

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ambiente y Desarrollo**  
**Ingeniería en Ambiente y Desarrollo**



**Proyecto Especial de Graduación**  
**Efecto del gorgojo descortezador de pino en el contenido de carbono**  
**orgánico en los suelos de las reservas forestales de Uyuca, La Tigra, El**  
**Chile y Suyapa, Honduras**

Estudiante

Julián Andrés Pinzón Sánchez

Asesores

Juan Carlos Flores, Ph.D.

Ricardo Alexander Peña Venegas, Ph.D.

Honduras, agosto 2023

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ERIKA TENORIO MONCADA**

Directora Departamento Ambiente y Desarrollo

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

Le agradezco a “Eden Reforestation Projects” por su apoyo en la logística e información suministrada en el trayecto del proyecto, al ingeniero Rafael Oqueli, director nacional de la organización, quien estuvo pendiente en todo momento de la investigación. Quiero dar un especial agradecimiento a “El Mero”, jefe del Comité Ecológico de la Aldea de Suyapa (COEAS), y a cada uno de los trabajadores del grupo del comité, quienes me dieron permiso para extraer muestras y me apoyaron en la ubicación de las parcelas de la reserva forestal de Suyapa. Por último, un agradecimiento a la ingeniera Gloria Mencía y a todo el cuerpo de trabajo del laboratorio de suelos de Zamorano, quienes me acompañaron e instruyeron en los análisis de laboratorio.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Contenido.....	4
Índice de Cuadros .....	6
Índice de Figuras .....	7
Índice de Anexos .....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Metodología.....	14
Ubicación y Descripción de Áreas de Estudio .....	14
Diseño de muestreo.....	15
Muestra de Densidad Aparente.....	16
Muestra de Carbono Orgánico.....	16
Análisis de Laboratorio .....	18
Análisis de DA.....	18
Análisis de Carbono Orgánico .....	19
Determinación de Toneladas de COS por Hectárea .....	19
Análisis y Diseño Estadístico .....	20
Prueba de Normalidad “Shapiro Wilks” .....	20
Pruebas “Kruskal Wallis” .....	21
Análisis de Correlación.....	21
Resultados y Discusión.....	22
Descripción de la Densidad Aparente del Suelo .....	22
Descripción de Porcentaje de Carbono Orgánico en el Suelo .....	22

	5
Descripción del Porcentaje de Nitrógeno Total .....	23
Contenido de Carbono Orgánico Almacenado en el Suelo.....	24
Contenido de COS por Profundidad.....	25
Contenido de COS en Sitios Afectados y no Afectados por el Gorgojo .....	26
Análisis de Correlación Entre las Condiciones Ambientales y Físicas del Suelo .....	27
Conclusiones .....	30
Recomendaciones.....	31
Anexos.....	35

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Condiciones ambientales promedio de las parcelas cada reserva .....	15
Cuadro 2 Número de las parcelas de muestreo de cada reserva .....	16
Cuadro 3 Densidad aparente promedio en gramos por centímetro cúbico de cada reserva.....	22
Cuadro 4 Porcentaje promedio del Nitrógeno total para el suelo de cada reserva. ....	24
Cuadro 5 Prueba “Kruskal Wallis” para las toneladas de Carbono Orgánico por hectárea entre las reservas.....	24
Cuadro 6 Rango de medias del contenido de COS en toneladas por hectárea de cada reserva, organizado en forma ascendente .....	25
Cuadro 7 Prueba Kruskal Wallis para el contenido de COS en toneladas por hectárea a las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm.....	25
Cuadro 8 Prueba “Kruskal Wallis” entre el contenido de COS en toneladas por hectárea y las parcelas afectadas y no afectadas por el gorgojo descortezador de pino.....	26
Cuadro 9 Prueba Kruskal Wallis de DA en gramos por centímetro cúbico y las reservas forestales.....	26
Cuadro 10 Rango de medias de las diferentes reservas forestales y su DA en g/cm <sup>3</sup> . ....	27
Cuadro 11 Análisis de correlación entre el carbono orgánico del suelo (COS), las variables ambientales y la DA en g/cm <sup>3</sup> del suelo. ....	27

### Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de las cinco reservas muestreadas.....	14
Figura 2 Procedimiento de recolección de muestras para carbono orgánico en el suelo.....	17
Figura 3 Procedimiento de recolección de muestras para carbono orgánico en el suelo.....	18
Figura 4 Porcentaje promedio de COS en cada reserva forestal .....	23
Figura 5 Regresión lineal de contenido de COS con la precipitación promedio anual .....	28

**Índice de Anexos**

Anexo A Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Uyuca Tatumbla.....	35
Anexo B Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Uyuca Joya Grande .....	36
Anexo C Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Suyapa.....	37
Anexo D Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal La Tigra .....	38
Anexo E Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Uyuca Tatumbla .....	39
Anexo F Cuadro con las coordenadas de cada una de las parcelas de muestreo .....	40

## Resumen

El cambio climático es un problema causado, en su mayoría, por acciones antrópicas. Estas acciones generan importantes cantidades de gases de efecto invernadero, como lo es el dióxido de carbono. No obstante, existen sumideros de carbono naturales que ayudan a reducir las emisiones que son liberadas a la atmósfera. Dentro de estos sumideros están los bosques, los cuales suministran cantidades de carbono al suelo, por medio de residuos vegetales sueltos. Una vez transformado e incorporado como carbono orgánico en el suelo (COS), permanece ahí cumpliendo un ciclo, a medida que los árboles sigan depositando el material vegetal. En Honduras, los bosques de pino son fuertemente afectados por la plaga del gorgojo descortezador de pino (*Dendroctonus frontalis*), provocando daños al ecosistema boscoso. Por ello, se determinó el efecto del gorgojo en el contenido de COS de cuatro reservas forestales: El Chile, La Tigra, Suyapa y Uyuca, las cuales están al cuidado de la ONG "Eden Reforestation Projects". Se evaluó la densidad aparente y COS a dos profundidades: 0 - 20 cm y 20 - 40 cm. Los resultados de este estudio demostraron que las reservas con mayor porcentaje de Nitrógeno, Carbono y materia orgánica fueron las reservas del Uyuca y la reserva con mayor densidad aparente (DA) fue Suyapa. Se observó que la presencia del gorgojo no afectó el contenido de COS en las diferentes reservas, y que las condiciones ambientales y la DA, no tienen una fuerte relación con el COS.

*Palabras clave:* Carbono orgánico del suelo, gorgojo, propiedades del suelo, reservas forestales

### Abstract

Climate change is a problem caused, for the most part, by human actions. These actions generate significant amounts of greenhouse gases, such as carbon dioxide. However, there are natural carbon sinks that help reduce the emissions that are released into the atmosphere. Among these sinks are forests, which supply quantities of carbon to the soil through loose plant residues. Once transformed and incorporated as organic carbon in the soil (COS), it remains there fulfilling a cycle, as trees continue to deposit the plant material. In Honduras, pine forests are heavily affected by the pine bark beetle (*Dendroctonus frontalis*), causing damage to the forest ecosystem. Therefore, the effect of the bark beetle on the COS content of four forest reserves: Chile, La Tigra, Suyapa and Uyuca, which are under the care of the NGO Eden Reforestation Projects, will be determined. Bulk density and COS were evaluated at two depths: 0 - 20 cm and 20 - 40 cm. The results of this study showed that the reserves with the highest Nitrogen, Carbon and organic matter were the Uyuca reserves, the reserve with the highest DBH was the Suyapa reserve. The presence of the weevil did not affect the COS content in the different reserves, and both environmental conditions and DBH did not have a strong relationship with COS.

