



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**MODELACIÓN CARTOGRÁFICA PARA LA SELECCIÓN  
DE ÁREAS PROMISORIAS DE CAPTURA DE CARBONO  
EN LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Erick Alexander Soriano Tomala.

**LA LIBERTAD, MES 2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**MODELACIÓN CARTOGRÁFICA PARA LA SELECCIÓN  
DE ÁREAS PROMISORIAS DE CAPTURA DE CARBONO  
EN LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor/a:** Erick Alexander Soriano Tomala

**Tutor/a:** Ing. Daniel Ponce de León Lima, PhD.

**LA LIBERTAD, 2024**

# TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Erick Alexander Soriano Tomala** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11/12/2024.



Firmado electrónicamente por:  
**CARLOS ELOY  
BALMASEDA ESPINOSA**

---

Ing. Verónica Cristina Andrade  
Yucailla, PhD  
**DIRECTORA DE CARRERA  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Carlos E. Balmaseda Espinosa,  
PhD.  
**PROFESORA ESPECIALISTA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

DANIEL  
ANTONIO  
PONCE  
DE LEON  
LIMA

Firmado digitalmente  
por DANIEL ANTONIO  
PONCE DE LEON LIMA  
DN: cn=DANIEL ANTONIO  
PONCE DE LEON LIMA,  
o=EC IQUITO o=BANCO  
CENTRAL DEL ECUADOR  
ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE  
Motivo: Soy el autor de este  
documento  
Ubicación:  
Fecha: 2025-01-13  
12:15:05:00



Firmado electrónicamente por:  
**NADIA ROSAURA  
QUEVEDO PINOS**

---

Ing. Daniel Ponce de León Lima, PhD.

**PROFESOR TUTOR  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Nadia Rosaura Quevedo Pinos  
PhD.  
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
**WASHINGTON VIDAL  
PERERO VERA**

---

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.  
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO  
SECRETARIO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a mi director de tesis Ing. Daniel Ponce de León Lima, por su guía y paciencia en cada etapa de este proyecto, y por compartir conmigo su experiencia y conocimientos. A los docentes, quienes aportaron su tiempo y sabiduría para enriquecer mis conocimientos.

Finalmente, extendo mi agradecimiento a mi familia y amigos, quienes siempre creyeron en mí y me impulsaron a seguir adelante. Gracias a todos por acompañarme en este viaje académico y personal.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, quienes me brindaron su apoyo incondicional durante todo este proceso, y a mis padres, por su amor, paciencia y confianza en mí. A mis amigos, por ser fuente de ánimo y alegría en los momentos más desafiantes. Y, en especial, a quienes me enseñaron la importancia del respeto y cuidado de la naturaleza, inspirándome a contribuir al bienestar de nuestro planeta.

## RESUMEN

Este estudio se enfoca en la modelación cartográfica para identificar zonas con potencial de captura de carbono en la provincia de Santa Elena, Ecuador, una zona que está expuesta al cambio climático y a la deforestación. El propósito principal de esta investigación es reconocer áreas con gran potencial para la reforestación y la captura de carbono, favoreciendo de esta manera la mitigación del cambio climático a través de soluciones sustentadas en la naturaleza. Mediante un estudio geoespacial exhaustivo, se incorporan niveles de sistemas de producción, hidrología, geopedología y cuerpos acuáticos para definir zonas de relevancia. Además, se toman en cuenta elementos ambientales como la utilización del suelo, la cobertura de vegetación, la falta de agua, la evapotranspiración y las zonas climáticas. Esta modelación facilitará la identificación y priorización de zonas que no solo mejoren la captura de carbono, sino que también fomenten la recuperación ecológica y la gestión sostenible del territorio.

**Palabras clave:** Modelación cartográfica, captura de carbono, reforestación, hidrología, cobertura vegetal, déficit hídrico, evapotranspiración, zonas climáticas.

## **ABSTRACT**

This study focuses on cartographic modeling to identify areas with carbon capture potential in the province of Santa Elena, Ecuador, an area that is exposed to climate change and deforestation. The main purpose of this research is to recognize areas with great potential for reforestation and carbon capture, thus favoring the mitigation of climate change through solutions based on nature. Through an exhaustive geospatial study, levels of production systems, hydrology, geopedology and aquatic bodies are incorporated to define relevant areas. In addition, environmental elements such as land use, vegetation cover, lack of water, evapotranspiration and climatic zones are taken into account. This modeling will facilitate the identification and prioritization of areas that not only improve carbon capture, but also promote ecological recovery and sustainable management of the territory.

**Keywords:** Cartographic modeling, carbon capture, reforestation, hydrology, vegetation cover, water deficit, evapotranspiration, climatic zones.

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**MODELACIÓN CARTOGRÁFICA PARA LA SELECCIÓN DE ÁREAS PROMISORIAS DE CAPTURA DE CARBONO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**” y elaborado por **Erick Alexander Soriano Tomala**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

### **Transferencia de derechos autorales.**

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado electrónicamente por:  
**ERICK ALEXANDER  
SORIANO TOMALA**

---

Firma del estudiante



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>Problema Científico.....</b>	<b>2</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>2</b>
Objetivo General: .....	2
Objetivos Específicos: .....	2
<b>Hipótesis .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Ciclo del carbono.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Formas de carbono en suelo .....	3
<b>1.2 Materia orgánica del suelo .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 Degradación por la disminución de cobertura vegetal .....	4
<b>1.3 Cambios globales de los suelos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Efectos del cambio climático en la agricultura .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 Deforestación en la Península de Santa Elena .....</b>	<b>6</b>
<b>1.6 Factores que influyen en la acumulación de CO en el suelo .....</b>	<b>7</b>
<b>1.7 Proceso de humificación .....</b>	<b>8</b>
1.7.1 Factores de humificación.....	8
<b>1.8 Selección de sitios promisorios para el secuestro de carbono .....</b>	<b>9</b>
<b>1.9 Estrategias para maximizar el secuestro de carbono.....</b>	<b>10</b>
<b>1.10 Franjas hidrorreguladoras .....</b>	<b>10</b>
<b>1.11 Cambios usos de la tierra .....</b>	<b>11</b>

<b>1.12</b>	<b>Proceso de desertificación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.13</b>	<b>Ordenamiento Territorial.....</b>	<b>12</b>
<b>1.14</b>	<b>Levantamiento de información temática y cartográfica de Ecuador .....</b>	<b>13</b>
<b>1.15</b>	<b>Los SIG.....</b>	<b>13</b>
1.15.1	Geoprocesos.....	14
1.15.2	Automatización – Modelador cartográfico .....	14
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Caracterización del área.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Materiales.....</b>	<b>15</b>
2.2.1	Fuente de información.....	15
2.2.2	Herramienta de SIG.....	15
<b>2.3</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Flujo de trabajo .....</b>	<b>16</b>
2.2.1	Selección y Preparación de Capas de Entrada.....	16
2.2.2	Procesamiento de Datos y Herramientas de Geoprocesamiento.....	16
2.2.3	Asignación de Especies Sugeridas para Reforestación.....	18
2.2.4	Integración y Generación del Mapa Final .....	18
2.2.5	Automatización del Proceso .....	18
<b>2.3</b>	<b>Selección y Ajustes de Variables en el Modelo Cartográfico .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Criterios para la selección de especies forestales.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5</b>	<b>Caso de aplicación: Propuesta de selección de áreas promisorias en la captura de carbono mediante el modelador gráfico .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6</b>	<b>Software utilizado.....</b>	<b>22</b>
2.6.1	Quantum Gis – QGIS versión 3.30.2.....	22
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>22</b>

<b>2.7</b>	<b>Implementación del modelador cartográfico.....</b>	<b>22</b>
2.7.1	Selección de sistema productivos .....	23
2.7.2	Unión y exclusión de cuerpos de agua .....	24
2.7.3	Intersección con sistemas productivos.....	25
2.7.4	Intersección, Disolución y Calculo por especie.....	26
<b>2.8</b>	<b>Tipos de Vegetación .....</b>	<b>27</b>
<b>2.9</b>	<b>Grado de Alteración.....</b>	<b>27</b>
<b>2.10</b>	<b>Selección de especies promisorias para la reforestación.....</b>	<b>28</b>
2.10.1	Descripción del Algarrobo Prosopis spp. (Algarrobo sudamericano) .....	28
2.10.2	Descripción del Guayacán.....	29
2.10.3	Descripción del Caoba.....	29
<b>2.11</b>	<b>Especies Reforestadas .....</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>30</b>
<b>Conclusiones .....</b>		<b>30</b>
<b>Recomendaciones.....</b>		<b>31</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>32</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>40</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Criterios de Selección del tamaño del buffer para los cuerpos de agua</b> .....	19
<b>Tabla 2. Tipos de vegetación antes de la reforestación</b> .....	27
<b>Tabla 3. Grado de alteración en la zona de estudio</b> .....	28
<b>Tabla 4. Área/ha reforestada en la Península de Santa Elena</b> .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Ubicación del estudio en la Península de Santa Elena.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2. Capas de entradas en el modelador gráfico en QGIS.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3. Procesos vectoriales en el modelador gráfico en QGIS .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4. Proceso de selección en el modelo cartográfico .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 5. Resultado de la selección en el mapa.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 6. Proceso de unión y exclusión en el modelo cartográfico.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7. Delimitación de franjas hidrorreguladoras .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8. Proceso de intersección y asignación de especies sugeridas en el modelo cartográfico .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 9. Especies sugeridas según el tipo de cobertura.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10. Intersección de especies sugeridas con geopedología y disolución por tipo de especie .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 11. Áreas reforestadas por especies sugeridas y su superficie total en hectáreas .....</b>	<b>26</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

*Tabla 1A.* Cuadro de las Zonas del estudio reforestadas con el programa Qgis

*Figura 1A.* Visualización de zonas reforestadas

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores retos ambientales a nivel mundial y encontrar soluciones sostenibles a largo plazo es esencial para poder mitigar sus efectos, la modelación cartográfica se presenta como una herramienta crucial para identificar de manera estratégica las áreas con mayor potencial de recuperación de carbono a través de la reforestación. Esta investigación se centra en como estos modelos pueden ayudar a restaurar ecosistemas degradados, ayudando a revertir la desertificación y en aumentar la capacidad de captura de carbono mediante la reforestación de zonas que han perdido su cobertura vegetal.

El carbono juega un papel clave en la regulación del clima, captura y almacenamiento, lo cuales se han convertido en métodos importantes para reducir el dióxido de carbono en la atmosfera, la fotosíntesis es el principal mecanismo biológico que captura carbono, lo que resalta la importancia de ciertas áreas ecológicas en este proceso (Barrales Brito *et al.*, 2020). Al integrar datos geoespaciales como imágenes satelitales, mapa topográfico y datos climáticos junto con modelos matemáticos, los modelos cartográficos permiten analizar una variedad de variables, como la cobertura vegetal, los tipos del suelo y la tasas de precipitación, estos modelos no solo ayudan a identificar las áreas más adecuadas para la reforestación, sino que también permiten prever como podrían reaccionar estos ecosistemas a intervenciones planificadas, lo que optimiza las estrategias de restauración y mejora la efectividad de las estrategias para mitigar el cambio climático (Santibañez González, 2014). La modelación cartográfica es fundamental para localizar las áreas claves con mayor potencial de recuperación de carbono a través de la reforestación, contribuyendo a la conservación de ecosistemas y la biodiversidad, facilitando en la toma de decisiones en políticas de gestión del suelo, proyectos de reforestación y estrategias agrícolas sostenibles. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo cartográfico para evaluar, identificar y seleccionar áreas con mayor potencial para la reforestación en la Península de Santa Elena, buscando restaurar la capacidad de captura de carbono en estas áreas degradadas, contribuyendo a la protección de los ecosistemas locales y fortaleciendo la resiliencia de las comunidades antes los efectos del cambio climático.

## **Problema Científico**

¿Cómo identificar áreas degradadas en la Península de Santa Elena para priorizar su reforestación y restaurar su capacidad de captura de carbono mediante un modelo cartográfico?

## **Justificación**

La Península de Santa Elena enfrenta una creciente problemática de degradación de sus ecosistemas lo que reduce significativamente su capacidad para capturar carbono, la reforestación en áreas degradadas no solo tiene el potencial de restaurar el balance, sino que también puede recuperar la biodiversidad, mejorar la calidad del suelo y regular los ciclos hidrológicos. Un modelo cartográfico basado en variables ambientales y geoespaciales permitirá localizar, priorizar las zonas degradadas que son más adecuadas para reforestar, esto asegura que los esfuerzos de restauración con mayor potencial de captura de carbono para la reforestación se enfoquen en áreas con mayor capacidad para recuperar su potencial de captura de carbono a través de la reforestación.

