



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE SECUESTRO DE CARBONO POR
***Terminalia catappa* L. (ESPECIE EXÓTICA) MEDIANTE LA**
APLICACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICA EN ISLA
SANTAY

Monitoreo, manejo y conservación de los
recursos naturales

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

MORALES CONSUEGRA JANDRY MARTIN

TUTOR

PhD. HERNÁNDEZ ROSAS JOSÉ IBRAHIN

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **HERNÁNDEZ ROSAS JOSÉ IBRAHIN**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE SECUESTRO DE CARBONO POR *Terminalia catappa* L. (ESPECIE EXÓTICA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICA EN ISLA SANTAY**, realizado por el estudiante **MORALES CONSUEGRA JANDRY MARTIN**; con cédula de identidad N° 0953368792 de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Firma del Tutor

Guayaquil, 30 de noviembre del 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “DETERMINACIÓN DE SECUESTRO DE CARBONO POR *Terminalia catappa* L. (ESPECIE EXÓTICA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICA EN ISLA SANTAY”, realizado por el estudiante MORALES CONSUEGRA JANDRY MARTÍN, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

DR. ARCOS RAMOS FREDDY
PRESIDENTE

ING. MOROCHO LUIS, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. MONTENEGRO VERONICA, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 22 de noviembre del 2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres María Consuegra y Jorge Morales, quienes en todo momento me impartieron su total apoyo, también a mi tutor y los docentes que me brindaron su apoyo en este proyecto, y a lo largo de mi formación universitaria.

Agradecimiento

En primer lugar, a mi tutor de tesis PhD. José Hernández por impartir sus conocimientos y consejos, a los maestros y amigos que pude hacer en la institución, quienes en todo momento estuvieron presto en brindarme su ayuda moral para la culminación de este proyecto.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **Jandry Martín Morales Consuegra**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “**DETERMINACIÓN DE SECUESTRO DE CARBONO POR *Terminalia catappa* L. (ESPECIE EXÓTICA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICA EN ISLA SANTAY**” para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 30 noviembre y 2021

MORALES CONSUEGRA JANDRY MARTÍN
C.I. 0953368792

Índice general

PORTADA	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
Resumen.....	13
Abstract	14
1. Introducción	16
1.1 Antecedentes del problema	17
1.2 Planteamiento y formulación del problema	20
1.2.1 Planteamiento del problema	20
1.2.2 Formulación del problema	22
1.3 Justificación de la investigación	22
1.4 Delimitación de la investigación.....	24
1.5 Objetivo general.....	25
1.6 Objetivos específicos	25
2. Marco teórico	26
2.1 Estado del arte	26
2.2 Bases teóricas.....	29
2.2.1 Ciclo de Carbono	29

2.2.2 Secuestro y almacenamiento de carbono.....	30
2.2.3 Cambio climático	31
2.2.4 Efecto invernadero	31
2.2.5 Especies exóticas.....	32
2.2.6 Especies exóticas en la Isla Santay	32
2.2.7 Descripción de la especie	33
2.2.8 Descripción de la especie	33
2.2.9 Biomasa.....	34
2.2.10 Ecuación alométrica de la biomasa.....	34
2.3 Marco legal.....	34
3. Materiales y métodos.....	38
3.1 Enfoque de la investigación.....	38
3.1.1 Tipo de investigación	38
3.1.2 Diseño de investigación	38
3.2.1 Variables.....	38
3.2.1.1. <i>Variable independiente</i>	38
3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i>	38
3.2.2 Tratamiento	38
3.2.3 Recolección de datos	39
3.2.3.1 <i>Recursos</i>	39
3.2.3.2 <i>Métodos y técnicas</i>	40
3.2.3.3 <i>Medición de los individuos investigados</i>	41
3.2.3.4 <i>Diámetro a la altura del pecho (DAP)</i>	42
3.2.3.5 <i>Altura total</i>	42
3.2.3.6 <i>Cálculo del Biovolumen</i>	42

3.2.3.7	<i>Cálculo de Biomasa aérea de árboles.....</i>	42
3.2.3.8	<i>Biomasa Radicular</i>	43
3.2.3.9	<i>Biomasa Total</i>	43
3.2.3.10	<i>Stock de Carbono en tonelada</i>	43
3.2.4	<i>Análisis estadístico</i>	43
3.2.4.1	<i>Media</i>	44
3.2.4.2	<i>Mediana</i>	44
3.2.4.3	<i>Moda.....</i>	45
3.2.4.4	<i>Medidas de dispersión</i>	45
3.2.4.5	<i>Análisis de la varianza (ANOVA)</i>	46
3.2.4.6	<i>Prueba Tukey -Kramer</i>	46
3.2.5	<i>Cronograma de actividades</i>	46
4.	<i>Resultados.....</i>	47
4.1	<i>Ubicación de poblaciones de <i>Terminalia catappa</i> L. en el bosque seco abierto de Isla Santay, mediante visitas de campo y revisión bibliográfica.</i>	47
4.2	<i>Obtención de los parámetros característicos de los individuos de <i>Terminalia catappa</i> L. mediante mediciones de campo para su utilización en la ecuación alométrica en Isla Santay.....</i>	48
4.2.1	<i>Diámetro a la altura del pecho en las diferentes clases.....</i>	54
4.2.2	<i>Altura Total en las diferentes clases de alturas.....</i>	55
4.3	<i>Obtención de la cantidad de carbono secuestrado por <i>Terminalia catappa</i> L. a través de las ecuaciones alométrica identificando su papel en la huella de carbono en Isla Santay.....</i>	55
4.3.1	<i>Estimación de biomasa Total.....</i>	56

4.3.1.1	<i>Análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey.</i>	57
4.3.2	Estimación de carbono secuestrado	58
4.3.2.1	<i>Estimación de secuestro de carbono en isla Santay</i>	59
4.3.3	Análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey	60
5.	Discusión	62
6.	Conclusiones	65
7.	Recomendaciones	66
8.	Bibliografía	67
9.	Anexos	79

Índice de tablas

Tabla 1. Base de datos de las variables.....	41
Tabla 2. Resultado de los cálculos de los parámetros.	44
Tabla 3. Coordenadas de la zona de estudio.	47
Tabla 4. Individuos por clase de altura.....	47
Tabla 5. Primera clase acorde al rango de altura (0m <3m).....	48
Tabla 6. Segunda clase acorde al rango de altura (3m <6m).	50
Tabla 7. Tercera clase acorde al rango de altura (6m <9m).	51
Tabla 8. Cuarta clase acorde al rango de altura (>9m).	52
Tabla 9. Análisis de varianza de la captura de carbono de las clases de altura.	57
Tabla 10. Comparación de medias prueba Tukey.....	57
Tabla 11. Estimado de carbono Total almacenado en isla Santay.	59
Tabla 12. Análisis de varianza.	60
Tabla 13. Comparación de medias prueba Tukey.....	61
Tabla 14. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 1.	80
Tabla 15. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 2.	81
Tabla 16. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 3.	82
Tabla 17. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 4.	83

Índice de figuras

Figura 1. Diseño de muestreo	40
Figura 2. Comparación del diámetro a la altura del pecho de las clases de altura.....	54
Figura 3. Comparación de la altura total en las diferentes clases de altura.	55
Figura 4. Biomasa total estimada de la <i>Terminalia catappa</i> L a partir del biovolumen por clases acorde a la altura.	56
Figura 5. Secuestro de carbono estimada de la <i>Terminalia catappa</i> L a partir de la biomasa total por clases acorde a la altura	58
Figura 6. Mapa de ubicación de muestreo.	79
Figura 8. Obteniendo la altura y el diámetro a la altura del pecho de los individuos estudiados.....	85
Figura 9. Ubicación de la zona de estudio de la <i>Terminalia catappa</i> L.....	85
Figura 10. Sendero Durán- isla Santay.	86

Resumen

El presente estudio se realizó en el humedal RAMSA isla Santay en la ciclovía hacia Durán, con el objetivo de calcular el secuestro de carbono por parte de *Terminalia catappa* L. una planta exótica del lugar, mediante la aplicación de ecuaciones alométricas. Se estableció la zona de estudio en una parcela de media hectárea, la misma que registraba la presencia de 240 individuos de la especie en mención; por lo que se determinó la muestra en 80 individuos agrupados en cuatro clases de altura, evaluando el diámetro a la altura del pecho y la altura total. Se calculó el bio-volumen de la muestra para estimar la biomasa, dando como resultado 82,63 t de carbono secuestrado. De igual forma, se empleó la prueba de análisis de varianza en relación al secuestro de carbono para las clases de altura con nivel de significación al 0.05 obteniendo un valor de probabilidad de 3,564E-17, determinando que existen diferencias significativas en el secuestro de carbono por clase de altura, posterior se comparó aplicando la prueba de Tukey cuyo resultado de la clase 1 y clase 2 comparten similitud debido a que sus medias no son significativamente diferentes y con relación a las clases 3 y 4, éstas no mantienen ninguna relación en sus medias. Los 240 individuos capturaron un estimado de 165.26 t de carbono, este valor se multiplicó por la superficie que existe presencia de *Terminalia catappa* L. dando un total de 61799,76 t de carbono secuestrado contribuyendo de manera positiva al cambio climático.

Palabras clave: Biomasa, ecuaciones alométricas, especies exóticas, secuestro de CO₂.

Abstract

The present study was carried out in the wetland RAMSA Santay Island in the cycle path to Duran, with the aim of calculating the carbon sequestration by *Terminalia catappa* L. an exotic plant of the place, by applying allometric equations. The study area was established in a plot of half a hectare, the same that recorded the presence of 240 individuals of the species in question; therefore, the sample was determined in 80 individuals grouped in four classes of height, evaluating the diameter at chest height and total height. The bio-volume of the sample was calculated to estimate biomass, resulting in 82.63 t of sequestered carbon. Similarly, the variance analysis test was used in relation to carbon sequestration for height classes with significance level at 0.05 obtaining a probability value of 3,564E-17, determining that there are significant differences in carbon sequestration by height class, It was later compared by applying the Tukey test whose class 1 and class 2 results share similarity because their stockings are not significantly different and with respect to classes 3 and 4, they do not have any relationship in their stockings. The 240 individuals captured an estimated 165.26 t of carbon, this value was multiplied by the surface presence of *Terminalia catappa* L. giving a total of 61799.76 t of carbon sequestered contributing positively to climate change.

Keywords: Biomass, sequestered carbon, allometric equations, exotic species.



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL ABSTRACT

Yo, **CHÁVEZ URBINA JENNY CECIBEL**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de ENGLISH TEACHER, **CERTIFICO** que he procedido a la **REVISIÓN DEL ABSTRACT** del presente trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE SECUESTRO DE CARBONO POR Terminalia catappa L. (ESPECIE EXÓTICA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICA EN ISLA SANTAY**, realizado por el estudiante **MORALES CONSUEGRA JANDRY MARTIN**; con cédula de identidad N° 0953368792 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, el mismo que cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

LCDA. JENNY CHÁVEZ URBINA, MGS.
DOCENTE DE INGLÉS
jchavez@uagraria.edu.ec

Guayaquil, 30 de noviembre del 2021

1. Introducción

A partir de la última década, los gases de efecto invernadero han formado parte de los daños más severos a los que se puede enfrentar el planeta, por lo que la búsqueda de reducción y evitar su emisión es de especial interés entre las grandes naciones que, debido a sus intensas actividades de producción, generan esos gases tóxicos que en muchos casos no pueden ser controlados adecuadamente (Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), 1997).

La reforestación es una de las alternativas más accesibles y viables para enfrentar el reto de los GEI (Douterlungne et al., 2013). Si se cuenta con los tipos de plantas adecuadas para cada lugar tomando en consideración el tipo de suelo, clima y demografía, así como implementar un manejo adecuado de las mismas, se garantiza el correcto secuestro de carbono y la recuperación de áreas degradadas, pero es muy importante cuantificar la biomasa de las plantaciones.

El utilizar especies que ayuden a una correcta reforestación, permite obtener una eficiente captura de carbono, así como se favorece el tratamiento de las áreas degradadas por la tala indiscriminada y posterior erosión de suelos (Douterlungne et al., 2013).

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, para estimar la biomasa de los recursos arbóreos o de las especies vegetales en general, se implementarán las ecuaciones alométricas (Cutini, Chianucci, y Manetti, 2013).

De acuerdo con el CIRAD y la FAO, este tipo de operaciones permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de sus características dendrométricas más fáciles de medir, como su altura o su diámetro (Picard, Saint-André, y Henry, 2012).

Por medio del uso de esta herramienta matemática se podrá evaluar el uso de la especie *Terminalia catappa* L., como capturadora de carbono en la Isla Santay.

Este tipo de planta es una especie originaria de Malasia y el nombre común que se le ha dado es almendrón, es mayormente de uso ornamental y es afín a los climas húmedos – tropicales (Menkitiun, Agu, y Udeigwe, 2015).

Como menciona Domínguez (2010) esta planta arbórea puede adaptarse a las características de la isla y servir como un buen indicador ambiental, de la misma manera ofrece altas tasas de supervivencia y ayuda en la captura de carbono.

1.1 Antecedentes del problema

Según Ordóñez (2008), debido al aumento paulatino de emisiones de gases de efecto invernadero también denominados “GEI”, se contribuye significativamente al cambio climático, siendo uno de los más severos al que debemos hacer frente en el presente siglo.

Los “GEI” representan tan solo el 1% de la composición de la atmósfera, de forma que la preocupación no está en la presencia y la conducta de los gases estos realizan la función indispensable de producir el “efecto invernadero natural” como lo indica la Organización Meteorológica Mundial (2018).

Estos gases producen las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida; sin embargo, la producción de los “GEI” se están incrementando de forma exponencial, debido a las actividades antrópicas (Lohmann, 2012).

