

Estimación de biomasa aérea de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke de bosques siempreverdes de tierras bajas de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno

Maricarmen Dávila Ulloa¹

lblg2017017@uea.edu.ec

José Andrés Gavilanes Tacuri¹

lblg2017046@uea.edu.ec

Pablo Lozano Ph.D.

plozano@uea.edu.ec

**Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida,
Carrera de Biología**

Resumen

La cuantificación de la biomasa en las zonas protegidas del Ecuador establece el punto de partida en investigaciones enfocadas en la captación del carbono de especies arbóreas. En la Reserva de Producción faunística Cuyabeno la escasa información del rol que cumplen las especies arbóreas ha llevado a una excesiva tala de especies maderables tales como *Cedrelinga cateniformis* (Ducke). Por lo cual esta investigación tiene como objetivo estimar la biomasa aérea de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke). El proceso de toma de datos se dio en los sitios correspondientes a Recinto las Mercedes, parroquia Tarapoa y la Precooperativa Marian 10, parroquia Aguas Negras, pertenecientes al cantón Cuyabeno mediante muestreos por conveniencia, tomando en cuenta variables fáciles de estimar., como el DAP, HT y HC. Las cuales fomentan una recepción de datos sin afectar el medio ambiente. Tales datos obtenidos fueron tabulados y procesados determinando una biomasa aérea con una variación del 89,12% a un 5,11%, presentado mayor almacenamiento en individuos maduros. Esto brinda información relevante que facilita la selección de grupos de familias para la toma de decisiones relacionadas con la restauración de los sitios más perturbados de este reservorio de bosque

Palabras Clave: *Cedrelinga cateniformis*, carbono, biomasa aérea, bosques siempreverdes.

Abstract

The quantification of biomass in Ecuador's protected areas establishes the starting point for research focused on carbon sequestration of tree species. In the Cuyabeno Faunal Production Reserve, the scarce information on the role of tree species has led to excessive logging of timber species such as *Cedrelinga cateniformis* (Ducke). Therefore, the objective of this research is to estimate the aerial biomass of *Cedrelinga cateniformis* (Ducke). The data collection process took place in the sites corresponding to Recinto las Mercedes, Tarapoa parish and Precooperativa Marian 10, Aguas Negras parish, belonging to the Cuyabeno canton through convenience sampling, taking into account variables that are easy to estimate, such as DAP, HT and HC. These variables encourage the collection of data without affecting the environment. Such data obtained were tabulated and processed by the SPSS program which determined an aerial biomass with a variation of 89.12% to 5.11%, presenting higher storage in mature individuals. This provides relevant information that facilitates the selection of family groups for decision making related to the restoration of the most disturbed sites of this forest reservoir.

Keywords: *Cedrelinga cateniformis*, carbon, aerial biomass, evergreen forest.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques siempre verdes ofrecen diversos servicios ambientales de gran importancia a una escala mundial, entre ellos destaca la captación y almacenamiento de carbono. Se ha demostrado que los ecosistemas forestales poseen la capacidad de secuestrar más carbono que otros ecosistemas terrestres (Lozano, Palacios, y Aguirre, 2018). De ahí que, las plantas desempeñan una función de vital importancia dentro de los ecosistemas, aprovechando el CO₂ y transformándolo en oxígeno, además de almacenarlo como biomasa.

La biomasa está comprendida por la materia orgánica almacenada en su totalidad en organismos vivos o inertes. En cuanto a la biomasa aérea, esta es considerada desde el suelo hacia arriba. En ese sentido, es importante resaltar la necesidad de calcular la cantidad de biomasa de un ecosistema, pues, este cálculo permite estimar la capacidad de los ecosistemas



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

para almacenar materia orgánica (Herguedas et al., 2012).

Para estimar la biomasa aérea se emplean métodos directos e indirectos (Fonseca, Alice, y Rey, 2009). En los métodos directos o destructivos se cortan los árboles y se pesan sus componentes; en contraste, los métodos indirectos o no destructivos, utilizan ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, con variables recolectadas en campo, como el diámetro a la altura de pecho (DAP), la altura total (Ht) y la altura comercial (Hc), lo que conlleva menor costo y mayor rapidez (Revilla et al., 2021; Segura y Andrade, 2008). En la provincia de Sucumbíos se han realizado considerables estudios (Tierrez et al., 2020; Cabrera Quezada et al., 2019) que determinan la capacidad de carbono concentrado en los estratos arbóreos por medio de ecuaciones alométricas.

La Reserva de Producción Faunística Cuyabeno se localiza en la provincia de Sucumbíos, al noreste de la región Amazónica del Ecuador. Está comprendida por 590,112 hectáreas (ha) de bosques siempreverdes de tierras bajas, con árboles que pueden alcanzar hasta 50 metros (m) de altura y es considerada como uno de los lugares más biodiversos del planeta (Ministerio del Ambiente [MAE], 2013a). Sin embargo, dicha biodiversidad se ve afectada por actividades antropogénicas como la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales inciden a que los fenómenos climáticos extremos sean cada vez más frecuentes (Díaz, 2012).

En ese sentido, es importante mencionar que dentro de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno se encuentra gran diversidad de flora y fauna que se ve directamente relacionada a cambios climáticos o acciones antropogénicas que están causando una modificación en su distribución (España, 2016). Por lo tanto, *Cedrelinga cateniformis* se encuentra dentro de las especies forestales más aprovechadas para la construcción y la carpintería (Mejía y Pacheco, 2013). Considerando la importancia de los bosques siempreverdes dentro del ecosistema, esta investigación tiene como objetivo obtener ecuaciones o modelos que permitan estimar la biomasa aérea de *Cedrelinga cateniformis*, de bosques siempreverdes de tierras bajas de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno.

Además, este estudio pretende convertirse en una herramienta de información técnica que otorgue una línea base relacionada con la biomasa de la especie, la cual puede ser utilizada como soporte en el manejo y gestión de recursos forestales por instituciones como

los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), reservas naturales e instituciones de investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1 Localización

El área de estudio se enfoca en la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno, que se ubica en las provincias de Orellana y Sucumbíos, al noreste de la región Amazónica del Ecuador, frontera con Colombia. Tiene una extensión de 590,112 hectáreas a una altura entre 177 y 326 metros sobre el nivel del mar. Por su inmensa biodiversidad tanto de flora como de fauna, está reconocida dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) y obtuvo la declaratoria de Reserva de Producción Faunística en el año 1979 por el Ministerio de Ambiente, por lo que se mantiene en constante monitoreo y gestión para evitar que sea alterada por actividades antropogénicas (MAE, 2015).

2.2 Tipo de investigación

Esta investigación utilizó un diseño descriptivo correlacional debido a que por medio de un análisis de regresión se obtendrán ecuaciones o modelos que permitan estimar la biomasa de *Cedrelinga cateniformis*, a partir de variables fáciles de medir, como el diámetro a la altura de pecho (DAP), la altura total (Ht) o la altura comercial (Hc). En este caso, tanto la variable dependiente (biomasa) como las variables independientes (DAP, Ht y Hc) son cuantitativas.

2.3 Metodología de investigación

2.3.1 Selección de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo en la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno (Tabla 1 y Figura 1) se eligió de acuerdo con la presencia de *Cedrelinga cateniformis* y a la predisposición de apoyo de la comunidad local. Estos sitios forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) y el ingreso se realizó mediante la disposición por parte de las comunidades.