## **Objetivos**

### **Objetivo General:**

- ❖ Desarrollar un modelador cartográfico que permita identificar y priorizar áreas aptas para la reforestación en la Península de Santa Elena, contribuyendo a la restauración de su capacidad de captura de carbono y de suelos degradados.

### **Objetivos Específicos:**

- Identificar y evaluar áreas con mayor potencial de captura de carbono mediante el análisis de variables como suelos, recursos hídricos y cobertura vegetal.
- Diseñar y automatizar un modelo cartográfico que facilite la selección y priorización de áreas, mejorando la visualización y apoyando la toma de decisiones para la reforestación.
- Incorporar información sobre especies nativas adaptadas a las condiciones locales promoviendo la restauración ecológica y conservación de la biodiversidad.

## **Hipótesis**

Si se integran variables geoespaciales en un modelador cartográfico, se podrá identificar y priorizar de manera más efectiva las áreas adecuadas para la reforestación en la Península



de Santa Elena, contribuyendo a la restauración de suelo degradados y al aumento de la captura de carbono mediante el uso de especies nativas adaptadas a las condiciones locales.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Ciclo del carbono**

Según Ondarse Álvarez (2024) el ciclo del carbono tiene un trayecto a través de las capas que componen la tierra, incluyendo la biósfera, pedósfera, geósfera, hidrósfera y atmósfera. El carbono es super esencial para los seres vivos y económicamente importantes para los humanos.

El ciclo de carbono implica procesos como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición de la materia orgánica y la combustión de combustibles fósiles. Durante este proceso el carbono se intercambia entre diferentes reservorios, como la atmósfera, los océanos, la vegetación y el suelo (Martínez and Fernández, 2004).

El ciclo de carbono en bosques tropicales es importante para entender el papel fundamental que juegan al actuar como sumideros de carbono, almacenando carbono en la madera, suelo y biomasa. Por otro lado, la quema de combustibles fósiles y la deforestación liberan carbono a la atmosfera, contribuyendo al calentamiento global (Molina S. *et al.*, 2019)

#### **1.1.1 Formas de carbono en suelo**

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuo orgánico pocos alterados. E suelos con condiciones aeróbicas, un componente crucial del carbono que penetra al suelo se mineraliza y es liberado a la atmosfera con CO<sub>2</sub> (Martínez H, Fuentes E and Acevedo H, 2008).

Según Vásquez et al. (2013) existen diferentes carbonos orgánicos en el suelo, como carbono total, carbono oxidable, carbono no oxidable, carbono en la fracción húmica y carbono difícilmente oxidable. El suelo puede actuar como sumidero de carbono, almacenando este elemento de forma orgánica, se estima que los suelos pueden almacenar hasta 1500 Pg de carbono a 1 metro de profundidad y 2456 Pg a 2 m de profundidad, de manera inorgánica almacenan 1700 Pg la cual sobrepasan lo que presentan la vegetación (650 Pg) y la atmosfera (750 Pg) (Hernández, Torres and Hernández, 2014).

Según Bojórquez Serrano et al. (2015) algunas formas estables de materia orgánica en el suelo están relacionadas con el proceso de secuestro de carbono. El manejo adecuado de los suelos puede mantener y enriquecer las reservas de carbono orgánico. Los suelos degradados

pueden ser utilizados para secuestrar carbono a largo plazo, se acumula tanto en la biomasa como en el suelo mismo.

## **1.2 Materia orgánica del suelo**

Los suelos de la Península de Santa Elena se caracterizan por presentar bajos niveles de materia orgánica, lo cual es típico de climas secos y subhúmedos, se estima que el contenido de carbono orgánico del suelo en las áreas secas y subhúmedas de la Península es bajo, lo que afecta negativamente la salud y calidad de estos suelos, la escasez de materia orgánica compromete la estabilidad estructural del suelo y la intensidad de los procesos biológicos, limitando la fertilidad y productividad de estos suelos (Auria Cusme, 2021).

El estudio realizado en el Centro de Producción y Prácticas Río Verde clasificó los suelos como Typic Haplocambids, que son suelos con bajo contenido de materia orgánica, se ha encontrado una relación exponencial entre el contenido de materia orgánica y la profundidad del suelo, donde los horizontes más superficiales presentan mayores niveles de MOS, la baja calidad de la materia orgánica en estos suelos secos y subhúmedos es un factor clave que influye en la preservación y salud del recurso edáfico en la Península de Santa Elena (León Lima and Balmaseda Espinoza, 2019)

### **1.2.1 Degradación por la disminución de cobertura vegetal**

La degradación de suelos en la Península de Santa Elena se debe a la pérdida de materia orgánica, llegando a afectar en si las habilidades del suelo para poder conservar sus nutrientes y la producción agrícola, la materia orgánica a su vez es demasiado importante para la transferencia de cationes al suelo, ayudando a poder mantener los nutrientes accesibles para las plantas. Si un cierto volumen de materia orgánica puede afectar la fertilidad del suelo, lo que podría resultar en una reducción de la productiva agrícola y en la sostenibilidad de ecosistemas (Catuto Pozo, 2015).

La Península ha sido objeto de degradación de tierras debido a prácticas agropecuarias inadecuadas, deforestación, y la desorganización en la ocupación del territorio, estas acciones han llevado a una falta de capacidad de los suelos para regenerar sus nutrientes, conservando su estructura y manteniendo un adecuado drenaje, dando como resultado muchos suelos en Santa Elena que han comenzado a mostrar signos de erosión y pérdida de vegetación, haciendo que sean más vulnerables a los efectos adversos del cambio climático (Galarza, 2014).

Con el cambio climático agravando estos problemas, es crucial implementar prácticas de manejo sostenible que ayuden a restaurar la materia orgánica del suelo y en mejorar su calidad, esto no solo beneficia la agricultura local, sino que también contribuye a la resiliencia del ecosistema en general.

### 1.3 Cambios globales de los suelos

**Cambio climático:** El cambio climático, con fenómenos como el incremento del nivel del mar, la acidificación de los océanos y el derretimiento de glaciares repercute directamente en las propiedades y dinámica de los suelos a nivel mundial (Rabassa, 2010).

**Cambios en el uso del suelo:** La deforestación y la transformación de terrenos para la agricultura o la urbanización, intensifican la emisión de carbono acumulado en los suelos, aportando de manera considerable al cambio climático, no solo se deterioran los hábitats naturales con estas actividades, sino que al erradicar la vegetación que funciona como depósito de carbono, se intensifican las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (De la Casa *et al.*, 2024)

**Prácticas agrícolas insostenibles:** El laboreo intensivo y la utilización excesiva de agroquímicos, ejercen un efecto considerable en la salud del suelo, no solo disminuyen la calidad del suelo, sino que también disminuyen su habilidad para actuar como depósitos de carbono, lo que intensifica la aportación del sector agrícola al cambio climático, por ejemplo, el laboreo intensivo deja el suelo expuesto a la erosión y fomenta a la pérdida de materia orgánica (Rodríguez, Sueldo and Ñontol, 2022).

**Impactos en las propiedades de los suelos:** El cambio climático y las modificaciones en el uso de la tierra influyen en la estructura, la fertilidad y la habilidad del suelo para almacenar carbono, el incremento de las temperaturas, las fluctuaciones en el ciclo de las lluvias y la intensificación de sucesos extremos pueden alterar la composición orgánica del suelo y su habilidad para mantener la biodiversidad, el aumento de prácticas de agricultura intensiva, la tala de árboles y la urbanización favorecen el deterioro y la pérdida de suelos, lo que repercute directamente en la disminución de su productividad y en la liberación de gases de efecto invernadero (Hernández *et al.*, 2006).

**Importancia del manejo sostenible del suelo:** Es crucial preservar y potenciar la salud de los suelos, dado que un suelo sano no solo ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero sino que también potencia la capacidad de los ecosistemas terrestres para resistir condiciones climáticas severas, es importante aplicar estrategias de gestión sustentable de

suelos, tales como la reforestación, rotación de cultivos y en salvaguardar zonas naturales, para garantizar la reducción de impactos del cambio climático (Salvador, 2017).

#### **1.4 Efectos del cambio climático en la agricultura**

El cambio climático ha tenido un efecto significativo en la agricultura de la Península de Santa Elena, generando nuevos impedimentos para la sostenibilidad agrícola en esta zona, por eso es vital aplicar tácticas que potencien la capacidad de resistencia del suelo y minimicen la vulnerabilidad del sector agrícola, mediante la implementación de métodos como la rotación de cultivos, la utilización de coberturas vegetales y la preservación de la biodiversidad en los terrenos (Andrade *et al.*, 2021).

La variabilidad climática en los cantones de Santa Elena y La Libertad ya ha causado daños severos en años anteriores, destacando su vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, la agricultura en esta área, que es uno de los sectores primarios de la cadena de producción, también se ve afectada por las prácticas de agricultura convencional y el sistema capitalista, que pueden intensificar los desafíos presentados por el cambio climático (Rural, 2015)

El cambio climático impacta a los cultivos agrícolas de diferentes formas, en función del tipo de planta, las condiciones del terreno y las variaciones en la temperatura y las lluvias, estos efectos abarcan tanto oportunidades como riesgos, por eso es importante adoptar prácticas de agricultura adaptativas, tales como la aplicación de cultivos resistentes a la sequía, la puesta en marcha de sistemas de riego eficaces, y la recuperación de zonas naturales para el control del agua, las pérdidas en la producción pueden agravar la inseguridad alimentaria (Jiménez Noboa, 2012).

#### **1.5 Deforestación en la Península de Santa Elena**

La deforestación ha sido un problema significativo en la provincia, afectando tanto a los bosques secos como a los bosques húmedos de la región, la tala sistemática de los montes residuales para la explotación de madera fina ha sido una de las principales causas de la deforestación en la Península (González Castillo, 2015).

Si bien la tasa anual de deforestación ha disminuido gradualmente en los últimos años, aún se registran eventos de pérdida de cobertura forestal, como los incendios forestales que han afectado 71 hectáreas en la provincia, estudios han señalado que la expansión de la frontera agrícola ha sido una de las principales causas directas de la deforestación en Ecuador, incluyendo la Península de Santa Elena, otras actividades como la extracción petrolera

también han sido vinculadas a la deforestación en algunas regiones del país (*Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos*, 2016).

Para enfrentar este problema, se han implementado iniciativas de creación de áreas protegidas que buscan preservar más de 112,000 hectáreas de bosques secos y húmedos en la Península, adicionalmente se han realizado estudios e implementado planes de reforestación y manejo forestal sostenible a nivel local (Sierra, Calva and Guevara, 2021).

### **1.6 Factores que influyen en la acumulación de CO en el suelo**

Características del suelo, tanto como el contenido de arena y arcilla desempeñan roles cruciales en la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales a su vez influyen en su capacidad para acumular y retener carbono, un manejo adecuado del suelo que tome en cuenta la estructura y sus características física puede incrementar la productividad en la agricultura y en contribuir a la mitigación del cambio climático promoviendo la captura de carbono (Huamán Carrión *et al.*, 2021).

Los factores edáficos, el entorno geológico, los procesos fisicoquímicos, estos factores definen su capacidad para mantener ecosistemas sanos, incrementar la productividad en la agricultura y controlar el abastecimiento de agua y nutrientes en el ambiente, los terrenos con una estructura sólida y abundante en materia orgánica favoreciendo la captura de carbono, contribuyendo a disminuir la cantidad de dióxido de carbono en el aire y mitigando el cambio climático (Febles González *et al.*, 2020).

Los factores agronómicos, tales como la fertilización nitrogenada, llegan a tener un impacto en como las plantas absorben los nutrientes del suelo y en cómo se acumulan ciertos compuestos en el terreno, en este caso si se aplica demasiado nitrógeno, las plantas pueden llegar a absorber más de lo necesario, por lo cual llega a afectar la salud y la fertilidad del suelo (Chura and Mendoza Cortez, 2019)

Las prácticas de manejo agrícola, como la agricultura de conservación, son partes fundamentales porque ayudan a la acumulación del CO en el terreno ayudando a favorecer la retención de materia orgánica, la reducción de erosión ayuda a minimizar la perturbación del suelo, dando así un beneficio para la calidad del suelo y la sostenibilidad agrícola, ya que ayuda a mantener el suelo fértil y productivo a largo plazo (Benito *et al.*, 2010).

Factores ambientales, como la altitud y la luminosidad son factores ambientales que afectan los procesos de acumulación y dinámica del carbono en el suelo al influir en la actividad biológica, la descomposición de la materia orgánica y la productividad primaria de las

plantas. Estos factores son importantes consideraciones en la comprensión de los ciclos de carbono en los ecosistemas terrestres y su respuesta al cambio climático (Huamán Carrión *et al.*, 2021).