Igualmente, la IPPC (2014), afirma que uno de los impulsores del incremento del dióxido de carbono, es resultado del progreso económico y demográfico, a través de la quema de combustibles fósiles por parte del transporte, las industrias, la agricultura y la ganadería.

A partir del siglo XX, el incremento de las emisiones de CO₂ es considerable comparándolo con los siglos anteriores, sin embargo, en los años 1970 al 2011,

registra un incremento estimado del 90%, alrededor del 78% del aumento total (Boden, Marland, y Andres, 2017).

El cambio climático producido por los “GEI” se encuentra asociado al inminente incremento de la temperatura de la tierra (Warrick et al., 1996). Según el IPPC (2013) menciona que los registros históricos referentes al clima en los años de 1900 y 2000, proporcionan información de las alteraciones importantes en el sistema climático del planeta, en especial con el vínculo a la temperatura promedio de la tierra. En consecuencia, se evidenció un incremento de la temperatura de 0.85°C desde 1800 hasta 2012 (IPPC, 2013).

El incremento de la temperatura de la tierra produce el aumento del nivel del mar, provocado por la pérdida de los mantos de nieve y hielo, también de la variación de tendencias en las precipitaciones, y esto altera los sistemas naturales ligados a las capas de hielo, a los sistemas hidrológicos y a la característica de las fuentes hídricas, al orden biológicos tanto marinos como de agua dulce y al rendimiento agrícola y forestal (Fernández, 2012).

Por otra parte, Apps et al. (1993) menciona que los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo.

Ordóñez (2008) menciona que los ecosistemas forestales constituyen un importante depósito de carbono y se sostiene que originan una mitigación o reducción de los “GEI”, en especial al óxido de carbono (CO₂), como señala Ordóñez (2008), en donde, gran parte del carbono atmosférico, es captado a través de la fotosíntesis a los procesos metabólicos de la vegetación.

Se efectuó estudios por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) (2011), con la finalidad de hacer el Plan de Manejo del Área Recreacional Nacional Isla Santay y Gallo, en el cual reconocieron en el registro preliminar 65 especies repartidas en 42 familias de Plantas y 15 introducidas o exóticas.

Los ecosistemas con mayor afectación por la invasión de especies exóticas como la *Terminalia catappa* L. son las zonas costeras, dado que es originario de Malasia y la dispersión de sus semillas se realiza por medio de cursos de agua y murciélagos (Plucênio, 2011).

Por lo que *Terminalia catappa* L. siendo una especie tropical y exótica en la isla, posee una tasa de desarrollo rápida en su etapa inicial, con un buen crecimiento a una elevación de 0-1200 m, posee un crecimiento alrededor de 2 m/año, con una altura límite a los 30 metros y un diámetro máximo de 45 cm (Adame, Uriarte, y Brandeis, 2014).

El trabajo de investigación realizado por Cabudivo (2017) reconoció 17 especies, con un total de 418 especímenes estudiados, concernientes a árboles y palmeras, destacando las especies arbóreas *Syzygium cumini* “aceituna”, *Syzygium malaccense* “mamey” y *Terminalia catappa* “castaña”, distribuidos en rangos diamétricas, obteniendo un total de 119,03 (t) con respecto a la biomasa, 217,87(t) de CO₂ capturado y con una generación de 158,59 (t) de O₂.

Los resultados según Harmida, Aminasih, y Tanzerina (2019), mostraron que *Terminalia catappa* L. posee una reserva potencial de carbono de 1,4 kg/planta y la asimilación de CO₂ fue de 5,12 kg/planta.

En Ecuador Bruno (2019), recolectó información de la asimilación de CO₂ actual en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas,

mediante la utilización de ecuaciones alométricas, por medio de una valoración a la *Rhizophora mangle* obteniendo como resultado 446,94 ton de CO₂ captado.

Del mismo modo Pita (2020), empleó ecuaciones alométricas, lo aplicó en la *Rhizophora mangle* presente en el Área Nacional de Recreación Isla Santay (ANRIS), logrando un valor total de 743,81 t/ha de carbono captado, estimando por el área total de presencia del mangle rojo se obtendrá un valor de 186503,55 toneladas de carbono captado.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La porción de CO₂ emitido a la atmósfera, unido con el incremento de las emisiones de diferentes “GEI” como el metano, óxido nitroso y el ozono, están ocasionando paulatinamente el incremento de la temperatura del sistema atmosférico y como resultado el calentamiento de planeta (Benavides y León, 2007).

En Ecuador un 49,46% de las emisiones de dióxido de carbono deriva principalmente de la división de cambio de Uso de Suelo y Silvicultura. Con respecto a la parte de producción de energía figura un 44,92%, lo que es semejante a 36.512,75 Gg de dióxido de carbono derivado de la combustión de combustibles, concluyendo con la división de procesos Industriales generando 4.571,72 Gg de dióxido de carbono eq en otras palabras 5,62% ocasionado por la industria minera según el MAE (2016).

Según Salas y Maldonado (2019), argumenta que el aumento de los “GEI” en la atmósfera, ha incrementado las temperaturas globales del suelo, los océanos y el aire, esto afecta considerablemente tanto las organizaciones naturales como humanas.

Por lo ya mencionado, los árboles presentan servicios que mejoran las propiedades y características del medio natural y la salud de las personas. El también especifica que existe falta de información sobre los beneficios ecosistémicos como la captura de carbono por medio de la biomasa y del suelo, generación de oxígeno, entre otros servicios (Nowak y Dwyer, 2007).

A partir de octubre del 2000 la isla Santay, la convención RAMSAR lo proclamó como un humedal de interés a nivel internacional obligado, por su elevado índice de biodiversidad (MAE, 2011).

El Ministerio del Ambiente (2011) especifica que, aunque cuente con un riguroso cuidado no muestra estudios con relación a su contexto natural, ni las funciones ambientales que brinda la isla y tampoco a su correcto beneficio.

Según Matamoros (2018), la Isla Santay beneficia a la ciudad de Guayaquil y Durán por su ubicación, este contiene áreas con vegetación en fase de rehabilitación en la mayor parte de su extensión, de manera que la conservación de la isla es vital importancia.

Moran (2020) indica que está clasificado para ser un espacio con fines de recreación y conservación ya que presenta una gran diversidad de especies, y se debe mencionar que este ecosistema ha sido alterado principalmente por causas antropogénicas, como la introducción de especies exóticas como la *Terminalia catappa* L.

De acuerdo con el MAE (2019), la acción antrópica de la población, ha ocasionado la instalación de especies exóticas, consiguiendo convertirse en un riesgo para las especies autóctonas por el proceso de invasión (MAE, 2019).

Actualmente no existen estudios referentes a la captura de carbono realizados en la isla Santay con respecto a las especies exóticas, por lo tanto, se desconoce el potencial de captura de carbono de la *Terminalia catappa* L. (almendrón).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la cantidad de carbono que secuestra la especie *Terminalia catappa* L. en Isla Santay?

1.3 Justificación de la investigación

El cambio climático es una de las principales amenazas, constituye un reto mundial que ha causado impactos ambientales en la economía global, la salud, la biodiversidad, el medio ambiente y el bienestar humano. Este cambio climático se produce por la creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, entre los que se encuentra el CO₂ (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, (MARM, 2012).

En base al MAE (2016), para luchar contra este fenómeno, se debe evitar la concentración progresiva de estos gases en la atmósfera, reduciendo las emisiones o aumentando su absorción. En este sentido, Méndez, Luckie, Capó, y Najera (2011) destacan la asimilación de CO₂ por los ecosistemas forestales que tienen efectos importantes en el balance global del carbono. Siendo reconocidos como una oferta para reducir los niveles de CO₂ en la atmósfera a través de la conservación y expansión de los mismos, conformando además una de las formas de mitigación y de reducción de los impactos negativos del cambio climático.

Una cuestión clave en los sumideros de carbono es la permanencia del carbono almacenado, donde si por cualquier circunstancia un bosque

desapareciera por problemas de plagas, enfermedades o incendios forestales se devolvería el carbono a la atmósfera (MAE, 2016).

El papel y la respuesta a las especies exóticas se ha convertido recientemente en un tema muy debatido (Davis et al., 2011). Henn, McCoy, y Vaughan (2014), señala que si bien las especies exóticas a menudo se consideran perjudiciales para las comunidades nativas, una especie introducida puede mejorar las condiciones de algunas especies nativas siendo importante considerar los efectos reales de una especie exótica introducida en esta era de rápidos cambios ambientales.

Las especies arbóreas por excelencia son reguladores ambientales con efectos acumulativos de dióxido de carbono, absorbiendo y actuando como grandes sumideros naturales de carbono contrarrestando los actuales problemas ambientales (Bravo, 2019).

En el Área Nacional de Recreación Isla Santay y Gallo se encuentra situada en la provincia del Guayas, Cantón Durán; en el curso del Río Guayas y frente a la ciudad de Guayaquil, se presenta una alta biodiversidad biológica y de recursos naturales. Teniendo como declaratoria el humedal RAMSAR, por sus características la hace muy importante y la convierte en un área de interés mundial y prioritario para la conservación (MAE, 2011).

En dónde, se registran alrededor de 65 especies arbóreas distribuidas, cuyas 46 son nativas, 15 son especies introducidas o exóticas y 4 son endémicas de la región tumbesina. Dentro de las especies introducidas o exóticas encontradas en la isla Santay se encuentra la especie arbórea *Terminalia catappa* (MAE, 2011).

El árbol *Terminalia catappa* L. es reportado como especie invasora por la ISSG; de uso múltiple y de rápido desarrollo, con una altura de 20 m hasta 30 m y

tronco grueso que se caracteriza por tener hojas obovadas a espatuladas, ápice abruptamente brevi-acuminado, base atenuado truncada, a veces auricular, haz diminutamente disperso-pubescente, envés densamente pubescente con tricomas erguidos; venas secundarias 12–14 pares, planas a emergentes en el haz, emergentes en el envés, venación terciaria oblicua y produce fruto consumible (Vásquez,1997; Francis,1989).

En la especie *Terminalia catappa* L. una especie introducida y considerada invasora en isla Santay, no se le asocian estudios previos relacionados a su secuestro de carbono en la isla Santay. Por esta razón, en este estudio dedicado a la determinación de secuestro de carbono por la *Terminalia catappa* L., especie exótica presente en la vegetación de isla Santay, tiene como finalidad obtener la medida de secuestro de carbono por dicha especie, proporcionando datos relevantes para su valoración ambiental que permitirá expresar su importancia en la medida de secuestro de carbono en isla Santay.

1.4 Delimitación de la investigación

La delimitación de la investigación indica con precisión el espacio, el tiempo o período y la población involucrada.

- **Espacio:** Isla Santay, la cuál es un área protegida (Área Nacional de Recreación Isla Santay), en el área de bosque seco en la coordenada 2°12'17.90"S; 79°52'9.72"O.
- **Tiempo:** Mayo hasta septiembre del 2021.
- **Población:** Según el MAE (2011), Isla Santay posee aproximadamente 226 habitantes y 356.169 turistas anualmente.

1.5 Objetivo general

Estimar el secuestro de carbono por *Terminalia catappa* L. (especie exótica) mediante la aplicación de ecuaciones alométrica para la cuantificación de su importancia en la huella ecológica en Isla Santay.

1.6 Objetivos específicos

- Ubicar poblaciones de *Terminalia catappa* L. en el bosque seco abierto de Isla Santay, presentes en una superficie de media hectárea mediante visita de campo y revisión bibliográfica para establecer el tamaño de la muestra.
- Obtener los parámetros característicos de los individuos de *Terminalia catappa* L. mediante mediciones de campo para su utilización en la ecuación alométrica en Isla Santay.
- Obtener la cantidad de carbono secuestrado por *Terminalia catappa* L. a través de las ecuaciones alométrica identificando su papel en la huella de carbono en Isla Santay.

1.7 Hipótesis

El secuestro de carbono por parte de la *Terminalia Catappa* L. representa un papel importante en la disminución de la huella ecológica en isla Santay.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Reconocer la correcta adaptabilidad de una ecuación requiere entender cuál es su estimación con respecto a la biomasa en los bosques, esto se debe a que este parámetro puede variar significativamente dependiendo de la especie y sus condiciones de crecimiento. Es por este motivo que Van Breugel et al. (2011), recomienda mayoritariamente emplear ecuaciones locales para lograr una mayor precisión cuando se ejecutan proyectos a gran escala.

Para reconocer la efectividad de las ecuaciones, en Tailandia, se desarrollaron y probaron algunas ecuaciones alométricas generales para estimar la biomasa de las plantaciones de *Tectona grandis* y *Eucalyptus camaldulensis*. El diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (H) fueron las variables con resultados muy favorables para la estimación de biomasa, de los cuales la combinación simple DAP produjo la mejor estimación.

En este caso de estudio, las ecuaciones alométricas generales que dieron el mejor ajuste ($p < 0.01$) para la estimación de *T. grandis* fueron: $AGB = 0.045 (D^2 H)^{0.921}$ y para *E. camaldulensis* fue: $AGB = 0.033 (D^2 H)^{0.959}$ con un R^2 de 0,975 (Ounban, Puangchit, y Diloksumpun, 2016).

Otro ejemplo aplicado se realizó en una región de África, se generó la ecuación alométrica: $\text{Log } Y = -3.284 + 1.708\text{Log}(ct) + 0.327\text{Log}(ht) + 0.735\text{Log}(mcd)$, para captura de carbono en la especie *Jatropha curcas* L. en la Cuenca de Senegal, usando las variables edad del árbol, altura del árbol (ht), diámetro de la copa (ct) y dap (mcd), para las hojas y fuste, calculando biomasa total, con un R^2 de 0.98 y un error medio de 0,06 (Diédhiou et al., 2017).