*Keywords:* Forest reserves, pine bark beetle, Soil Organic Carbon, soil properties

## Introducción

El cambio climático fue definido por la Organización de las Naciones Unidas (2012), como la alteración de la composición atmosférica debido a la modificación natural del clima, sumado a las acciones directas e indirectas que el ser humano ha realizado. Estos cambios han existido desde los primeros años de formación del planeta. Sin embargo, el cambio climático vivido desde la revolución industrial a la actualidad, no concuerda con los patrones históricos (Lastra et al., 2008). Para explicar esto, es necesario dar el significado de clima, que para Martínez et al. (2019), es la relación entre factores como la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la presión, la velocidad del viento y nubosidad de la tierra. Estos factores han presentado cambios drásticos desde el comportamiento anormal de temperatura, el cual ha aumentado 1 °C para este último siglo (Pardo-Rozo et al., 2021).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de las acciones antropológicas, son una de las principales causas del aumento de temperatura (Sánchez et al., 2020). De acuerdo a Aguirre et al. (2022), estos gases ocasionan que la energía solar que ingresa a la tierra se acumule, por la concentración de GEI retenida en la capa atmosférica. Dentro de los principales GEI, se destaca el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), que según Rodríguez y Castañeda (2005), es un gas que se mantiene activo en la atmósfera por tiempo prolongado, ya que el 50% puede ser eliminado en un lapso de tiempo de 30 años, un 30% seguirá activo varios siglos y el 20% que queda perdurará millones de años.

Los bosques tienen una relación directa con el cambio climático, ya que tienen la capacidad de atrapar y almacenar CO<sub>2</sub> en los árboles y el suelo, gracias a la fotosíntesis. Así mismo, si un bosque es deforestado, reduce su capacidad de almacenar CO<sub>2</sub> (López et al., 2017), incluso puede emitir grandes cantidades que acabarán llegando a la atmósfera (Grooten y Almond, 2018). Los bosques tienen la capacidad de capturar de manera directa el carbono atmosférico (Reyes et al., 2019), es por esto que proteger y conservar los bosques es crucial para mitigar el cambio climático.

El suelo es otro almacén natural de carbono, conforme a Pérez-Ramírez et al. (2013), el suelo almacena 1,500 de Petagramos (Pg) de CO<sub>2</sub>, esto es más del doble de CO<sub>2</sub> de lo que se almacena en la

capa vegetal (650 Pg) y el doble de lo que se almacena en la atmósfera terrestre (750 Pg). De acuerdo con Galicia et al. (2016), las características físicas, biológicas y químicas repercuten directamente en el almacenamiento y/o liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, debido a que el tiempo de descomposición de la biomasa suelta puede variar según la calidad del suelo. Los ecosistemas boscosos depositan grandes cantidades de biomasa, para su descomposición en los suelos, por lo tanto, depende del suelo el descomponer esta materia orgánica (Aguilar-Arias et al., 2012).

Uno de los métodos para hacer análisis y determinar carbono orgánico en el suelo, es el método de "Walkley Black". Este método hace uso de la oxidación de la materia orgánica, elevando la temperatura por medio de químicos en laboratorio. Puede hallar entre un 70 a 84% del total del carbono orgánico. El poder hallar el resto del carbono orgánico total, dependerá del tipo de suelo donde se tome el muestreo, ya que de esto depende el factor de corrección (Steubing et al., 2002).

Existe una organización no gubernamental (ONG) llamada "Eden Reforestation: Projects", la cual trabaja en la protección y conservación forestal a nivel mundial. Esta institución realiza reforestaciones masivas de especies nativas, luchando contra la tala ilegal, brindando educación y concientización a comunidades, y promoviendo el empleo local en ocho países, por medio de 150 proyectos, a más de 6,000 personas (Eden Reforestation Projects, 2023). En Honduras, esta organización ha enfocado su trabajo en aspectos como: La alta cobertura forestal, los índices de pobreza, la vulnerabilidad contra las plagas y la biodiversidad de los bosques, entre otras. Adicionalmente, se han dado a la tarea de asistir en la restauración de varias reservas forestales, como lo son: Uyuca-Tatumbula, Uyuca-Joya Grande, La Tigra-Montaña Grande, La Tigra-Cofradia, La Tigra-Plancitos, El Chile-El Techón y la reserva forestal Suyapa, entre otras reservas.

Honduras es un país con extensa cobertura vegetal (Jiménez et al. (2014), el cual posee un 48% de cobertura boscosa, de los cuales, un 39.5% pertenece a áreas protegidas. En estas reservas prevalecen los bosques de la especie *Pinus sp* (Martinez, 2016), los cuales cuentan con un potencial para reducir CO<sub>2</sub>, mediante la captación de hasta 141.01 t C/ha en su biomasa (Gavilanes, 2000). Estas

reservas son expuestas constantemente a diferentes tipos de amenazas climáticas, biológicas, e incluso actividades de aprovechamiento humano. Dentro de las amenazas más prevalentes en estas zonas forestales está el insecto *Dendroctonus frontalis Zimmermann*, mejor conocido como gorgojo descortezador de pino, originario de Norte y centro América (Moser et al., 1974).

Según Rivera et al. (2010), el *D. frontalis* ataca directamente la corteza del tronco del pino y es considerado la plaga más agresiva para los bosques de pino en Centroamérica. Datos reportados por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) (2018), indican que en el 2017, cerca de 511.5 ha de *Pinus. sp* fueron afectadas por el *D. frontalis*. Estudios de Steiner et al. (2015) aseguran que la presencia del gorgojo descortezador de pino será mayor a medida que el cambio climático le permita extender su época de reproducción, dando paso a la posibilidad de suscitar más generaciones por año.

El presente estudio brinda información detallada del efecto de la plaga del gorgojo descortezador de Pino, en el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), y una descripción biofísica de las reservas forestales El Chile, La Tigra, Suyapa y Uyuca. La información obtenida puede ser línea base de futuras investigaciones y preservarse como fuente de datos para entidades con interés acerca del contenido de COS en zonas forestales y la incidencia del gorgojo de pino en las mismas. "Eden Reforestation Projects" brindó el apoyo logístico e información de las reservas para poder cumplir satisfactoriamente los objetivos de este estudio.

El objetivo general de esta investigación fue determinar si el contenido de carbono orgánico (CO) en los suelos de las reservas forestales se ven afectados por la presencia del gorgojo descortezador de pino. Para esto, se establecieron tres objetivos específicos: a) Caracterizar el entorno edáfico de las reservas forestales en el contexto de las afectaciones del *D. frontalis*. b) Determinar el efecto de la densidad aparente del suelo sobre el contenido de COS almacenado en las reservas forestales del estudio y c) Evaluar la relación del contenido de carbono de las reservas forestales con los antecedentes de incidencia del *D. frontalis*.