Actividad microbiana en el suelo, la cual puede ser un indicador de la capacidad de acumulación de CO ya que influye en la descomposición de la materia orgánica, la formación de agregados del suelo, el ciclo de nutrientes y la estabilización de la materia orgánica, un terreno con elevada actividad microbiana suele poseer una mayor capacidad para capturar carbono, dado que la transformación y estabilización de la materia orgánica disminuyen las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, transformando al suelo en un depósito de carbono y ayudando de esta manera a mitigar el cambio climático (Guerrero Ortiz *et al.*, 2012).

## **1.7 Proceso de humificación**

El proceso de humificación es transformar residuos de las plantas y animales en humus, siendo una forma estable de materia orgánica en el suelo, dentro de este proceso se producen cambios bioquímicos y microbiológicos complejos, además los microorganismos como las lombrices y hongos van a cumplir un papel fundamental dentro de la humificación al degradar y en reestructurar los componentes orgánicos (Flores Solórzano *et al.*, 2021).

Durante el proceso de humificación, los compuestos orgánicos se degradan y se transforman en compuestos húmicos estables, esenciales para la fertilidad del terreno, este procedimiento ayuda a potenciar el terreno, optimizando su estructura y promoviendo la creación de agregados, la existencia de componentes húmicos potencia la habilidad del terreno para conservar agua y acumular nutrientes, lo cual es vital para el crecimiento de las plantas y la preservación de los ecosistemas (Alcaraz, 2016).

El humus es un compuesto rico y provechoso que potencia la salud del terreno al promover un ambiente apropiado para el desarrollo de las raíces y estimular la variedad de microorganismos vitales, una correcta administración de la formación de humus para una agricultura sustentable, facilita la regeneración de terrenos degradados y conserva un nivel ideal de materia orgánica, que son importantes para garantizar una producción agrícola sustentable y saludable, fomentando terrenos más resistentes y productivos a largo plazo (Cruz Nieto *et al.*, 2024)

### **1.7.1 Factores de humificación**

Según Kalil Perdomo (2014) los principales factores que influyen en el proceso de humificación son la temperatura la cual necesita estar entre 20-30°C pero cuando su

temperatura es más baja o más alta ralentizan el proceso de humificación, la humedad del suelo debe estar entre 40-60% para favorecer la actividad de los microorganismos descomponedores, una buena aireación del suelo es crucial, ya que muchos de los microorganismos involucrados en la humificación son aerobios, un pH ligeramente ácido entre 5.5 y 7 es más favorable para la humificación, los microorganismos necesitan nutrientes como el carbono, nitrógeno, fósforo para su desarrollo y actividad, la composición química y la relación C/N de los residuos orgánicos afectan la velocidad y el grado de humificación.

La presencia y diversidad de microorganismos descomponedores que son fundamentales para el proceso de humificación, este proceso implica la transformación de la materia orgánica en sustancias húmicas más estables y recalcitrantes, los factores mencionados influyen en la velocidad y el grado de este proceso, determinando la acumulación de humus en el suelo (Ibáñez, 2006)

### **1.8 Selección de sitios promisorios para el secuestro de carbono**

La selección de sitios promisorios para el secuestro de carbono es crucial para maximizar la efectividad de las estrategias de mitigación del cambio climático, los suelos agrícolas son considerados entre los más grandes depósitos de carbono del planeta y poseen un gran potencial para expandir su capacidad de secuestro de carbono mediante prácticas adecuadas (Robert, 2002).

Los criterios para la selección de estos sitios incluyen:

**Tipo de Suelo:** Suelos con alta materia orgánica y buena capacidad de retención de agua son preferibles, ya que favorecen el crecimiento de plantas que, a su vez, capturan CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis (Ayala and Almanza, 2021)

**Cobertura Vegetal:** Las áreas con abundante vegetación actúan como depósitos de carbono almacenándolo en la biomasa y en el terreno, así llegando a favorecer la captura de carbono a largo plazo y reduciendo los niveles de dióxido de carbono en el aire y en la cual ayuda a mitigar el cambio climático (Norman and kreye, 2022).

**Prácticas Agrícolas:** Al implementar practicas sustentables como la rotación de cultivos y la plantación de cultivos de cobertura ayudan a capturar carbono, estas acciones harán que aumente la materia orgánica del suelo, así promoviendo la sustentabilidad agrícola y disminución de la emisión de carbono en la zona (Hatay, 2022).

**Clima y Condiciones Ambientales:** Las áreas con temperaturas moderadas y niveles de lluvia apropiados, que fomentan un vigoroso crecimiento de las plantas, son ideales para la captura de carbono, esto favorece un incremento en la acumulación de biomasa y materia orgánica en la tierra, facilitando la captura y almacenaje de carbono de manera más eficaz. (Arango *et al.*, 2023).

**Impacto Humano:** Procesos de deterioro provocados por acciones humanas como la tala de árboles, la agricultura intensiva, la minería o la urbanización, pese a que estas zonas han disminuido parte de su potencial ecológico inicial, mediante estrategias de gestión sostenible y recuperación ecológica, estas áreas pueden convertirse en lugares de captura de carbono, favoreciendo no solo la reducción del cambio climático, sino también la restauración de la biodiversidad y la optimización de los servicios ecosistémicos (Tarakanov, 2024).

### 1.9 Estrategias para maximizar el secuestro de carbono

Existen varias estrategias que nos ayudan a maximizar el secuestro de carbono:

**Reforestación y conservación de bosques:** El cultivo de árboles y la gestión de bosques sanos son eficaces para capturar y guardar dióxido de carbono de la atmósfera. No obstante, la aceleración de la captura de carbono puede verse afectada por factores del ecosistema, tales como la infiltración de las precipitaciones, la temperatura y erosión del suelo, o en la sedimentación de sedimentos (Pereira, 2019).

**Restauración y conservación de humedales:** Es esencial la recuperación de los humedales para recuperar su habilidad para capturar y almacenar carbono. Los humedales tienen la tarea de suministrar alimentos y agua a áreas de extrema pobreza, lo que significa que estos humedales son los que más acumulan carbono que cualquier otro ecosistema del mundo (Calderón and Alvaréz, 2023).

**Uso de biocarbón:** La adición de carbón vegetal al terreno puede potenciar notablemente la captura de carbono a largo plazo. Todo esto se inicia con el proceso de pirólisis, que implica la degradación térmica de desechos orgánicos, como la biomasa vegetal, y la falta de oxígeno. Esto conduce a la creación de un material carbonoso que puede ser empleado en diversas aplicaciones agrícolas (Curaqueo *et al.*, 2024).

### 1.10 Franjas hidrorreguladoras

Las franjas hidrorreguladoras son franjas vegetativas que se establecen alrededor de ríos y otros cuerpos de agua, con el propósito de proteger el suelo y los recursos hídricos, estas áreas pueden ser cruciales para la defensa y gestión territorial, como se menciona en estudios



realizados en el municipio de Manatí (Romero Gutiérrez, Pérez Martínez and Pérez Martínez, 2018)

Existen enfoques metodológicos específicos para el cálculo y diseño de estas franjas, un informe de pasantía destaca los resultados de la implementación de franjas hidrorreguladoras en diversas zonas, la reforestación de estas franjas es una de las estrategias recomendadas para mejorar su efectividad en la protección del ecosistema, expertos sugieren utilizar especies más adecuadas para fortalecer la salud del suelo y la protección contra la erosión (Borrego, 2012).

Los estudios también analizan la valoración económica de los impactos ambientales en áreas específicas, como la franja hidrorreguladora del río Guanabo, lo que subraya la importancia de gestionar y mantener estas áreas para asegurar la sostenibilidad de los recursos (Rangel Cura, 2015).

Según Olives *et al.* (2020) las franjas forestales con capacidad de regulación del agua son zonas que resguardan fuentes y reservorios de agua. Estas franjas generalmente se forman de árboles plantados en las orillas de cuerpos de agua o áreas de captación, con densidades y especies apropiadas para las particularidades del lugar. Con una longitud de entre 20 y 30 metros, también pueden incorporarse en iniciativas de recuperación ecológica y adorno del paisaje. Las ventajas de establecer franjas hidrorreguladoras, en las más importantes se encuentran:

- Aumento de la salud y la fertilidad del suelo
- Mejora de la calidad del agua
- Retención de la humedad del suelo
- Aumento de la infiltración del agua
- Reducción de las emisiones de polvo
- Aumento de la productividad de los cultivos
- Aumento de la biodiversidad

### **1.11 Cambios usos de la tierra**

El cambio de uso de la tierra se refiere a la transformación en el propósito o función de un área de tierra, como puede ser de agrícola a urbano, o viceversa, este fenómeno es impulsado principalmente por las necesidades humanas, tales como la demanda de alimentos, vivienda, y espacio para el transporte y la industria, el gran problema de la humanidad es el apetito de

tierras, por lo que en la agricultura se utiliza 60 veces más tierra que la áreas urbanas y suburbanas juntas (Ólafsson, 2022).

Los procedimientos de modificación del uso de la tierra incluyen:

**Agriculturización y Urbanización:** Esto ha llevado en una transformación de zonas naturales en áreas agrícolas e infraestructuras urbanas, respectivamente en la últimas décadas la agriculturización ha aumentado debido a la demanda por productos agrícolas, lo que ha provocado efectos negativos en los ecosistemas como la pérdida de la biodiversidad y el deterioro en el suelo, además la urbanización ha tenido un impacto en la transformación del uso de la tierra al convertir terrenos agrícolas o forestales en áreas urbanas, lo que ha llegado a generar problemas como la división del hábitat y en el aumento de la contaminación (Pena Gómez *et al.*, 2022).

**Deforestación y degradación del suelo:** La deforestación, junto con la agricultura industrial y el pastoreo excesivo, ha llevado a una aceleración en la degradación del suelo, estas prácticas no solo alteran el uso de la tierra, sino que también impactan negativamente en la calidad del suelo y la biodiversidad (Lanly, 2003).

### **1.12 Proceso de desertificación**

Los ecosistemas naturales que se encuentran en regiones áridas que soportan sequías prolongadas sin causar daño significativo cuando la influencia humana es limitada, la degradación del suelo no atribuye al clima o sequía, ya que la vegetación y suelo han desarrollado adaptaciones a estas condiciones a lo largo del tiempo, no obstante, la presión humana actual es intensa que los ecosistemas se vuelven demasiado frágiles para poder resistir efectos de sequía, como la erosión que es causa por lluvias y vientos, la sequía puede manifestarse de varias formas, como meteorológica, agrícola, hidrológica y económica. Los factores humanos tienen mayor impacto en ecosistemas, en si el proceso de desertificación de la vegetación y suelo se origina por factores pasivos como marginalidad y susceptibilidad en ciertas áreas, así como factores dinámicos que se relacionan en actividades humanas que afectan el entorno, dando como resultado la degradación progresiva de tierras secas, transformándolas en áreas áridas o semiáridas (Granados Sánchez *et al.*, 2013).

### **1.13 Ordenamiento Territorial**

El proceso de ordenamiento territorial especifica la elaboración de planes de desarrollo que buscan organizar y regular el uso del territorio, así como la evaluación conocida Sistema de Información para los Gobiernos Autónomos Descentralizados, el proceso debe seguir un

análisis integral del territorio que abarca aspectos sociales, económicos, ambientales y políticos. Para ello, se proporciona una visión general del ordenamiento territorial, el plan de desarrollo y ordenamiento territorial diagnóstico territorial donde se considera aspectos biofísicos, socioculturales, de asentamientos humanos, económicos, de movilidad, energía y conectividad, y político institucionales, aparte también en la utilización de información estadística y geográfica de instituciones nacionales, datos de gestión del GAD y participación ciudadana a través de talleres (Herrera Cabezas, 2016).

#### **1.14 Levantamiento de información temática y cartográfica de Ecuador**

El propósito del Proyecto de Levantamiento de Cartografía Temática a Escala 1:25.000 de Ecuador es producir datos cartográficos precisos para una zona de 122.095 km<sup>2</sup>, esta cartografía temática trata varios elementos cruciales del territorio de Ecuador, fundamentales para la organización y la estructuración territorial, el procedimiento de recopilación de datos se fundamenta en técnicas sofisticadas como la restitución aerofotogramétrica, que emplea imágenes aéreas y modelos digitales para adquirir datos exactos y renovados acerca de las propiedades del suelo. Ecuador cuenta con cartografía temática actualizada que está diseñada para facilitar la planificación en al menos 105 cantones del país, el proyecto no solo se centra en la creación de mapas, sino que también establece estándares de información geográfica, asegurando que los mapas generados sean claros y útiles para diversas aplicaciones en el contexto nacional (IGM, 2013).