De acuerdo con Díaz et al. (2016), en México se determinó la biomasa de las copas de árboles, en el cual se podaron algunas ramas por copa y fueron separadas en madera y hojas, estos componentes fueron pesados individualmente y se obtuvo el peso fresco promedio (kg). En el mismo, se emplearon dos modelos: $Y = B_0 + B_1X_i$ (lineal) y $Y = b.X_k$ (exponencial). Las ecuaciones alométricas quedaron expresadas como: $B = 0.0012DAP^{1,7877}$ y, ambas con coeficientes de determinación $R^2 = 0.95$, en el cual se obtuvo la distribución porcentual de biomasa, que fue: 64.92, 27.06 y 8.02 y de carbono: 65.12, 27.15 y 7.72.

Quiceno, Tangarife, y Álvarez (2016), efectuaron trabajos de gran interés como el proceso de estimación del contenido de biomasa en un bosque primario en el departamento de Guainía, con el método no destructivo para las especies Mure, Pendare y Arenillo blanco. La biomasa aérea fue estimada a partir de los parámetros medidos en campo como altura y DAP.

Mientras que, en Perú se empleó la metodología recomendada por la “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales”, desarrollada por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF), donde la ecuación alométrica que mejor se ajustó en el estudio, fue la ecuación propuesta por Cuenca et al. (2014), con un coeficiente de determinación (R^2) igual a 1.

De manera similar, en Ecuador usando el estrato Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía, se determinó la biomasa aérea por medio de la ecuación: $BT = -63,44 + 4,75 \times dap + 27,73 \times \ln(Hc)$ con un R^2 de 0,99 para grupos de especies, instalando 12 parcelas permanentes de 60 m x 60 m, tomando el $DAP \geq 10$ cm y la altura comercial (Cuenca, Jadán, Cueva, y Aguirre, 2014).

Del mismo modo, Lozano, Palacios, y Aguirre (2018), definieron una parcela con medida de una hectárea y se realizó la medición de los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP 1,30m) $\geq$ 5 cm. Se utilizaron las variables DAP y altura total (ht). Se obtuvo que, la biomasa arbórea fue de 322,37 t ha⁻¹ y el carbono total estimado fue de 161,07 t ha⁻¹.

Los resultados de los modelos alométricos del estrato arbóreo, demostraron que se ajustaron mejor las variables de DAP, DAP² y ht. *Moraceae* fue la familia botánica que obtuvo una mayor biomasa (69,95 t ha⁻¹) y carbono (34,98 t C ha⁻¹). Esta especie en conjunto con *Lauraceae*, *Myristicaceae* y *Rubiaceae* almacenan el 57% de carbono (91,55 t C ha⁻¹) del bosque montano bajo. Se tiene un registro de 179 especies botánicas conocidas, las especies *Pseudolmedia laevigata*, *Nectandra reticulata*, *Otoba parvifolia*, *Vochysia paraensis*, *Ficus sp.* y *Elaeagia obovata* almacenan el 51% (81 t C ha⁻¹) del carbono total estimado.

Ramírez y Chagna (2019), realizaron en la ciudad de Ibarra un proyecto similar, donde les dieron resultados de un alto potencial de plantaciones de *Eucalyptus grandis* como herramienta de consumo de carbono y un recurso de mitigación y adaptación al cambio climático. Estas plantaciones presentaron mayores valores de carbono secuestrado a diferencia de otros sembríos de la misma especie.

Pita (2020), hizo uso de ecuaciones alométricas en el Área Nacional de Recreación Isla Santay (ANRIS), donde evaluó la *Rhizophora mangle*, obteniendo como resultado un valor total de 743,81 t/ha de carbono capturado, esta cifra fue multiplicada por el área total de presencia del mangle rojo, teniendo un valor resultante de 186 503,55 toneladas de carbono capturado.

Citando un último ejemplo, Ramírez et al. (2021), ejecutó un inventario forestal en tres áreas de sucesión de 18, 30 y 50 años aproximadamente. Con estos datos se estructuraron modelos alométricos utilizando variables independientes como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (Ht), se estimó también la materia viva y el carbono aéreo acumulado. La variable más adecuada para predecir criterios de ajuste y validación fue la DAP^2Ht . Otras ecuaciones empleadas arrojaron un R^2 mayor al 95 %, considerándose muy confiables para la estimación de las variables estudiadas. Como resultados finales se determinó que estos bosques almacenan 36,56, 70,36 y 156,27 Mg.C. ha⁻¹ respectivamente, donde el fuste es el componente que cuenta con más almacenamiento con una cantidad que varía de 65,76 - 73,44 %, a diferencia de las ramas y hojas que representan un 20,98 - 25,50 % y 5,58 - 8,74 % del carbono aéreo total respectivamente. Los datos obtenidos permiten asegurar que estos tipos de modelos son altamente aplicables en ecosistemas con similares condiciones ambientales.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Ciclo de Carbono

El ciclo del carbono detalla las entradas y salidas del carbono y todos cambios físicos, químicos y biológicos que lo rigen entre los diferentes depósitos de ese componente del planeta (Chivelet, 2010).

Gallardo y Merino (2007) añade que el carbono del planeta se acumula y distribuye en cinco grandes reservas: las geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal.

Así mismo Chivelet (2010) menciona la salida y entrada entre los depósitos que se desarrollan como fuentes o sumideros, estos son muy cambiantes y

efectivas a través de escalas temporales asimismo muy distintas comparando unos pocos años o siglos a decenas de millones de años. Por esta razón, dependiendo la escala temporal que evaluemos, las estructuras que participen en el ciclo del carbono serán diferentes.

Simultáneamente el ciclo del carbono es una de las columnas que produce estabilidad al ciclo biogeoquímico en cualquier medio natural acompañado del ciclo hidrológico (Post et al. 1990), Osnaya (2003) añade que es el causante del sustento ecológico y del intercambio entre la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera.

En donde es un componente básico de la vida vegetal y un elemento principal de la materia orgánica del suelo. El dióxido de carbono es la forma gaseosa del carbono y es un gas de efecto invernadero (McVay y Rice, 2005).

2.2.2 Secuestro y almacenamiento de carbono

Según Bolin et al. (1996), la vegetación de la tierra y los océanos mediante los procesos fisiológicos como la fotosíntesis y el intercambio de gases, conservan grandes volúmenes de carbono. El FONAM (2006), menciona que los sistemas de bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas, permiten un potencial de almacenamiento de carbono.

Márquez (2000) resalta que la vegetación a través de sus procesos fisiológicos ofrece una colaboración importante al controlar los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera.

En la división de uso de la tierra y bosques se han reconocido estrategias primordiales para el almacenamiento de carbono. En primer lugar, es aumentar la fijación de carbono al establecer o aumentar el número de sumideros existentes;

en segundo lugar, es precaver o disminuir la tasa de liberación del carbono ya fijado en sumideros (Márquez, 2000).

Así mismo las actividades de fijación de carbono, que incluyen métodos silviculturales que permite el crecimiento exponencial de la agroforestería, forestación, reforestación y restauración de áreas afectadas; las actividades de no emisión incluyen temas o métodos de conservación tanto en la biomasa y el suelo en zonas protegidas, administración forestal sostenible, resguardo contra fuegos y promoción de quemas controladas afirma, el IPCC (2001).

La fijación y depósito de dióxido de carbono (CO₂) es un proceso que se fundamenta en dividir dicho compuesto de origen industrial y energéticas, transportarlo a una ubicación en la que será depositado, y separarlo en un largo periodo de tiempo. Radica en una tecnología con muchas preguntas por resolver para que sea considerada realizable, tanto desde la perspectiva económica como ambiental. Por otro lado, sólo se puede considerar como mitigante, en el pensamiento de que no pretende disminuir nuestra producción de CO₂ (Ramos, 2005).

2.2.3 Cambio climático

Según el artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), se marca como la alteración del clima, atribuido directa o indirectamente a las actividades antropogénicas que cambian la composición natural de la atmósfera y que se añade a la variabilidad natural del clima monitoreada durante períodos de tiempo comparables”.

2.2.4 Efecto invernadero

Warner et al. (2005) afirma que más o menos la tercera parte de la radiación solar que influye en la tierra es redireccionada al espacio, y de las otras dos

terceras partes faltantes es absorbida por la tierra, los océanos y el resto por la atmósfera; así aumenta la temperatura la superficie de la Tierra y emite una radiación infrarroja.

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) integrados son el Vapor de agua (H₂O), ozono (O₃), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (N₂O) y clorofluorocarburos (Vargas, 2009).

Por esta razón, sin la presencia de los “GEI”, la vida tal como la conocemos no sería viable, ya que el calor producido por el planeta se disipará hacia el espacio ocasionando temperaturas sumamente bajas en la Tierra (Mota et al., 2011).

2.2.5 Especies exóticas.

El Convenio sobre la Diversidad (CDB), firmado en Río de Janeiro de 1992 elabora una definición de “Especie exótica” esta dice que una especie que se encuentra alejada de su delimitación normal de distribución (Shine, Williams, y Gondling, 2000).

2.2.6 Especies exóticas en la Isla Santay

Mediante los estudios primarios efectuados por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) (2011), con la finalidad de producir el Plan de Manejo del Área Recreacional Nacional Isla Santay y Gallo, en el cual reconocieron en el registro preliminar 65 especies repartidas en 42 familias de Plantas y 15 introducidas o exóticas.

Estás 65 especies encontradas, 46 son propias de la isla, 15 son especies introducidas o exóticas y 4 son endémicas de la región según lo afirma el PMA. Algunas de las especies exóticas encontradas en esta lista son: *Crinum amoenum*, *Roystonea regia*, *Roystonea sp.*, *Sphagneticola trilobata*, *Terminalia catappa*, *Cyperus rotundus*, entre otras según detalla el MAE (2011).

2.2.7 Descripción de la especie

El árbol *Terminalia catappa* L. es reportado como especie invasora por la ISSG; de uso múltiple y de rápido desarrollo, con una altura de 20 m hasta 30 m y tronco grueso se caracteriza por tener hojas obovadas a espatuladas, ápice abruptamente brevi-acuminado, base atenuado truncada, a veces auricular, haz diminutamente disperso-pubescente, envés densamente pubescente con tricomas erguidos; venas secundarias 12–14 pares, planas a emergentes en el haz, emergentes en el envés, venación terciaria oblicua y produce fruto consumible (Vásquez,1997; Francis,1989).

2.2.8 Descripción de la especie

➤ Distribución

El árbol es nativo del sureste de Asia y hoy día se encuentra cultivado en todas las zonas tropicales, subtropicales y realiza junto con las otras comunidades un papel vital en la estabilización del borde costero (Vásquez, 1997).

➤ Clasificación Taxonómica

Cronquist (1981) catálogo a la especie de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyt

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Myrtales

Familia: Combretaceae

Género: *Terminalia*

Especie: *Terminalia catappa* L.

Nombre común: “Castaña o Almendro”

2.2.9 Biomasa

Se refiere a la cantidad de materia seca generada por los árboles, expresada en términos de peso y descrito a una superficie (t/ha) en concreto. La forma tradicional para definir la biomasa de los troncos, es mediante el cálculo del volumen maderable y la densidad de la madera (MINAM, 2015).

Añadiendo Cairns et al. (1997) menciona que la biomasa aérea como peso seco muestra con un 50% de carbono, la biomasa de árboles leñosos se focaliza sobre todo en los sistemas de bosques, ya que éstos contienen alrededor del 70-90% de la biomasa aérea y subterránea.

Domínguez et al. (2009) menciona sobre los factores de expansión que son empleados para lograr una valoración de la biomasa, abarcando todos sus componentes como el tronco, ramas, hojas y frutos, por lo general se usa la multiplicación de la densidad básica promedio por el volumen de cada árbol.

2.2.10 Ecuación alométrica de la biomasa

La utilización de ecuaciones alométricas permiten cuantificar la biomasa, así como la necesidad de conocer las proporciones mediante de los elementos estructurales de los árboles como la raíz, fuste, corteza, ramas y hojas (Aquino et al., 2015; Sanquetta et al., 2015).

Según Birdsey et al. (2013). Estas ecuaciones determina la relación entre las magnitudes del árbol como diámetro (D) con biomasa total (Bt) o la contenida en algún elemento estructural.

2.3 Marco legal

Ley de la Constitución de la República del Ecuador 2008

Título I: Elementos constitutivos del Estado

Capítulo segundo: Derechos del buen vivir

Sección segunda: Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir,

sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.13).

Sección sexta: Hábitat y vivienda

Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajos los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural. El ejercicio del derecho a la ciudad se basa en la gestión democrática de esta, en la función social y ambiental de la propiedad y de la ciudadanía (p.17).

Título VII: Régimen del Buen Vivir

Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales

Sección primera: Naturaleza y ambiente

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental.

Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a: Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado (p.122).

Sección segunda: Biodiversidad

Art. 400.- El Estado ejerce la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Conforme al artículo 403, el Estado no se comprometerá en Convenios o Acuerdos de cooperación que incluyan cláusulas que menoscaben la conservación, el manejo sustentable de la biodiversidad, la salud humana y los derechos colectivos de la naturaleza (p.123).

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador, único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial (p.123).

Art. 405.- Es sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión. Las personas naturales o jurídicas

extranjeras no podrán adquirir ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley (p.124).

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los parámetros, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos- costeros (p.124).

Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energía alternativas

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (p.125).

Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992).

La República del Ecuador suscribió el Convenio sobre Diversidad Biológica, instrumento internacional cuyo “Programa de Trabajo sobre Áreas Protegidas” y el Mandato de Jakarta incluyen un eje dedicado a las áreas marinas y costeras protegidas, en el cual se reconoce la importancia de estos espacios y se promueve su manejo integral y sustentable con miras a crear y fortalecer sistemas nacionales y crear redes de conservación a nivel regional y global.

Su objetivo primordial es la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Manda a cada país miembro a establecer un sistema de áreas protegidas, ordenación de las áreas, desarrollo de zonas adyacentes y preservación y mantenimiento de conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales que respeten estilos tradicionales de vida para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad.