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

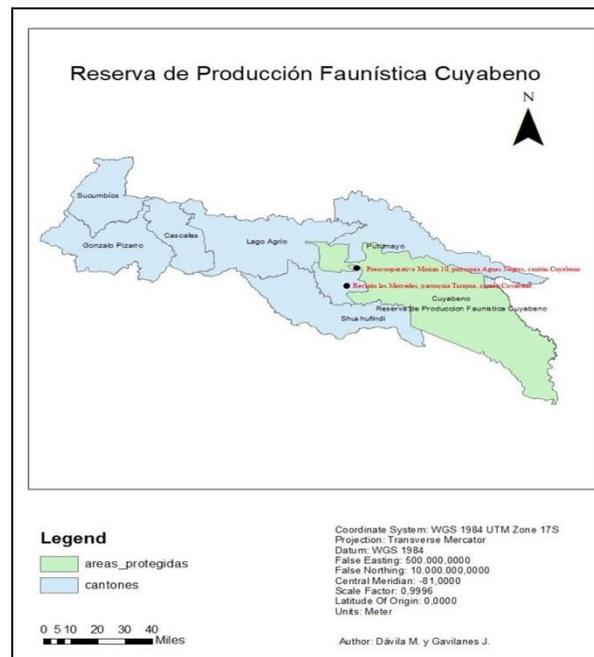
Tabla 1

Sitios de muestreo de *Cedrelinga cateniformis*

Sitio	Sector	Latitud	Longitud	Altura
1	Recinto las Mercedes, parroquia Tarapoa, cantón Cuyabeno	-0.126629°	-76.341869°	214 m.s.n.m.
2	Precooperativa Marian 10, parroquia Aguas Negras, cantón Cuyabeno	-0.037094°	-76.304468°	215 m.s.n.m.

Figura 1

Mapa de ubicación de los sitios de muestreo



2.3.2 Selección de los individuos

Una vez determinados los sitios de muestreo, se identificó individuos de *Cedrelinga cateniformis* mediante la exploración y el apoyo de guías locales. Se tomó datos de los árboles con el DAP ≥ 10 centímetros según la metodología de la Evaluación Nacional Forestal del Ecuador (Cuenca et al., 2014).

La selección de las especies se realizó mediante un muestreo por conveniencia, es decir un muestreo no probabilístico y no aleatorio, en donde los individuos se escogieron a juicio personal de acuerdo con la facilidad de acceso y su disponibilidad (Núñez, 2018).

2.3.3 Medición de variables

2.3.3.1 Medición del diámetro a la altura de pecho (DAP)

El DAP se midió a una altura de 1.3 metros del suelo (Lozano et al., 2018). Para ello, se utilizó la metodología según Segura y Andrade (2008), que consiste en calcular la circunferencia del individuo y transformarla en diámetro dividiendo la circunferencia por la constante $\pi = (3.1416)$, como se muestra a continuación.

$$\text{Circunferencia} = \text{Diámetro} \cdot \pi$$

$$\text{Diámetro} = \frac{\text{Circunferencia}}{\pi}$$

2.3.3.2 Medición de la altura total (Ht) y la altura comercial (Hc)

Para la medición de Ht y Hc se utilizó un clinómetro, considerando que la altura total del árbol se midió desde el suelo hasta el punto más alto de la copa. La altura comercial se midió desde el suelo hasta las ramas de la copa del árbol o fuste (MAE, 2012).

Las mediciones que se realizaron con la ayuda de un asistente y una regla la cual requieren la ubicación de un punto de medición, a partir del cual se puede apreciar mejor el fuste y las ramas, y mediante funciones trigonométricas se obtiene un estimado de la altura. Esta distancia puede variar entre 10, 15 y 20 metros (Nuñez, 2018).

2.3.4 Estimación de biomasa aérea

Por tratarse de un área protegida, la estimación de la biomasa aérea de *Cedrelinga cateniformis* se realizó con un método indirecto o no destructivo, para lo cual se utilizará el modelo de Chave et al. (2005), que es el que mejor se ajusta para el caso de bosques tropicales (Tierrez et al., 2020; Torres et al., 2020). Este modelo obtiene la biomasa en



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

función del DAP, variable que en diversas investigaciones se expresa como la que mejor se correlaciona y ajusta para predecir la biomasa aérea (Cuenca et al., 2014).

$$AGB = \rho x \exp [-1.499 + 2.148 \ln(DAP) + 0.27 (\ln(DAP))^2 - 0.0281 (\ln(DAP))^3]$$

En donde:

AGB = biomasa aérea en kg de masa seca

ρ = densidad específica de la especie en g/cm³

DAP = diámetro a la altura de pecho en cm medido a 1.3 m sobre el suelo

El valor de la densidad específica de la especie *Cedrelinga cateniformis* es 0.53 g/cm³ (FAO, n.d.).

2.3.5 Selección de los mejores modelos alométricos

Los modelos alométricos son ecuaciones que estiman la biomasa de especies arbóreas en función de variables medidas en el campo, denominadas regresoras o independientes, tales como el DAP, Ht, Hc, área basal y densidad específica de la madera. Este método no es destructivo y es extrapolable o comparable con situaciones de crecimiento en ecosistemas similares (Cuenca et al., 2014).

En el presente estudio se utilizó el programa SPSS, Statistical Package for the Social Sciences (An IBM Company; USA) para realizar un análisis de regresión lineal o no lineal y probar si los datos se ajustan a los siguientes modelos, tal como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2

Modelos alométricos más usados para la estimación de biomasa aérea de árboles

Nombre	Modelo
Berkhout	Biomasa = $a + b * DAP$
Kopezky	Biomasa = $a + b * DAP^2$
Hohenadl – Krenn	Biomasa = $a + b + DAP + c * DAP^2$
Husch	ln Biomasa = $a + b * \ln DAP$

Spurr	$Biomasa = a + b * DAP^2 * H$
Stoate	$Biomasa = a + b * DAP^2 + c * DAP^2 * H + d * H$
Meyer	$Biomasa = a + b * DAP^2 + c * DAP * H + d * DAP^2 * H$
Schumacher-Hall	$\ln Biomasa = a + b * \ln DAP + c * \ln H$

Fuente: Tomado de Segura y Andrade (2008)

En donde:

Biomasa = biomasa aérea en kg/árbol

DAP = diámetro a la altura de pecho medido a 1.3 m del suelo

H = altura total o altura comercial

a, b, c, d = coeficientes del modelo

ln = logaritmo base e

Los datos que se usaron en el análisis de regresión cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas e independencia. En caso de no cumplirse alguno de ellos, los datos se transforman y utilizan logaritmos, potencias y raíces (Fonseca et al., 2009; Lozano et al., 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, la zona de estudio es un terreno denominado tierra firme, lugar donde es posible apreciar “manchas”. El terreno es una masa natural ya que no presenta ninguna intervención humana, no satisface ninguna demanda social y tampoco se trata para silvicultural, lo cual permitió establecer las parcelas sin temor a intervención por el tiempo que duró la investigación.

En el área de muestro, 2281 m², se levantaron todos los árboles pertenecientes a las especies con DAP mayor a 32 cm, encontrándose un número total de 12 árboles en la Zona de Precooperativa Marian 10.

En la segunda área de muestreo, 410 m², se levantaron todos los árboles pertenecientes a la especie con DAP mayor a 35 cm, encontrándose un número total de 3



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

árboles en la Zona de Recinto Las Mercedes.