#### **1.15 Los SIG**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas cruciales que permiten la recopilación, gestión, análisis, y visualización de datos geográficos, estos sistemas integran tecnologías de hardware y software que permiten trabajar con datos espaciales, y pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, desde la planificación urbana y la gestión de recursos naturales hasta el análisis del tráfico y las decisiones comerciales, un SIG facilita la conexión de datos a un mapa, proporcionando un marco para analizar información en contexto geográfico. Esto incluye la capacidad de realizar consultas interactivas y generar representaciones gráficas de los datos, además los SIG no necesariamente requieren una base de datos espacial, aunque a menudo se utilizan en ese contexto, el desarrollo de esta tecnología ha sido impulsado por empresas como ESRI, pionera en el campo desde su fundación en 1969, contribuyendo significativamente a la creación y evolución de los SIG (García, 2021).

### 1.15.1 Geoprocesos

Los geoprocesos dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto de operaciones que permiten manipular y analizar datos espaciales. Este marco y conjunto de herramientas son esenciales para automatizar tareas en SIG y realizar análisis y modelado espacial. El geoprocesamiento se utiliza para transformar datos geográficos en información útil que puede influir en decisiones y estrategias (Curso Online GIS, 2022).

Alonso (2014) menciona que varias herramientas de geoprocesamiento son de vital importancia para el análisis espacial debido a su capacidad de gestionar y visualizar datos complejos. Entre la más destacadas están:

**Buffer (Zona de influencia):** Permite generar áreas alrededor de elementos geográficos, lo cual es muy útil para poder evaluar su influencia dentro de un rango específico.

**Clip (Recorte):** Selecciona y extrae partes importantes de un conjunto de datos que se encuentra dentro de la región previamente que fue delimitada.

**Unión:** Combina múltiples conjuntos de datos en una sola capa, lo cual nos ayuda a mejor análisis integral de la información espacial.

### 1.15.2 Automatización – Modelador cartográfico

La automatización de geoprocesos en Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una práctica fundamental que permite optimizar flujos de trabajo y mejorar la eficiencia en el análisis de datos geográficos, existen herramientas específicas, como el Modelador Gráfico, que facilitan esta automatización al permitir crear modelos visuales de procesos GIS sin necesidad de programar, en herramientas como QGIS y ArcGIS, el Modelador Gráfico sirve para definir y ejecutar flujos de trabajo complejos, combinando diferentes geoprocesos de manera intuitiva (Garmendia, 2020)

Esto permite no solo realizar tareas repetitivas de manera más rápida, sino también analizar y modelar datos espaciales con mayor facilidad, además automatizar procesos con lenguajes de scripting como Python también es una práctica común en el manejo de geoprocesos, lo que proporciona un nivel adicional de flexibilidad y opciones para personalizar tareas específicas (Morales, 2015).

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Caracterización del área

El presente estudio se realizó a nivel de la Península de Santa Elena ubicadas en el Sistema de Referencia de Coordenadas (UTM Zona 17 S) al Norte: 532454.82, 9808992.06; Sur: 546735.5, 9725951.9; Este: 582561.67, 9756496.66; Oeste: 500202.75, 8752495.23.



Figura 1. Ubicación del estudio en la Península de Santa Elena

### 2.2 Materiales

#### 2.2.1 Fuente de información

- Mapa Sistemas Productivos (Fuente: MAG, 2020)
- Mapa Geopedológico (Fuente: MAG, 2020)
- Mapa Hidrológico (Fuente: MAG, 2020)
- Cartografía 50k (Fuente: IGM, 2020)

#### 2.2.2 Herramienta de SIG

- QGIS 3.30.2
- Laptop ASUS, sistema operativo Windows 10 de 64 bits

## 2.3 Metodología

Según Olives *et al.* (2020) para implementar franjas hidrorreguladoras, las cuales protegen y regulan el flujo hídrico, se utilizó diversas capas como: cobertura, geopedología, hidrología y cuerpos de agua, que son esenciales para la selección de áreas promisorias de captura de carbono en la Península de Santa Elena siguiendo un enfoque de modelación cartográfica en QGIS. El flujo de trabajo se organizó en etapas clave que incluyen la selección y preparación de capas geoespaciales, análisis mediante herramientas de geoprocésamiento, validación preliminar, y la generación de resultados en un mapa consolidado.

## 2.2 Flujo de trabajo

### 2.2.1 Selección y Preparación de Capas de Entrada

Las capas escogidas para la evaluación son:

**Sistemas Productivos:** Establece la utilización actual del terreno y las variedades de vegetación en la zona,

**Hidrología:** Contiene datos acerca de subcuencas y microcuencas, juntos con información climática como las lluvias y temperatura.

**Geopedología:** Incluye información exhaustiva sobre la textura del terreno, el pH y la habilidad para retener el agua.

**Cuerpos de Agua (rio\_a y rio\_l):** Capas de mapa topográfico 50 k del IGM. Para crear las zonas de protección alrededor de estos cuerpos de agua, se aplicaron buffers fuera del modelador, como un preprocesamiento previo a su integración, estas zonas cumplen funciones hidrorreguladoras que fueron generadas para establecer áreas de influencia que favorecen a la conservación y el manejo adecuado de los recursos hídricos.

Cada capa fue revisada para asegurar la correcta georeferenciación, consistencia y calidad de datos temáticos y espaciales (corrección de geometrías). Se aplicaron preprocesamientos para asegurar que todas las capas compartieran el mismo sistema de referencia espacial WGS84/ UTM Zona 17S, EPSG:32717.

### 2.2.2 Procesamiento de Datos y Herramientas de Geoprocésamiento

Para desarrollar el modelo cartográfico, se utilizaron varias herramientas de geoprocésamiento que permitieron definir áreas con características favorables para la captura de carbono. A continuación, se detalla el proceso:

**Selección de Cuencas:** Con base a la capa de hidrología, se determinaron cuencas esenciales en el campo de estudio, estas representan unidades naturales del paisaje donde el agua de lluvia converge, escurren y alimentan los cauces principales, como ríos y arroyos (Chávez, Dourojeanni and Jouravlev, 2002).

**Clasificación de los Sistemas Productivos:** La capa de sistemas productivos fue clasificada para identificar áreas que han sido degradadas o alterada por actividades humanas, como por ejemplo: bosques y matorrales secos con distintos tipos de alteración, suelos descubiertos, áreas en proceso de erosión y entre otros, que fueron seleccionadas para la reforestación, debido a que presentar una menor capacidad captura de carbono y biodiversidad (Cerrón Macha, Del Castillo Ruiz and Bonnesoeur, 2019).

**Unión de capas de vectoriales:** Se realizó una unión de las capas río a y río l y otra unión de las capas buffer variables río a y buffer variable río l, estas uniones fueron fundamentales para combinar las diferentes fuentes de información y generar las áreas de interés.

**Eliminación de Cuerpos de agua:** Una vez creado los buffers, se utilizó la herramienta de diferencia simétrica para eliminar las áreas correspondientes a los cuerpos de agua de las uniones previamente realizadas, esto permitió definir con precisión las superficies destinadas a la reforestación, excluyendo zonas inapropiadas, como lagos y ríos.

**Intersección con Diferencia Simétrica:** Mediante la herramienta de intersección, se combinó la diferencia simétrica obtenida con el extracción de objetos espaciales seleccionados en la capa de sistemas productivos, delimitando así las áreas en donde la cercanía al recurso hídrico podría potenciar la captura de carbono, favoreciendo la zonas idóneas para la reforestación (ArcMap 10.8, 2021).

**Asignación de Especies para la Reforestación:** Una vez definidas las zonas aptas para la reforestación, se usó la calculadora de campo para asignar especies adecuadas para cada área, tomando en cuenta la cobertura existente.

**Intersección con Geopedología:** Después de asignar las especies esta capa fue interceptada sobre la selección anterior para utilizar las propiedades del suelo (como textura y pH) para armonizar las propiedades edáficas con los requerimientos de las especies forestales de uso potencial en la reforestación. Los suelos que cumplen con los requisitos específicos se priorizaron en el modelo (Pereira, 2019).

**Selección final de áreas para la reforestación:** Se utilizó la herramienta selección por expresión para extraer las zonas que cumplían con los requisitos para la reforestación con

especies adecuadas, seleccione las áreas con las especies nativas y se calculó el área de cada zona en hectáreas.

### **2.2.3 Asignación de Especies Sugeridas para Reforestación**

Con base en el análisis de cobertura y geopedología, se seleccionaron especies reforestadoras de uso común en las condiciones edafoclimáticas de la Península de Santa Elena, como Caoba (*Swietenia macrophylla*), Algarrobo (*Prosopis juliflora*) y Guayacán (*Tabebuia chrysantha*). A cada área se les asignaron especies nativas adaptadas a las características del suelo y condiciones climáticas de la región, optimizando así la capacidad de captura de carbono y la resiliencia de las especies (Aldaz, 2017).

### **2.2.4 Integración y Generación del Mapa Final**

Se creó una capa consolidada que presenta zonas de gran captura de carbono, categorizadas según su cercanía a cuerpos de agua, clases de terreno y cobertura de vegetación. Se observó que esta capa utiliza un estilo distinto que destaca las áreas de gran importancia para la reforestación, lo que simplifica la interpretación y la toma de decisiones.

### **2.2.5 Automatización del Proceso**

Según Morales (2015) la modelación cartográfica permite la automatización de geoprocesos y es de común uso en tareas de análisis ambiental, y con fines agropecuarios. Se creó un modelo automatizado en el modelador gráfico de QGIS, esto permitirá replicar el proceso en otras regiones con características similares y ajustarlo a futuro con datos adicionales o cambios en las condiciones ambientales.

## **2.3 Selección y Ajustes de Variables en el Modelo Cartográfico**

Para poder identificar zonas con mayor potencial para ser reforestadas y recuperar su capacidad de captura de carbono, se tomaron en cuenta 4 variables tanto de tipo ambiental y geoespacial, cada una de estas capas aporta datos valiosos que nos ayudara a incrementar la precisión y eficiencia del modelo, facilitando así áreas óptimas para la reforestación y acumulación del carbono. A continuación, se explica la relevancia de cada variable:



### **Sistemas productivos:**

La capa de sistemas productivos fue seleccionada debido a su capacidad para diferenciar los tipos de cobertura de suelo y su estado de uso actual. Las zonas con cobertura natural o seminatural suelen tener un potencial más alto para capturar carbono en comparación con las áreas de agricultura o urbanización. Al identificar áreas que han sido alteradas por actividades humanas, como suelos agrícolas o urbanizados, priorizamos aquellas que necesitan ser reforestadas para restaurar su capacidad de captura de carbono, la reforestación en estas zonas potencialmente puede aumentar la captura de carbono a medida que los ecosistemas se restauran y regeneran (MAG, 2016).

### **Hidrología:**

Mediante la inclusión de datos sobre las cuencas hidrográficas, es posible analizar la captación, almacenamiento y distribución del agua en el territorio, esto es esencial para poder identificar áreas con condiciones hídricas favorables que permitan el establecimiento y crecimiento óptimo de especies a reforestar.(Valdiviezo, 2020).

### **Geopedología:**

La capa geopedológica aporta datos sobre las propiedades de los suelos que son cruciales para evaluar la viabilidad de la reforestación en cada área de acuerdo con los requerimientos de las posibles especies por utilizar en la reforestación, por lo que es fundamental en la selección de esas especies. Al identificar suelos con características adecuadas, se optimiza la selección de áreas donde el suelo puede soportar vegetación densa y duradera (Méndez and Dualiby, 2017).

### **Cuerpos de agua (permanente e intermitente):**

Al crear zonas de amortiguamiento alrededor de los cuerpos de agua, se asegura la conservación del suelo y la biodiversidad cerca de cuerpos de agua. Estas franjas también contribuyen a la estabilización del suelo, un factor importante para la captura de carbono, y sirven para mejorar la calidad del agua, proporcionando un beneficio adicional para el ecosistema local (Hurtado and Arias Real, 2024).

En la tabla 1 se presentan los criterios de selección del tamaño del buffer, basados en la representación cartográfica (área del espejo de agua) y el carácter permanente o intermitente de los cursos de agua, según la expresión: if ("campo" = 'valor', cantidad de buffer, cantidad de buffer).

**Tabla 1. Criterios de Selección del tamaño del buffer para los cuerpos de agua**

Cuerpos de agua (capa)	Descripción	Curso de agua	Buffer (m)
rio_a	Cuerpos de agua representados como áreas a escala 1:50k	Permanente	15
		Intermitente	7
rio_1	Cuerpos de agua representados como línea a escala 1:50k	Permanente	10
		Intermitente	3

## 2.4 Criterios para la selección de especies forestales

En este estudio se aplicaron criterios específicos para seleccionar especies forestales que optimicen la captura de carbono y reforestación, contribuyendo así a la restauración ecológica, estos criterios se basaron en la compatibilidad ecológica con el área de estudio y el objetivo del proyecto orientado hacia la sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

A continuación, se detallan los criterios utilizados:

**Capacidad de Captura de Carbono:** Se priorizan especies con alto potencial de captura de carbono. El bosque siempreverde de tierras bajas del Chocó se ha evaluado y se encontró que puede almacenar hasta 127,17 ton C/ha, lo que subraya la importancia de seleccionar especies que rápidamente desarrollen biomasa significativa para una mayor retención de carbono (Carreño Maldonado, 2024).