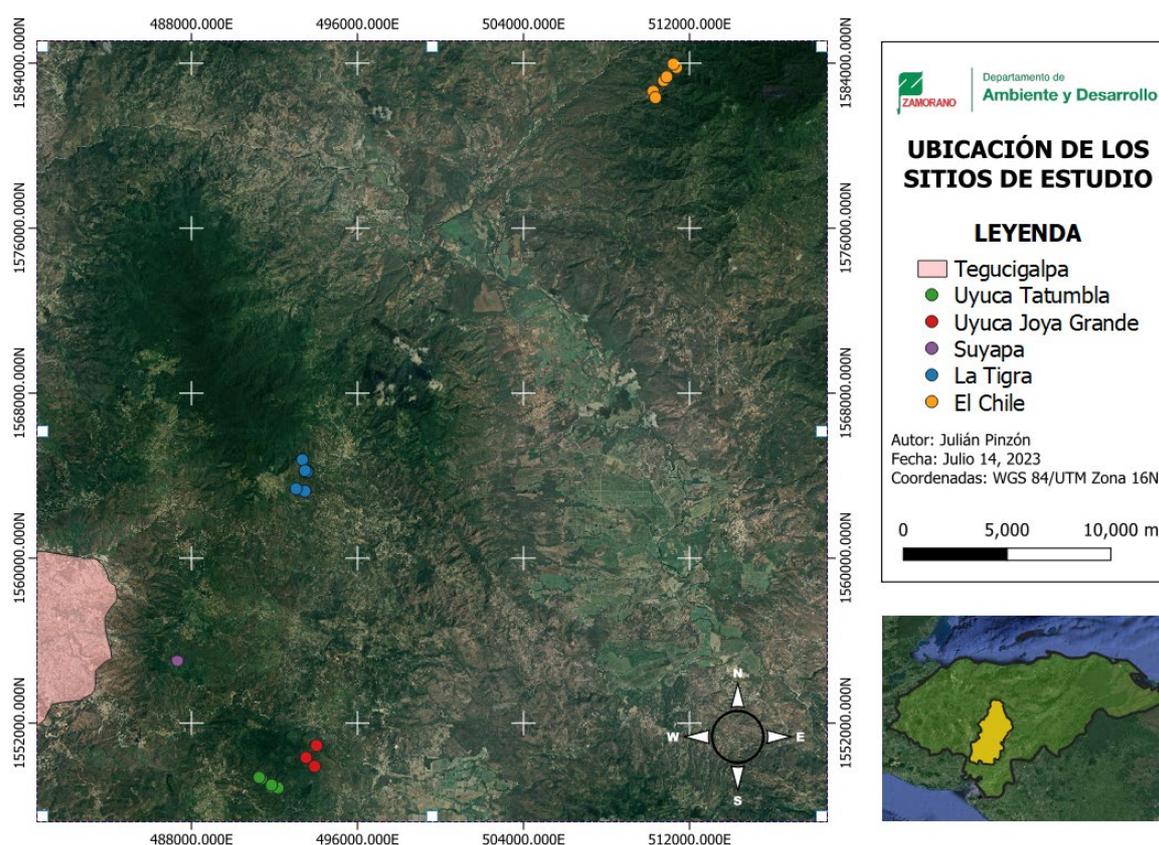
## Metodología

### Ubicación y Descripción de Áreas de Estudio

El estudio se realizó en la reserva forestal El Chile, ubicada en el este del departamento de Francisco Morazán, Honduras, a 90 km de la ciudad de Tegucigalpa, la reserva forestal La Tigra, ubicada aproximadamente a 15 km al noreste de Tegucigalpa, la reserva forestal Suyapa, ubicada al este de las afueras de la ciudad de Tegucigalpa, a 2 km de distancia de la aldea de Suyapa aproximadamente, y finalmente la reserva forestal del Uyuca, ubicada a 15 km al oriente de Tegucigalpa, hacia la carretera que conduce al departamento de El Paraiso (Figura 1).

**Figura 1**

*Ubicación de las cinco reservas muestreadas*



El departamento de Francisco Morazán cuenta con un clima templado húmedo en las partes altas y un clima tropical lluvioso en la partes bajas (Carias, 2016). Cada una de estas reservas cuenta

con sus propias condiciones ambientales, con temperaturas que van desde los 18.42 °C a 20.85 °C promedio anual, altitudes desde los 1,041 a 1,119 metros sobre el nivel del mar (msnm) y precipitaciones desde 1,195 a 1,580 mm promedio anual, según la base de datos de Fick y Hijmans (Cuadro 1).

### **Cuadro 1**

*Condiciones ambientales promedio de las parcelas cada reserva*

Reserva	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)
Uyuca-Joya Grande	1,077	19.71	1,483
Uyuca-Tatumbra	1,119	18.42	1,484
El Chile	1,042	20.86	1,196
Suyapa	1,083	18.85	1,580
La Tigra	1,067	19.25	1,494

### **Diseño de muestreo**

Para llevar a cabo la recolección de muestras, se usaron parcelas divididas con un diseño pareado. Se evaluó el contenido de carbono orgánico en cinco sitios de muestreo, ubicados en las cuatro reservas. Los sitios de muestreo fueron, en la reserva forestal Uyuca: Tatumbra y Joya Grande, en la reserva forestal La Tigra: Montaña Grande, en la reserva forestal El Chile: El Techón y la reserva forestal Suyapa. Estas reservas cuentan con 60 parcelas de monitoreo permanente, a excepción de Uyuca-Tatumbra y La Tigra-Montaña grande las cuales cuentan con 30 parcelas de monitoreo.

El muestreo se realizó a dos profundidades del suelo: 0 a 20 cm y 20 a 40 cm. En cada uno de los cinco sitios de muestreo se tomaron tres parcelas al azar de un grupo de árboles no afectados (grupo control) y tres parcelas al azar de un grupo de árboles afectados. Cada una de las parcelas tiene un número el cual fue asignado por "Eden Reforestation Projects" (Cuadro 2). De esta manera se tuvo un total de 60 unidades muestrales (Anexos A, B, C, D, E y F). Para la realización de los muestreos, se hicieron cajuelas de 50 cm de ancho × 50 cm de largo × 50 cm de profundidad en cada una de las parcelas. De cada cajuela se tomaron dos tipos de muestra, una muestra indisturbada para la determinación de densidad aparente y la otra para el establecimiento del contenido de CO.

**Cuadro 2***Número de las parcelas de muestreo de cada reserva*

Reserva	Uyuca-Joya Grande	Uyuca-Tatumbula	El Chile	Suyapa	La Tigra-Montaña Grande
	2	12	1	1	4
Número	3	16	2	2	9
de	11	19	3	3	10
Parcela	19	20	4	4	17
	25	24	5	5	18
	43	29	6	6	30

