Liquidambar* sp, como la humedad relativa alta, temperatura ligeramente superior, altitud elevada y precipitación abundante, aunque comparten similitudes en pH del suelo, clima y textura. Estas diferencias podrían afectar el crecimiento óptimo del *Liquidambar* sp en este entorno.

Tabla 2.
Comparación de las características edafoclimáticas

| Características Edafoclimáticas | Estación Experimental 'La Favorita' | <i>Liquidambar</i> sp |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| PH | 5 - 6,5 | 5,5 - 6,5 |
| Humedad relativa | 80 - 90% | 50 - 70% |
| Temperatura | 16C° | 15C° a 25C° |
| Altitud | 1,600 - 2,500 m.s.n.m. | <600 m.s.n.m |
| Textura de suelo | Franco arenoso | Franco arenoso |
| Pendientes | 7 - 13% | Hasta 20% |
| Precipitación | 3,000 mm | 700 - 1500 mm |
| Clima | Templado | Templado cálido |

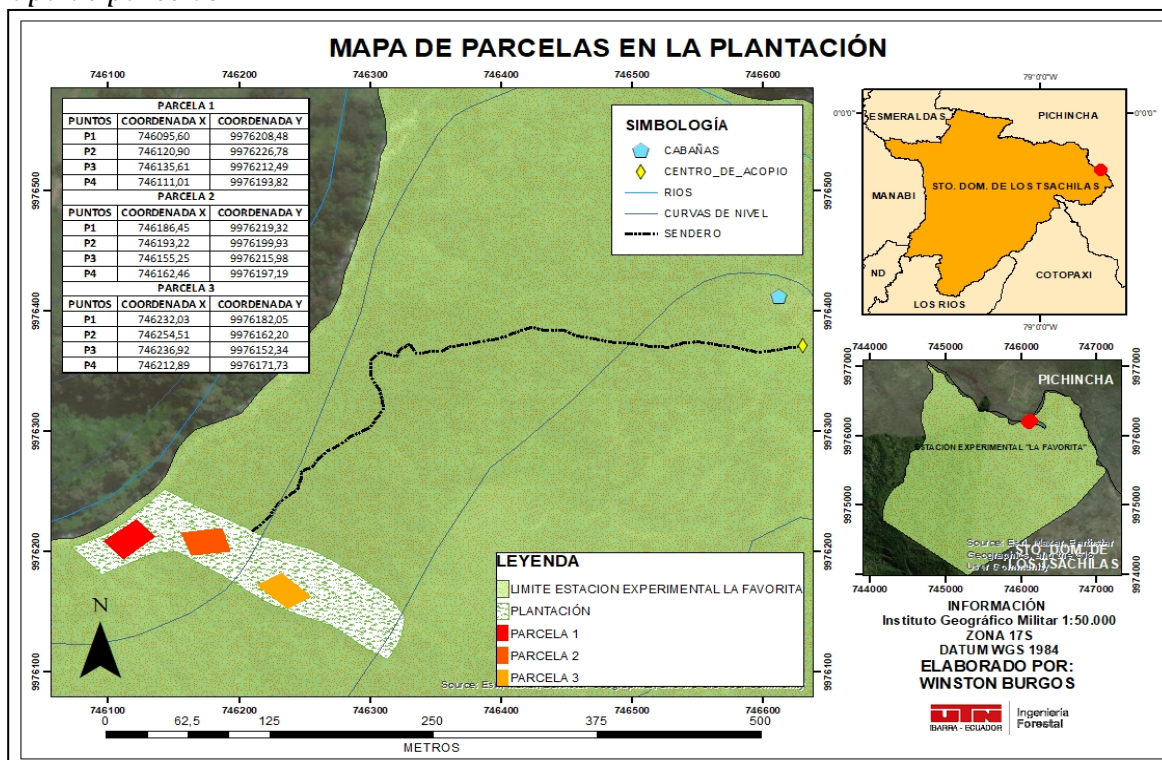
DaniPuenayanTV. (4 de septiembre de 2016)

Delimitación del área de estudio

En la Figura 3 se observa el mapa de parcelas con sus respectivos puntos y caracterización, las actividades se realizaron el 16 de abril del 2024 hasta el 20 de abril del mismo año.

Figura 3.

Mapa de parcelas



En el área de estudio y la trayectoria del sendero al lugar de investigación se recolectaron puntos GPS, y los datos recopilados fueron procesados en ArcGIS, aplicando la proyección UTM WGS84 en la zona 17 Sur, determinando 1.17 hectáreas de la plantación de *Liquidambar* sp.