**Adaptación del Entorno Local y Condiciones Climáticas:** Es importante que las especies seleccionadas se adapten bien a las características del suelo y clima, aspectos importante como la propiedades químicas del suelo, junto con factores climáticos son determinantes para asegurar el éxito de sus establecimiento (Ruiz Carranza, 2019).

**Tolerancia a la Sequía y Cambios en la Disponibilidad del Agua:** En zonas con recursos hídricos limitados, son recomendables optar por especies que se adapten a periodos de sequía, por lo cual es importante asegurar su crecimiento y supervivencia en condiciones de humedad escasa. Esta consideración asegura la continuidad del crecimiento de las especies en condiciones adversas (Pérez, 2023).

**Capacidad de Regeneración Natural:** Se incluyeron especies que cuentan con una buena capacidad de regeneración natural, en especial aquellas nativas de la región, esto permite que una vez establecidas las especies puedan expandirse y regenerarse de manera

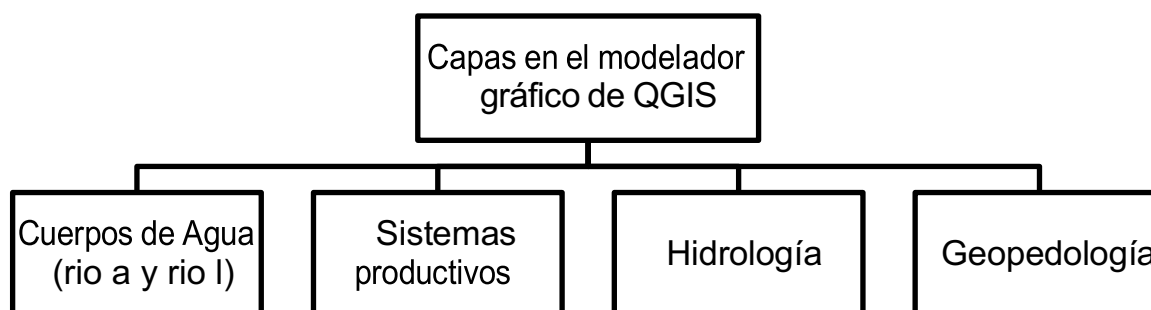
autosuficiente, promoviendo una reforestación sostenible y reduciendo la necesidad de intervenciones futuras (Arcentales Bastidas *et al.*, 2018).

**Fomento de la Biodiversidad Local:** Es fundamental elegir especies autóctonas que aportan ventajas ecológicas extra, como la generación de hábitats para la fauna local y la optimización de la conectividad ecológica, para fortalecer la estructura del ecosistema, estas especies ayudan a recuperar el funcionamiento inicial del ecosistema, fomentando la diversidad biológica y garantizando la resistencia de los hábitats ante alteraciones (Zambrano, Hernández and Arizaga, 2024).

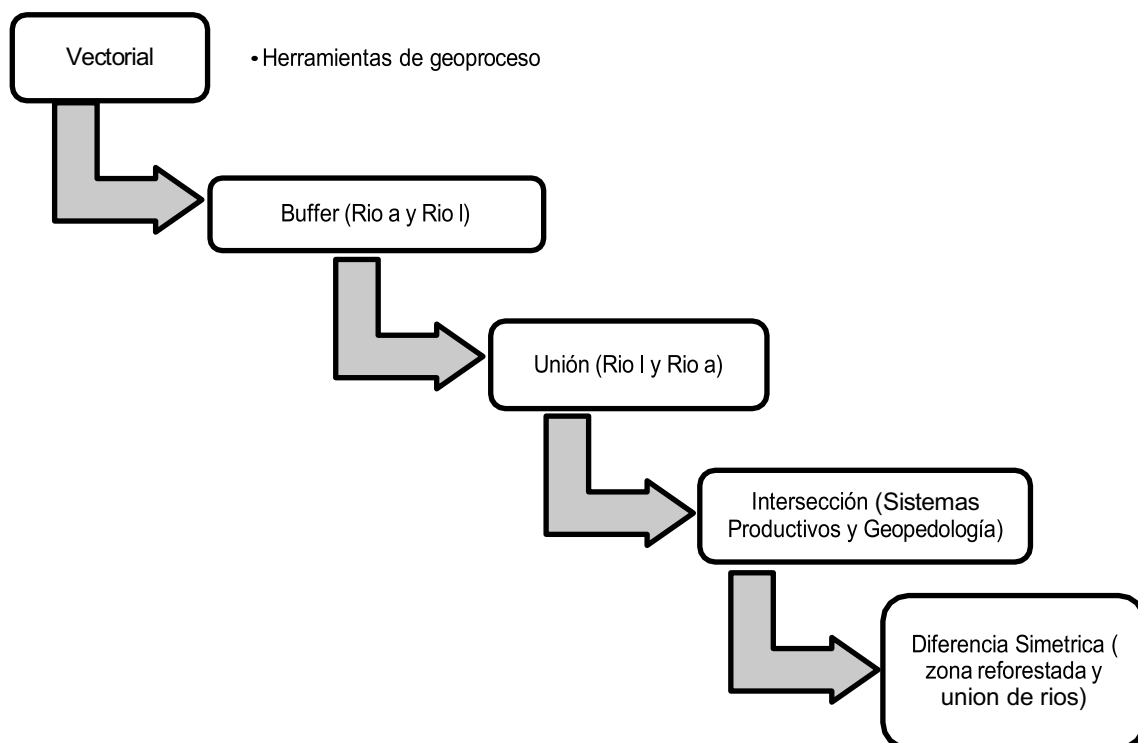
**Compatibilidad con la Utilización del Terreno:** Para las zonas de reforestación próximas a áreas de producción agraria, se escogieron especies que pueden cohabitar eficazmente en un sistema agroforestal, esta opción posibilita fusionar la reforestación con los métodos de producción locales, promoviendo la sinergia entre la agricultura y la recuperación ecológica, además fomenta la utilización sustentable del suelo, maximizando los recursos existentes, incrementando la fertilidad del suelo, disminuyendo la erosión y potenciando la captura de carbono (Hernández Vásquez *et al.*, 2012),

## 2.5 Caso de aplicación: Propuesta de selección de áreas promisorias en la captura de carbono mediante el modelador gráfico

Para el caso de aplicación se utilizó el modelador gráfico de QGIS, en el que se introdujo capas de entradas junto con sus respectivos algoritmos asociados, entre las capas utilizadas como entrada están capa de Sistemas Productivos, Geopedología, Hidrología, y Cuerpos de agua (Figura 2), dentro del proceso del modelador, se usaron las herramientas de geoprocreso vectorial que serán apropiadas para el estudio (Figura 3).



**Figura 2. Capas de entradas en el modelador gráfico en QGIS**



**Figura 3. Procesos vectoriales en el modelador gráfico en QGIS**

## 2.6 Software utilizado

### 2.6.1 Quantum Gis – QGIS versión 3.30.2

El programa QGIS o Quantum Gis es un software integral que es utilizado para construir Sistemas de Información Geográfica la cual consta de un conjunto de aplicaciones de código libre esenciales para la creación de datos, mapas, modelos y aplicaciones geoespaciales, QGIS sirve como punto de partida y base para la implementación SIG en organizaciones y en la web, haciéndolo compatible con varias plataformas como GNU/Linux, Unix, Mac Os y Microsoft Windows, facilitando la gestión de formatos ráster y vectoriales, así como el manejo de base de datos geoespaciales (Cuom, 2013).

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.7 Implementación del modelador cartográfico

El modelo cartográfico se realizó mediante un análisis espacial, en el cual se usaron intersecciones para combinar capas relevantes dentro del entorno de QGIS.

### 2.7.1 Selección de sistema productivos

En la figura 4 muestra como se configuro el proceso en el modelo cartográfico de QGIS, utilizando la capa de sistemas productivos en donde se aplicó una selección mediante la expresión: "cobertura" IN ('selección de zonas a reforestar'), dando como resultado la selección y extracción de los objetos en el mapa, destacando áreas que fueron elegidas potenciales zonas para la reforestación (Figura 5).

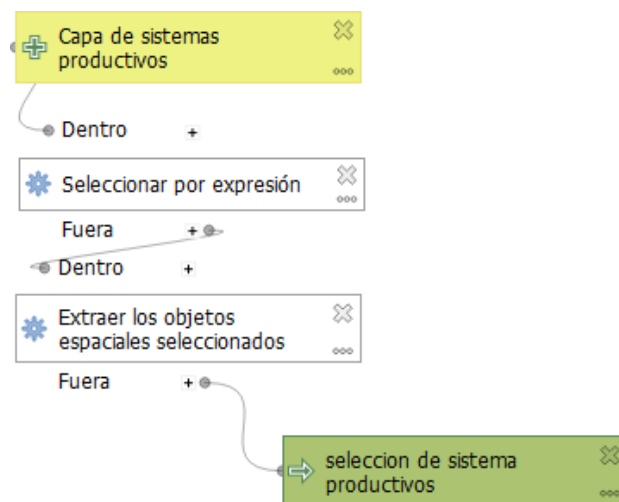


Figura 4. Proceso de selección en el modelo cartográfico

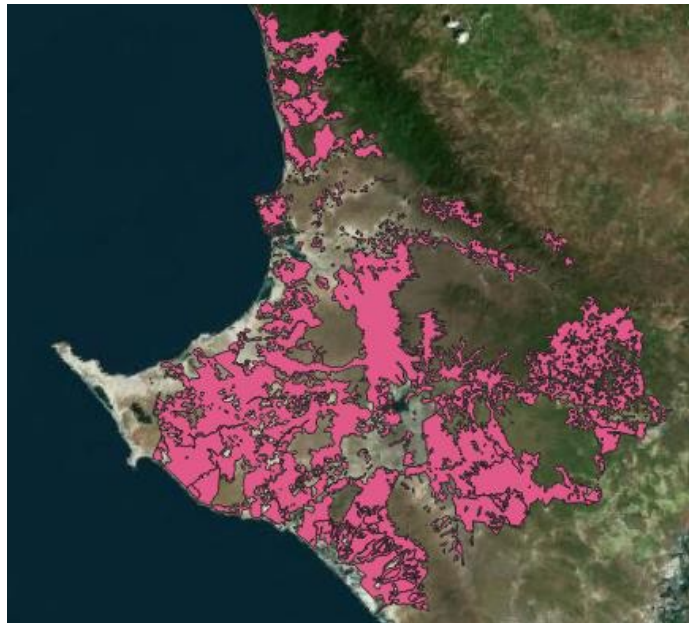


Figura 5. Resultado de la selección en el mapa

### 2.7.2 Unión y exclusión de cuerpos de agua

En la figura 6 se observa 4 capas, donde se unieron las capas rio a y rio l la cual representara todos los cuerpos de agua de interés, posteriormente se unieron la capa buffer variable rio a y rio l, que fueron preprocesadas con buffer según el tipo de rio (perenne e intermitente), su finalidad fue excluir los cuerpos de agua de las áreas seleccionadas para la reforestación, asegurando que estas zonas respeten las franjas hidrorreguladoras definidas (Figura 7).