**Muestra de Densidad Aparente**

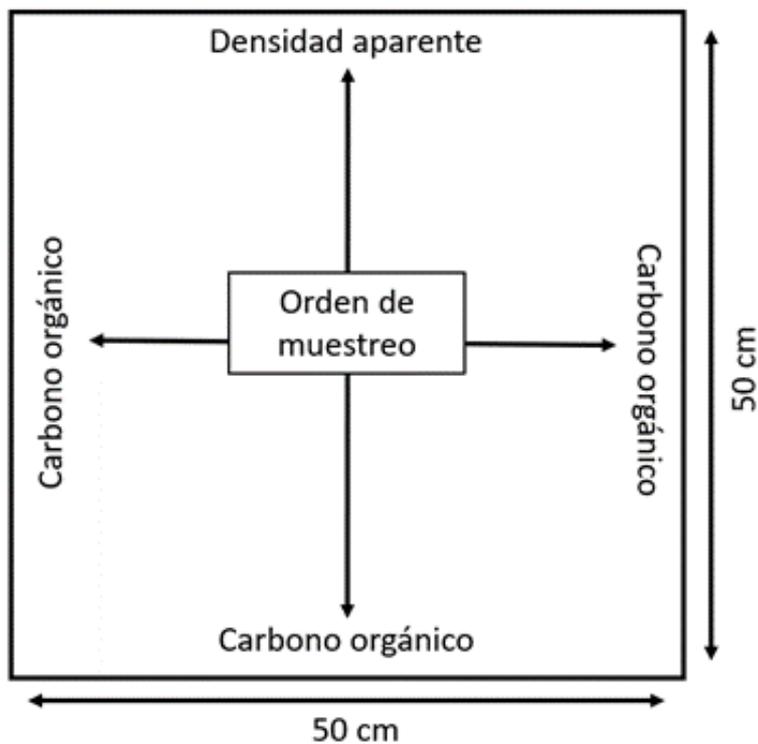
Para la extracción de la muestra de DA se utilizó cilindros metálicos con un volumen de 100 cm<sup>3</sup>, los cuales fueron introducidos en una de las caras de la cajuela, a cada una de las profundidades, para su posterior extracción con la muestra de suelo en su interior.

**Muestra de Carbono Orgánico**

Las muestras de carbono orgánico fueron extraídas de las tres caras restantes de la cajuela para formar una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg. El proceso fue realizado con ayuda de un cuchillo especial, para facilitar la extracción del material de cada uno de los perfiles. Las muestras para la determinación del CO se depositaron en bolsas plásticas, las cuales fueron debidamente marcadas e identificadas según el sitio, el número de parcela, el tipo de análisis a realizar y la profundidad de la extracción. Cada una de las muestras fueron recolectadas con cuidado para evitar la pérdida de material, y posteriormente se enviaron al Laboratorio de Suelos de Zamorano para su correspondiente análisis. En la Figura 2 se muestra una representación gráfica del método de muestreo utilizado en cada cajuela.

**Figura 2**

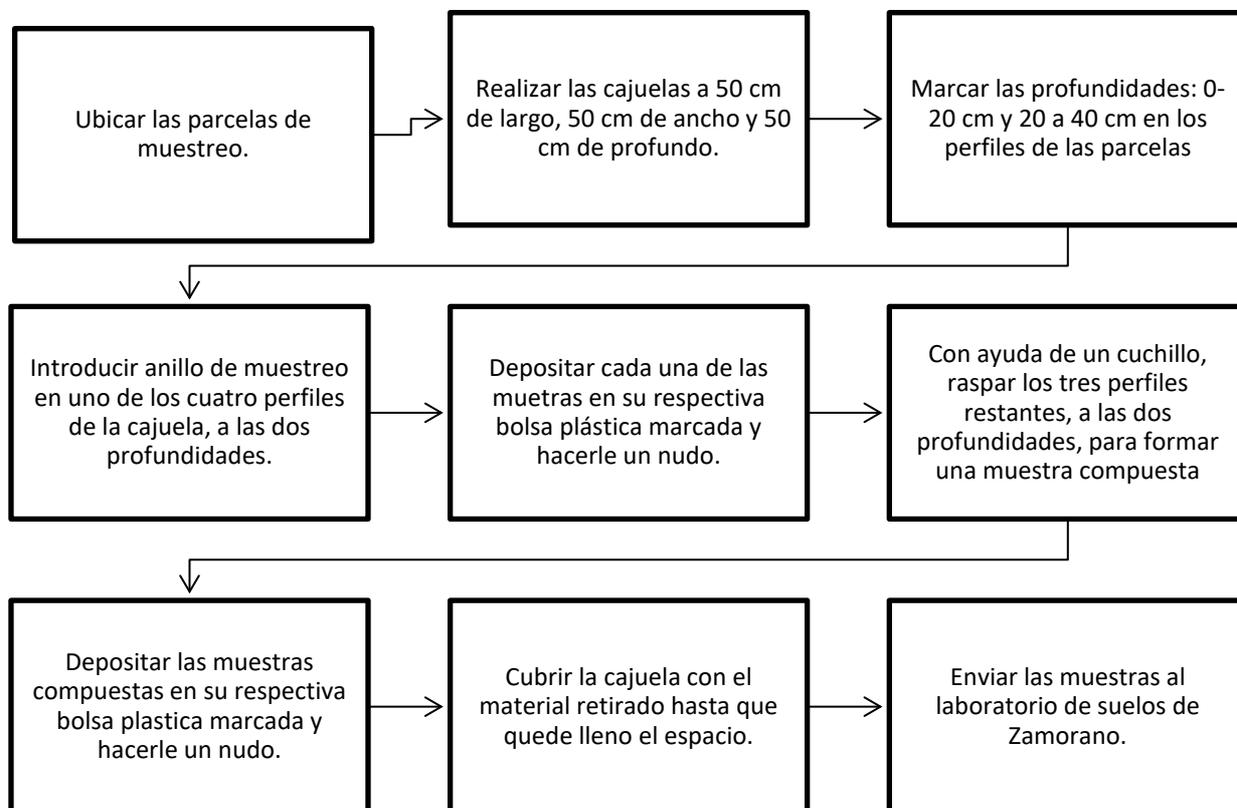
*Procedimiento de recolección de muestras para carbono orgánico en el suelo.*



La recolección de las muestras inició en la reserva forestal del Uyuca-Joya Grande, seguido de la reserva Uyuca-Tatumbra, pasando a la reserva forestal de Suyapa, luego a la reserva de La Tigra y, por último, la reserva forestal El Chile. El procedimiento en campo para la recolección de muestras de las reservas forestales se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Procedimiento de recolección de muestras para carbono orgánico en el suelo.*



### **Análisis de Laboratorio**

Para realizar el análisis de las muestras, estas fueron llevadas al laboratorio de Suelos de Zamorano según el orden de muestreo de cada reserva. Antes de realizar cualquier análisis, se documentaron las bolsas de muestra en el registro del laboratorio, donde se suministraron todos los datos del muestreo y se le asignó un número de identificación a la bolsa. Se llevaron a cabo dos procedimientos, el primero para hallar la densidad aparente, y el segundo, para medir la cantidad de carbono orgánico de las muestras.

### **Análisis de DA**

Para determinar la densidad aparente de las muestras se usó el método del cilindro. Las muestras fueron depositadas en bolsas de papel con peso conocido. Seguido de esto se dejan secando en un horno de convección por 24 - 48 horas a 105 °C. Una vez secadas las muestras, se pesaron en

una balanza de precisión y se registró el dato. Una vez completado el registro de pesos, se hizo el cálculo, usando la Ecuación 1:

$$DAP = \frac{P}{100 \text{ cm}^3} \quad [1]$$

Donde:

P = Peso muestra seca

100 cm<sup>3</sup> = Volumen de la muestra

### **Análisis de Carbono Orgánico**

Para determinar el contenido de carbono orgánico de las muestras de suelo, se siguió el protocolo que usa el Laboratorio de Suelos de Zamorano. Dicho análisis se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio. El procedimiento para hallar carbono orgánico fue por con el método “Walkley & Black”, el cual consiste agregar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado a una muestra de suelo con dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) acuoso. El calor de dilución sube la temperatura, permitiendo inducir la muestra en una oxidación sustancial, a excepción del dicromato acidificado. Posteriormente, para oxidar el dicromato restante, se utiliza sulfato ferroso. Para determinar la cantidad de carbono orgánico fácilmente oxidable, se realiza una titulación con un testigo en blanco para medir la diferencia de sulfato de hierro (FeSO<sub>4</sub>) y poder hacer la comparación (Vos et al., 2007).