Por otro lado, la biomasa aérea fue estimada a partir de los parámetros medidos en campo como altura y DAP y densidades de la madera de cada especie con la ecuación de Brown (1997) presentada en la metodología de la fase de análisis de datos.

La especie *Cedrelinga Cateniformis* alcanza un gran porte DAP promedio de 5,70 m y altura total promedio de 30, 40 m, lo cual hace que tanto el volumen como la biomasa de esta especie sea considerablemente alta. Las especies con un DAP muy alto, mayores de 70 cm, las cuales pueden equivaler a aproximadamente un 40% de la biomasa aérea en pie total, aun cuando esos árboles correspondan a menos de 5% del total de los árboles.

La alta riqueza y composición de familias botánicas, así como la distribución desigual en cuanto al número de especies, se corresponde con los patrones florísticos descritos para la Amazonia. Se puede apreciar que se comparten familias con gran riqueza de especies como Fabaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Urticaceae, Arecaceae, Melastomataceae y la alta Annonaceae, reconocidas como algunas de las más importantes en el neotrópico, además de constituir elementos distintivos del bosque húmedo tropical caracterizados por una flora entre la vegetación de tierras bajas y los de cordillera.

Sin embargo, lo más consistente es el patrón que se repite en los bosques siempreverde con la familia Fabaceae que resultó en el primer lugar según la riqueza de especies, catalogada como una de las más ricas en bosques de tierra baja en el neotrópico. Por otro lado, llama la atención la ubicación de las familias Arecaceae, Rubiaceae y Moraceae que han sido reportadas con mayor riqueza para las condiciones amazónicas, no existiendo coincidencias en cuanto a su representatividad en el área de estudio.

El alto nivel de heterogeneidad encontrada en los parámetros de estructura y composición florística del bosque siempreverde, determinado por un menor número de familias botánicas, área basal, diámetro promedio y mayor riqueza florística en los sitios más perturbados, demostró que la gravedad de las perturbaciones que se presentan con frecuencia en esta importante zona de protección altera los patrones ecológicos de este piedemonte amazónico.

Los valores de la biomasa aérea por clases diamétricas se encontraron en los rangos

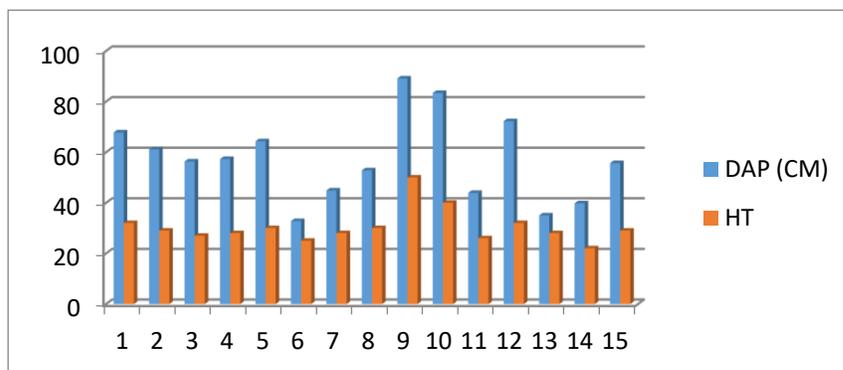
reportados por otros investigadores en bosques amazónicos. Davis & Holmgren (1998) mencionaron que los bosques tropicales del mundo por lo general no tienen valores de biomasa por encima de los 350 Mg. ha⁻¹. A este respecto, se menciona que los bosques amazónicos son un gran almacén de biodiversidad y funcionan como sumideros de carbono debido a la biomasa aérea que acumulan en las diversas especies arbóreas, tal y como lo menciona (VICUÑA MIÑANO et al., 2019). La mayor concentración de individuos en clases diamétricas pequeñas es consistente con las características de bosque secundario, lo que da cuenta del efecto de los disturbios en la zona de estudio.

Ahora bien, en clases diamétricas pequeñas es consistente con las características de bosque secundario, lo que da cuenta del efecto de los disturbios en la zona de estudio. Y, por otra parte, los resultados obtenidos del análisis de distribución espacial permitieron determinar las tendencias de cada uno de los sitios en cuanto a la acumulación de biomasa por familias botánicas.

De la determinación del número de individuos, área basal (m²) y volumen maderable (m³) por categoría diamétrica de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke en la Reserva de Producción Faunística de Cuyabeno.

Se determinó que el 58,37% de árboles son maduros vivos, el 33,94% son fustales vivos, el 2,27% árboles considerados como semilleros, así también el 3% son árboles maduros secos en pie 2,54% fustales secos en pie, y el 0,32% es árbol caído. Como se detalla en la figura 2.

Figura 2
DAP vs HT de los 15 árboles muestreados de la especie *Cedrelinga cateniformis*





UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

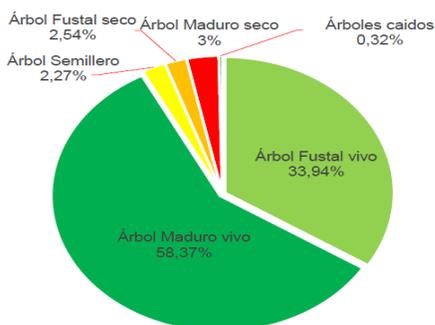
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

Se fijó el área basal de los árboles maduros en 84%, fustales en 6,4% y semilleros en 5,55%, también el área basal para árboles maduros y fustales secos en pie en 3,22%, y 0,45% respectivamente y así también el área basal para los árboles caídos en 0,48%. Como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Diagrama porcentual de los árboles evaluados

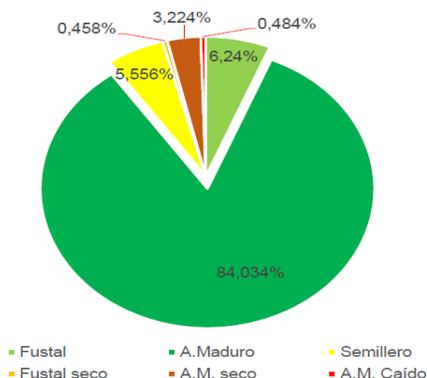


El 86,10 % del volumen comercial corresponden a los árboles vivos con 13,28 m³/ha, el volumen comercial fustal en 4,65% con 0,72 m³/ ha, el volumen comercial total de árboles semilleros en 5,43% con 0,84 m³/ha, asimismo, se estimó el volumen comercial de los árboles maduros secos en pie en 2,87 % con 0,44 m³/ha.

También el volumen comercial fustal seco en 0,36 % con 0,06 m³/ha, y el volumen comercial total de los árboles caídos en 0,59 % con 0,09 m³/ha, como se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Datos porcentuales del área basal de los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke)



Según el Diámetro Mínimo de Corta se determinó que el 81,22% corresponde al volumen aprovechable de 3.040,80 m³r con un área basal de 79,11% de 270,23 m² además, el 40,11 % de 875 árboles vivos están considerados dentro del DMC, representadas en las figuras 5 y 6.

Figura 5.