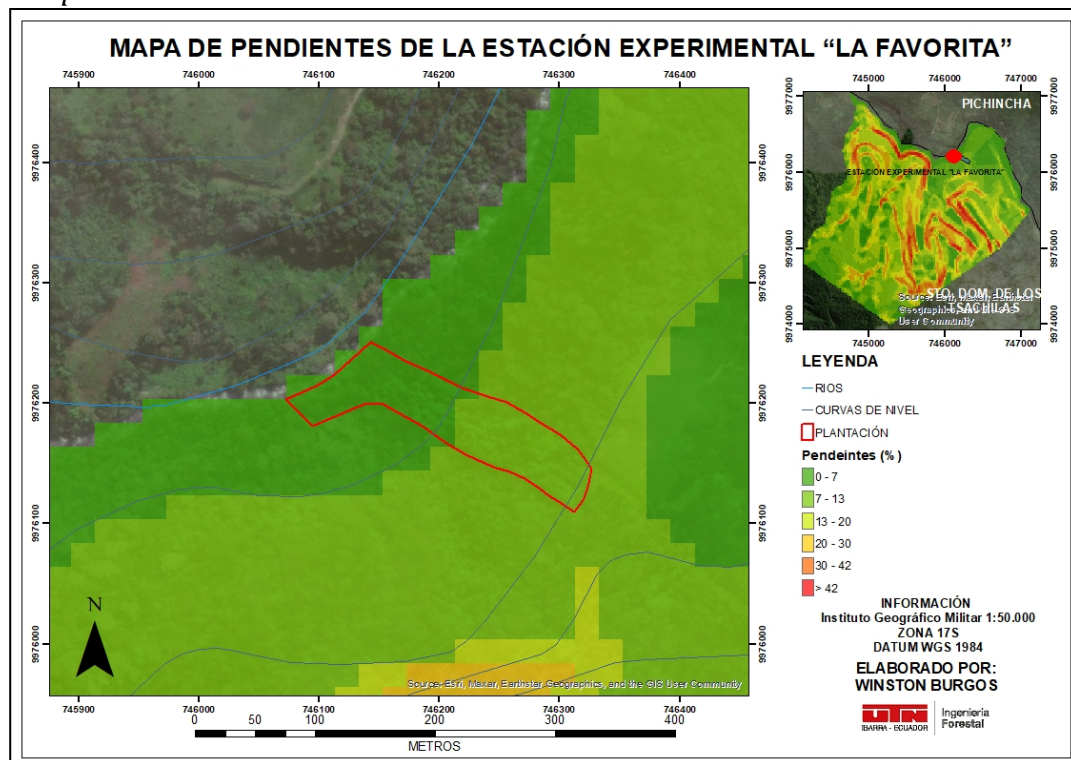
Ubicación e instalación de las parcelas

Una vez realizado la delimitación de la plantación, de igual forma se tomó 4 puntos para instalar 3 parcelas rectangulares de 20m x 30m de forma aleatoria tomando en cuenta la parte baja media y baja alta de la plantación.

Determinación de la pendiente en el área de estudio

Para calcular la inclinación del terreno en el área de estudio, se procesaron los datos de altitud que varía entre los 1.600 hasta los 2.500 m.s.n.m. recopilados en el campo utilizando el software ArcGIS, Figura 4.

Figura 4
Mapa de pendientes



Trabajo de gabinete

Se utilizó las fórmulas propuestas por Pantoja y Vallejo, 2013.

Altura (H) promedio por parcela

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Hp = \frac{\sum H}{n} \quad (1)$$

Donde:

Hp: Altura promedio (m)

$\sum h$: Sumatoria de las alturas de la parcela (m)

n: Número de árboles en la parcela

Diámetro a la altura de pecho (DAP) promedio por parcela

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$DAPp = \frac{\sum DAP}{n} \quad (2)$$

Donde:

DAPp: DAP promedio (m)

$\sum DAP$: Sumatoria de los DAP de cada parcela (m)

n: Número de árboles en la parcela

Área basal (AB)

Se determinó con la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi(DAP)^2}{4} \quad (3)$$

Donde:

AB: Área basal (m²)

π: 3,1416

(DAP)²: Diámetro a la altura del pecho elevado al cuadrado (m²)