### **Determinación de Toneladas de COS por Hectárea**

Para determinar el contenido de COS en toneladas de carbono por hectárea (t C/ha), se realizó la siguiente Ecuación 2 para la conversión de unidades para pasar de gramos por centímetros cúbicos a toneladas por centímetros cúbicos:

$$\frac{g \text{ suelo}}{cm^3} = \frac{1kg \text{ suelo}}{1000g \text{ suelo}} \times \frac{1 t \text{ suelo}}{1000kg \text{ suelo}} = \frac{t \text{ suelo}}{cm^3} \quad [2]$$

Para pasar de toneladas de suelo por centímetros cúbicos a toneladas de suelo por hectárea, se convirtieron los centímetros cúbicos a metros cúbicos, para luego dividirlo por 10,000 m<sup>2</sup> (área correspondiente a una hectárea), y dividirlo por 0.2 m, correspondiente a la profundidad (Ecuación 3):

$$\frac{t \text{ suelo}}{cm^3} = \frac{1000000cm^3}{1 m^3} \times \frac{10000 m^2}{1 ha} \times 0.2m = \frac{t \text{ suelo}}{ha} \quad [3]$$

Por último, para convertir las toneladas de suelo a toneladas de carbono, se multiplica el resultado por el porcentaje de carbono de cada muestra correspondiente (Ecuación 4):

$$\frac{t \text{ suelo}}{ha} \times \% \text{ de C de la muestra} = \frac{t \text{ carbono}}{ha} \quad [4]$$

### **Análisis y Diseño Estadístico**

El estudio tiene un diseño factorial cuantitativo de tipo cuasiexperimental, donde se determina el contenido de COS bajo los factores de afectado y no afectado por el gorgojo descortezador de pino, la DA y dos profundidades, en diferentes sitios con covariables de altitud (m.s.n.m.), temperatura (°C) y precipitación anual promedio (mm).

### **Prueba de Normalidad “Shapiro Wilks”**

Para este estudio se comprobó la normalidad de los datos de toneladas de carbono por hectárea (t C/ha), DA y del porcentaje de carbono orgánico por el método de “Shapiro Wilks”, teniendo como hipótesis nula que los datos tienen una distribución normal y como hipótesis alterna que los datos tienen una distribución que no es normal. Para este análisis se tuvo en cuenta un nivel

de significancia de 0.05. Los resultados de esta prueba marcan que los datos son no paramétricos, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

### **Pruebas “Kruskal Wallis”**

Al ser datos no paramétricos, se realizó una serie de pruebas de “Kruskal Wallis”, teniendo como variable dependiente el contenido de carbono orgánico en toneladas por hectárea (t C/ha) con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ . Se tomaron como criterios de clasificación las reservas donde se realizaron los muestreos, las profundidades de las raíces (0 a 20 cm y 20 a 40 cm), y si había afectación o no por parte del gorgojo. Para determinar el efecto de la densidad aparente del suelo en el contenido de carbono orgánico a diferentes profundidades, se hizo una prueba de “Kruskal Wallis” por cada profundidad, analizando el contenido de carbono orgánico con la densidad aparente de la profundidad correspondiente.

### **Análisis de Correlación**

Se realizó un análisis de correlación de “Pearson” entre los contenidos de carbono orgánico y las covariables de temperatura anual promedio, precipitación anual promedio y la altitud de cada una de las parcelas de muestreo, con el fin de determinar si existía una relación entre el COS y las covariables. El análisis se realizó en el programa “Infostat®” versión 2020.

## Resultados y Discusión

### Descripción de la Densidad Aparente del Suelo

Las reservas forestales presentan resultados de DA similares, a excepción de la reserva forestal Suyapa, la cual presenta valores superiores de DA a comparación del resto sitios, teniendo en promedio  $1.58 \text{ g/cm}^3$ . Según los resultados del estudio realizado por Tsui et al. (2013), la densidad aparente tiene una relación inversamente proporcional en cuanto al contenido de carbono orgánico se habla, además, los suelos compactados o con alta densidad aparente afectan el crecimiento radicular (García, 2015), por lo que en este estudio puede verse influenciado el COS de las reservas con mayor compactación. Seguidamente, las reservas de Uyuca-Tatumbla, El Chile y la Tigra presentan datos similares de DA, dando en promedio  $1.28 \text{ g/cm}^3$ ,  $1.22 \text{ g/cm}^3$  y  $1.2 \text{ g/cm}^3$  de densidad aparente. Por último, la reserva de Uyuca-Joya Grande presentó el dato más bajo en promedio, siendo este  $1.14 \text{ g/cm}^3$  (Cuadro 3).

### Cuadro 3

*Densidad aparente promedio en gramos por centímetro cúbico de cada reserva*

Reserva	N	Media	D.E.	Mín	Máx
Uyuca Joya Grande	12	1.14	0.14	0.83	1.3
Uyuca Tatumbla	12	1.28	0.18	0.95	1.53
El Chile	12	1.22	0.13	0.99	1.42
Suyapa	12	1.58	0.2	1.17	1.82
La Tigra	12	1.2	0.13	0.99	1.36

*Nota.* N=Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

En cuanto a la DA en promedio de las reservas respecto a la profundidad, los valores de densidad aparente para los primeros 20 cm de los suelos fueron en promedio de  $1.26 \text{ g/cm}^3$ . Paralelamente, el promedio de DA de las cinco reservas forestales para la profundidad de 20 a 40 cm es de  $1.31 \text{ g/cm}^3$ .

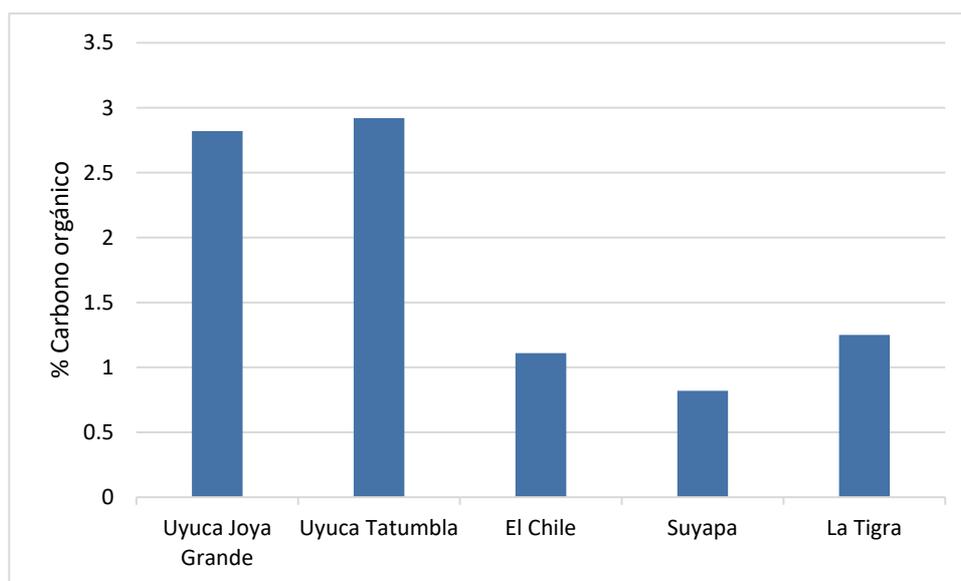
### Descripción de Porcentaje de Carbono Orgánico en el Suelo

Se obtuvo que el porcentaje promedio de COS más alto fue el de las reservas forestales de Uyuca-Joya Grande y Uyuca-Tatumbla, siendo estos de 2.92% y 2.82% respectivamente. Estos valores se categorizan como alto, según la tabla de categorización suministrada por Penman (2003). Misma

categorización clasifica el porcentaje promedio de la reserva de La Tigra como medio, con un porcentaje de 1.25%. Por último, El Chile y Suyapa son categorizados como bajo, dando como resultado de 1.11 y 0.82% de COS respectivamente (Figura 4).