Convenio de la Tierra de Río de Janeiro (1992).

Es un tratado internacional en el que se trató entre otras cosas la necesidad de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, fueron ratificados en la Cumbre, la Declaración de Principios relativos a los Bosques y el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Después de la cumbre Río en 1992, se llevó a cabo la Cumbre de la Tierra Río+20, se celebró del 20 al 22 de junio de 2012 en Brasil., incluyo lo siguiente: 1. El fortalecimiento de los compromisos políticos en favor del desarrollo sustentable. 2. El balance de los avances y las dificultades vinculados a su implementación. 3. Las respuestas a los nuevos desafíos emergentes de la sociedad.

Convención relativa a los Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, RAMSAR (1992).

Publicado en el Registro Oficial No. 647 de 6 de marzo de 1995. En su Art. 1 se establece: “Los objetivos del presente Convenio, que se han de perseguir de conformidad con sus disposiciones pertinentes, son la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a

esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada.”

Firmada en la ciudad de Ramsar, Irán en 1971, fue ratificada por Ecuador el 7 de enero de 1994 (Registro Oficial No. 33 del 24 de septiembre de 1992). Persigue la conservación de los humedales como protección de los hábitats de especies bioacuáticas.

En octubre del 2000 la Isla Santay fue declarada por la Convención Ramsar como un humedal de importancia internacional.

Código Orgánico del Ambiente (2018).

Libro Preliminar

Título II: De los derechos, deberes y principios ambientales

Art. 4.- Disposiciones comunes. Las disposiciones del presente Código promoverán el efectivo goce de los derechos de la naturaleza y de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrados, de conformidad con la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles, de igual jerarquía, interdependiente, progresivos y no se excluyen entre sí.

Para asegurar el respeto, la tutela y el ejercicio de los derechos se desarrollarán las garantías normativas, institucionales y jurisdiccionales establecidas por la Constitución y la Ley. Las herramientas de ejecución de los principios, derechos y garantías ambientales son de carácter sistémico y transversal (p.12).

Libro segundo del patrimonio natural

Título I: De la conservación de la biodiversidad

Art. 29.- Regulación de la biodiversidad. El presente título regula la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes. Asimismo, regula la identificación, el acceso y la valoración de los bienes y los servicios ambientales (p.20).

Código Orgánico Integral Penal.

Capítulo Cuarto: Delitos contra el ambiente y la naturaleza y Pacha Mama

Sección primera: Delitos contra la biodiversidad

Art. 247.- La persona que cace, pesque, capture, recolecte, extraiga, tenga, transporte, trafique, se beneficie, permite o comercialice, especímenes o sus partes, sus elementos constitutivos, productos y derivados, de flora y fauna silvestre terrestre, marina o acuática, de especies amenazadas en peligro de extinción y migratorias, listadas a nivel nacional por la Autoridad Ambiental Nacional, así como instrumentos o tratados internacionales ratificados por el Estado, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años (p.94).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El presente estudio se designó como investigación de campo y laboratorio de nivel descriptivo, por el cual se observarán las características principales que presenta la especie exótica (*Terminalia catappa* L.) en el área de recreación Isla Santay. Por lo tanto, se realizará registro, análisis e interpretación de los datos obtenidos.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación se orientó como no experimental o de campo, debido a que se procederá a realizar monitoreos, generando información primaria de la especie exótica estudiada, de tal forma que no alteramos las variables ni las condiciones existentes en la isla Santay. De allí su carácter de investigación no experimental.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. *Variable independiente*

La variable independiente se la realizará por medio de los indicadores de:

- Clases de altura

3.2.1.2. *Variable dependiente*

Diámetro a la altura del pecho

Biomasa total (kg/planta)

Cantidad de carbono capturado por la *Terminalia Catappa* L. (Kg).

3.2.2 Tratamiento

El presente estudio presenta un tratamiento estadístico para los individuos estudiados de *Terminalia catappa* L. en el área recreación isla Santay. Los individuos de *Terminalia catappa* L. se agruparán en cuatro clases de alturas correspondiente a clase 1, clase 2, clase 3 y clase 4, acorde a la altura mínima y máxima.

Para la primera clase corresponderá a los árboles de rango de altura de 0 m a 3 m de alto. La segunda clase corresponde a los árboles mayor de 3 m de alto hasta 6 m de alto. La tercera clase corresponde a los árboles mayor de 6 m hasta 9 m de alto y por último la cuarta clase corresponde a los árboles mayor de 9 m de alto en adelante.

3.2.3 Recolección de datos

3.2.3.1 Recursos

Los recursos que se utilizarán en la presente investigación son:

❖ Recursos bibliográficos

- Tesis
- Artículos científicos
- Libros
- Páginas web de instituciones
- Mapas

❖ Equipos y materiales

- Cinta métrica
- Botas de caucho
- Esferográfico
- Lápiz
- Tablero de apuntes

- Formatos de campo
- Embarcación
- ❖ Recursos tecnológicos
 - Laptop
 - Impresoras
 - USB
 - Cámara fotográfica
 - Equipos GPS (Garmin Oregon 680)

3.2.3.2 Métodos y técnicas

La metodología empleada es la determinación y los puntos del área a analizar, por lo que las fases del carbono de la vegetación son muy dinámicas y múltiples, mediante sistema de información proporcionada por los inventarios de vegetación presente en la isla con el uso del GPS y estudios realizados en la isla, donde se determinó las zonas de mayor presencia del almendro (*Terminalia catappa* L.).

La cuantificación de la biomasa de los árboles estudiados y el secuestro de CO₂ en la isla Santay corresponde a una investigación descriptiva (Carrasco, 2009), cuyo boceto es el siguiente:

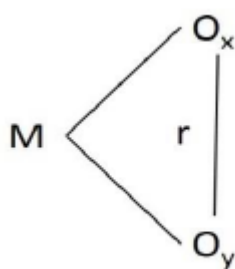


Figura 1. Diseño de muestreo
Fuente: (Carrasco, 2009)

Donde:

M: muestra de estudio;

Ox: variable independiente;

Oy: variable dependiente;

r: coeficiente correlacional.

Teniendo en cuenta el punto de vista conservacionista de esta investigación, se empleará el método no destructivo indirecto con lo cual se determinará la biomasa, depósito de carbono, secuestro de dióxido de carbono (CO₂), por lo que se usará ecuaciones alométricas, que posibilita explicar la relación entre la biomasa y calcular el carbono capturado (Sígala et al., 2016), a partir de las características dendrométricas de fácil medición (como su diámetro o su altura), por lo que son componentes de importancia para estimar la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono.

3.2.3.3 Medición de los individuos investigados

Mediante un previo monitoreo, en el bosque seco y senderos de la isla Santay, se empezará con la identificación de los árboles de *Terminalia catappa* L., del mismo modo se medirá el diámetro a la altura del pecho (DAP), utilizando cinta diamétrica y la altura total mediante el uso del clinómetro. Asimismo, georreferenciado cada árbol para conocer su localización.

La información que se obtendrá del campo en el cual se establecerá en una tabla de base de datos en Excel, determinando los siguientes cálculos:

Tabla 1. Base de datos de las variables.

Nº	Coordenadas	DAP	Ht	TBV	Biomasa	CT	CO ₂
		(m)	(m)	(m ²)	Total (t)	(t)	(t)
x	X	x	x	x	X	X	X

Morales, 2021

3.2.3.4 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Empleando la siguiente fórmula, se determinará el DAP, esta fórmula fue sugerida por Chambi, (2001).

$$\text{Ecuación 1. } DAP = c/\pi$$

Dónde:

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (1,30 m)

c = Medida de la circunferencia (m)

π = 3,1416.

3.2.3.5 Altura total

Se obtendrá la altura total de cada árbol, haciendo uso de la siguiente fórmula.

$$\text{Ecuación 2. } Ht = \left[\left(\frac{Lc}{10} \right) \times d \right] + ho$$

Dónde:

Ht = Altura total del árbol (m)

Lc = Lectura del clinómetro (%)

d = Distancia entre el operador y el árbol (m)

ho = Altura hasta el ojo del operador (m)

3.2.3.6 Cálculo del Biovolumen

Los datos de las mediciones de diámetro y altura, se analizarán utilizando Biovolumen descrita por Brown (1997).

$$\text{Ecuación 3. } TBV = 0.4 \times D \times H$$

Donde:

D= DAP

h= altura total

3.2.3.7 Cálculo de Biomasa aérea de árboles.

La estimación de la biomasa aérea, se calculará por un método no destructivo propuesto por Brown (1997).

$$\text{Ecuación 4. Biomasa aérea} = \text{Densidad de la madera} \times \text{TBV}$$

Donde:

Densidad de la madera: Densidad básica del almendro (0.058kg/m³).

TBV: Biovolumen.

3.2.3.8 Biomasa Radicular

La biomasa radicular del suelo se calculará mediante la fórmula propuesta por Hangarge et al., (2012) citado por Das y Mukherjee, (2015).

$$\text{Ecuación 5. Biomasa radicular: } 0.26 \times \text{Biomasa aérea}$$

3.2.3.9 Biomasa Total

Para este punto se utilizará la fórmula planteada por Brown (1997).

$$\text{Ecuación 6. Biomasa total (TB)} = \text{Biomasa aérea} + \text{Biomasa subterránea}$$

3.2.3.10 Stock de Carbono en tonelada

La biomasa total se multiplicará por 0,5 debido a que la materia seca también comprende al 50% de carbono capturado por la biomasa, para ello se empleará la siguiente Fórmula (IPCC, 2003).

$$\text{Ecuación 7. CT} = \text{BT} \times \text{FC}$$

Dónde:

CT = carbono total en toneladas (Kg)

BT = biomasa Total en toneladas (Kg)

FC= 0.5

3.2.4 Análisis estadístico

Se aplicará la estadística descriptiva para cuantificar los resultados obtenidos mediante la recolección de datos para observar el fenómeno en su contexto natural para después analizarlo y así conocer cómo se encuentran los factores que afectan el valor entre grupos.

Tabla 2. Resultado de los cálculos de los parámetros.

	Total	Media	Mediana	Moda	Varianza	Desviación Estándar
Biomasa (t)	X					
Stock de Carbono (t)	X					
Dióxido de Carbono (t)	X					

Morales, 2021

El análisis estadístico descriptivo se realizará a través de:

3.2.4.1 Media

Salazar y Castillo (2018) menciona que la media es un conjunto de mediciones, es la medida de tendencia central más conocida. Se representa como $\bar{x}$ a la media muestral, “x” es la suma de todos los valores de la muestra o población divididos por el número de sucesos.

Para calcular la media aritmética se aplicará sumando todos los datos y dividiendo entre el número total, expresada con la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N}$$

3.2.4.2 Mediana

No existe una fórmula que ayude a calcular el valor de la mediana, está sujeta a la orden en la que esté el grupo de datos. Hay que tener en consideración si el número total de datos es par o impar.

3.2.4.3 Moda

Está simbolizada por M_o y es aquel valor que representa la mayor frecuencia absoluta.

3.2.4.4 Medidas de dispersión

3.2.4.4.1 Desviación Estándar

Se representará con una “S” cuando es una muestra y con la letra sigma minúscula cuando es una población, también conocida como una medida de dispersión más usada, depende de todos los valores de la distribución (Bermúdez, 2017).

3.2.4.4.2 Varianza

La varianza es el promedio aritmético de las diferencias entre cada uno de los valores de un conjunto de datos (Bermúdez, 2017).

$$var(x) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Donde:

X: variable sobre la que se pretenden calcular la varianza

x_i : observación número i de la variable X . i puede tomará valores entre 1 y n .

n : número de observaciones.

$\bar{x}$: Es la media de la variable X

3.2.4.4.3 Coeficiente de variación

El porcentaje del coeficiente de variación se obtiene dividiendo la desviación típica entre el valor absoluto de la media y se lo expresa en porcentaje (Ramiro y Caballero, 2011).

3.2.4.5 Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de varianza es fundamental, ya que se definirá la disparidad entre las medias de cada una de las clases de altura. Como mencionan Ordaz, Melgar, y Rubio, (2010), la aplicación de la técnica ANOVA se basa en un contraste de hipótesis. Donde, la hipótesis nula que se contrasta en el ANOVA de un factor es que las medias poblacionales son iguales:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i = \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

Si se acepta la hipótesis nula, significará que los grupos no difieren en el valor medio de la variable dependiente y que, en consecuencia, dicho valor medio se podrá considerar independiente del factor.

3.2.4.6 Prueba Tukey -Kramer

La prueba de Tukey (1949), es una prueba estadística empleada por lo general en conjunto con ANOVA. Este estadístico es de uso frecuente en experimentos que implican un número elevado de comparaciones. Se aplica al rechazar la hipótesis de igualdad de medias en la prueba de ANOVA.

3.2.5 Cronograma de actividades

En la Figura 7 en anexos se describen las actividades que se realizaron en la presente investigación.

4. Resultados

4.1 Ubicación de poblaciones de *Terminalia catappa* L. en el bosque seco abierto de Isla Santay, mediante visitas de campo y revisión bibliográfica.

La zona de estudio se encuentra ubicada en los alrededores de la ciclovía a Durán isla Santay, en la cual, mediante monitoreo de campo, usando la información proporcionada por los guardaparques de isla Santay y estudios realizados por Lara (2018) y Matamoros (2018), se ubicó la población de *Terminalia catappa* L. en un área de media hectárea cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Coordenadas de la zona de estudio.

Puntos de la parcela	Coordenadas Geográfica
1	2°12'17.90"S; 79°52'9.72"O
2	2°12'17.11"S; 79°52'11.13"O
3	2°12'20.65"S; 79°52'11.35"O
4	2°12'19.75"S; 79°52'12.80"O

Morales, 2021

Se muestrearon en total 80 individuos de la *Terminalia catappa* L. agrupados acorde a sus clases diamétricas detalladas en la Tabla 4.