4: Constante

Área basal (AB) por parcela

Se determinó con la siguiente fórmula:

$$ABp = \frac{\sum AB}{n} \quad (4)$$

Donde:

ABp: Área basal promedio (m²)

ΣAB: Sumatoria de AB (m²)

n: Número de árboles en la parcela

Área basal (AB) por calidad de sitio

Se determinó con la siguiente fórmula:

$$ABc = \sum ABp \quad (5)$$

Donde:

ABc: Área basal por estrato (m²)

ΣABp: Sumatoria de área basal promedio por parcela (m²)

Incremento Medio Anual (IMA) del área basal

Se determinó con la siguiente fórmula:

$$IMA = \frac{AB}{T} \quad (6)$$

Donde:

IMA: Incremento medio anual (m²)

AB: Área basal (m²)

T: Edad (Años)

Muestreo

Se determinó el tamaño de la muestra con la siguiente ecuación.

Donde:

N= Tamaño de la muestra (población)

Z = nivel de confianza,

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (error máximo admisible en términos de proporción)

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q} \quad n = \frac{1700 \times 1,81 \times 0,5 \times 0,5}{0,02^2 \times (N - 1) + 1,81 \times 0,5 \times 0,5}$$

Fuente: Torres, Paz, y Salazar, (2006)

(7)

Ecuación remplazada



“El herbario constituye un archivo de plantas descritas en publicaciones científicas que, además de interés para el botánico, sirve a la etnobotánica, morfología vegetal, genética y ecología, permitiendo determinar la distribución geográfica y características comparativas de las especies” (Universidad Técnica del Norte, 2023). Se calculó el tamaño de muestra considerando como población al área de la plantación, mediante el levantamiento cartográfico se determinó una superficie de 1.17 há, empleando el 93% de probabilidad estadística y el 2% de error de muestreo. Se debe indicar que la ecuación del tamaño de la muestra fue seleccionada debido a que se utiliza en el caso de poblaciones finitas (población total). Por lo tanto, se obtuvo 1700 m² que hay que muestrear, en efecto se estableció parcelas de 30m x 20m, en donde se le aproximó a 1,800m² para obtener 3 parcelas completas, Tabla 3.

Tabla 3

Datos de significancia

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Valor de Z_{α} | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,65 | 1,69 | 1,75 | 1,81 | 1,88 | 1,96 |
| Nivel de confianza | 80% | 81% | 82% | 83% | 84% | 85% | 86% | 87% | 88% | 89% | 90% | 91% | 92% | 93% | 94% | 95% | |

Estadística descriptiva

La estadística descriptiva engloba un conjunto de técnicas diseñadas para presentar y resumir los datos observados, así como para explorar la relación entre múltiples características. Entre estas técnicas se encuentran las de regresión y correlación, que se centran en analizar la dependencia entre dos o más variables observadas. La regresión se utiliza para modelar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes, mientras que la correlación se emplea para evaluar el grado y la dirección de la relación lineal entre dos variables. (Fernández, Cordero, & Córdoba, 2002)

Se consideró los estimadores estadísticos empleados por Espinoza Solarte, (2016).

- Media
- Error estándar de la media
- Varianza
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación
- Rango
- Relación altura – diámetro

Modelos aplicados

“Las relaciones altura–diámetro permiten estimar variables dasométricas no medidas directamente en campo, siendo una herramienta clave para el modelamiento del crecimiento forestal y la planificación del manejo sostenible” (Carvajal Benavides et al., 2023). Los datos fueron analizados para descartar posibles errores, resultando en una colección depurada en base a la altura – diámetro. Luego, se llevó a cabo el ajuste de relación entre las dos variables (h - d). Este proceso implicó probar un conjunto de cuatro modelos diferentes para la plantación.

Tabla 4
Modelos aplicados

| Modelo | Ecuación | |
|----------------|--|------|
| Vanclay (1995) | $\frac{1}{h} = \beta_0 + \beta_1 + \left(\frac{1}{d}\right)$ | (8) |
| Curtis (1967) | $h = \beta_0 + \beta_1(\log(d))$ | (9) |
| Prodan (1965) | $\log(h) = \beta_0 + \beta_1(\log(d))$ | (10) |
| Stage (1975) | $h = \beta_0 d^{\beta_1}$ | (11) |

Nota: **h:** Altura média. **d:** DAP. **β_1 :** Parámetro de regresión. **β_0 :** Constante del modelo Minoche D, (2018)