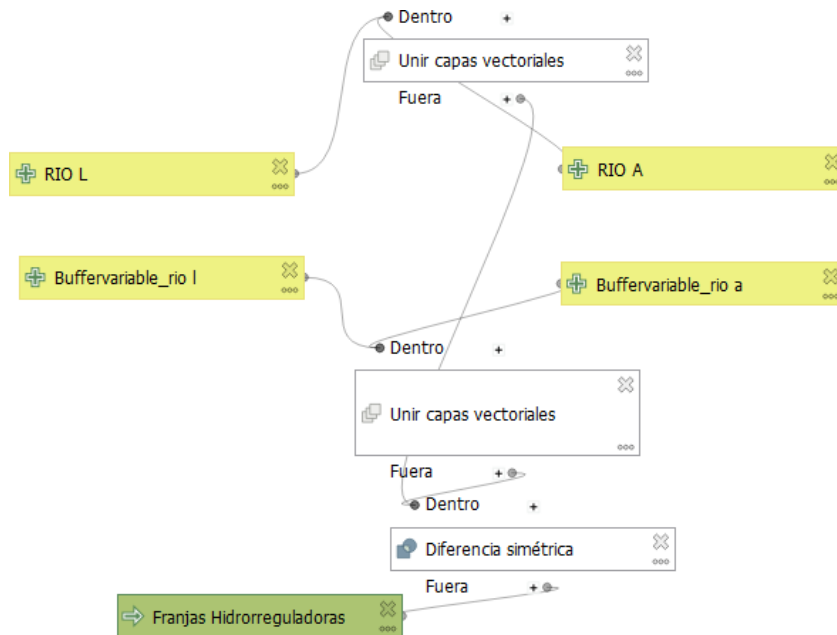


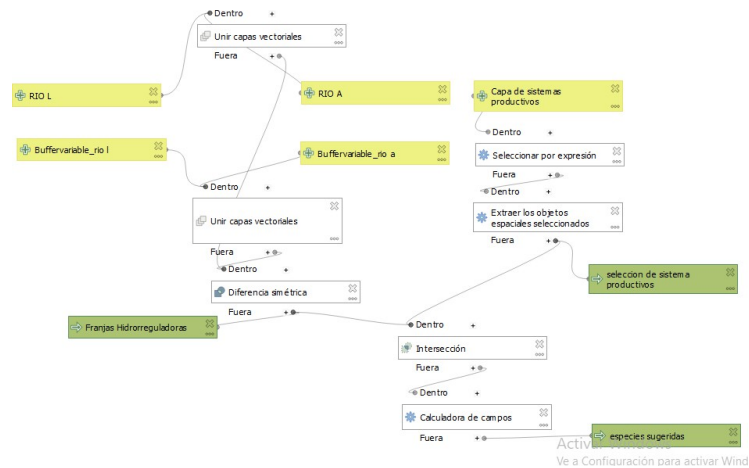
Figura 6. Proceso de unión y exclusión en el modelo cartográfico



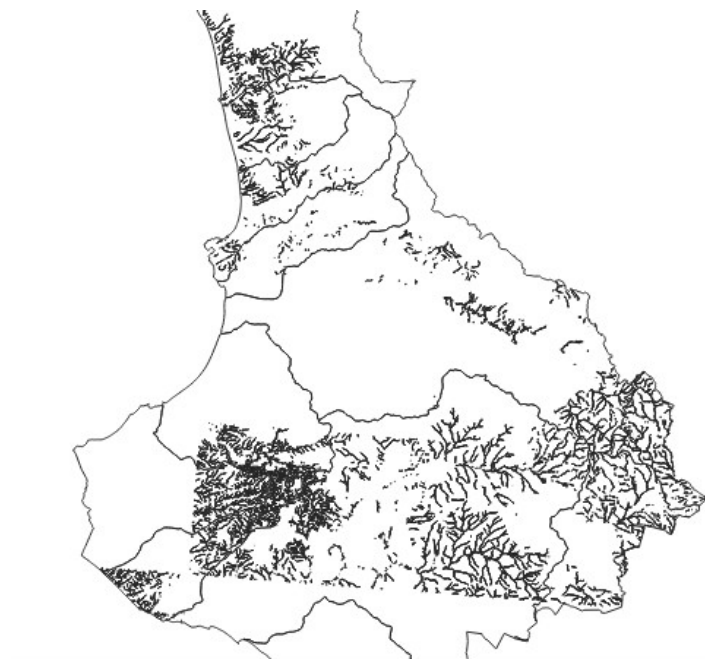
Figura 7. Delimitación de franjas hidrorreguladoras

### 2.7.3 Intersección con sistemas productivos

En la figura 8 se realizó la intersección entre la capas resultantes de la exclusión de cuerpos de agua y la selección de sistemas productivos, esto permitió restringir zonas que se encontraban dentro de las franjas hidrorreguladoras y que mostraban cobertura específicas, posteriormente se realizo un calculo con la siguiente expresión: CASE WHEN "campo" IN ('valor' ) then 'especies sugeridas ' END, la asignación de especies se baso en la compatibilidad del tipo de cobertura, permitiendo identificar especies mas adecuadas para cada área, optimizando el potencial de reforestación y captura de carbono (Figura 9).



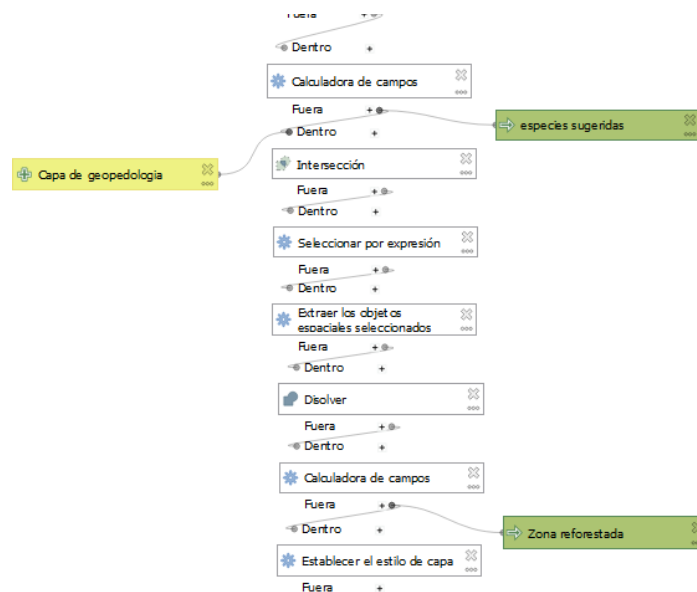
**Figura 8. Proceso de intersección y asignación de especies sugeridas en el modelo cartográfico**



**Figura 9. Especies sugeridas según el tipo de cobertura**

## 2.7.4 Intersección, Disolución y Calculo por especie

En la figura 10 se muestra la intersección de las especies sugeridas con la de geopedología para verificar la compatibilidad de las especies con las propiedades del suelo, se disolvió utilizando el campo de especies sugeridas, unificando las áreas correspondientes a cada especie, se añadió un nuevo campo para calcular la superficie total de cada especie dentro de las franjas seleccionadas (Figura 11).



**Figura 10. Intersección de especies sugeridas con geopedología y disolución por tipo de especie**



**Figura 11. Áreas reforestadas por especies sugeridas y su superficie total en hectáreas**



## 2.8 Tipos de Vegetación

En la tabla 2 presenta los tipos de vegetación y cobertura de suelo predominantes en la zona de estudio antes de realizar la selección de áreas para la reforestación, evidenciando una diversidad ecológica significativa. Se identificaron 3 categorías principales, que van desde áreas con vegetación nativa en diferentes estados de alteración hasta zonas agrícolas y suelos descubiertos, cada categoría refleja características particulares que permiten evaluar su estado de conservación y el nivel de intervención humana.

**Tabla 2. Tipos de vegetación antes de la reforestación**

Categorías	Descripción	Área/ha	Porcentaje (%)
Conservación y protección	Áreas con vegetación nativa compuesta por matorrales y bosques secos, clasificados según el grado de alteración: poco alterado, medianamente alterado y muy alterado.	400 ha	29,50
Tierras improductivas	Zonas con suelos expuestos y descubiertos, caracterizadas por baja o nula cobertura vegetal y sin capacidad productiva actual.	3 ha	0,22
Agrícola	Áreas destinadas a la producción agrícola, incluyendo cultivos de yuca, tomate riñón, sandía, plátano y entre otros.	953 ha	70,28

Según Luccini *et al.* (2018) en los bosques tropicales, la variedad de especies juega un papel fundamental en la eficacia de la captura de carbono, este análisis resalta que diversas especies poseen capacidades de almacenamiento de carbono fluctuantes, lo que resulta en promedios que varían entre 44 tCO<sub>2</sub>/a y 644 tCO<sub>2</sub>/ha, en función de las particularidades específicas del ecosistema y las especies existentes.

## 2.9 Grado de Alteración

En la tabla 3 clasifica las áreas estudiadas en dos categorías según su grado de alteración, en la que describe como estas condiciones afectan su capacidad de carbono.

**Tabla 3. Grado de alteración en la zona de estudio**

<b>Grado de alteración</b>	<b>Descripción</b>	<b>Area_ha</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Áreas altamente alteradas	Principalmente ocupadas por bosques y matorrales muy alterado, junto con suelos descubiertos, estas áreas han perdido gran parte de su vegetación original, lo que limita su función ecológica y los convierte en fuentes netas de emisiones de carbono.	159	11,73
Áreas medianamente alteradas	Incluyen zonas de bosques y matorrales medianamente alterados, que muestran signos de intervención humana como el pastoreo y la agricultura, estas áreas aún conservan ciertas características de su vegetación natural, lo que las posiciona como candidatas ideales para la reforestación.	1197	88,27

Según Baccini *et al.* (2012) el impacto de la deforestación en la emisión de carbono indica que la pérdida de cobertura forestal se traduce en emisiones significativas, subrayando la necesidad de restaurar áreas degradadas para mitigar estos efectos, es crucial resaltar que áreas medianamente pueden actuar como refugios de biodiversidad y son primordiales para la reforestación y captura de carbono.

## **2.10 Selección de especies promisorias para la reforestación**

### **2.10.1 Descripción del Algarrobo *Prosopis* spp. (Algarrobo sudamericano)**

Incluye diversas especies que pueden medir entre 2 a 18 metros de altura, tiene un tronco o fuste de 20 a 150 cm de diámetro y una copa que contiene hojas, flores y frutos en la parte aérea. Tienen adaptaciones a climas secos y producen vainas similares a legumbres, siendo un recurso alimenticio para fauna y humanos (Cruzado Jacinto, Chávez Villavicencio and Charcape Ravelo, 2019).

### **Requerimientos del Algarrobo**

Según Zarate and Fernández (2015) el algarrobo es muy resistente a la sequía, siendo capaz de sobrevivir con precipitaciones mínimas de aproximadamente 220 mm/año, pero para una fructificación adecuada, se estima que necesita alrededor de 350 mm/año, prefiere suelos bien drenados, aunque tolera suelos calizos, pedregosos y poco profundos, pero puede crecer en suelos pobres en nutrientes, su pH ideal del suelo debe estar entre 7.5 y 8.5, aunque puede tolerar rangos más amplios. Se debe plantar en un área amplia y alejada de tuberías debido a su sistema radicular extenso, por lo cual, al ser un árbol de crecimiento lento y larga vida, requiere un manejo apropiado para su mantenimiento a lo largo del tiempo.

### **2.10.2 Descripción del Guayacán**

El guayacán (*Porlieria chilensis*) es un árbol caducifolio característico de zonas tropicales y subtropicales de América Latina. Puede alcanzar alturas de entre 2 y 5 metros, con un tronco recto y robusto que alcanza diámetros de hasta 20 cm. La corteza es gruesa, de color café grisáceo, con un aspecto surcado y profundamente agrietado que les otorga una resistencia notable frente a las inclemencias del tiempo. Sus hojas, compuestas y opuestas, están formadas por varios pares de folíolos de un verde claro y brillante. La floración ocurre durante la primavera, cuando el guayacán se cubre de flores amarillas brillantes y campanuladas, que crean un espectáculo visual sobre las ramas desnudas del árbol, atrayendo a polinizadores y destacándose en el paisaje (Rallo *et al.*, 2007)

### **Requerimientos del Guayacán**

El guayacán amarillo es una especie extremadamente flexible, que elige terrenos fértiles y bien drenados, que oscilan entre francos y franco-arenosos, con un pH apropiado entre 6 y 8.5. Su gama de altitudes es amplia, extendiéndose desde el nivel del mar hasta cerca de los 1500 metros, esta especie florece en climas cálidos y en áreas de humedad moderada, aunque una vez asentada, puede soportar periodos de sequía, por su adaptabilidad y resistencia, el guayacán amarillo es una excelente elección para proyectos de reforestación en áreas semiáridas y para la recuperación de suelos erosionados (Quinteros, 2020)

### **2.10.3 Descripción del Caoba**

La caoba es un árbol de gran tamaño que puede alcanzar alturas de entre 30 a 50 metros y, en ocasiones, hasta 70 metros, con un diámetro de tronco que varía de 1 a 1.8 metros, llegando hasta 3.5 metros en algunos casos, su tronco es recto y leñoso, con contrafuertes bien formados y una corteza de color gris, la copa del árbol es frondosa y abierta en forma

de abanico, las hojas de la caoba son alternas, con un tamaño que va de 12 a 40 cm de largo y presentan entre 3 a 5 pares de folíolos, que son lanceolados y ovados, en cuanto a las flores, estas son pequeñas, de color verde amarillento, y se agrupan en panículas axilares (López Córdoba *et al.*, 2020).

### **Requerimientos del Caoba**

La caoba necesita suelos profundos, con una profundidad efectiva superior a 90 cm. Prefiere condiciones de luz solar completa y suelos bien drenados, ya que no tolera condiciones encharcadas, su pH ideal es de 6 a 7.5, también es importante proporcionar una nutrición adecuada para su crecimiento rápido, la madera de caoba es muy apreciada por su durabilidad, belleza y facilidad de trabajo, siendo una de las más codiciadas en la fabricación de muebles de alta calidad (Flores Bendezú, 2010)

### **2.11 Especies Reforestadas**

Según Morera Beita (2003) se ha evidenciado que algunas especies nativas o adaptativas no solo poseen un mayor índice de supervivencia, sino que también son más eficaces en el almacenamiento de carbono a largo plazo, la selección de especies autóctonas promueve una restauración más eficaz de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, la que las convierte en una opción preferente para proyectos de restauración ecológica.