Volumen % y volumen comercial (m³) por clase diamétrica de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

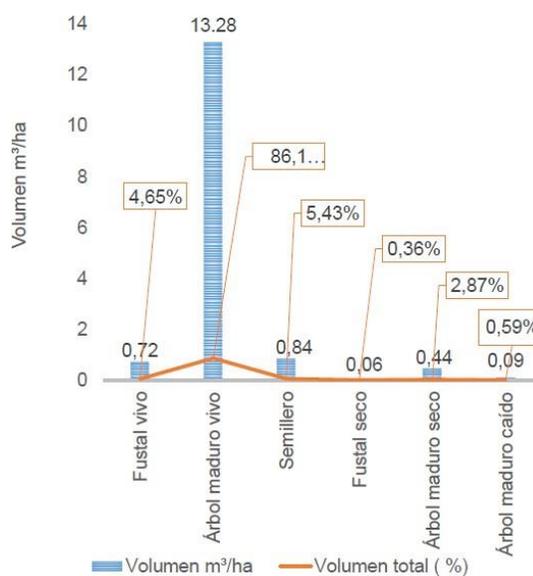


Figura 6.

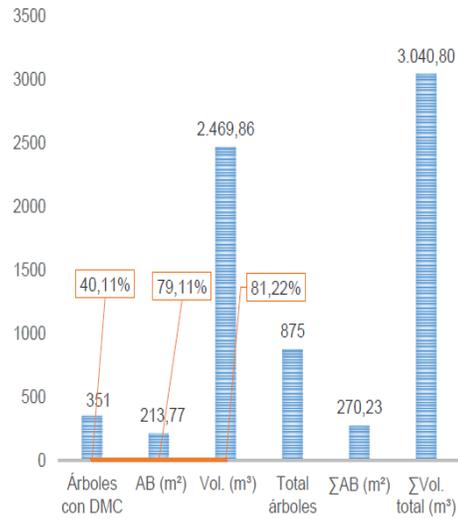
Volumen comercial aprovechable según el Diámetro Mínimo de Corta De la determinación de la situación actual de las variables dasométricas de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

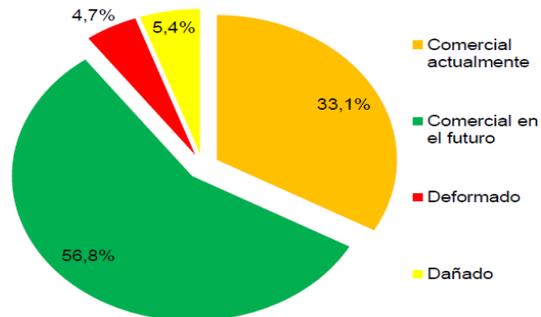
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular



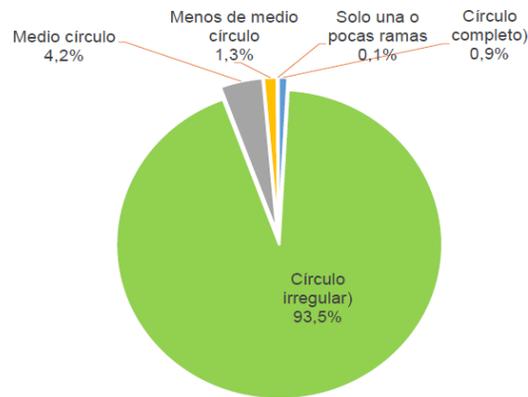
El 56,80 % de los árboles son considerados aprovechables a futuro, el 33,1% considerados como comercial actualmente, el 5,4% de árboles presentan daños en el fuste, y el 4,7% de árboles con deformaciones en el fuste, representados en la figura 7.

Figura 7
Estado de los árboles



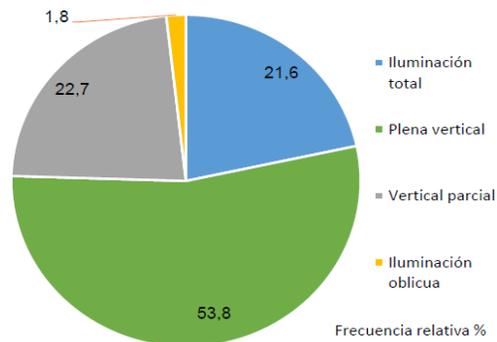
Tal como se ve en la presente figura 8, el 93,5 % de los árboles tienen copa irregular, el 0,9% círculo completo, y medio círculo con 4,2%.

Figura 8
Regularidades de las copas de los árboles



El 53,8% de los árboles tienen iluminación plena vertical, el 22,7% iluminación vertical parcial, 21,6% iluminación total y el 1,8% iluminación oblicua, evidenciadas en la figura 9.

Figura 9
Iluminación de los árboles





UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

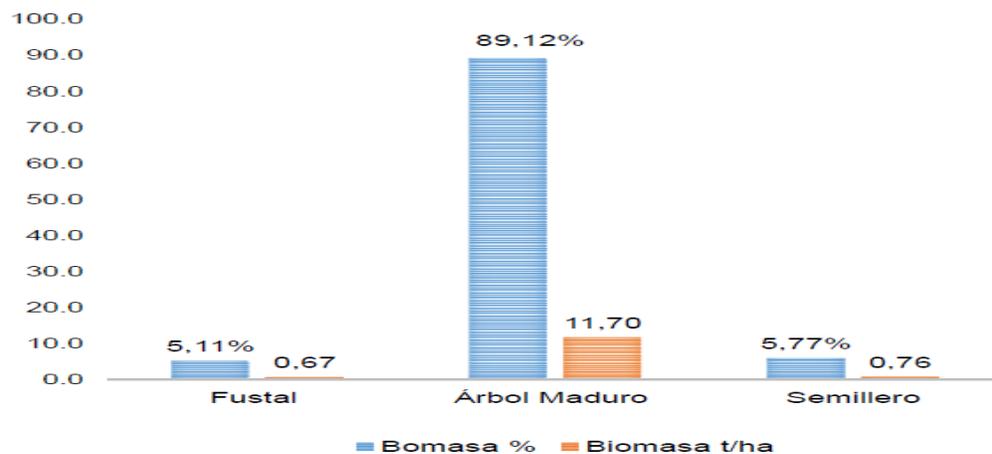
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

En la figura 10 se indica que el 89,12% corresponden a la biomasa aérea de los árboles maduros, el 5,77 % a la biomasa de árboles semilleros el 5,11% a la biomasa fustal, así también se estimó la biomasa aérea /ha de árboles maduros, semilleros fustales en 11,70; 0,76 y 0,67 toneladas/ha respectivamente.

Figura 10

Biomasa Aérea de los árboles



4. CONCLUSIONES

Tomando como base los resultados de la investigación, se debe recordar que la composición florística del bosque siempreverde de la zona baja de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno, fue variable para los sitios de estudio que fueron sometidos a distintos niveles de perturbación. Todo esto, se reflejó en el potencial de biomasa aérea acumulada, presentándose un mayor grado de stock de carbono en los sitios y T5 y en la menor clase diamétrica.

El BIVF permitió reconocer familias claves para la captura de carbono y estructura ecológica del bosque, demostrándose una variación en la contribución de familias para mantener el nivel de reservas de carbono. Por lo que se apunta a que las prácticas de aprovechamiento y cambio de uso de suelo generarían un alto riesgo en los árboles de mayor potencial de almacenamiento de carbono y pueden propiciar el empobrecimiento de las reservas de carbono en el bosque siempreverdes de la zona baja de la Reserva de Producción

Faunística Cuyabeno.

El DCA reportó la distribución de las familias en cuanto a reservas de carbono por cada uno de los sitios de estudio, identificando de forma tendencial las que más aportan a la reserva de carbono, a nivel local, con predominio de un pequeño número. Esto brinda información importante que facilita la selección de grupos de familias para la toma de decisiones relacionadas con la restauración de los sitios más perturbados de este reservorio de bosque.