El ajuste se llevó a cabo mediante la aplicación Infostat (Versión 2020). Los parámetros iniciales para el ajuste fueron tomados por sus respectivos autores. Una vez que se ajustaron los modelos altura-diámetro para la plantación, se seleccionaron aquellos que mostraron los mejores valores estadísticos R^2 (coeficiente de determinación), $R^2_{adjpond}$ (Coeficiente de determinación ajustado ponderando) y MSE (error cuadrático medio). Con la expresión del modelo elegido, se calcularon los valores de las alturas estimadas según el método de Martínez (1999), utilizando los datos de los diámetros. La altura estimada se determinó siguiendo la definición de Martínez (1999).

Variables evaluadas

- Diámetro a la altura del pecho (DAP)
- Altura total

Variables calculadas

- Volumen
- Altura estimada (Modelo)

Caracterización dasométrica

a. Medición de altura total

En las 3 parcelas temporales se obtuvo un promedio de 20 árboles haciendo un total de 61 individuos; para la medición de la altura total de cada uno se utilizó la aplicación del celular conocido como Forest Monitoring Tools (Trees) a una distancia de 20m.

b. Medición de diámetro a la altura del pecho (DAP)

El DAP de los árboles de cada parcela se midió con una cinta métrica a una altura de 1,30m, se utilizó pintura roja para marcar cada árbol medido, con el propósito de evitar la repetición o la omisión de individuos dentro de la muestra poblacional, garantizando así la precisión en el estudio.

Índice de sitio

Una vez obtenidos los datos en cuanto a las variables diámetro – altura estimada se aplicó el índice de Hart – Becking propuesto por (Pérez, Domínguez, Martínez & Etchevers, 2012), en donde define como la relación calculada entre la densidad (N) y su altura dominante (AD), expresada en porcentaje, aplicando la siguiente fórmula:

$$H = \frac{10000}{Ad * \sqrt{N}} \quad (12)$$

3. Resultados

Caracterización dasométrica

En la Tabla 5 se dan a conocer los datos que representan los valores promedios de las mediciones de árboles en tres parcelas.

Tabla 5

Datos de promedio en caracterización dasométrica

| Parcelas | DAP | Altura | Volumen | IMA DAP | IMA Altura | IMA Volumen |
|----------|------|--------|---------|---------|------------|-------------|
| 1 | 0,30 | 29,4 | 2,33 | 0,007 | 0,65 | 18,37 |
| 2 | 0,47 | 37,1 | 5,2 | 0,01 | 0,82 | 17,52 |
| 3 | 0,45 | 31,6 | 4,4 | 0,01 | 0,7 | 10,98 |

Los árboles en la parcela 1 tomando en cuenta la variable IMA DAP es relativamente bajo en cuanto al diámetro. Sin embargo, el IMA Altura tiende hacer un crecimiento moderado en altura y el IMA Volumen indica un aumento significativo en relación al volumen estimado, por otra parte, la parcela 3 que tiene un volumen ligeramente menor y sus IMAs más bajos tendrán un crecimiento más lentas, finalmente la parcela 2 tiende a tener un crecimiento más vigoroso en todas las áreas por lo tanto es la mejor parcela al obtener un valor superior.

Estimadores estadísticos

En la siguiente tabla se dá a conocer estimadores para parámetros desconocidos de la población

Tabla 6

Datos de estimadores estadísticos

| Estimadores estadísticos | DAP | Altura | Altura Curtis | Área Basal | Volumen | IMA Dap | IMA Altura |
|---------------------------------|-------|--------|---------------|----------------|----------------|---------|------------|
| | m | m | m | m ² | m ³ | cm | m |
| Min | 0,09 | 6,00 | 9,59 | 0,01 | 0,03 | 0,12 | 0,08 |
| Max | 0,64 | 54,00 | 42,76 | 0,32 | 12,27 | 0,82 | 0,69 |
| Média | 0,39 | 32,10 | 32,10 | 0,14 | 3,66 | 0,49 | 0,41 |
| Error estándar de la média | 0,02 | 1,38 | 1,15 | 0,01 | 0,42 | 0,03 | 0,02 |
| Varianza | 0,03 | 113,99 | 79,36 | 0,01 | 10,39 | 0,04 | 0,02 |
| Desviación estándar de la média | 0,16 | 10,68 | 8,91 | 0,09 | 3,22 | 0,20 | 0,14 |
| Coefficiente de variación | 41,25 | 33,26 | 27,75 | 68,89 | 88,09 | 41,25 | 33,26 |
| Rango | 0,55 | 48,00 | 33,16 | 0,32 | 12,25 | 0,71 | 0,62 |