La tabla 4 muestra varias especies con alto potencial de adaptación a las condiciones del suelo y clima de la Península de Santa Elena, destacadas por su capacidad para capturar carbono, esto es relevante para orientar estrategias de reforestación en las áreas priorizadas.

**Tabla 4. Área/ha reforestada en la Península de Santa Elena**

<b>Arboles reforestados</b>	<b>Área/ha</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Nº de plantas</b>
Caoba	400 ha	29,50	133333
Algarrobo	3 ha	0,22	1200
Guayacán	953 ha	70,28	238250

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- El análisis de suelos, recursos hídricos y cobertura vegetal permitió identificar las áreas con mayor potencial para la captura de carbono en la Península de Santa Elena,

priorizando zonas óptimas para la reforestación, estas áreas tras ser reforestadas contribuirán significativamente a la restauración de los ecosistemas.

- El modelo cartográfico automatizado facilitó la selección y priorización de áreas de reforestación, mejorando la toma de decisiones mediante la integración de diversas capas geoespaciales, esto permitió visualizar zonas con mayor potencial de restauración.
- La incorporación de especies nativas adaptadas a las condiciones locales es esencial para promover una restauración ecológica, estas especies al estar mejor adaptadas al clima y suelo de la región, facilitan la recuperación de ecosistemas, mejorando la biodiversidad y fortaleciendo la estabilidad ambiental.

### **Recomendaciones**

- Capacitar a actores locales en la toma de decisiones sobre el uso del modelador cartográfico como herramienta para planificar y priorizar acciones de restauración.
- Trabajar en conjunto con instituciones locales, organizaciones ambientales y gobiernos para implementar programas de restauración que aprovechen los resultados obtenidos en el modelador cartográfico.
- Integrar información climática detallada en futuras investigaciones ayudara a seleccionar mejor las especies nativas, aumentando su adaptación a las condiciones locales y optimizando la capacidad de captura de carbono.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz, R.B. (2016) *Humificación, Tiloomb*. Available at: <https://www.tiloom.com/humificacion> (Accessed: 2 August 2024).
- Aldaz, J.C. (2017) ‘Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central de Ecuador’, *Enfoque UTE*, 8(5), pp. 103–109.
- Alonso, D. (2014) ‘Las 10 herramientas de geoprocésamiento que todo Técnico GIS debería conocer’, *MappingGIS*, 30 October. Available at: <https://mappinggis.com/2014/10/herramientas-de-geoprocésamiento-en-gis/> (Accessed: 20 August 2024).
- Andrade, G. *et al.* (2021) ‘Cambio climático, desarrollo territorial y gobiernos locales: lecciones de la crisis sanitaria’, *CONGOPE*. Available at: <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=cambio-climatico-desarrollo-territorial-y-gobiernos-locales-lecciones-de-la-crisis-sanitaria> (Accessed: 2 August 2024).
- Arango, J. *et al.* (2023) ‘Using genetic diversity in deep root systems of forage grasses and rice to capture carbon in tropical soils. Available at: <https://hdl.handle.net/10568/130383> (Accessed: 2 August 2024).
- Arcentales Bastidas, D. *et al.* (2018) ‘Análisis de sensibilidad de las condiciones operacionales, geológicas y el cuidado post inyección en sitio con el riesgo asociado al secuestro de CO<sub>2</sub> en la región sur de Estados Unidos’. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7282> (Accessed: 10 November 2024).
- ArcMap 10.8 (2021) *Cómo funciona Interseccion—ArcMap | Documentación*. Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/how-intersect-analysis-works.htm> (Accessed: 4 December 2024).
- Auria Cusme, L.A. (2021) *Variación de la reserva de carbono en las zonas secas y subhúmedas de la península de Santa Elena*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6396> (Accessed: 19 July 2024).
- Ayala, O. and Almanza, M. (2021) *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos agrícolas de la zona intersalar potosino en diferentes tipos de uso*. Available at: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182021000200007&lang=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182021000200007&lang=es) (Accessed: 11 November 2024).
- Baccini, A. *et al.* (2012) ‘Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps’, *Nature Climate Change*, 2(3), pp. 182–185. Available at: <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>.
- Balám Che, M. *et al.* (2015) ‘Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el sureste de México’, *Revista fitotecnica mexicana*, 38(2), pp. 205–212.

Barrales Brito, E. *et al.* (2020) ‘Dinámica de carbono en agregados del suelo con diferentes tipos de usos de suelo en el monte Tláloc, Estado de México’, *Terra Latinoamericana*, 38(2), pp. 275–288.

Benito, A. *et al.* (2010) (PDF) *Acumulación de carbono en el suelo en agricultura de conservación*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/285397318\\_Acumulacion\\_de\\_carbono\\_en\\_el\\_suelo\\_en\\_agricultura\\_de\\_conservacion](https://www.researchgate.net/publication/285397318_Acumulacion_de_carbono_en_el_suelo_en_agricultura_de_conservacion) (Accessed: 29 May 2024).

Bojórquez Serrano, J.I. *et al.* (2015) ‘Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas’, *Cultivos Tropicales*, 36(4), pp. 63–69.

Borrego, M.L. (2012) *Expertos por proteger franjas de ríos y litorales para futuras inundaciones – Escambray*. Available at: <https://www.escambray.cu/2012/recomiendan-expertos-protoger-franjas-de-rios-y-litorales-para-futuras-inundaciones/> (Accessed: 2 August 2024).

Calderón, A. and Alvaréz, L. (2023) *Políticas del agua y de restauración de los humedales en lagunas de Guanacache: aproximaciones a un diálogo transdisciplinario*. Available at: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2525-18132022000100011&lang=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2525-18132022000100011&lang=es) (Accessed: 11 November 2024).

Carreño Maldonado, O.D. (2024) *Capacidad de almacenamiento de carbono del bosque nativo de la comuna Dos Mangas, provincia de Santa Elena*. masterThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12220> (Accessed: 10 November 2024).

Catuto Pozo, S.D. (2015) *Contribución al uso y manejo sostenible de los suelos en la finca Ramírez de la comuna Bambil Deshecho de la parroquia Colonche provincia de Santa Elena*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2735> (Accessed: 2 August 2024).

Cerrón Macha, J. Marith., Del Castillo Ruiz, J.D. and Bonnesoeur, V. (2019) *Relación entre árboles, cobertura y uso de la tierra y servicios hidrológicos en los Andes tropicales: una síntesis del conocimiento · Biblioteca Digital · Biblioteca Digital*. Available at: <https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/s/biblioteca-digital/ark:/25654/1872#?c=0&m=0&s=0&cv=0> (Accessed: 11 November 2024).

Chávez, G., Dourojeanni, A. and Jouravlev, A. (2002) *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL. Available at: <https://hdl.handle.net/11362/6407> (Accessed: 11 November 2024).

Chura, J. and Mendoza Cortez, J.W. (2019) *Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro*. Available at: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172019000200010&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172019000200010&lng=es&nrm=iso) (Accessed: 29 May 2024).

Cruz Nieto, D.D. *et al.* (2024) ‘Biological and chemical characterization in relation to the yield of radish (*Raphanus sativus* L.) nourished with humus from plant residues’, *Brazilian*

*Journal of Biology*, 84, p. e281235. Available at: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.281235>.

Cruzado Jacinto, L., Chávez Villavicencio, C. and Charcape Ravelo, M. (2019) 'Uso y selección de las partes aéreas del algarrobo *Prosopis pallida* (Fabaceae) por reptiles, aves y mamíferos en Sechura (Piura - Perú)', *Revista Peruana de Biología*, 26(1), pp. 81–86. Available at: <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15417>.

Cuom (2013) *Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS 1.8*. Universidad Veracruzana.

Curaqueo, G. *et al.* (2024) 'Biocarbón como estrategia sustentable para la mejora de suelos agrícolas y el secuestro de carbono', *Siembra*, 11. Available at: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2477-88502024000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2477-88502024000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es) (Accessed: 17 July 2024).

Curso Online GIS (2022) *Herramientas De Geoprocesamiento* |, *CURSOSONLINEGIS*. Available at: <https://cursosonlinegis.com/7-herramientas-de-geoprocesamiento-que-todo-analista-de-sig-debe-conocer/> (Accessed: 4 December 2024).

De la Casa, A. *et al.* (2024) *Evaluación del cambio en el uso del suelo en la región agrícola de secano de Córdoba, Argentina entre 2000 y 2020 basado en datos NDVI*. Available at: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-298X2024000100003&lang=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2024000100003&lang=es) (Accessed: 11 November 2024).

Duarte Acosta, L. *et al.* (2018) 'Estudio poblacional de *Gonopterodendron sarmientoi* (Palo Santo), Departamentos de Presidente Hayes y Boquerón, Paraguay', *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 23(2), pp. 275–288. Available at: <https://doi.org/10.32480/rscp.2018-23-2.275-288>.

Febles González, J.M. *et al.* (2020) 'Los ambientes geológicos en la acumulación de metales pesados en suelos de Pinar del Río', *Cultivos Tropicales*, 41(2). Available at: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0258-59362020000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es) (Accessed: 29 May 2024).

Flores Bendezú, Y. (2010) 'Caoba', *Instituto Nacional de Innovación Agraria* [Preprint]. Available at: <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/835> (Accessed: 9 November 2024).

Flores Solórzano, S.B. *et al.* (2021) 'Physicochemical maturity parameters in the coffee pulp-cow manure vermicomposted mixture', *Revista fitotecnia mexicana*, 44(4), pp. 553–560. Available at: <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.553>.

Flórez, J.B. *et al.* (2014) 'Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil', *Madera y bosques*, 20(1), pp. 11–20.

Galarza, P.S. (2014) 'Sinergias entre degradación de la tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador: Proyecto Mecanismo Mundial Ecuador'. Available at: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/148133-opac> (Accessed: 2 August 2024).



García, P. (2021) *¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?*, Geoinnova. Available at: <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/> (Accessed: 8 November 2024).

Garmendia, C. (2020) 'Automatizá tus geoprocesos usando el Modelador Gráfico de QGIS y los geoservicios de IDECOR', *IDECOR*, 20 October. Available at: <https://www.idecor.gov.ar/automatiza-tus-geoprocesos-usando-el-modelador-grafico-de-qgis-y-los-geoservicios-de-idecor/> (Accessed: 20 August 2024).

González Castillo, S.V. (2015) *Estrategias comunitarias alternativas para la prevención de la tala de árboles en el barrio Santuario de la comuna Manantial de Colonche, parroquia Colonche año 2015*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4020> (Accessed: 20 July 2024).

Granados Sánchez, D. *et al.* (2013) 'LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN Y LAS REGIONES ÁRIDAS', *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XIX (1), pp. 45–66.

Guerrero Ortiz, P.L. *et al.* (2012) 'Respiración de CO<sub>2</sub> como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinus', *Terra Latinoamericana*, 30(4), pp. 355–362.

Hatay, N. (2022) *Comprender el secuestro de carbono del suelo en la agricultura*. Available at: <https://biomemakers.com/es/blog/comprender-el-secuestro-de-carbono-del-suelo-en-la-agricultura> (Accessed: 17 July 2024).

Hernández, A. *et al.* (2006) 'Cambios Globales De Los Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (nitisoles Ródicos Éutricos) De La Provincia La Habana', *Cultivos Tropicales*, 27(2), pp. 41–50.

Hernández, J.E., Torres, D.T. and Hernández, R.I.B. (2014) 'Captura de carbono en los suelos', *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 1(2). Available at: <https://doi.org/10.29057/icbi.v1i2.506>.

Hernández Vásquez, E. *et al.* (2012) 'Captura de carbono por Inga jinicuil Schltidl: En un sistema agroforestal de café bajo sombra', *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(9), pp. 11–21.

Herrera Cabezas, J.P. (2016) 'La planificación nacional en Ecuador: planes de desarrollo y ordenamiento territorial, y el sistema de seguimiento y evaluación SIGAD', *Revista Ciencia Unemi*, 9(21), pp. 168–179.

Huamán Carrión, M.L. *et al.* (2021) *Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos*. Available at: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172021000100083&script=sci\\_arttext&tlng=pt&](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172021000100083&script=sci_arttext&tlng=pt&) (Accessed: 29 May 2024).

Hurtado, P. and Arias Real, R. (2024) 'Biodiversidad y funcionamiento de los ríos intermitentes: retos en un contexto de cambio global', *Ecosistemas*, 33(1), pp. 2742–2742. Available at: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2742>.