5. REFERENCIAS

Acuña, E. (2015). Regresión Aplicada usando R. Universidad de Puerto Rico. Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/REGRESION_APLICADA_USANDO_R.pdf

Ares, A., Boniche, J., Quesada, J. P., Yost, R., Molina, E., & Smyth, T. J. (2002). Ecuaciones de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 26(2), 19–30. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/436/43626202.pdf>

Batanero, C., Gea, M., Del Mar López-Martín, M., & Didacticae, P. A. (2017). Análisis de los conceptos asociados a la correlación y Regresión en los textos de bachillerato. *DIDACTICAE-Universidad de Barcelona*, 60–76. <https://doi.org/10.1344/did.2017.1.60-76>

Cabrera Quezada, M., Segura Chávez, E., Sinche Chele, F., Maldonado Ortiz, L., & Tierras Mayorga, J. (2019). Estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas. Caso Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio, Sucumbíos,. En *Ciencia y Tecnología* (Vol. 12, Números 2, pp. 93-101). <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i2.329>

Carrasquilla-Batista, A., Chacón-Rodríguez, A., Núñez-Montero, K., Gómez-Espinoza, O., Valverde-Cerdas, J., & Guerrero-Barrantes, M. (2016). Regresión lineal simple y múltiple: aplicación en la predicción de variables naturales relacionadas con el crecimiento microalgal. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(8), 33. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2983>

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de estadística*, 29. Retrieved from https://www.emis.de/journals/RCE/V29/V29_1_57CorreaIral.pdf

Cruz, W., Saldaña, C., Ramos, H., Baselly, R., Loli, J. C., & Cuellar, E. (2020). Genetic structure of natural populations of *Cedrelinga Cateniformis* “tornillo” from the oriental region of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 521–528. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.04.07>

Cuenca, E., & Loaiza, A. (2014). Método de intervención de baja intensidad para la generación de modelos alométricos a nivel de grupos de especies y tipo de bosque para el estrato bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía. UNIVERSIDAD NACIONAL



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

DE LOJA.

Cuenca, M. E., Jadan, O., Cueva, K., & Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. CEDAMAZ, 4(1). Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/Ecuaciones.pdf

Davis, R., & Holmgren, P. (1998). Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales. FAO. <https://www.fao.org/3/ae218s/AE218S00.htm#TopOfPage>

Delgado, L. (2012). Propuesta taller aplicaciones de la regresión lineal simple y múltiple. Retrieved from <http://funes.uniandes.edu.co/11932/1/Delgado2012Propuesta.pdf>

Díaz, G. (2012). El cambio climático. Ciencia y Sociedad, XXXVII(2), 227–240. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>

Douterlungne, D., Herrera, A., Ferguson, B., Siddique, I., & Soto, L. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. AGROCIENCIA, 47(4), 385–397. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6055225>

Duarte, C. (2006). Cambio global Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/Cambio_global.pdf

Ecuador Forestal. (2021). Ficha Técnica No. 4 Seique. Retrieved from Ecuador Forestal website: <http://www.ecuadorforestal.org/download/contenido/seique.pdf>

España, F. R. (2016). Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) en la zona de Intag, Andes del Norte del Ecuador (Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ecuador). Retrieved from http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5728/1/03_FOR_236_TRABAJO_GRADO.pdf

Farfan, C. (2019). Efecto invernadero (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Retrieved from https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15726/FARFAN_CARLOS_HERNÁN.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Flores, Y. (2006). Ficha técnica 6 Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). En ¡Plantemos madera! (pp. 139–141). World Agroforestry Centre (ICRAF). Retrieved from <http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/mn14518.pdf>

Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Bosque, 30(1), 36–47. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002009000100006>

Guevara, J., Pitman, N., Cerón, C., & Mogollón, H. (2013). Bosque siempreverde de tierras bajas del Aguarico-Putumauo-Caquetá. En Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (pp. 175–177). Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Retrieved from <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL>

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (2a ed.). México D.F.: Mc Graw-Hill. Retrieved from https://www.academia.edu/39839677/Analisis_y_Diseño_de_Experimentos_Gutierrez_y_

De_La_Vara

IBERDROLA. (2020). Efecto invernadero: qué es, cómo se produce y consecuencias - Iberdrola. Retrieved from IBERDROLA website: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/consecuencias-efecto-invernadero>

Jiménez, J. (2015). Desarrollo de protocolos para la propagación in vitro de chuncho (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) y quishuar (*Buddleja incana* Ruiz&Pav) mediante la técnica de organogénesis (Tesis Pregrado). Quito. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>

Lerma, M., & Orjuela, E. (2014). Modelos Alométricos para la Estimación de la biomasa aérea total en el Páramo de Anaime, Departamento del Tolima, Colombia (Tesis Pregrado). Universidad de Tolima. Retrieved from [http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1119/1/RIUT-GAA-spa-2014-Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de anaime%2C departamento del tolima%2C colombia..pdf](http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1119/1/RIUT-GAA-spa-2014-Modelos%20alométricos%20para%20la%20estimación%20de%20la%20biomasa%20aérea%20total%20en%20el%20páramo%20de%20anaime%20departamento%20del%20tolima%20colombia..pdf)

Lozano, D., Palacios, B., & Aguirre, Z. (2018). Allometric models to estimate stocks carbon in the lower montane forests in south of ecuador. *Ciencia Florestal*, 28(3), 1328–1339. <https://doi.org/10.5902/1980509833464>

MAE. (2012). Proceso metodológico para el desarrollo de modelos alométricos para especies, grupo de especies y estratos de bosques del Ecuador. Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MAE. (2013). La Reserva de Producción Faunística Cuyabeno galardonada por Travelers' Choice 2013. Retrieved from Ministerio del Ambiente Ecuador website: <https://www.ambiente.gob.ec/la-reserva-de-produccion-faunistica-cuyabeno-galardonada-por-travelers-choice-2013/>

MAE. (2015a). Estadísticas de Patrimonio Ecuador continental. Retrieved from Ministerio del Ambiente del Ecuador website: <http://www.fao.org/forestry/44292-07669536a0752fc4ce8e9d3066b05a109.pdf>

MAE. (2018). Estadísticas del Patrimonio Natural del Ecuador continental. Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Recuperado de https://proamazonia.org/wp-content/uploads/2019/10/ECUADOR_Folleto_Patrimonio_Natural_compressed.pdf

Martínez, J., & Fernández, A. (2004). Cambio climático: una visión desde México. México D.F.: D.R. Instituto Nacional de Ecología/Instituto del Medio Ambiente. Retrieved from http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/129/437_2004_Cambio_clima_desde_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía, E., & Pacheco, P. (2013). Aprovechamiento forestal y mercados de la madera en la Amazonía Ecuatoriana. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/EMejiaPPachecoOP97_sp.pdf

Mónaco, N., Santa, V., Rosa, M. J., & Autran, V. (2017). Evaluación de métodos indirectos para estimar biomasa en un pastizal natural del Sur de Córdoba (Argentina Central). *European Scientific Journal*, ESJ, 13(36), 59.



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

<https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p59>

Moral, I. (2016). Modelos de regresión lineal simple y regresión logística. *Seden*, 195–214. Retrieved from https://www.revistaseden.org/files/14-cap_14.pdf

Navarro, J., Godínez, F., López, M., Rosas, J., Juárez, A., & Reyes, M. (2020). Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa* en Guerrero, México. *Madera y Bosques*, 26(1), 1–12. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611964>

Núñez, A. (2018). ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE *Cedrelinga cateniformis* DUCKE. EN EL ALTO MAYO, SAN MARTÍN (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.