Tabla 4. Individuos por clase de altura.

Clases de altura (m)	Individuos
1 (0<3)	20
2 (3<6)	20
3 (6<9)	20
4 (>9)	20

Morales, 2021

En la Figura 6 se muestra el mapa de ubicación de la población de *Terminalia catappa* L. en la ciclovía hacia Durán, isla Santay.

En total, se contabilizaron en un área de media hectárea 80 individuos de *Terminalia catappa* L. como se muestra en la Figura 6, 20 individuos de cada clase con una altura mínima de 0 m y una máxima de 15 m, como se observa en la Tabla 4, según el inventario forestal de la isla Santay, en el área estudiada existe un estimado de 240 individuos en total de *Terminalia catappa* L.

4.2 Obtención de los parámetros característicos de los individuos de *Terminalia catappa* L. mediante mediciones de campo para su utilización en la ecuación alométrica en Isla Santay.

Mediante mediciones de campo se obtuvo los parámetros de altura total y diámetro a la altura del pecho de 80 individuos en media hectárea, los mismos están agrupado como lo especifica la Tabla 4, con su respectiva coordenada geográficas, como lo muestra en la Tabla 5 hasta la Tabla 8.

Tabla 5. Primera clase acorde al rango de altura (0m <3m).

N.º	Latitud	Longitud	DAP(m)	Altura
1	2.12517133	79.522818884	0,12	2,20
2	2.12517133	79.522818884	0,07	2,00
3	2.122087568	79.521296876	0,12	2,32
4	2.122094804	79.52131448	0,16	2,00
5	2.121897812	79.521067808	0,12	2,90
6	2.121880532	79.52106068	0,12	2,95
7	2.121883268	79.52106302	0,05	1,10
8	2.121891476	79.521073496	0,04	1,47
9	2.121928412	79.521070292	0,09	2,20
10	2.121916784	79.521081596	0,05	0,97

Continuación de la Tabla 5.				
11	2.12192852	79.521069716	0,06	0,70
12	2.12192853	79.521069717	0,04	0,60
13	2.121944108	79.521067628	0,16	2,99
14	2.121944612	79.521106184	0,06	2,50
15	2.121944468	79.521119144	0,07	2,83
16	2.121929312	79.521122384	0,078	2,90
17	2.121932372	79.521115364	0,08	2,50
18	2.121919628	79.521129224	0,12	2,92
19	2.121992852	79.521177932	0,05	1,75
20	2.121992853	79.521177933	0,04	1,77
Promedio			0,08	2,08
Mínimo			0,04	0,60
Máximo			0,16	2,99
Desviación Estándar			0,03	0,78
Varianza			0,0015	0,61

Morales, 2021

En la Tabla 5, muestra la primera clase de árboles estudiados ($0\text{ m} < 3\text{ m}$), el valor promedio de altura fue igual a 2,08 m, con una altura máxima de 2,99 m, una la altura mínima de 0,60 m, una desviación estándar de 0,78 m y una varianza de 0,61 m. Con respecto al diámetro a la altura del pecho el promedio para la primera clase de altura fue 0,08 m con un valor máximo igual a 0,16 m, el mínimo de 0,04 m, con una desviación estándar de 0,03 m y una varianza de 0,0015 m.

Tabla 6. Segunda clase acorde al rango de altura (3m <6m).

N.º	Latitud	Longitud	DAP (m)	Altura
21	2.214176	79.874531	0,25	5,50
22	2.122122992	79.521298676	0,24	3,50
23	2.122122992	79.521298676	0,29	5,20
24	2.122125404	79.521283016	0,2	4,02
25	2.122082924	79.521261488	0,19	4,50
26	2.124871988	79.5225844	0,3	5,93
27	2.122127924	79.521340184	0,18	3,67
28	2.122115216	79.521335936	0,19	3,50
29	2.122072016	79.521281468	0,19	3,20
30	2.122140308	79.521300152	0,18	3,30
31	2.1221384	79.5213395	0,17	4,50
32	2.122135052	79.521345512	0,25	6,00
33	2.12212724	79.5213354764	0,42	4,20
34	2.122142468	79.521379604	0,33	4,70
35	2.122144088	79.521376832	0,29	4,20
36	2.122151756	79.5213674	0,29	4,00
37	2.122168856	79.52135174	0,21	4,30
38	2.122168352	79.521359048	0,21	5,50
39	2.122069352	79.521290288	0,28	5,00
40	2.122061612	79.522818884	0,26	5,30
Promedio			0,246	4,50
Mínimo			0,17	3,20
Máximo			0,42	6,00
Desviación estándar			0,063	0,87
Varianza			0,004	0,75

En la Tabla 6, muestra los datos de la segunda clase de árboles estudiado ($3\text{m} < 6\text{ m}$), el valor promedio con respecto a la altura fue igual a 4,50 m de alto con una altura máxima de 6,00 m, una la altura mínima de 3,20 m, una desviación estándar de 0,87 m y una varianza de 0,75 m. Con sobre el diámetro a la altura del pecho el promedio para la segunda clase fue 0,24 m, con un valor máximo igual a 0,42 m, el mínimo de 0,17 m, con una desviación estándar de 0,06 m y una varianza de 0,004 m.

Tabla 7. Tercera clase acorde al rango de altura ($6\text{m} < 9\text{m}$).

N.º	Latitud	Longitud	DAP(m)	Altura
41	2.12517043	79.52282144	0,54	8,17
42	2.122683584	79.521858152	0,51	7,23
43	2.124871016	79.5225874	0,53	7,93
44	2.122087424	79.521307244	0,29	6,13
45	2.12210564	79.52127506	0,56	8,02
46	2.122125332	79.521291188	0,25	6,50
47	2.122126088	79.52129918	0,4	7,00
48	2.122145204	79.52136542	0,46	7,30
49	2.122167308	79.5213539	0,345	7,00
50	2.122161512	79.521356348	0,31	6,10
51	2.122063844	79.521297452	0,28	6,10
52	2.122071224	79.52129612	0,41	8,04
53	2.122068452	79.521291404	0,47	8,07
54	2.122016648	79.521225848	0,4	7,02
55	2.121871856	79.521008228	0,27	6,15
56	2.121927512	79.5210.50096	0,12	6,05

Continuación de la tabla 7.				
57	2.121943352	79.521083576	0,13	6,20
58	2.121955088	79.521094088	0,2	6,50
59	2.121927512	79.521167384	0,24	6,83
60	2.121942884	79.521176024	0,37	8,10
Promedio			0,35	7,02
Mínimo			0,12	6,05
Máximo			0,56	8,17
Desviación Estándar			0,13	0,80
Promedio			0,02	0,63

Morales, 2021

En la Tabla 7, muestra la tercera clase de árboles estudiado ($6\text{ m} < 9\text{ m}$), el valor promedio de altura fue igual a 7,02 m de alto con una altura máxima de 8,17 m, una altura mínima de 6,05 m, una desviación estándar de 0,80 m y una varianza de 0,63 m. Con respecto al diámetro a la altura del pecho el promedio para el tercer grupo diamétrico fue 0,35 m con un valor máximo igual a 0,56 m, el mínimo de 0,12m, con una desviación estándar de 0,13 m y una varianza de 0,02 m.

Tabla 8. Cuarta clase acorde al rango de altura (>9m).

Nº	Latitud	Longitud	DAP (m)	Altura
61	2.122069568	79.52129216	0,53	11,00
62	2.122072592	79.521290108	0,48	9,15
63	2.122022696	79.521226604	0,37	9,62
64	2.1219422	79.521122492	0,37	9,15
65	2.121937412	79.521134228	0,4	9,05
66	2.12193284	79.521136064	0,315	9,10

Continuación de la tabla 8.				
67	2.12192762	79.521094808	0,38	9,00
68	2.121913904	79.521097256	0,76	14,00
69	2.121909368	79.52108822	0,375	9,03
70	2.121908612	79.521071552	0,5	12,10
71	2.121901664	79.521071336	0,53	10,30
72	2.121862064	79.521054416	0,79	14,10
73	2.12118729	79.52999408	0,42	9,10
74	2.121952424	79.521084116	0,3	9,50
75	2.121942344	79.521165548	0,51	10,20
76	2.12193446	79.521170768	0,79	14,90
77	2.121951344	79.521172028	0,33	9,10
78	2.121911924	79.521167852	0,58	11,10
79	2.12190638	79.521193916	0,6	12,30
80	2.12191106	79.5212108	0,53	12,20
Promedio			0,49	10,70
Mínimo			0,30	9,00
Máximo			0,79	14,90
Desviación Estándar			0,15	1,93
Varianza			0,02	3,74

Morales, 2021

En la Tabla 8, muestra la cuarta clase de árboles estudiado (>9 m), el valor promedio de altura fue igual a 10,70 m de alto con una altura máxima de 14,90 m, una la altura mínima de 9,00 m, una desviación estándar de 1,93 m y una varianza de 3,74 m. Con respecto al diámetro a la altura del pecho el promedio para la cuarta clase de altura fue 0,49 m con un valor máximo igual a 0,79 m, el

mínimo de 0,30 m, con una desviación estándar de 0,15 m y una varianza de 0,02 m.

4.2.1 Diámetro a la altura del pecho en las diferentes clases.

La Figura 2 muestra la comparación de los valores totales con respecto al promedio, mínimos, máximos, desviación estándar y varianza, del diámetro a la altura del pecho.

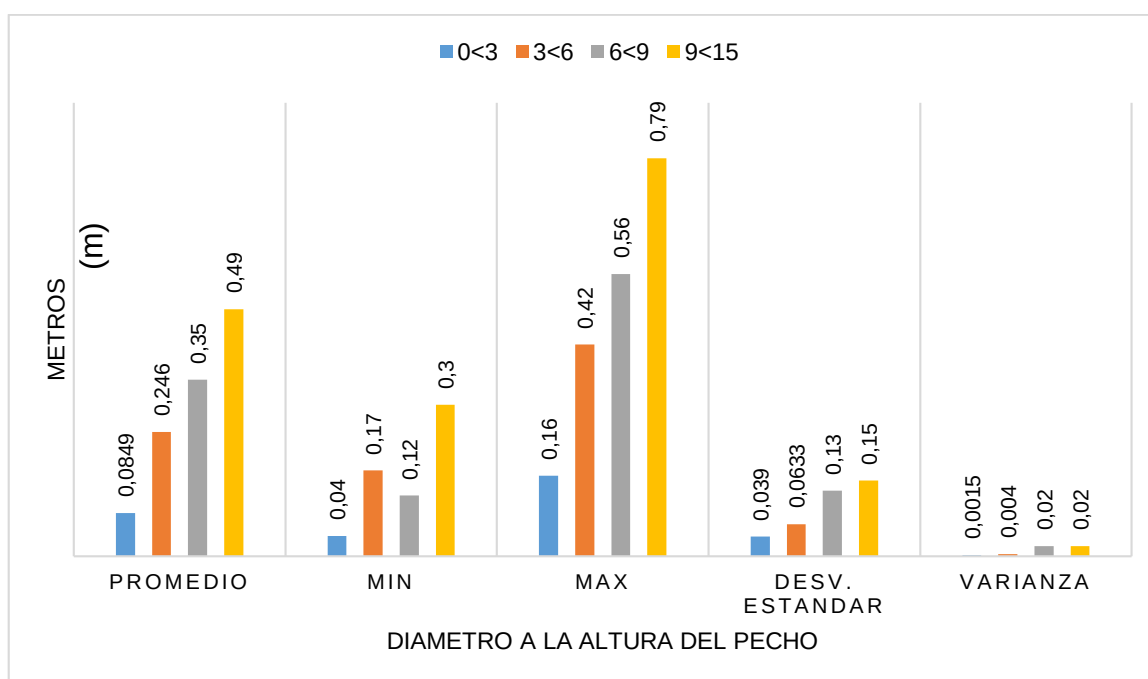


Figura 2. Comparación del diámetro a la altura del pecho de las clases de altura. Morales, 2021

El mayor promedio se encuentra en la clase de altura del grupo 4, el cual posee 0,49 m, en comparación con el grupo 1 (0m<3m) que tiene el menor valor con 0,085; Del muestreo de la *Terminalia catappa* L., el 0,04 m representa el mínimo del “DAP” y se encuentra en el rango de (0m<3m), y el máximo se contabilizó en 0,79 m y se encuentra en el rango de (>9m).

4.2.2 Altura Total en las diferentes clases de alturas.

En la Figura 3 se muestra la comparación de los valores promedios, mínimos, máximos, desviación estándar y varianza, con respecto a la altura de los cuatro grupos.