- Ibáñez, J.J. (2006) ‘Humus y la Clasificación del Humus de los Suelos - Un Universo invisible bajo nuestros pies’, 18 August. Available at: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/08/18/37767> (Accessed: 29 May 2024).
- IGM (2013) ‘METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA BÁSICA DEL ECUADOR TERRITORIAL ESCALA 1:5000’. Available at: [https://mdgs.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rcca10/E\\_Conf.103\\_21\\_IGM\\_ECUADOR.pdf](https://mdgs.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rcca10/E_Conf.103_21_IGM_ECUADOR.pdf).
- Jiménez Noboa, S. (2012) *Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia*.
- Kalil Perdomo, S.P. (2014) *Seguimiento de humificación en compost inoculado*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Lanly, J. (2003) *Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques*. Available at: <https://www.fao.org/4/xii/ms12a-s.htm> (Accessed: 11 November 2024).
- León Lima, D.P. and Balmaseda Espinoza, C.E. (2019) *CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN Y PRÁCTICAS RÍO VERDE, SANTA ELENA, ECUADOR*. Available at: <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/656> (Accessed: 19 July 2024).
- López Córdoba, C.M. *et al.* (2020) ‘Transformación catalítica del aceite esencial de Palo Santo sobre zeolita Faujasita HY’, *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(2). Available at: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n2.013>.
- Luccini, E. *et al.* (2018) ‘Análisis comparativo de la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> por especies vegetales de tres ecosistemas en Perú’, *Energeia, Vol. 15, Nº 15, 2018* [Preprint]. Available at: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/5870> (Accessed: 9 November 2024).
- MAG (2016) ‘Cobertura y uso de la tierra | Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica’. Available at: <http://www.sigtierras.gob.ec/cobertura-y-uso-de-la-tierra/> (Accessed: 11 November 2024).
- Martínez H, E., Fuentes E, J.P. and Acevedo H, E. (2008) *CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO*. Available at: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci\\_arttext&utm\\_source=textcortex&utm\\_medium=zenochat](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext&utm_source=textcortex&utm_medium=zenochat) (Accessed: 23 May 2024).
- Martínez, J. and Fernández, A. (2004) *Cambio climático: una visión desde México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Available at: <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1234> (Accessed: 8 November 2024).
- Méndez, C.E.C. and Dualiby, Y. del C.A. (2017) ‘Implementación del mapa de geopedología como base para la delimitación de unidades de ecosistemas a nivel nacional en Colombia’, *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), pp. 175–185. Available at: <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.74>.

- Molina S., X. *et al.* (2019) ‘Geografía del carbono en alta resolución en bosque tropical amazónico del Ecuador utilizando tecnología LiDAR aerotransportada’, *Revista cartográfica*, (98), pp. 75–95. Available at: <https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.142>.
- Morales, A. (2015) ‘Automatizar tareas: Model Builder o Python’, *MappingGIS*, 18 June. Available at: <https://mappinggis.com/2015/06/model-builder-o-python/> (Accessed: 20 August 2024).
- Morera Beita, A.A. (2003) *Efecto de la Reforestación con Especies Nativas sobre la Recuperación de Bosques Secos en Costa Rica*. Available at: <https://www.fao.org/4/XII/0279-B3.htm> (Accessed: 9 November 2024).
- Norman, C. and kreye, M. (2022) *Cómo los bosques almacenan el carbono*. Available at: <https://extension.psu.edu/como-los-bosques-almacenan-el-carbono> (Accessed: 2 August 2024).
- Ólafsson, B. (2022) ‘¿Qué es el cambio de uso de la tierra y qué lo causa?’, 16 December. Available at: <https://sentientmedia.org/es/que-es-el-cambio-de-uso-de-la-tierra-y-que-lo-causa/> (Accessed: 12 August 2024).
- Olives, J.C. *et al.* (2020) *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Santa Elena 20192023 Compressed | PDF*. Available at: <https://es.scribd.com/document/646673393/Plan-de-Desarrollo-y-Ordenamiento-Territorial-Santa-Elena-20192023-Compressed> (Accessed: 10 November 2024).
- Ondarse Álvarez, D. (2024) *Ciclo del carbono - Concepto, proceso e importancia*. Available at: <https://concepto.de/ciclo-del-carbono/> (Accessed: 23 May 2024).
- Pena Gómez, P.R. *et al.* (2022) ‘Cuenca del Arroyo Chapaleofú: agriculturización y efecto del insecticida clorpirifos sobre una especie no blanco’, *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 9(2). Available at: <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3131>.
- Peñaloza, X. and González, J. (2015) *Delimitación de riberas de ríos y arroyos, gob.mx*. Available at: <http://www.gob.mx/imta/documentos/delimitacion-de-riberas-de-rios-y-arroyos> (Accessed: 11 November 2024).
- Pereira, Y.A.M. (2019) ‘La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas’, *Revista Científica*, 4(13), pp. 182–199.
- Pérez, C. (2023) *Superando los límites de la captura de carbono forestal: más allá de los árboles para frenar el cambio climático | Planeta 16*. Available at: [https://planeta16.com/naturaleza/captura-carbono-forestal-arboles-cambio-climatico/?utm\\_source=textcortex&utm\\_medium=zenochat](https://planeta16.com/naturaleza/captura-carbono-forestal-arboles-cambio-climatico/?utm_source=textcortex&utm_medium=zenochat) (Accessed: 10 November 2024).
- Quinteros, F. (2020) ‘El guayacán: un árbol endémico e «isla de fertilidad» que está en riesgo de desaparecer’, *Ladera Sur*. Available at: <https://laderasur.com/articulo/el-guayacan-un-arbol-endemico-e-isla-de-fertilidad-que-esta-en-riesgo-de-desaparecer> (Accessed: 9 November 2024).

Rabassa, J. (2010) 'El cambio climático global en la Patagonia desde el viaje de Charles Darwin hasta nuestros días', *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1), pp. 139–156.

Rallo, M. *et al.* (2007) 'CARACTERÍSTICAS MACRO Y MICROSCÓPICAS DEL GUAYACÁN', *Maderas. Ciencia y tecnología*, 9(1), pp. 71–78. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2007000100006>.

Rangel Cura, R.A. (2015) *Valoración económica de afectaciones ambientales al recurso bosque en la franja hidrorreguladora de la corriente principal del río Guanabo, La Habana, Cuba.* | *Revista Cubana de Geografía*. Available at: <https://www.revistasgeotech.com/index.php/rcg/article/view/48> (Accessed: 2 August 2024).

Robert, M. (2002) *Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra*. Available at: <https://www.fao.org/4/Y2779S/y2779s00.htm> (Accessed: 2 August 2024).

Rodriguez, A., Sueldo, S. and Ñontol, O. (2022) 'Agricultura Insostenible', *Conexión ambiental*, 19 December. Available at: <https://conexionambiental.pe/agricultura-insostenible/> (Accessed: 10 November 2024).

Romero Gutiérrez, F., Pérez Martínez, P. and Pérez Martínez, R. (2018) 'Franjas hidrorreguladoras protectoras de aguas y suelos para la defensa'. Available at: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/02/defensa-territorial-manati.html> (Accessed: 1 December 2023).

Ruiz Carranza, A.H. (2019) *Cuantificación del servicio ambiental de almacenamiento de CO2 en biomasa aérea de las especies de flora en la Zona de Conservación y Recuperación de Ecosistemas (ZoCRE), Humedal del Alto Mayo, sector Santa Elena - Rioja 2018.*

Rural, S. de A. y D. (2015) *El cambio climático afecta al campo ¿cómo enfrentarlo?*, *gob.mx*. Available at: <http://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-cambio-climatico-afecta-al-campo-como-enfrentarlo> (Accessed: 10 November 2024).

Salvador, D.G.C., Ernesto Núñez Flores, Roberto Ramírez García, Julio César Romero (2017) *Alterar el suelo contribuye al cambio climático*, *Ciencia UNAM*. Available at: <https://ciencia.unam.mx/leer/633/alterar-el-suelo-contribuye-al-cambio-climatico> (Accessed: 21 July 2024).

Santibañez González, E. (2014) 'Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil', *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), pp. 235–245.

*Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos* (2016). Available at: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/en-santa-elena-se-reportan-71-hectareas-de-cobertura-vegetal-quemadas-en-lo-que-va-del-ano/> (Accessed: 20 July 2024).

Sierra, R., Calva, O. and Guevara, A. (2021) *La Deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes.*

Soca Martinez, S.B. (2021) *Protocolo de germinación y propagación vegetativa de palo santo (Bursera graveolens)*. Thesis. ESPOL. FCV. Available at: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56464> (Accessed: 7 November 2024).

Tarakanov, V. (2024) *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* IAEA. Available at: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo> (Accessed: 11 November 2024).

Valdiviezo, A. (2020) *Cuenca hidrográfica de un río, iAgua*. iAgua. Available at: <https://www.iagua.es/respuestas/cuenca-hidrografica-rio> (Accessed: 11 November 2024).

Vásquez, J.R., Macías, F. and Menjivar, J.C. (2013) 'Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia', *Bioagro*, 25(3), pp. 175–180.

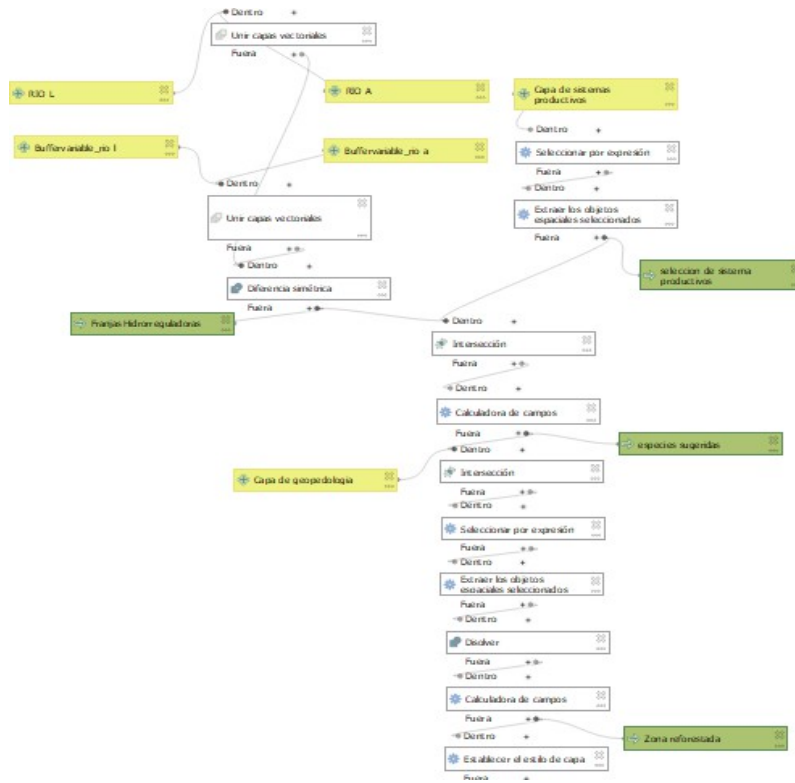
Zambrano, L., Hernández, J. and Arizaga, E. (2024) (PDF) *Captura de carbono por especies de plantas en la región costa del Ecuador*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/378300036\\_Captura\\_de\\_carbono\\_por\\_especies\\_de\\_plantas\\_en\\_la\\_region\\_costa\\_del\\_Ecuador?utm\\_source=textcortex&utm\\_medium=zeno\\_chat](https://www.researchgate.net/publication/378300036_Captura_de_carbono_por_especies_de_plantas_en_la_region_costa_del_Ecuador?utm_source=textcortex&utm_medium=zeno_chat) (Accessed: 10 November 2024).

Zarate, M. and Fernández, R.A. (2015) (PDF) *AVANCES EN LA SILVICULTURA DEL ALGARROBO BLANCO*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/288485883\\_AVANCES\\_EN\\_LA\\_SILVICULTURA\\_DEL\\_ALGARROBO\\_BLANCO](https://www.researchgate.net/publication/288485883_AVANCES_EN_LA_SILVICULTURA_DEL_ALGARROBO_BLANCO) (Accessed: 9 November 2024).

## ANEXOS

descr	DPA_DESPRO	cobertura	Especies sugeridas	Area_ha
AREA MORFOLOGICA HOMOGENEA QUE CARACTERIZA LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS, Y SE CODIFICA MEDIANTE UN TAXON	SANTA ELENA	MATORRAL SECO MEDIANAMENTE ALTERADO	GUAYACÁN	953
AREA MORFOLOGICA HOMOGENEA QUE CARACTERIZA LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS, Y SE CODIFICA MEDIANTE UN TAXON	SANTA ELENA	BARBECHO	CAOBA	400
AREA MORFOLOGICA HOMOGENEA QUE CARACTERIZA LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS, Y SE CODIFICA MEDIANTE UN TAXON	SANTA ELENA	SUELO DESCUBIERTO	ALGARROBO	3

**Tabla 1A. Zonas reforestadas**



**Figura 1A.** Modelador grafico



**Figura 1A.** Visualización de zonas reforestadas