Oswaldo, H., & León, G. (2007). Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd#:~:text=Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son,la atmósfera y las nubes.>

Revilla, J., Abanto-Rodríguez, C., Guerra, W., García, D., Guerra, H., Domínguez, G., & Da Silva, I. (2021). Allometric models to estimate the volume of *Guazuma crinita* in forest plantations. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 25–31. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.003>

Rivas, G., Lopez, L., & Velasco, A. (1993). Regresión no lineal. *Revista Colombiana de Estadística*, 14(27), 89–102.

Riveaud, L. (2020). Medidas de distinguibilidad entre distribuciones de probabilidad. Universidad Nacional de Córdoba.

Rodríguez Becerra, M., & Mance, H. (2009). Cambio climático: Lo que está en juego. *En Notes and Queries* (1a ed., Vol. s10-II).

Segura, M., & Andrade, H. J. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*, 46, 89–96. Retrieved from https://www.worldcocoaoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/segura2008a.pdf

Tierres, J., Chávez, D., E., & Cabrera, M. (2020). Potencial de carbono en estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas, Sucumbíos-Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 282–295. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000200282

Torres, B., Vasseur, L., López, R., Lozano, P., García, Y., Arteaga, Y., ... García, A. (2020). Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems*, 94(4), 1235–1245. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8>

Vinueza, M. (2012). Ficha Técnica *Cedrelinga catenaeformis*. Retrieved from

Ecuador Forestal website: <https://ecuadorforestal.org/noticias-y-eventos/ficha-tecnica-no-9-chuncho/>

Wink, R., Fassola, H., Barth, S., Crechi, E., Keller, A., Videla, D., & Zaderenko, C. (2015). Modelos Predictivos de biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* para el noreste de Argentina. *Ciencia Forestal*, 25. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/cflo/a/67tp637rkJj3tvpkPqBYsRS/?lang=es&format=pdf>



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

6. ANEXOS

Anexo 1: Fundamentación teórica

1.1 Chuncho

Nombre científico: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke). Familia; Fabaceae

1.1.1 Taxonomía y descripción botánica

En la Tabla 1-1 se especifica la taxonomía del chuncho.

Tabla 1-1: Taxonomía del chuncho (*Cedrelinga cateniformis*)

Taxonomía	
Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Cedrelinga</i>
Especie	<i>Cedrelinga cateniformis</i>
Nombre común	Seique, chuncho, tornillo

Fuente: Jiménez (2015)

Basados en la ficha técnica descrita por Vinueza (2012), a la especie *Cedrelinga cateniformis* se la describe como una especie arbórea, con una altura de hasta 40 metros y 65 – 150 centímetros de DAP. Su tronco es recto y cilíndrico con raíces tablares grandes. La corteza externa es de color café y la interna rosado-cremosa, fibrosa y de sabor dulce. La copa es amplia y redondeada, de gran tamaño. Sus hojas son compuestas, alternas, con uno o dos pares de pinnas, con 3 pares de folíolos oblicuo-ovado, glabros, pecíolo cilíndrico con una glándula en el ápice. Las flores son verde-amarillentas, en inflorescencias terminales. Su fruto es una vaina o legumbre con una constricción que encierra a cada semilla como cadena.

1.1.2 Distribución de la especie

La especie *Cedrelinga cateniformis* se encuentra de manera natural en países de regiones tropicales de Sudamérica como Ecuador, Perú, Colombia y Brasil, a una altitud entre 120 hasta 800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) por lo que se considera una especie cosmopolita (Cruz et al., 2020).

1.1.3 Ecología y hábitat

La especie *Cedrelinga cateniformis* tiene la capacidad de desarrollarse en diferentes tipos de suelos y climas, sobre todo en hábitats con precipitaciones anuales entre 2,500 a 3,800 milímetros y temperaturas medias de 23°C a 38°C (CATIE, 2001). Además, tiene una sucesión ecológica secundaria al desarrollarse en suelos con baja fertilidad, como es el caso de bosques que han sido afectados por perturbaciones (Cruz et al., 2020); también, es tolerante a condiciones ambientales muy soleadas desde su etapa joven hasta la adultez.

En relación con el hábitat, *Cedrelinga cateniformis* se desarrolla mejor en ecosistemas de bosque húmedo tropical, sub-tropical y bosque seco tropical. Además, tiene pocas exigencias con respecto a la fertilidad del suelo, por eso crece idóneamente en diferentes climas (Cruz et al., 2020).

1.1.4 Silvicultura

La especie *Cedrelinga cateniformis* presenta una robusta masa, con un aproximado de 1,500 semillas por kilogramo lo que la convierte en un árbol potencial semillero con un alto poder germinativo, razón por la cual al ser sembrado no es necesario el uso de un tratamiento pre germinativo (Vinueza, 2012). Según el estudio de Flores (2006) se recomienda que la recolección de semillas sea de árboles saludables y que se evite aquellos que se encuentren aislados a más de 500 metros de distancia de otros árboles.

1.1.5 Requerimientos edafoclimáticos

Dentro de los requerimientos edafoclimáticos, según la ficha técnica de Ecuador Forestal (2021), la *Cedrelinga cateniformis* requiere de “suelos arenosos, franco-arenosos o



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

arcillosos, livianos, bien drenados, con pH neutro y ligeramente ácido” (p. 1). A pesar de su amplio rango de desarrollo, no muestra resistencia a suelos inundados, delgados, compactados o en arenas secas (Flores, 2006).

1.1.6 Aprovechamiento forestal

Aunque el aprovechamiento forestal en Ecuador se encuentra en constante crecimiento, las plantaciones forestales no cubren la demanda de madera proveniente de bosques nativos debido a que no suplen esta exigencia (Mejía y Pacheco, 2013). En este contexto, cabe mencionar que la *Cedrelinga cateniformis* a nivel de su uso maderero tiene una densidad básica media (Cruz et al., 2020); su madera es muy suave, liviana, fácil de trabajar, útil en la construcción de estructuras, carpintería, construcciones navales, carrocerías y juguetería, por lo que ha aumentado su aprovechamiento forestal (Mejía y Pacheco, 2013).

Otros factores que inciden en la reducción de la superficie de los bosques son las actividades antropogénicas, que provocan la explotación de especies forestales y fragmentan los hábitats silvestres (Cruz et al., 2020). En la Amazonía ecuatoriana, la especie *Cedrelinga cateniformis* tiene gran demanda en la industria maderera, pero se desconoce el impacto que ejerce su uso sobre el volumen de esta especie (Mejía y Pacheco, 2013).

1.2 Bosques siempreverdes

Los bosques siempreverdes son ecosistemas característicos de las tierras bajas de la Amazonía. En Ecuador estos bosques ocupan un área basal de 26.6 metros cuadrados por hectárea y un volumen comercial de 239.7 metros cúbicos por hectárea (MAE, 2018).

Según el MAE (2015), los bosques siempreverdes representan el 81.6% de los ecosistemas de Sucumbíos. Además, esta provincia cuenta con 1'426,332 hectáreas de bosque nativo, a pesar de los problemas antrópicos relacionados a la tala indiscriminada y otras actividades humanas que han causado la deforestación de estas superficies vegetales.