**Figura 4**

*Porcentaje promedio de COS en cada reserva forestal*



En cuanto al porcentaje de carbono orgánico con respecto a la profundidad, se encontraron mayores contenidos en los primeros 20 cm, con un promedio de 2.79%, en comparación a la profundidad de 20 a 40 cm, donde se obtuvo un porcentaje de 0.77% de CO en promedio. Este resultado concuerda con el estudio realizado por Ghimire et al. (2019), donde explica que este resultado puede estar influenciado por el contenido de materia orgánica que es depositada en forma de material vegetal en la primera capa del suelo. Así mismo, Begum et al. (2019) indican que las primeras capas de los suelos forestales tienen un alto contenido de CO debido al depósito y acumulación de materia orgánica que está en continua descomposición, a diferencia de las capas más profundas. Según el mismo autor, a mayor profundidad del suelo, menor la cantidad de CO.

#### **Descripción del Porcentaje de Nitrógeno Total**

El promedio general de cada uno de los diferentes lugares para la variable de porcentaje de Nitrógeno presentó datos cercanos para las reservas forestales de Uyuca-Joya Grande y Uyuca-

Tatumbla, obteniendo en promedio 0.24% y 0.25% de Nitrógeno respectivamente. A continuación, las reservas de La Tigra y El Chile obtuvieron un porcentaje de 0.11 y 0.1% de Nitrógeno cada una, y por último, la reserva forestal de Suyapa, presentó el porcentaje más bajo de Nitrógeno teniendo como resultado 0.07% (Cuadro 4).

#### Cuadro 4

*Porcentaje promedio del Nitrógeno total para el suelo de cada reserva.*

Lugar	N	Media	D.E.	Mín	Máx
Uyuca-Joya Grande	12	0.24	0.16	0.06	0.52
Uyuca-Tatumbla	12	0.25	0.23	0.03	0.8
El Chile	12	0.1	0.08	0.01	0.21
Suyapa	12	0.07	0.08	0.01	0.22
La Tigra	12	0.11	0.08	0.02	0.23

*Nota.* N=Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

El porcentaje promedio de Nitrógeno Total de las cinco reservas forestales para los primeros 20 centímetros de suelo es de 0.24%, mientras que para la profundidad de 20 a 40 cm es de 0.07%.

#### Contenido de Carbono Orgánico Almacenado en el Suelo

Debido a que los datos no presentaron normalidad ni homocedasticidad, fue necesario aplicar una prueba de "Kruskal Wallis" para poder analizar los datos de contenido de COS con respecto a los lugares, la profundidad y si fueron afectados o no por el gorgojo descortezador de pino. El primer análisis realizado fue entre el contenido de COS como variable y los lugares como criterio de clasificación. Se puede observar en el Cuadro 5 que hubo diferencias significativas de contenido de COS entre reservas ( $P = 0.057$ ).

#### Cuadro 5

*Prueba "Kruskal Wallis" para las toneladas de Carbono Orgánico por hectárea entre las reservas*

Lugar	N	Medias	D.E.	Medianas	Probabilidad
Uyuca-Joya Grande	12	64.09	42.91	54.74	0.0057
Uyuca-Tatumbla	12	71.67	66	54.87	
El Chile	12	27.65	23.06	18.55	
Suyapa	12	23.01	25.08	12.58	
La Tigra	12	29.25	20.43	25.62	

*Nota.* N=Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

Se puede ver en el Cuadro 6 que en las reservas de Uyuca, tanto Joya Grande como Tatumbra, tienen un mayor contenido de carbono por hectárea y no presentan diferencias significativas entre ellas ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, el carbono almacenado en el suelo de La tigra fue significativamente más alto que en Joya grande ( $P < 0.05$ ), pero estadísticamente igual comparado con Tatumbra. Por otro lado, La Tigra no presentó diferencias significativas con Suyapa o El Chile, las cuales tienen el contenido más bajo de carbono orgánico respecto a las otras reservas ( $P > 0.05$ ).

### Cuadro 6

*Rango de medias del contenido de COS en toneladas por hectárea de cada reserva, organizado en forma ascendente*

Reserva	Medianas	Rango
Uyuca-Joya Grande	54.74	41.92 <sup>a</sup>
Uyuca-Tatumbra	54.87	39.67 <sup>ab</sup>
La Tigra	25.62	26.13 <sup>ab</sup>
El Chile	18.55	23.96 <sup>c</sup>
Suyapa	12.58	20.83 <sup>c</sup>

*Nota.* a-b-c = Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P < 0.05$ )

### Contenido de COS por Profundidad

Se realizó una segunda prueba Kruskal Wallis para determinar si hay un cambio en el contenido de COS a mayor profundidad. Los resultados obtenidos por el análisis indican que existe un efecto significativo de la profundidad sobre el contenido de carbono orgánico del suelo ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 7). Tal y como indican Begum et al. (2019) y Ghimire et al. (2019) en sus estudios, donde afirman que a una mayor profundidad del suelo, menor será el contenido de COS, debido a la presencia de residuos orgánicos de origen vegetal presentes en las primeras capas de los suelos forestales, los cuales están en constante descomposición.

### Cuadro 7

*Prueba Kruskal Wallis para el contenido de COS en toneladas por hectárea a las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm*

Profundidad	N	Medias	D.E.	Medianas	Probabilidad
0 - 20	30	66.65	47.19	55.84	<0.0001
20 - 40	30	19.62	21.05	12.58	

*Nota.* N=Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

Los rangos de medias establecen que existen diferencias significativas entre las dos diferentes profundidades, asignando un rango de 41.67 t C/ha con una mediana de 55.84 t C/ha y una media de 66.65 t C/ha a los primeros 20 cm de profundidad, mientras que, para la profundidad de 20 a 40 cm, se le asigno un rango de 19.62 t C/ha, con una mediana de 12.58 t C/ha y una media de 19.62 t C/ha.

### Contenido de COS en Sitios Afectados y no Afectados por el Gorgojo

Con el fin de determinar si hay una alteración en el contenido de COS por la presencia del gorgojo, se realizó la prueba “Kruskal Wallis” analizando al contenido de COS como variable dependiente entre los sitios que fueron y no fueron afectados por el gorgojo. Los resultados muestran que no hubo un efecto significativo ( $P > 0.05$ ), de la afectación por gorgojo sobre el COS. Esto significa, que a pesar de que existe una alteración en la cobertura vegetal, el contenido de C se mantiene estable (Cuadro 8). Una hipótesis puede ser el hecho de coberturas alternas que había en las reservas forestales, tales como los pastos o gramíneas.