En lo que se refiere a la estadística descriptiva de las variables dasométricas tanto las evaluadas en campo como las calculadas incluida la altura obtenida por la aplicación del modelo de Curtis (1967), se observa en la tabla 6 que, los valores promedios de diámetro a la altura del pecho son de 0,39 cm mientras que las alturas tanto la evaluada como la obtenida en el modelo es de 32,10 m; en lo que respecta al volumen se obtuvo una média de 32,10 m³ y un área basal de 0.14 m². Los errores estándares de la media en todas las variables analizadas reflejan que las medias son representativas del conjunto de datos mientras que en función de la desviación estándar se evidencia dispersión de los datos lo que se ratifica con el coeficiente de variación que evidencia que la plantación presenta heterogeneidad en todas las variables a excepción de la altura dominante con el modelo de Curtis; es preciso indicar que esta variación se debe a que al momento de hacer la estimación con el modelo los datos obtenidos tienden a homogenizarse

Modelos analizados

Con los datos obtenidos de altura y diámetro a la altura del pecho se construyeron modelos de regresión de altura total en base a los modelos teóricos citados por Minoche D (2018).

Se consideraron los cuatro modelos más sencillos y aplicables en la presente investigación donde se evidencia que todos presentan valores de r , es decir coeficiente de correlación simple sobre 0,6 lo que permite inferir que existe una correlación directamente proporcional entre las variables dasométricas analizadas, Tabla 7.

Tabla 7

Modelos teóricos para estimar alturas

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado-correctado | Error típ. de la estimación |
|----------------|-------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| Vanclay (1995) | 0,645 | 0,417 | 0,407 | 0,021 |
| Curtis (1967) | 0,834 | 0,696 | 0,691 | 5,935 |
| Prodan (1965) | 0,791 | 0,625 | 0,618 | 0,118 |
| Stage (1975) | 0,791 | 0,625 | 0,618 | 0,272 |

Los coeficientes de determinación de la regresión r^2 se encontraron entre el rango de 0,417 y 0,696, siendo la mejor ecuación la formulada en función del modelo propuesto por Curtis (1967); sin embargo, este modelo es el que presentó un mayor error típico de la estimación.

De los cuatro modelos teóricos empleados en la tabla x se presentan las ecuaciones obtenidas en el programa infostat donde se ratifica que la ecuación obtenida con el modelo de Curtis es seleccionada por el r^2 , Tabla 8



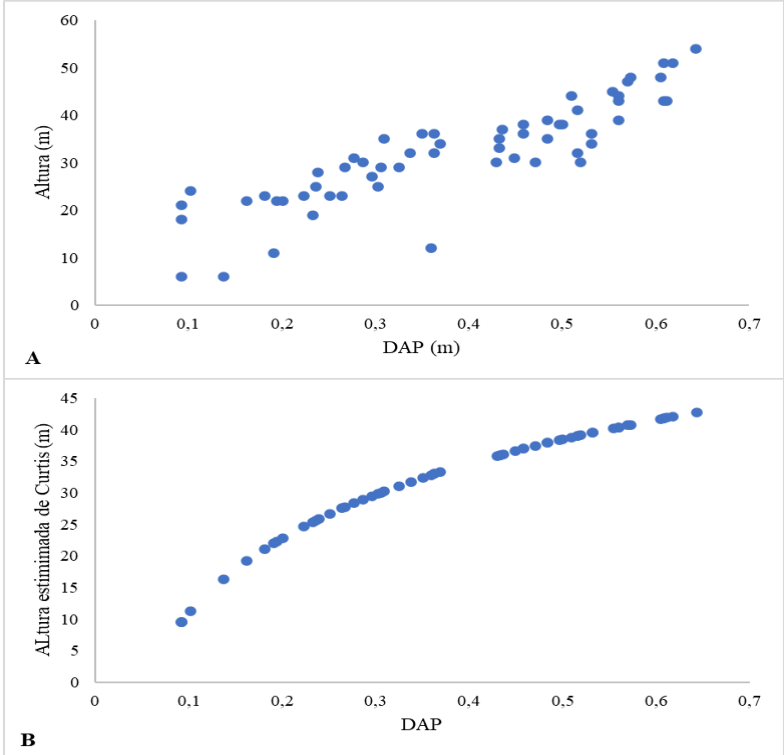
Tabla 8
Ecuaciones obtenidas en función de los modelos teóricos