Dada la función biológica de estos bosques como reguladores de los efectos del cambio climático, son de gran importancia para el estudio de modelos de estimación de

carbono almacenado (Cuenca et al., 2014). Estos bosques tienen un promedio de carbono almacenado de 160.4 toneladas por hectárea (MAE, 2018).

Dentro de los factores de diagnóstico de los bosques siempreverdes de tierras bajas se resalta que cuentan con un bioclima pluvial y húmedo. Su fenología es siempreverde, lo que hace referencia a la vegetación propia de las regiones tropicales que mantienen su follaje a lo largo del año. En cuanto al piso climático, es de tierras bajas con una altura entre 168-350 metros sobre el nivel del mar, con termotipo infratropical superior; su geofoma es representativa del relieve Oriente, con un macro relieve de penillanura, llanura, llanura aluvial, mesetas y terrazas. Por último, referente a la inundabilidad, este ecosistema es de régimen no inundable, que es una característica idónea para el desarrollo de *Cedrelinga cateniformis* (Guevara, Pitman, Cerón, y Mogollón, 2013). Según Bioweb (2019), los bosques siempreverdes están restringidos a elevaciones menores a 600 metros y tienen precipitaciones medias muy altas de 3,349 milímetros anuales. Debido a la estructura de su suelo y combinado con el alto nivel de precipitaciones, forman un terreno firme con suelos bien drenados.

En cuanto a la composición florística, el promedio del dosel oscila entre los 25 a 35 metros dependiendo de la especie; inclusive algunas emergentes de 40 metros o más. Cabe señalar que en estos bosques se evidencia una variación en la composición florística, la cual aumenta a medida que incrementa la distancia con respecto al bosque piedemonte de los Andes (Guevara et al., 2013).

1.3 Efecto invernadero y cambio climático

Según Iberdrola (2020), el efecto invernadero consiste en la retención de la radiación térmica, lo que significa que el sol calienta la superficie terrestre, luego este calor es emitido a la atmósfera y se mezcla en el aire con determinados gases como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, entre otros, cuyas concentraciones han aumentado debido a la actividad humana (Oswaldo y León, 2007). El efecto invernadero es un proceso que siempre ha estado presente, otorgando una temperatura apropiada para el desarrollo de la vida de la tierra (Martínez y Fernández, 2004), pero al incrementar la cantidad de gases de efecto invernadero, la temperatura en el planeta aumenta a mayor velocidad (Rodríguez y Mance, 2009). En la actualidad, la emisión de estos gases ha aumentado desmesuradamente alterando



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

el equilibrio de este proceso de retención de la radiación térmica y por ende afectando en la armonía ambiental y ayudando en el aumento del cambio climático (Farfan, 2019).

El cambio climático es un tema de carácter mundial que se ha planteado desde la Convención del Marco de las Naciones Unidas en 1992, y se define como el cambio en la composición atmosférica causada por actividades antropogénicas de forma directa o indirecta (Díaz, 2012). Si bien es cierto que este suceso tiene un origen natural y el planeta se ha mantenido en constante transformación a través de las denominadas eras geológicas; sin embargo, el desarrollo de la revolución industrial y agrícola han acelerado el cambio climático durante las últimas décadas (Duarte, 2006).

En ese sentido, este cambio drástico representa un peligro constante hacia toda forma de vida del planeta, ya que altera fenómenos que son naturales, tales como el viento, lluvias, inundaciones, entre otros, que ahora se dan con mayor intensidad y en diferentes periodos de tiempo. Es así que en el 2008, en la Cumbre de Poznan, Polonia, se consideró que el cambio climático es producto de la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles (G. Díaz, 2012), lo que concuerda con Useros (2013), quien afirmó que el cambio climático se ha acelerado desde 1750 en la era industrial, debido al incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Entre dichos gases de efecto invernadero destaca el dióxido de carbono, que es uno de los principales contaminantes. Durante el periodo de 1960 al 2018 las emisiones de dióxido de carbono aumentaron hasta 34'041,045.974 Tm. Ecuador hasta el año 2018 registró 39,530 toneladas de emisiones de dióxido de carbono (Grupo Banco Mundial, 2016).

1.4 Biomasa forestal

Fonseca (2017) define a la biomasa como la materia orgánica almacenada con la ayuda del tiempo y que está constituida por la biomasa aérea y subterránea. La biomasa hace referencia a la masa total de organismos vivos que ocupan un lugar determinado; de la misma manera, la materia vegetal muerta también forma biomasa, con la diferencia de que esta se considera como biomasa muerta (Núñez, 2018). Se consideran dos tipos de biomasa: forestal y aérea.

Es así como, la biomasa forestal está compuesta por toda materia orgánica viva que se encuentre por encima o debajo del suelo, y está representada por la cantidad de carbono fijada en la vegetación forestal; por esta razón, su liberación a la atmósfera al cortar o quemar la vegetación es un potencial estímulo para la contaminación atmosférica de dióxido de carbono. En este sentido, es un indicio extremadamente importante entorno al cambio climático (España, 2016; Núñez, 2018; Douterlungne, Herrera, Ferguson, Siddique, y Soto, 2013).

En cuanto a la biomasa aérea, esta se entiende como toda materia orgánica viva que se encuentra únicamente por arriba del suelo, y que al conocer la cantidad almacenada en las formaciones vegetales, permite la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas forestales (Núñez, 2018; Wink et al., 2015).

1.4.1 Métodos de estimación de biomasa

Cuantificar la biomasa posibilita precisar la cantidad tanto de nutrientes de la vegetación, como también estimar la fijación de carbono en ella (Fonseca, 2017). La estimación de biomasa depende de diversos factores, como por ejemplo el tipo, que puede ser residual agrícola herbácea, residual agrícola leñosa y biomasa residual forestal (Rodríguez, Pérez, y Arteaga, 2015).

Para conocer la captación estimada de carbono de los bosques existen los métodos directos e indirectos.

1.4.1.1 Métodos directos

Este tipo de metodología se basa en la destrucción de los árboles a muestrear. Para ello se identifica la zona donde se encuentran las especies y posteriormente estas son taladas, lo que influye directamente en la pérdida del paisaje en el ecosistema (M. Díaz et al., 2016). Luego de realizar el proceso del corte y la extracción, se pesa cada componente del árbol para obtener el índice de biomasa (Fonseca et al., 2009).

Es una técnica tradicional o de cosecha directa por corte, considerada conveniente hasta cierto nivel, el cual dependerá de la dirección en la que se orienta la investigación. Teniendo en cuenta que este método se sustenta en el estudio destructivo para la determinación del peso verde y seco de las estructuras vegetales requiere de un periodo y



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

recursos considerables de inversión en el proceso, siendo esta una desventaja, ya que en su mayoría estos requerimientos son limitados o se encuentran restringidos, especialmente si se realiza en grandes áreas la investigación. En consecuencia, al obtener datos deficientes, este método resulta de escasa exactitud (Mónaco, Santa, Rosa, y Autran, 2017; Carrilo, Acosta, Jiménez, Gonzales, y Etchevers, 2016; López, Fontenot, y García, 2011).

1.4.1.2 Métodos indirectos

Para la aplicación de este método se usan técnicas de medición como la gravimetría, que consiste en la suma del volumen del árbol con muestras frescas previamente pesadas, para luego ser estimados por factores de conversión de masa a peso seco (Cuenca et al., 2014).