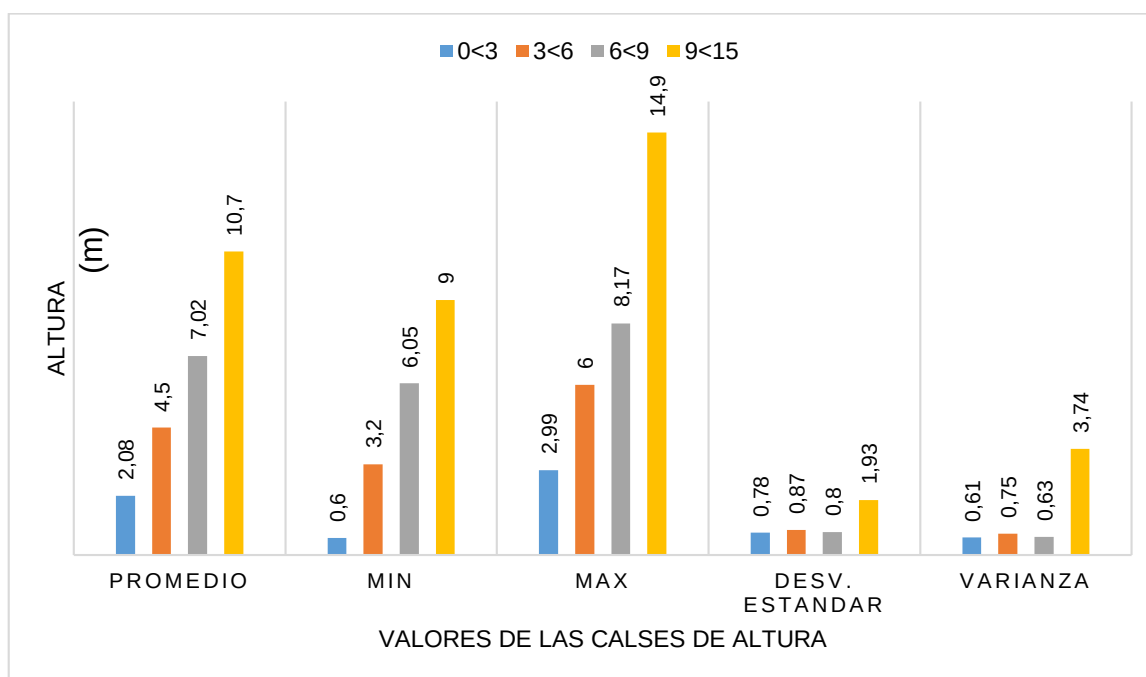


Figura 3. Comparación de la altura total en las diferentes clases de altura. Morales, 2021

Como lo muestra la Figura 3 el que posee el mayor promedio en referencia a la altura es el de (>9m) con 10,7m, con un mínimo de 0,6m del rango (0<3) y un máximo de 14,9 del rango (>9m).

4.3 Obtención de la cantidad de carbono secuestrado por *Terminalia catappa* L. a través de las ecuaciones alométrica identificando su papel en la huella de carbono en Isla Santay.

En base a los valores muestreados con respecto al diámetro a la altura del pecho y altura total, que se encuentran en la Tabla 5 a la Tabla 8, se aplicó las fórmulas detalladas en la metodología obteniendo los siguientes resultados para cada variable como muestra la Tabla 16 a la Tabla 18 en anexos.

4.3.1 Estimación de biomasa Total

En la Figura 4 se observa la biomasa total y promedio de *Terminalia catappa* L. (kg) a partir del biovolumen, de los 80 individuos estudiados en la zona de estudio.

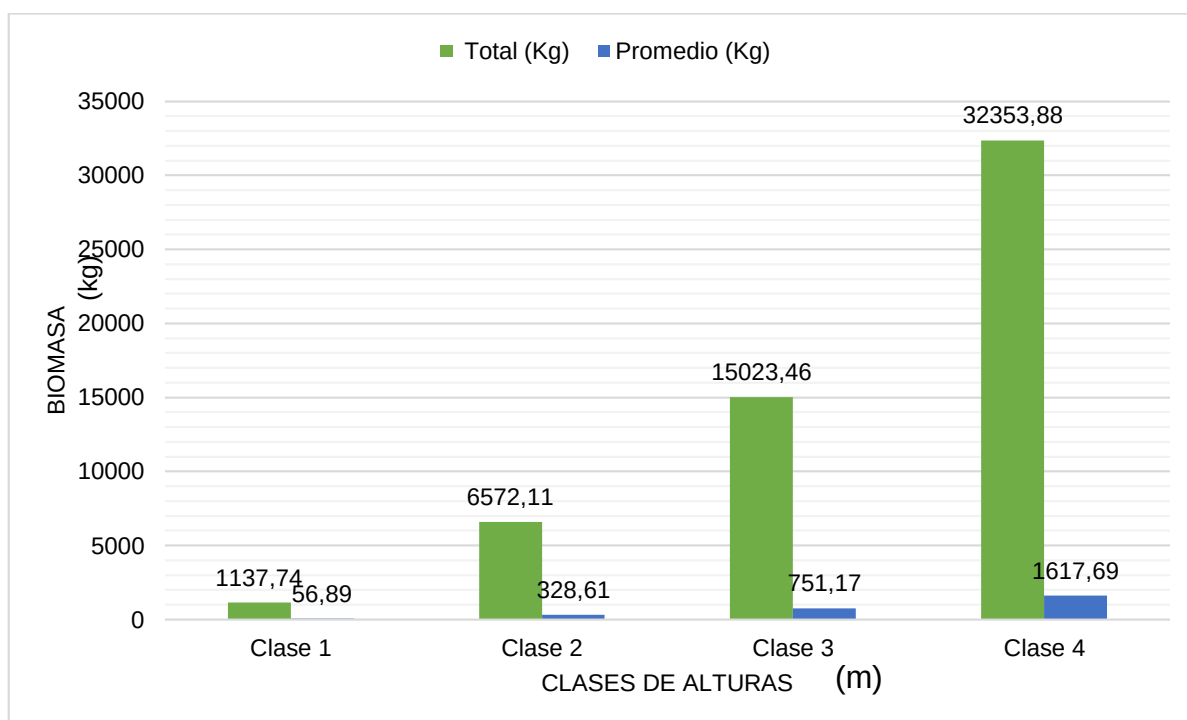


Figura 4. Biomasa total estimada de la *Terminalia catappa* L a partir del biovolumen por clases acorde a la altura.
Morales, 2021

Como se observa en la Figura 4, la clase 4 presenta la mayor producción promedio de biomasa con 1617,69 kg, equivalente a 32353,88 kg en total. En segundo lugar, la clase 3 con un promedio de biomasa de 751,17 kg, con un total de 15023,46 kg. Seguido de la clase 2 con un promedio de biomasa de 328,61 kg, con un total de 6572,11 kg. Mientras que la clase 1, presenta la menor producción promedio de biomasa de 56,89 kg, equivalente al total de 1137,74 kg. La suma de la biomasa de los cuatros grupos de altura muestra un total estimado de 55087,19 kg y un promedio estimado de 688,59 de los 80 individuos estudiados.

4.3.1.1 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey.

Con respecto al análisis estadístico, en la Tabla 9 se presentan los resultados del ANOVA con las fuentes de variabilidad de biomasa, en función de las variables diámetro a la altura de pecho y altura total.

Tabla 9. Análisis de varianza de la captura de carbono de las clases de altura.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G. de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P*
Entre clases	27915748,07	3	9305249,36	46,51	3,5646 E-17
Dentro de las clases	15204177,59	76	200054,96	V. C de F*	
Total	43119925,65	79	545821,84	2,7249	

Morales, 2021

En la Tabla 9 se observa que el valor de probabilidad es menor que $\alpha = 0,05$ determinando que existen diferencias significativas en la biomasa por clase de altura. Posterior al análisis de varianza, en la Tabla 10, se realiza la prueba estadística de Tukey donde se encuentran los resultados de la comparación de medias aplicando con una confianza de 95%.

Tabla 10. Comparación de medias prueba Tukey.

Clases	N	Media (kg)	Agrupación
Clase 4	20	1618	A
Clase 3	20	751,20	B
Clase 2	20	328,6	C
Clase 1	20	56,8	C

Morales, 2021

Como resultado en la Tabla 10, se observa que existen diferencias significativas entre las clases estudiadas excepto la clase 2 y la clase 1 al compartir una la letra C sus medias no son significativamente diferentes. A diferencia de la clase 2 con una media de 328,6 kg y la clase 3 con 751,2 kg. Del mismo modo la clase 3 y la clase 4, no comparte semejanza en la agrupación, confirmando que sus medias son significativamente diferentes, la clase 3 presentó una media de 751,2 kg y la clase 4 presentó una media de 1618 kg demostrando que es significativamente diferente en comparación con las otras clases.

Determinando que existen diferencias significativas en la captura de carbono por clases de altura, indicando que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

4.3.2 Estimación de carbono secuestrado

En la Figura 5, se presentan los valores estimados de promedio y total de carbono secuestrado (kg), de diferentes clases de altura.

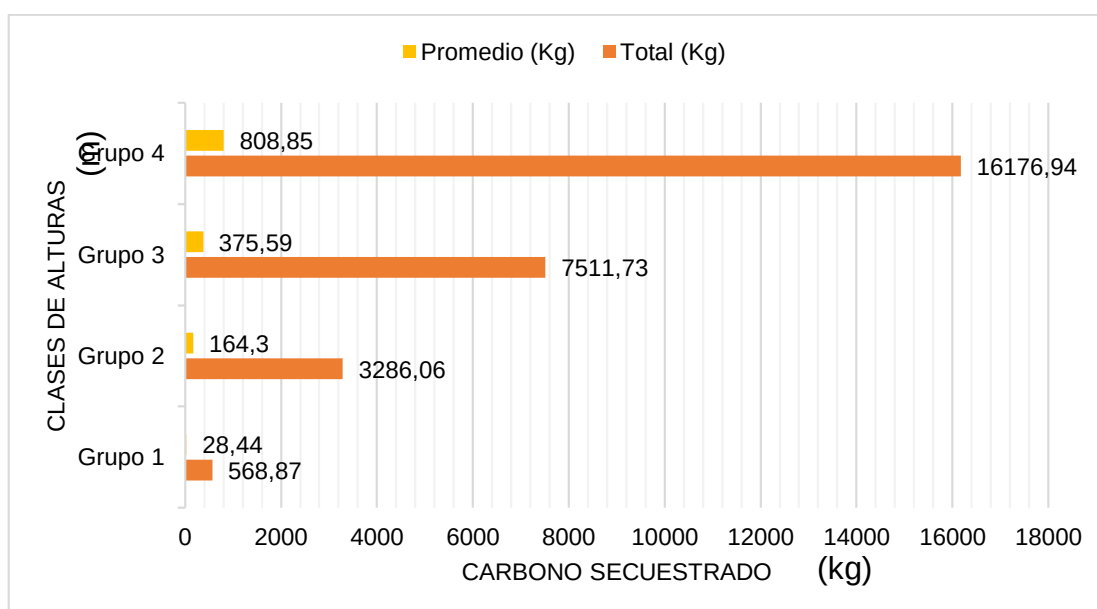


Figura 5. Secuestro de carbono estimada de la *Terminalia catappa* L a partir de la biomasa total por clases acorde a la altura
Morales, 2021

Como se observa en la Figura 5, el grupo 4 presenta la mayor producción promedio de secuestro de carbono con 808,85 kg, equivalente a 16176,94 kg en total. En segundo lugar, la clase 3 con un promedio de secuestro de CO₂ de 375,59 kg, con un total de 7511,73 kg. Seguidamente de la clase 2 con un promedio de secuestro de CO₂ de 164,30 kg, con un total de 3286,06 kg. Mientras que la clase 1, presenta la menor producción promedio de secuestro de CO₂ de 28,44 kg, equivalente al total de 568,87 kg.

La suma del carbono secuestrado de los cuatros grupos de altura muestra un total estimado de 27543,60 kg y un promedio estimado de 344,29 de los 80 individuos estudiados.

4.3.2.1 Estimación de secuestro de carbono en isla Santay

La *Terminalia catappa* L., se encuentra distribuida en el área del bosque seco abierto con una extensión de 374 hectáreas como lo menciona Lara (2018), en la zona de estudio se cuantificó 240 individuos de *Terminalia catappa* L.

En la Tabla 11 se detalla el secuestro de carbono estimado en la isla Santay en un área de media hectárea, así también el posible estimado total de carbono secuestrado para toda la isla Santay.

Tabla 11. Estimado de carbono Total almacenado en isla Santay.

	Estimado de carbono secuestrado por media hectárea (t)	Estimado de carbono almacenado por una hectárea (t).	Estimado de carbono almacenado en el ANRIS (t)
Total	82,62	165,25	61799,76
Morales, 2021			

El estimado de carbono por hectárea es de 165,25 toneladas multiplicado por las hectáreas de bosque seco, tendríamos el estimado de carbono almacenado en isla Santay en toneladas con 61799,76 toneladas.

4.3.3 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey.

Con respecto al análisis estadístico, en la Tabla 12 se presentan los resultados del ANOVA con las fuentes de variabilidad del secuestro de carbono, en función de las variables diámetro a la altura de pecho y altura total.

Tabla 12. Análisis de varianza.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G. de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P*
Entre clases	6978948,37	3	2326316,12	46,51	3,56478E-17
Dentro de las clases	3801058,688	76	50013,93	V. C de F*	
Total	10780007,06	79	136455,78	2,72494	

Morales, 2021

Según el análisis de varianza, se evidenciaron diferencias entre el secuestro de carbono para las cuatro clases de altura. Se observa que el valor de la probabilidad (3,56478E-17) es menor que $\alpha = 0,05$ determinando que existen diferencias significativas en el secuestro de carbono por clase de altura.

Del mismo modo, en la Tabla 13, se encuentran los resultados de la comparación de medias aplicando la prueba estadística de Tukey con una confianza de 95%.

Tabla 13. Comparación de medias prueba Tukey.

Clases	N	Media (kg)	Agrupación
Clase 4	20	808,8	A
Clase 3	20	375,6	B
Clase 2	20	164,3	C
Clase 1	20	28,44	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Morales, 2021

En la Tabla 13 se observa que existen diferencias significativas entre los grupos estudiados excepto la clase 2 y la clase 1 al compartir una la letra C sus medias no son significativamente diferentes. A diferencia de la clase 2 con una media de 164,3 kg y la clase 3 con 375, 6 kg. Del mismo modo la clase 3 y la clase 4, no comparte semejanza en la agrupación, confirmando que sus medias son significativamente diferentes, la clase 3 presentó una media de 375,6 kg y la clase 4 presentó una media de 808,8 kg demostrando que es significativamente diferente en comparación con las otras clases.