| Modelo | Ecuación | R ² |
|----------------|---|----------------|
| Vanclay (1995) | $\frac{1}{h} = 0.012 + 0.008 \frac{1}{d}$ | 0,41666803 |
| Curtis (1967) | $h = 50.302 + 39.340 \log Dap$ | 0,69622845 |
| Prodan (1965) | $\log h = 1.782 + 0.667 \log Dap$ | 0,62490953 |
| Stage (1975) | $\ln h = 4.104 + 0.667 \ln Dap$ | 0,62491197 |

Gráficos de dispersión

Los valores mencionados, así como también el gráfico de dispersión, alturas y el diámetro en base a la altura estimada de Curtis (1997) se analiza en el primer caso una dispersión de los datos con un dato que se encuentra inclusive fuera de la nube de puntos, mientras que el otro gráfico se observó-la formación de una curva, cabe mencionar que estos dos comportamientos en relación con los valores estimados que homogenizan los datos se evidencian que la plantación careció de manejo, Figura 5.

Figura 5
Gráfico de dispersión de altura y diámetro



Nota:

A: Datos observados de altura y dap

B: Datos observados de diámetro y datos estimados con modelo de Curtis (1967) de altura

Índice de sitio

“Los índices de sitio bajos no deben interpretarse únicamente como limitaciones productivas, sino como indicadores de desajuste entre especie y condiciones edafoclimáticas, lo cual resulta crítico para la planificación forestal basada en evidencia” (Congo Espinosa et al., 2023). En la Tabla 9 se presenta la información por parcela de la altura dominante en función de las alturas estimadas obtenidas con el modelo de Curtis (1967) con la cual se estableció el índice de sitio, cabe mencionar que previamente se determinó el número de árboles por hectárea en función del número de árboles por parcela.

Se determinó índices de sitios entre 10,82 y 15,03% valores bajos, que permiten inferir que la especie no tuvo el mejor rendimiento en las variables estudiadas debido a las condiciones edafoclimáticas del campus La Favorita.

Tabla 9

Valores del índice de sitio con respecto a la altura dominante de Curtis (1967)

| Parcela | Altura dominante de Curtis | # arb/parc | # arb/ha | Índice de sitio (%) |
|---------|----------------------------|------------|----------|---------------------|
| 1 | 42,76 | 29 | 483 | 10,82 |
| 2 | 41,80 | 17 | 283 | 14,33 |
| 3 | 42,07 | 15 | 250 | 15,03 |

Nota: # arb/parc: Número de árboles por parcela. # arb/ha: Número de árboles por hectárea

4. Conclusiones

El análisis integrado del índice de sitio, la eficiencia volumétrica y los modelos altura - diámetro confirma que *Liquidambar styraciflua* presenta una respuesta de crecimiento estructural limitada bajo las condiciones edafoclimáticas del campus La Favorita, evidenciada por índices de sitio bajos (10,82–15,03 %) y una alta heterogeneidad dasométrica. Este comportamiento no debe interpretarse como un fracaso silvícola, sino como una señal bioecológica de desajuste sitio-especie, altamente relevante para la planificación forestal basada en evidencia.

La superioridad estadística del modelo de Curtis (1967) para la estimación de alturas dominantes, a pesar de su mayor error típico, revela que los modelos clásicos continúan siendo funcionales en escenarios tropicales andinos, siempre que se interpreten dentro de marcos de manejo adaptativo. Este hallazgo refuerza la necesidad de recalibrar modelos tradicionales bajo condiciones no óptimas, contribuyendo al debate científico sobre la transferibilidad de funciones alométricas entre regiones bioclimáticas contrastantes.

La marcada variabilidad en DAP, volumen, área basal e incrementos medios anuales evidencia una ausencia histórica de manejo silvícola, lo que ha condicionado trayectorias de crecimiento no lineales y procesos de autoaclareo desordenados. Este patrón confirma que la productividad forestal no depende exclusivamente de la edad cronológica, sino de la interacción dinámica entre densidad, competencia y calidad de sitio, aportando insumos críticos para el diseño de diagramas de manejo de densidad y modelos predictivos de crecimiento sostenible.