Lozano, Palacios, y Aguirre (2018) mencionan que uno de los métodos indirectos más útiles son las ecuaciones alométricas que se obtienen con base en análisis de regresión lineal o no lineal. Del mismo modo, Ares et al. (2002) describen a los modelos alométricos como métodos precisos, asequibles y provechosos para la estimación de biomasa, dado que no emplean un proceso destructivo y únicamente se basa en el desarrollo de ecuaciones que hagan relación de diferentes variables del objeto de estudio.

Según Segura y Andrade (2008), los modelos alométricos son “ecuaciones matemáticas que permiten estimar la biomasa de especies arbóreas en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) y/o la altura total (Ht)” (p. 90). Es así como esta herramienta se convierte en una propuesta accesible para cuantificar la fijación de carbono de los cuerpos vegetales.

1.5 Análisis de regresión lineal y no lineal

Los modelos de regresión facilitan el análisis de la relación entre una variable (dependiente) en consideración a otras variables (independientes). Además, permite determinar cómo se modifican las características de la variable dependiente en cuanto a los distintos valores que pueden adoptar en totalidad un número de características de las

variables independientes (Moral, 2016). En función a estas cualidades estos modelos se usan con fines predictivos y entre las diversas formas de evaluar un modelo de regresión se resaltan los modelos de regresión lineal y no lineal por presentar comprensibilidad de aplicación e interpretación.

La regresión lineal simple es una técnica empleada para explicar la relación que existe entre dos variables de carácter cuantitativo, una variable dependiente o de respuesta y una variable independiente o explicativa (Sánchez & Gándara, 2011; Molina y Rodrigo, 2010). Cuando se trabaja con una variable independiente se obtiene una regresión lineal simple, por otro lado, cuando se trabaja con múltiples variables independientes se obtiene una regresión lineal múltiple (Carrasquilla-Batista et al., 2016).

En la regresión lineal simple para tener claro ciertos conceptos es útil tener en cuenta la aplicación de ciertos supuestos: independencia, linealidad, homoscedasticidad y normalidad (Delgado, 2012). Dentro de estos supuestos de análisis, la relación de causalidad entre variables evaluadas es uno de los esenciales supuestos del análisis que aumenta el grado de predicción y la fiabilidad del modelo (Baeza & Vázquez, 2014).

Por su parte, la regresión no lineal se presenta en situaciones de modelado con datos dispersos, es decir con variables expresadas en curvas, donde la predicción de un modelo lineal no será del todo exacto, por lo cual un modelo no lineal ajustará mejor los parámetros para alcanzar un resultado más preciso (Rivas, Lopez, y Velasco, 1993). Este tipo de regresión es usado con poca regularidad, al ser una regresión ordinal determina una serie de modelos matemáticos se emplea con el fin de poder sustituir a una regresión lineal con un mejor ajuste (Moral, 2016).

1.5.1 Ajuste y selección de los modelos

Para la selección del modelo que mejor ajuste los datos, se considera los criterios descritos a continuación y se evalúa cada uno bajo las consideraciones establecidas por Segura y Andrade (2008).



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

1.5.1.1 Coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación es una medida que se utiliza para cuantificar la bondad del ajuste de un modelo; expresa la proporción de la variación total de la variable dependiente que es explicada por el modelo (Acuña, 2015; Martínez, 2005).

El coeficiente de determinación toma valores entre 0 y 1, a medida que se acerca a 1, existe mayor bondad de ajuste; en cambio, cuando se acerca a cero, la bondad de ajuste es baja, es decir no existe representatividad del modelo (Martínez, 2005).

1.5.1.2 Error cuadrático medio ponderado

Es un indicador de capacidad predictiva de modelos con mejor ajuste (Lozano et al., 2018). Por lo tanto, los modelos que presentan el menor valor en este criterio son los que se seleccionarán por su mayor capacidad de ajuste (Lerma y Orjuela, 2014). Además, toma en cuenta la concentración predicha y la concentración experimental, dividida para todo el conjunto N (Cuenca y Loaiza, 2014).

1.5.1.3 Criterio de información de Akaike

El criterio de información de Akaike es uno de los modelos estadísticos más usados para estimación de biomasa aérea. Es parte de los estadísticos de bondad de ajuste penalizado para modelos estimados por máxima verosimilitud, y penaliza el exceso de parámetros ajustados (Navarro et al., 2020; España, 2016). Mientras sus valores sean más bajos, la bondad de ajuste es mayor. Éste criterio se basa en la teoría de la información de Kullback-Leible (Cuenca y Loaiza, 2014). El cual consiste en la representación de la distribución de N estados dentro de una variable aleatoria (Riveaud, 2020).

1.5.1.4 Significancia de los coeficientes de regresión

El coeficiente de regresión está determinado por la pendiente de la recta, la cual se estima en base al ajuste de parámetros de datos y depende de la variable que se la considere como dependiente (Batanero, Gea, Del Mar López-Martín, & Didacticae, 2017). Para que la

variable dependiente e independiente estén relacionadas linealmente, la pendiente debe ser significativa, es decir estadísticamente distinta a cero. Esto se comprueba a través de una prueba de hipótesis utilizando los estadísticos de prueba F y t (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

1.5.1.5 Normalidad

Para probar si los datos tienen una distribución normal, se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk cuando el tamaño de la muestra es menor o igual a 50; pero si el tamaño de la muestra es mayor a 50, se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Yap y Sim, 2011).

La prueba de Shapiro-Wilk es una estimación de bondad de ajuste que se basa en un muestreo aleatorio con base en un gráfico de probabilidad relacionado a la regresión de los valores esperados de la distribución hipotetizada (Pedrosa, Basterretxea, Fernández, Basteiro, y García, 2014). Esta prueba de bondad de ajuste es una de las más consolidadas estadísticamente y ampliamente recomendada (Flores, Muñoz, y Sánchez, 2019).

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es un método de bondad de ajuste que busca medir el grado de conformidad entre la distribución de un conjunto de datos y una teoría específica (González, Jornet Meliá, y Garcia, 2010).

Para probar este supuesto también se utilizan los gráficos de probabilidad normal P-P o Q-Q. Si los puntos se acercan a la recta y tienen un patrón aproximadamente normal, los datos siguen una distribución normal (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

1.5.1.6 Homogeneidad de varianzas

El supuesto de homogeneidad de varianzas se utiliza para garantizar la validez de métodos estadísticos como el análisis de varianza (ANOVA) y lo análisis de regresión (Correa, Iral, y Rojas, 2006).

El supuesto considera que las varianzas se mantienen constantes a través del tiempo y se verifica con las pruebas de Levene, Bartlett o a través de un gráfico de residuos vs predichos. En estos gráficos, para que se cumpla el supuesto, la nube de puntos debe distribuirse de manera aleatoria dentro de una banda horizontal (Gutiérrez y De la Vara, 2008).



UNIVERSIDAD ESTADAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

1.5.1.7 Independencia

Las pruebas de independencia se realizan para demostrar que los residuos son independientes entre sí, es decir, no están relacionados o asociados de ninguna manera. Para que se cumpla el supuesto, en un gráfico de residuos vs el orden de corrida, la nube de puntos no debe mostrar un patrón no aleatorio (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Por su parte Balzarini et al. (2011) menciona que el gráfico de residuos debe estar compuesto por una secuencia de tiempo o espacio físico, donde se haya dado la recolecta de datos. En cuanto a bosques que poseen una estructura vertical y horizontal irregular, presentan relaciones significativas entre variables de altura y diámetro (Terán, Rodríguez, Enríquez, & Velasco, 2018).