Determinando que existen diferencias significativas en la captura de carbono por clases de altura, indicando que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

5. Discusión

Mediante monitoreos de campo se ubicó una población de 240 individuos de *Terminalia catappa* L. a lo largo de la ciclovía hacia Durán en isla Santay, en una extensión de media hectárea. A un grupo de 80 individuos distribuidos en cuatro clases de altura (0<3 m, 3<6 m, 6<9 m y > 9 m).

En los individuos registrados se evidencio un máximo de altura igual a 14,90 m, con un diámetro de 0,79 m, mientras la altura mínima se registró en 0,60 m con un diámetro a la altura del pecho de 0,04 m. Como era de esperarse existen diferencias notables en las clases de alturas con respecto al diámetro a la altura de pecho y la altura, la primera clase posee un promedio de altura de 2,08 m de alto y el promedio del diámetro a la altura del pecho con 0,084 m, para la segunda clase el promedio de altura fue de 4,50 m de alto y el promedio de diámetro a la altura del pecho fue de 0,24 m, seguido de la clase 3 con un promedio de altura de 7,02 m de alto y el promedio del diámetro a la altura del pecho con un valor de 0,35 m, para la última clase de altura posee un promedio de altura de 10,70 m de alto y un promedio del diámetro a la altura del pecho de 0,49 m.

De acuerdo con los resultados, la biomasa total de las clases de altura es de 55269 kg, en donde la mayor producción de biomasa en los rangos de alturas considerando el biovolumen, se generó en la clase de altura 4, la cual posee un total de biomasa estimada de 32535,88 kg que representa el 58.86%, continua la clase 3 con el total de biomasa estimada de 15023,46 kg que representa el 27.18%, seguido de la clase 2 con el total estimado de 6572,11 kg, representa el 11.89% y en la clase 1 se evidenció la menor producción de biomasa con 1137,74 kg con el 2.05%.

El carbono capturado en la ciclovía hacia Durán, con 240 individuos en media hectárea se contabilizó un total de 82.63 t, con una estimación de captura de carbono en una hectárea con un valor de 165.26 t y un estimado de secuestro de carbono por parte de *T. catappa* de 61799 t en lo que respecta al bosque seco abierto, cuya superficie fue estimada por Lara (2018).

De acuerdo con Díaz et al., (2016) a medida que se incrementa la altura y el diámetro a la altura del pecho, la biomasa y el secuestro de carbono tiende a incrementar con la *Alnus acuminata* K, la misma respuesta se evidenció en *Terminalia catappa* L., que, según los resultados obtenidos, el 58% del total de biomasa corresponde a la clase de altura de 9 m en adelante.

Según Barhetl et al., (2018), un bosque tropical húmedo tiene aproximadamente 400 t/ha de carbono almacenado, en contraste con la captura de la población de *Terminalia catappa* L, que posee un estimado de 165 t/ha de carbono secuestrado, esto evidencia que la diversidad de especies vegetales y las condiciones climáticas propicia el secuestro de carbono.

En una parcela de una hectárea Lozano, Palacios, y Aguirre (2018), obtuvieron resultados de 322,37 t/ha para la biomasa arbórea y 161,07 t/ha para el carbono total de 179 especies del bosque montano bajo de Zamora Chinchipe con precipitación media anual de 1978 mm, con mayor presencia de *Pseudolmedia laevigata*, *Nectandra reticulata*, *Otoba parvifolia*, *Vochysia paraensis*, *Ficus sp.* y *Elaeagia obovata*, estos resultados son ligeramente inferiores comparados con los 165.26 t/ha de capturados por parte de *Terminalia catappa* L en la isla Santay con precipitaciones media anual de 1112,8 mm.

El carbono secuestrado por parte de *Rhizophora mangle* obtenido por Pita (2020), fue significativamente mayor con 743,81 t/ha de carbono captado en la

parcela estudiada. A comparación del carbono capturado por *Terminalia catappa* L. en una hectárea, con un valor total significativamente menor con 165.26 t/ha lo que respecta que captura 5 veces menos a la *Rhizophora mangle*.

Igualmente, Bruno (2019), en el refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas obtuvo como resultado 446,94 t de CO₂ captado en una extensión de 0.15 hectáreas por parte de *Rhizophora mangle* en comparación con el valor promedio de 772.58 t de captura en lo que respecta a la isla Santay por parte de *Terminalia catappa* L en una extensión de 374 hectáreas.

Las 165.26 t/ha de secuestro de carbono obtenidas por *Terminalia catappa* L. resulta menor frente al carbono secuestrado por la especie *Eucalyptus grandis* donde Ramírez y Changa (2019) determinan que el carbono secuestrado es equivalente a 312,10 t/ha.

Para culminar, según los resultados de Aguirre (2017), menciona que los bosques secos de la provincia de Loja poseen un secuestro de carbono de 36'716.400 t con una extensión de 310000 ha, 140 veces mayor en comparación al bosque seco de isla Santay con 374 ha y con secuestro de carbono de 61799,76 t.

6. Conclusiones

En la investigación sobre la captura de carbono en isla Santay por parte de *Terminalia catappa* L. especie exótica, en media hectárea se identificaron un total de 240 individuos de *Terminalia catappa* L. monitoreado a un grupo de 80 individuos distribuidos en cuatro clases de altura ($0 < 3$ m, $3 < 6$ m, $6 < 9$ m y > 9 m).

La primera clase de árboles estudiados ($0 < 3$ m), tiene promedio de altura de 2,08 m y para el diámetro a la altura del pecho el promedio para la primera clase de altura fue 0,08 m. La segunda clase de árboles estudiado ($3 < 6$ m), el promedio con respecto a la altura fue igual a 4,50 m de alto y el promedio del diámetro a la altura del pecho fue 0,24 m. La tercera clase de árboles estudiado ($6 < 9$ m), el valor promedio de altura fue igual a 7,02 m de alto y el promedio al diámetro a la altura del pecho para la tercera clase de altura fue 0,35 m. La cuarta clase de árboles estudiado (> 9 m), el valor promedio de altura fue igual a 10,70 m de alto y el promedio del diámetro a la altura del pecho para la cuarta clase de altura fue 0,49 m.

El carbono total secuestrado por los 80 individuos fue de 27,54 t sobre una superficie de media hectárea acorde a las cuatro clases donde se registró que para la clase 1 con un estimado total de 568,87 kg carbono capturado, para la clase 2 con un estimado total de 3286,06 kg carbono capturado, seguido de la clase 3 con un estimado total de 7511,73 kg carbono capturado y por último la clase 4 con un estimado total de 16176 kg carbono capturado.

En la zona de estudio de media hectárea se obtuvo un total de carbono secuestrado de 82,63 t y con una estimación total de captura de carbono con un valor 61799,76 t en lo que respecta a la isla Santay, lo cual contribuye un impacto positivo al cambio climático y sus efectos.

7. Recomendaciones

Realizar investigaciones referentes al secuestro de carbono y producción oxígeno de los distintos ecosistemas de isla Santay y comparar resultados sobre la importancia del servicio ambiental, así como su valorización económica.

Ejecutar investigaciones para determinar la cantidad de carbono capturada en las distintas especies tanto exóticas como nativas de la isla Santay, para poder generar un inventario de captura de carbono que aporte esta contra en el cambio climático.

Se sugiere utilizar una ecuación alométrica específica para la *Terminalia catappa* L., para determinar si los resultados obtenidos tienen similitud.

Efectuar estudios posteriores a partir del presente trabajo acerca de las medidas de captura de carbono por parte de *Terminalia catappa* L. que permitan cuantificar el impacto ambiental generado tanto los beneficiosos como los dañinos que tiene *Terminalia catappa* L. para los ecosistemas frágiles de isla Santay.

8. Bibliografía

- Adame, P., Uriarte, M., y Brandeis, T. (2014). Diameter growth performance of tree functional groups in Puerto Rican secondary tropical forest. *Forest Systems journal*, 23 (1), 52-63.
- Aguirre, N. (2017). *Captura de carbono en el compartimiento leñoso del bosque seco en la provincia de Loja con perspectivas de mercado*((Tesis de pregrado). Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Apps, M., Kurz, R., Luxmoore, L., Nilsson, R., Sedjo, R., Schmidt, L., y Vinson. (1993). *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Alemania: Kluwer Academic Publishers.
- Aquino, M., Velázquez, A., Castellanos, J. F., De los Santos, H. M., y Etchevers, J. D. (2015). Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia*, 49(3), 299-314.
- Barthel, M., Jennings, S., Schreiber, W., Sheane, R., Royston, S., Fry, J., . . . McGill, J. (2018). Study on the environmental impact of palm oil consumption and on existing sustainability standards. *3keel and LMC International for European Union*, Available on-line.
- Benavides, H., y León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Recuperado el 11 de Abril de 2021, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>

- Bermúdez, M. (2017). Propuesta de metodología para calcular la propagación de un error estadístico variable (EEV): aplicaciones para registro de pozos y datación termocronológica. *Revicyhluz*, 40(1), 19.
- Birdsey, R., Angeles, G., Kurz, W. A., Lister, A., Olguin, M., Pan, Y., y Johnson, K. (2013). Approaches to monitoring changes in carbonstocks for REDD. *Carbon Management*, 4(5), 519-537. doi:10.4155/cmt.13.49
- Boden, T., Marland, G., y Andres, R. (2017). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. *Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)*. doi:10.3334/CDIAC/00001_V2017.
- Bolin, B., Doos, B., Jager, J., y Warrick, R. (1986). *The green house effect*. Chichester : John Wiley y Sons.
- Bravo, G. (2019). *Estimación de la captura de carbono en el bosque natural el Pargo (Tesis de pregrado)*. Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Brown, S. (1997). *Estimación de la biomasa y el cambio de biomasa de los bosques tropicales*. EE.UU: Documento Forestal de la FAO.
- Bruno, K. (2019). *Evaluación del potencial de captura de carbono por la especie (Rhizophora mangle) mediante ecuaciones alométricas en el refugio de vida silvestre manglares del estuario río Esmeraldas (Tesis de pregrado)*. Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/cia_inv_view.php?id=30178yoption=view
- Cabudivo, K. (2017). *Secuestro de Co₂ y producción de oxígeno en árboles urbanos de la av. Abelardo Quiñones - distrito San Juan Bautista, Loreto— Perú (Tesis de pregrado)*. Perú: Universidad Nacional de la Amazonia peruana.

- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., y Baungardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia*, 111(1), 1-11.
- Carrasco, S. (2009). *Metodología de la investigación científica*. Perú: San Marcos.
- Chambi, P. (2001). Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicando a la Zona Boscosa del Rio Inambari y Madre de Dios. *Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con Bases en la Conservación de Recursos Naturales*.
- Chivelet, M. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(1), 33-46.
- CMNUCC. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cronquist, A., y Takhtadzhian, A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants* (Vol. 34). New York: Columbia University Press.
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K., y Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *Revista CEDAMAZ*, 4(1), 21–31.
- Cutini, A., Chianucci, F., y Manetti, M. (2013). Allometric relationships for volume and biomass for stone pine (*Pinus pinea* L.). *Italian coastal stands*, 6(6), 331.
- Das, M., y Mukherjee, A. (2015). Carbon Sequestration Potential, Its Correlation With Height and Girth of Selected Trees in The Golapbag Campus, Burdwan, West Bengal (India). *Indian J.Sci.*, 10(1), 53-57.

- Davis, M. C., Hobbs, R., Lugo, A., Ewel, J., Vermeij, G., y Briggs, J. (2011). Don't judge species on their origins. *Nature*, 417(1), 53-154.
- Díaz, M., Vázquez, A., Uribe, M., Sánchez, A., Lara, A., y Cruz, A. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en aile obtenidas mediante un método no destructivo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(16), 3235-3249.
- Diédhiou, I., Diallo, D., Mbengue, A., Hernandez, R. R., Bayala, R., Diéme, R., y Sène, A. (2017). Allometric equations and carbon stocks in tree biomass of *Jatropha curcas* L. in Senegal's Peanut Basin. *Global Ecology and Conservation*, 9(1), 61–69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.11.007>
- Domínguez, C. (2010). La almendra (*Terminalia catappa*) y los árboles distinguidos del pueblo de Loíza. *Instituto Internacional de Dasonomía Tropical*, 24(1-3), 74-77.
- Domínguez, G., Aguirre., O., Jiménez, J., Rodríguez, R., y Diaz, J. (2009). Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 59-64.
- Douterlungne, D., Herrera, A., Ferguson, B., Siddique, I., y 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.
- Duque Escobar, G. (2018). Calentamiento global en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*.

- Fernández, J. (2012). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*(50), 71-98.
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAM). (2006). *El cambio climático*. Recuperado el 24 de Mayo de 2021, de FONAM: <http://www.fonamperu.org/general/cambio.asp>
- Francis, J. (1989). *Terminalia catappa L. Forestry Note SOITF-SM-23*. Puerto Rico: U.S.Forest Service.
- Gallardo, J., y Merino, A. (2007). *El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales*.
- Harmida, H., Aminasih, N., y Tanzerina, N. (2019). Potensi cadangan karbon dan separan karbondioksida pada Tanaman ketapang (*Terminalia catappa L.*) di kampus unsri Indralaya. *Prosiding Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika dan Aplikasinya*, 4(2).
- Henn, J., McCoy, M., y Vaughan, C. (2014). Beach almond (*Terminalia catappa*, Combretaceae) seed production and predation by scarlet macaws (*Ara macao*) and variegated squirrels (*Sciurus variegatoides*). *Rev. biol. trop*, 62(3), 929-938.
- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC). (1997). *Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories*. Geneva: IPPC.
- IPCC. (2001). *Los Sumideros de Carbono*. Recuperado el 13 de Abril de 2021, de CESCYL: www.cescyl.es/pdf/coleccionestudios/Pkioto.pdf
- IPCC. (2003). *Good practice guidance for land use. land-use change and forestry*. Japón: Institute for Global Environmental Strategies.