El comportamiento volumétrico diferenciado entre parcelas, particularmente el mayor vigor observado en la Parcela 2, demuestra que existen microvariaciones ambientales y estructurales capaces de modular significativamente la eficiencia productiva, incluso dentro de una misma plantación. Este resultado posiciona al estudio



como una base empírica para modelos espaciales de productividad forestal, integrables con SIG, sensores remotos y enfoques de silvicultura de precisión.

La evidencia empírica confirma que *Liquidambar styraciflua* manifiesta una plasticidad ecológica limitada en ambientes andinos húmedos de alta precipitación y altitud, diferenciándose claramente de su comportamiento en áreas de origen. Este hallazgo aporta valor científico al sustentar que la introducción de especies forestales debe evaluarse no solo por su potencial maderable, sino por su desempeño ecofisiológico real a largo plazo, reforzando los principios de la gestión forestal sostenible y la planificación basada en servicios ecosistémicos.

Desde una perspectiva de modelamiento forestal sostenible, los resultados constituyen una línea base robusta para el desarrollo futuro de índices de sitio dinámicos, funciones de crecimiento ajustadas localmente y simulaciones de escenarios de manejo, contribuyendo al cierre de brechas históricas de información para especies latifoliadas en Ecuador y fortaleciendo la construcción de un Sistema Nacional de Estadística Forestal con rigor técnico-científico.

Finalmente, este estudio trasciende su escala local al demostrar que plantaciones longevas sin manejo representan laboratorios vivos de alto valor científico, capaces de generar conocimiento crítico sobre resiliencia, límites productivos y adaptación ecológica. En este sentido, la investigación se posiciona como un referente citable para estudios forestales tropicales, silvicultura adaptativa y planificación forestal climáticamente inteligente, incrementando su potencial de impacto académico y aplicabilidad regional. “Las plantaciones forestales longevas sin manejo constituyen laboratorios vivos que permiten analizar procesos de crecimiento, resiliencia y límites productivos, aportando información estratégica para la gestión forestal sostenible” (Carvajal-Benavides et al., 2025).

Referências

- Aguirre, C., y Vizcaíno, M., (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. INFOR. <https://catalogo.ug.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-MARCdetail.pl?biblionumber=168543>
- Carvajal Benavides, J. G., Paredes Rodríguez, H. O., Rosales Enríquez, O. A., Mugmal Farinango, Y. C., Layana Bajaña, E. M., & Varela Molina, E. M. (2023). Análisis de rentabilidad de un modelo agroforestal tradicional, en La Comunidad Quichua El Manzanal, Ibarra - Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(7), 238–253. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i7.934>
- Carvajal Benavides, J. G., Sono Toledo, D. D., López Narváez, A. L., Layana Bajaña, E. M., & Chagna Avila, E. J. (2023). *Evaluación y análisis del factor de forma de Juglans neotropica Diels*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 10243–10262. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6117
- Carvajal-Benavides, J. G., Paredes-Rodríguez, H. O., Quinatoa-Ulcuango, J. K., Villagran-Castañeda, J. E., Farinango-Coyago, M. C., & Tituaña-Maigua, L. S. (2025). *Análisis comparativo de atributos dendrológicos y tecnológicos*. *Innova Science Journal*, 3(3), 72–96. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n3/70>
- Congo Espinosa, G. W., Valencia Valenzuela, X. G., Paredes Rodríguez, H. O., Carvajal Benavides, J. G., Yépez Duque, E. S., & Revelo Ruiz, S. V. (2023). *Manejo forestal sostenible del Pambil*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 5251–5277. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6548