### Cuadro 8

*Prueba “Kruskal Wallis” entre el contenido de COS en toneladas por hectárea y las parcelas afectadas y no afectadas por el gorgojo descortezador de pino.*

Afectado por el gorgojo	N	Medias	D.E.	Medianas	Probabilidad
No	30	44.02	43.43	42.08	0.5201
Si	30	42.25	43.9	20.7	

*Nota.* N=Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

El análisis de los datos de DA entre las diferentes reservas forestales, dio como resultado que si hubo una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) de DA entre las reservas forestales (Cuadro 9), donde la reserva de Suyapa marca una diferencia sobre las demás, a simple vista.

### Cuadro 9

*Prueba Kruskal Wallis de DA en gramos por centímetro cúbico y las reservas forestales.*

Lugar	N	Medias	D.E.	Medianas	Probabilidad
Uyuca-Joya Grande	12	1.14	0.14	1.2	0.0001
Uyuca-Tatumbra	12	1.28	0.18	1.3	
El Chile	12	1.22	0.13	1.21	

Lugar	N	Medias	D.E.	Medianas	Probabilidad
Suyapa	12	1.58	0.2	1.65	
La Tigra	12	1.2	0.13	1.2	

Nota. N=Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

Debido a esto, se hizo una comparación de rangos de medias. En el Cuadro 10 se puede confirmar que la única reserva que tiene una DA significativamente diferente es Suyapa, respecto a las reservas forestales de Uyuca-Joya Grande, Uyuca-Tatumbla, El Chile y La Tigra.

#### Cuadro 10

*Rango de medias de las diferentes reservas forestales y su DA en g/cm<sup>3</sup>.*

Reserva	Medianas	Rango
Uyuca-Joya Grande	1.2	19.75 <sup>a</sup>
La Tigra	1.2	24.83 <sup>a</sup>
El Chile	1.21	25.83 <sup>a</sup>
Uyuca-Tatumbla	1.3	31.42 <sup>a</sup>
Suyapa	1.65	50.67 <sup>b</sup>

Nota. a-b-c = Letras diferentes dentro de la misma columna indican que hay diferencias estadísticas entre tratamientos (P < 0.05)

#### Análisis de Correlación Entre las Condiciones Ambientales y Físicas del Suelo

Se realizó una correlación entre el contenido de COS en t C/ha de suelo y las variables ambientales de las reservas, como lo son la temperatura anual promedio, la precipitación anual promedio y la altitud en m.s.n.m. y la DA para ver en qué porcentaje era alterado el contenido de COS por estas variables (Cuadro 11).

#### Cuadro 11

*Análisis de correlación entre el carbono orgánico del suelo (COS), las variables ambientales y la DA en g/cm<sup>3</sup> del suelo.*

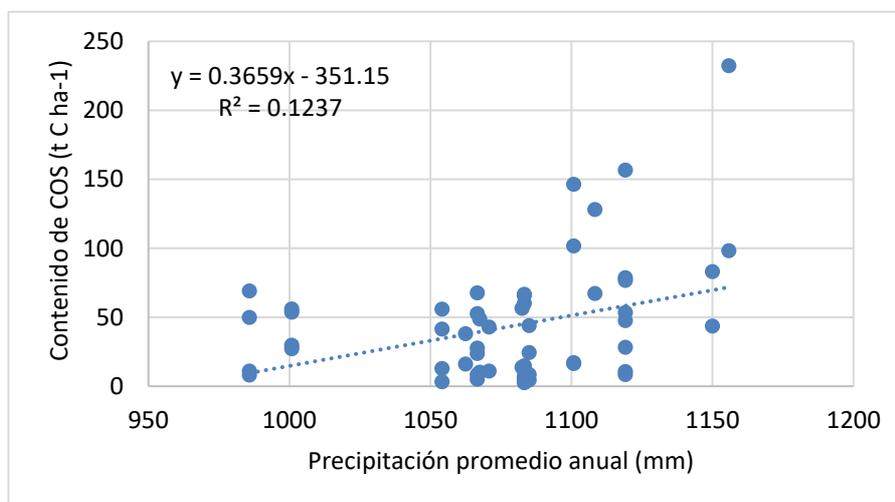
	COS (t C/ha)
Precipitación	0.35 <sup>a</sup>
Temperatura	-0.24
Altitud (msnm)	0.09
DA (g/cm <sup>3</sup> )	-0.25

Nota. <sup>a</sup>Valores dentro de la misma columna representan un valor de R significativo.

El resultado obtenido demuestra que no hubo una relación entre ninguna de las covariables correlacionadas con el contenido de COS en las reservas forestales, a excepción de la precipitación. Sin embargo, Valenzuela y Visconti (2018) afirman que si hay una relación significativa entre las condiciones ambientales como la temperatura, la precipitación y la altitud debido a la actividad microbiológica del suelo. Mismos autores indican que en un clima cálido con condiciones de humedad adecuadas, los microorganismos trabajan más activamente para la descomposición de materia orgánica. Por ende, se realizó una regresión lineal entre el contenido de COS en t C/ha y la precipitación promedio anual en milímetros (mm), en cada uno de los puntos de muestreo. En la Figura 5 se observa que a pesar de que el  $R^2$  de la regresión lineal es bajo, hay una tendencia que indica que, a mayor precipitación, mayor es el contenido de COS en el suelo.

### Figura 5

*Regresión lineal de contenido de COS con la precipitación promedio anual*



Un estudio que puede sustentar este hecho es el de Cui et al. (2019), donde a mayor precipitación, se obtuvo un aumento significativo de C, incluso volviéndolo disponible para los microorganismos, estimulando la actividad microbiológica para descomponer materia orgánica, con el fin de cubrir la demanda de nitrógeno causada por la relación C:N en la estequiometría de estos. En el caso de esta investigación, el  $R^2$  pudo ser bajo por el rango de precipitación tan limitado que hay, ya que para el estudio de Cui et al. (2019), se hacen comparaciones en precipitaciones que van desde

los 300 a 900 mm, 600 mm de diferencia, mientras que para este estudio solo hubo 77 mm de diferencia entre los promedios de lluvia anual de las reservas.

### Conclusiones

Las reservas forestales con mayor porcentaje de CO y Nitrógeno total son las reservas forestales de Uyuca Joya Grande y Tatumbla. Todas las reservas contaban con las mismas condiciones de densidad aparente, a excepción de la reserva forestal de Suyapa la cual mostró mayor grado de compactación. Casi la mitad de las muestras tomadas (46.6%) tienen un porcentaje bajo de carbono orgánico, según la tabla de categorización suministrada por el laboratorio de suelos, de Peña Vanegas (2020). Así mismo, un 28 y 25% de las muestras presentó un porcentaje alto y medio de carbono orgánico, respectivamente.

Se determinó que la precipitación es un factor que puede alterar de manera significativa el contenido de carbono orgánico en el suelo de las reservas forestales de este estudio, a diferentes profundidades, caso contrario a los factores de densidad aparente, temperatura y altitud, los cuales no alteraron el contenido de carbono orgánico en los suelos de esta investigación.

Por último, el contenido de carbono orgánico resultó ser independiente a las afectaciones del gorgojo descortezador de pino en las diferentes reservas forestales, a pesar de que hubo un cambio de cobertura en estos sitios, el contenido de COS no cambio significativamente.

### **Recomendaciones**

Ampliar el estudio a otros bosques con diferentes condiciones climatológicas a los muestreados en el presente estudio.