- IPPC. (2013). Resumen para responsables de políticas. Cambio Climático 2013: Bases Físicas, Contribución del. *Cambridge University Press*, 21(1).
- IPPC. (2014). *Cambio Climático 2014: Mitigación del Cambio Climático*. . United Kingdom and New York: Cambridge University Press. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- Lara, C. (2018). *Análisis multitemporal del desarrollo de la cobertura vegetal mediante el uso de sensores remotos en la isla Santay - provincia del Guayas (Tesis de Grado)*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Lohmann, L. (2012). *Mercados de Carbono: La Neoliberalización del Clima*. Quito: Ediciones Abya Yala .
- Lozano Sivisaca, D., Palacios Herrera, B., y Aguirre Mendoza, Z. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del Ecuador. *Ciência Florestal*, 28(3), 1328-1339. doi:<https://doi.org/10.5902/1980509833464>
- Márquez, L. (2000). *Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono, en Uso del Suelo*. Guatemala: Fundación Solar.
- Matamoros, A. (2018). *Estructura y diversidad de especies de plantas exóticas en el humedal Ramsar de la isla Santay, Guayas (Tesis de pregrado)*. Universidad Agraria del Ecuador.
- McVay, K. A., y Rice, C. W. (2005). El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono. *Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa.*, 5-8.
- Menkitiun, M., Agu, C., y Udeigwe, T. (23 de Diciembre de 2015). Extracción de aceite de *Terminalia catappa* L.: Impactos de parámetros de proceso,

cinética y termodinámica. *ELSEVIER*, 77(1), 713-723.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.019>

MINAM. (2015). *Inventario y evaluación de los bosques de las cuencas de los ríos Itaya, Nanay y Tahuayo en el departamento de Loreto*. Lima: Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio .

Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2016). *Inventario nacional de gases de efecto*. Recuperado el 23 de Abril de 2021, de Ministerio de Ambiente del Ecuador:

<https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/06%20Resumen%20Ejecutivo%20INGEI%20de%20Ecuador.%20Serie%20Temporal%201994-2012.pdf>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). *Plan de Manejo Área Nacional de Recreación Isla Santay y Gallo*. Recuperado el 24 de Abril de 2021, de Ministerio del Ambiente del Ecuador:
<https://www.google.com/url?sa=tyrct=jyq=yesrc=sysource=webycd=ycad=rj ayuact=8yved=2ahUKEwiq8f7YpJbxAhVrQzABHXsUAMMQFjAAegQIAxA Dyurl=http%3A%2F%2F190.152.46.74%2Fdocuments%2F10179%2F242256%2F19%2BPLAN%2BDE%2BMANEJO%2BISLA%2BSANTAY%2BANR%2BIsla%2BSantay.pdf>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2019). *Plan de acción decenal para la prevención, manejo y control de las especies exóticas en Ecuador continental*. Recuperado el 24 de Abril de 2021, de Ministerio del Ambiente del Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/AM-007-2019-PLAN-DE-ACCION.pdf>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España. (2012). *Sumideros de carbono*. Recuperado el 01 de 06 de 2021, de Folleto de sumideros: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros_tcm30-178384.pdf
- Moran, M. (2020). *Estructura y diversidad del bosque seco y herbazal de la isla Santay (Tesis de pregrado)*. Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/cia_inv_view.php?id=33746yoption=view
- Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M. M., y Carvajal, M. (2011). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la región de Murcia. *Horticultura global*(294), 58-63.
- Nam, V. M., Kuijk, v., y Anten, N. (2016). Allometric equations for aboveground and belowground biomass estimations in an evergreen forest. *PloS ONE*, 11(6), 1-19. doi:10.1371/journal.pone.0156827
- Nowak, D., y Dwyer, J. (2007). *Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems*. New York: Springer, Dordrecht. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_2
- Ordaz, J., Melgar, M., y Rubio, C. (2010). *Métodos Estadísticos y econometricos en la empresa y para finanzas*. España: Universidad Pablo de Olavide.
- Ordóñez, J. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Redalyc*, 90(90), 37-42. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64411395006>
- Organizacion Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Los niveles de gases de efecto invernadero en la atmosfera alcanzan un nuevo record*. Recuperado

- el 30 de Abril de 2021, de World Meteorological Organization:
<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/los-niveles-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atm%C3%B3sfera-alcanzan-un>
- Osnaya, P. (2003). *Avances de México en materia de cambio climático 2001-2002*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Ounban, W., Puangchit, L., y Diloksumpun, S. (2016). Development of general biomass allometric equations for *Tectona grandis* Linn.f. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. plantations in Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(1), 48–53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anres.2015.08.001>
- Picard, N., Saint-André, L., y Henry, M. (Agosto de 2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Recuperado el 30 de Abril de 2021, de FAO: <http://www.fao.org/3/i3058s/i3058s.pdf>
- Pita, R. (2020). Captura de carbono del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en el área nacional de recreación Isla Santay (Tesis de pregrado). *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Plucênio, R. M. (2011). *Invasão biológica em restinga—o estudo de caso de Terminalia catappa L.(Combretaceae) (Tesis de pregrado)*. Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina. Obtenido de <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/132616>
- Post, W., Peng, T., Emanuel, W., King, A., Dale, V., y y De Angelis, D. (1990). The global carbon cycle. *American Scientist*, 78(4), 310-326.
- Quiceno, N., Tangarife, G., y Álvarez, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-chátare de

- Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luna Azul*(43), 171–202.
- Ramírez López, J. L., Córdova Perugachi, M. E., Imbaquingo Rosero, J. L., y Chagna Avila, E. J. (2021). Modelos alométricos para estimar biomasa aérea de bosques secundarios montanos del noroccidente de Ecuador. *Caldasia*, 44(1). doi:<https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n1.88198>
- Ramírez, J., y Chagna, E. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 86-97.
- Ramiro, E., y Caballero, A. (2011). Inconsistencia del coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 42-45. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193222357008.pdf>
- Ramos, P. (2005). Captura y almacenamiento de CO₂: Una tecnología que todavía no resulta viable y que no incide en la raíz del cambio climático. *El Ecologista*(46), 39-41.
- Salas, E. M., y Maldonado, E. S. (2019). Breve historia de la ciencia del cambio climático y la respuesta política global: un análisis contextual. *KnE Engineering*, 5(2), 717–738. doi:<https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.629>
- Salazar, C., y Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*. Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%C3%A1sicos%20de%20Estad%C3%ADstica-Libro.pdf>

- Shine, C., Williams, N., y Gondling, L. (2000). A Guide to Designing Legal Frameworks on Alien Invasive Species. *IUCN Environmental Policy and Law Paper*(40), 138.
- Sígala, J., González, M., Prieto, J., Basave, E., y Jiménez, J. (2016). Relaciones alométricas para predecir biomasa en plantas de *Pinus pseudostrobus* cultivadas en diferentes sistemas de producción en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 369-378. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200015>
- Tello, G., y Vargas, M. (2019). *Determinación de captura de carbono aplicando ecuaciones alométricas en especies forestales de Schinus latifolius, Eucalyptus globulos, Vachellia macracantha y Pouteria lúcuma en la Universidad Peruana Unión, Lima – Perú (Tesis de pregrado)*. Perú: Universidad Peruana Union. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1774>
- Tukey, J. (1949). Comparing Individual Means Analysis of Variance. *Biometrics*, 5(2), 99-114. doi:[doi:10.2307/3001913](https://doi.org/10.2307/3001913)
- Van Breugel, M., Ransijn, V., Craven, D., Bongers, F., y Hall, J. S. (2011). Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1648-1657. doi:[10.1016/j.foreco.2011.07.018](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.018)
- Vargas, P. (2009). El Cambio Climático y sus efectos en el Perú. *Banco Central de Reserva del Perú*(143), 1-59.
- Vásquez, R. (1997). *Flórula de las Reservas Biológicas de Iquitos*. Iquitos - Perú: Missouri Botanical Garden.

- Warner, B., Aravena, R., y Moreno, P. (2005). *Cambio climático y reciclaje de carbono en los humedales costeros*. Xalapa: Instituto de Ecología, A. C., Gob. Estado de Veracruz- Llave.
- Warrick, R., Azizul Hoq Bhuiya, A., y Mirza, M. (1996). The Greenhouse Effect and Climate Change. *The Implications of Climate and Sea Level Change for Bangladesh*, 35-96. doi:10.1007/978-94-009-0241-1_2

9. Anexos



Figura 6. Mapa de ubicación de muestreo.
Morales, 2021

Tabla 14. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 1.

N.º	TBV (m3)	Biomasa Aéreo (kg)	Biomasa Radicular (kg)	Biomasa Total(kg)	CT (kg)
1	0,11	61,25	15,92	77,17	38,59
2	0,06	32,48	8,44	40,92	20,46
3	0,11	64,59	16,79	81,38	40,69
4	0,13	74,24	19,30	93,54	46,77
5	0,14	80,74	20,99	101,73	50,86
6	0,14	82,13	21,35	103,48	51,74
7	0,02	12,76	3,32	16,08	8,04
8	0,02	13,64	3,55	17,19	8,59
9	0,08	45,94	11,94	57,88	28,94
10	0,02	11,25	2,93	14,18	7,09
11	0,02	9,74	2,53	12,28	6,14
12	0,01	5,57	1,45	7,02	3,51
13	0,19	110,99	28,86	139,85	69,92
14	0,06	34,80	9,05	43,85	21,92
15	0,08	45,96	11,95	57,91	28,95
16	0,09	52,48	13,64	66,12	33,06
17	0,08	46,40	12,06	58,46	29,23

18	0,14	81,29	21,14	102,43	51,21
19	0,04	20,30	5,28	25,58	12,79
20	0,03	16,43	4,27	20,70	10,35

Morales, 2021

Tabla 15. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 2.

N.º	TBV (m3)	Biomasa Aéreo (kg)	Biomasa Radicular (kg)	Biomasa Total (kg)	CT (kg)
1	0,55	319,00	82,94	401,94	200,97
2	0,34	194,88	50,67	245,55	122,77
3	0,60	349,86	90,96	440,82	220,41
4	0,32	186,53	48,50	235,03	117,51
5	0,34	198,36	51,57	249,93	124,97
6	0,71	412,73	107,31	520,04	260,02
7	0,26	153,26	39,85	193,11	96,55
8	0,27	154,28	40,11	194,39	97,20
9	0,24	141,06	36,67	177,73	88,87
10	0,24	137,81	35,83	173,64	86,82
11	0,31	177,48	46,14	223,62	111,81
12	0,60	348,00	90,48	438,48	219,24
13	0,71	409,25	106,40	515,65	257,83

14	0,62	359,83	93,56	453,39	226,69
15	0,49	282,58	73,47	356,05	178,02
16	0,46	269,12	69,97	339,09	169,55
17	0,36	209,50	54,47	263,96	131,98
18	0,46	267,96	69,67	337,63	168,81
19	0,56	324,80	84,45	409,25	204,62
20	0,55	319,70	83,12	402,82	201,41

Morales, 2021

Tabla 16. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 3.

N.º	TBV (m3)	Biomasa Aéreo (kg)	Biomasa Radicular (kg)	Biomasa Total(kg)	CT (kg)
1	1,76	1023,54	266,12	1289,66	644,83
2	1,47	855,45	222,42	1077,87	538,94
3	1,68	975,07	253,52	1228,59	614,30
4	0,71	412,43	107,23	519,66	259,83
5	1,80	1041,96	270,91	1312,87	656,43
6	0,65	377,00	98,02	475,02	237,51
7	1,12	649,60	168,90	818,50	409,25
8	1,34	779,06	202,55	981,61	490,81
9	0,97	560,28	145,67	705,95	352,98

10	0,76	438,71	114,07	552,78	276,39
11	0,68	396,26	103,03	499,28	249,64
12	1,32	764,76	198,84	963,60	481,80
13	1,52	879,95	228,79	1108,74	554,37
14	1,12	651,46	169,38	820,83	410,42
15	0,66	385,24	100,16	485,40	242,70
16	0,29	168,43	43,79	212,22	106,11
17	0,32	186,99	48,62	235,61	117,80
18	0,52	301,60	78,42	380,02	190,01
19	0,66	380,29	98,88	479,17	239,59
20	1,20	695,30	180,78	876,08	438,04

Morales, 2021

Tabla 17. Valores obtenidos de las ecuaciones de la clase 4.

N.º	TBV (m3)	Biomasa Aéreo (kg)	Biomasa Radicular (kg)	Biomasa Total(kg)	CT (kg)
1	2,33	1352,56	351,67	1704,23	852,11
2	1,76	1018,94	264,93	1283,87	641,93
3	1,42	825,78	214,70	1040,48	520,24
4	1,35	785,44	204,21	989,65	494,82
5	1,45	839,84	218,36	1058,20	529,10

6	1,15	665,03	172,91	837,94	418,97
7	1,37	793,44	206,29	999,73	499,87
8	4,26	2468,48	641,80	3110,28	1555,14
9	1,35	785,61	204,26	989,87	494,93
10	2,42	1403,60	364,94	1768,54	884,27
11	2,18	1266,49	329,29	1595,77	797,89
12	4,46	2584,25	671,90	3256,15	1628,08
13	1,53	886,70	230,54	1117,25	558,62
14	1,14	661,20	171,91	833,11	416,56
15	2,08	1206,86	313,78	1520,65	760,32
16	4,71	2730,87	710,03	3440,90	1720,45
17	1,20	696,70	181,14	877,84	438,92
18	2,58	1493,62	388,34	1881,96	940,98
19	2,95	1712,16	445,16	2157,32	1078,66
20	2,59	1500,11	390,03	1890,14	945,07
Morales, 2021					



Figura 7. Obteniendo la altura y el diámetro a la altura del pecho de los individuos estudiados.
Morales, 2021



Figura 8. Ubicación de la zona de estudio de la *Terminalia catappa* L.
Morales, 2021



Figura 9. Sendero Durán- isla Santay.
Morales, 2021