- Congo Espinosa, M. G. W., Valencia Valenzuela, M. X. G., Jaramillo Vallejos, M. J. R., Jaramillo Paredes, I. F. J. A., & Garrido Aguilar, I. F. L. F. (2022). Autorizaciones administrativas de productos forestales maderables en los ecosistemas de la provincia de Napo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 4204-4216.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3388
- Espinoza Solarte, E. S. (2016). Determinación de costos de extracción de madera aserrada de *dacryodes olivifera cuatrec.* (Copal) por cable aéreo y acémila en las Parroquias de Alto Tambo y Lita en el Noroccidente del Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Fernández, S., Cordero, M., & Córdoba, A. (2002). ESTADISTICA DESCRIPTIVA. Madrid: ESIC.
- Garrido Aguilar, L. F., Carvajal Benavides, J. G., Valencia Valenzuela, X. G., Varela Molina, I. E. M., & Cuarán Guerrero, M. J. (2023). Diagnóstico del arbolado Urbano en la Ciudad de Ibarra, como base para una gestión de arbolado más humano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 5613-5632. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5743
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1825>
<https://www.researchgate.net/profile/Mario-Yanez-Munoz/publication/292156030>
- James J. (2017). "Evaluación de Proyectos de Manejo Forestal de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales" [Trabajo de suficiencia, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3289/leigh-vetter-john-james.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Loewe Muñoz, V., González Ortega, M. (1997). *Liquidambar. Liquidambar styraciflua*. Monografía. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/3993>
- Martínez (1999). Estimación de la altura dominante de la masa a partir de la 'Altura dominante de la parcela'. Ventajas frente a la altura dominante de Assman. Artículo, ResearchGate.
- Minoche D. (2018). Desarrollo de índice de sitio, diagrama de manejo de densidad y modelos silvícolas para plantaciones de teca (*Tectona grandis L.f.*) en Tabasco, México. [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid].
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/48112/TESIS-1862-210727.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno Ojeda, M.D.J. (2012). Determinación del índice de sitio en tres Plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) de la Compañía Reybanpac Reybanano del pacífico C.A [Tesis, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Oña, T., Saransig H., Velarde, E. (2023). Helechos de Estación Experimental La Favorita. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ibarra – Ecuador. Recuperado a partir de:
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14327>
- Ormeño, L. (2017, noviembre). *Propuesta de estratos de poblaciones en el bosque natural mixto de Liquidámba y coníferas para su uso en la norma técnica para la elaboración de planes de manejo en bosque de Liquidámba*. [Tesis de grado] Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6180>
- Pantoja, L., & Vallejo, A. (2013). Identificación de la calidad de sitio en una plantación de *Pinus radita D. Don*, en el catón Ibarra, parroquia Angochagua, sector hacienda la Merced.
- Paredes Rodríguez, H. O., Valencia Valenzuela, X. G., Carvajal Benavides, J. G., Yépez Placencia, M. R. de L., & Jaramillo Paredes, J. A. (2022). *Potencial forestal del territorio Awa, una zona en la mirada de muchos*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 5192–5213. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.3009
- Paredes Rodríguez, H. O., Varela Jácome, G. D., Rosales Enríquez, O. A., Carvajal Benavides, J. G., & León-Espinoza, M. E. (2023). Herbario Universidad Técnica del Norte HUTN, un



- laboratorio para conocer la diversidad de especies forestales del Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 1167–1184.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6262
- Pérez G, Domínguez M, Martínez P & ; Etchevers J, (24 de julio del 2012). Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México.
<https://www.redalyc.org/pdf/617/61724713002.pdf>
- Puenayan, D. TV. (4 de septiembre de 2016). Granja Experimental La Favorita. Universidad Técnica Del Norte [Archivo de video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=iDe3GaW8S-M>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*, 2, 1-13.
- Valencia Valenzuela , X. G., Paredes Rodríguez, H. O., Trejo Cuasquer , J. F., & Mullo Ramírez, K. E. (2022). Aprovechamiento forestal en la parroquia García Moreno de la provincia Imbabura, periodo 2015-2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 4379-4395. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2566
- Valencia Valenzuela , X. G., Revelo Ruiz , S. V., Congo Espinosa , G. W., Montenegro Verdugo, R. B., Yépez Duque, E. S., & Trejo Cuásquer, J. F. (2023). Determinación del factor de forma de copal (*Dacryodes olivifera* Cuatrec.), en la parroquia Lita, cantón Ibarra. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 3299-3326.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8920
- Valencia Valenzuela, X. G. (2020). *Análisis estructural y diversidad de la vegetación arbórea, en las comunidades brillasol y chontal alto de la parroquia García Moreno, cantón Cotacachi* [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9759>
- Valencia Valenzuela, X. G., Paredes Rodríguez, H. O., Rosero Mier, M. M., Pozo Andrade, V. M., & Yépez Duque, E. S. (2022). Variabilidad del aprovechamiento forestal en la provincia Imbabura, periodo 2015-2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 2863-2981. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2806
- Verdeden (2011, July 14). Verdeden. <https://www.verdeden.com/liquidambar/>
- Yáñez-Muñoz, M., & Meza-Ramos, P. (2003). DIVERSIDAD, ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN DE LA HERPETOFAUNA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “LA FAVORITA”, PROV. PICHINCHA. ECUADOR.