Estudiar el efecto de los incendios forestales entre bosques afectados y no afectados en cuanto al contenido de COS en las reservas forestales de Honduras.

Realizar un estudio a futuro para determinar si el contenido de COS aumenta, disminuye o se mantiene estable a través del tiempo.

En futuros estudios tomar en cuenta realizar más repeticiones para poder reducir el error que puede ser causado por los factores no controlados.

## Referencias

- Aguilar-Arias, H., Ortiz-Malavasi, E., Vílchez-Alvarado, B. y Chazdon, R. L. (2012). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 22. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.360>
- Aguirre, G., Undurraga, T., Cotoras, D. y Orellana, T. (2022). El estudio científico del cambio climático en Chile: espacio local y fenómeno global. *Antropologías Del Sur*, 9(17), 199–218. <https://doi.org/10.25074/rantros.v9i17.2147>
- Begum, F., Abbas, H., Ali, S., Ali, D. y Mir, N. (2019). Soil Quality and Organic Carbon Stock Across the Different Land Use in a Mountainous Landscape of Karakoram Region, Gilgit, Pakistan. *Researchgate*, 29(01/2020), 503–508.
- Carias, A. (2016). Variabilidad climática en las ciudades urbanas de Tegucigalpa y Comayagüela, Francisco Morazán, Honduras en el periodo comprendido entre los años 1975 – 2011. *Ciencias Espaciales*, 6(2), 34–47. <https://doi.org/10.5377/ce.v6i2.2466>
- Cui, Y., Fang, L., Deng, L., Guo, X., Han, F., Ju, W., Wang, X., Chen, H., Tan, W. y Zhang, X. (2019). Patterns of soil microbial nutrient limitations and their roles in the variation of soil organic carbon across a precipitation gradient in an arid and semi-arid region. *The Science of the Total Environment*, 658, 1440–1451. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.289>
- Eden Reforestation Projects. (2023). *Our Work - Eden Reforestation Projects Plant Trees*. Eden Reforestation Projects. <https://www.edenprojects.org/our-work>
- Fick, S. E. y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Galicia, L., Gamboa, M., Cram, S., Chávez, B., Peña, V., Saynes, V. y Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1–29. <https://iep.gmu.edu/index.php/terra/article/view/73>
- García, R. (2015). Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 18(35), 11847. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11847>
- Ghimire, P., Bhatta, B., Pokhrel, B., Kafle, G. y Paudel, P. (2019). Soil organic carbon stocks under different land uses in Chure region of Makawanpur district, Nepal. *SAARC Journal of Agriculture*, 16(2), 13–23. <https://doi.org/10.3329/sja.v16i2.40255>
- Grooten, M. y Almond, R. (2018). *Living planet report 2018: Aiming higher: Living Planet Report - 2018: Aiming Higher*. [https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15549/1/%255bembargo%2030%20oct%255d%20lpr2018\\_full%20report\\_12.10.2018.pdf](https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15549/1/%255bembargo%2030%20oct%255d%20lpr2018_full%20report_12.10.2018.pdf)
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. (2018). *Proyecto de gestión de plagas forestales en Honduras*. [https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/05/proposal\\_HondurasICF-ICDF-NCU.pdf](https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/05/proposal_HondurasICF-ICDF-NCU.pdf)

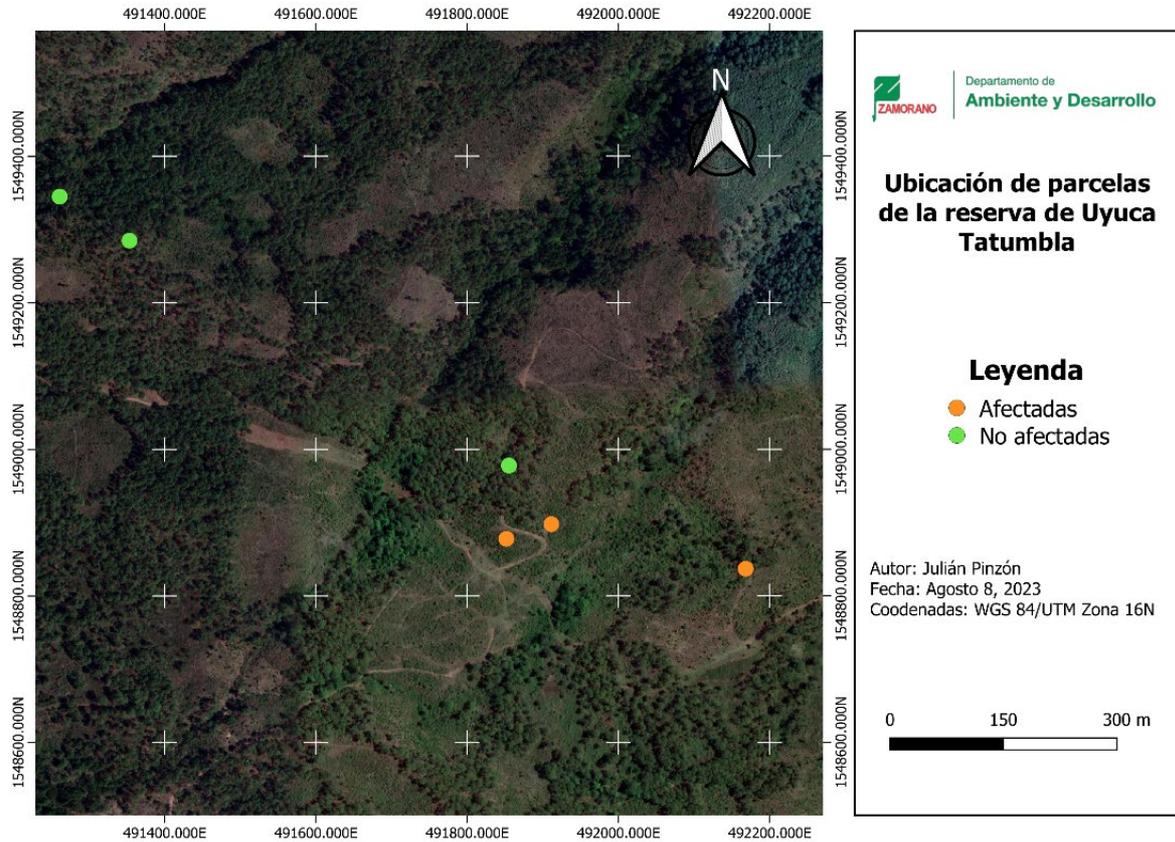
- Jiménez, A., Milla, F., Díaz, R. y Emanuelli, P. (2014). *Inventario Nacional Forestal Multipropósito de República Dominicana 2014-2015 : elementos de planificación y protocolo para las operaciones de medición*. El Salvador: Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. <https://bvearmb.do/handle/123456789/278>
- Lastra, J., López, M [Miriam] y López, S. (2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai*, 4(3), 625–634. <https://doi.org/10.35197/rx.04.03.2008.06.js>
- López, M [María], Sánchez, R., Contreras, J., Armenta, A. y Félix, J. (2017). Captación de carbono en suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov. en la mixteca alta, Oaxaca. *Ecología Aplicada*, 16(2), 127. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1016>
- Martínez, L. (2016). *Estimación de Carbono Forestal para Quercus sp. en parcelas permanentes de monitoreo en Reserva Biológica Uyuca, Honduras* [Tesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. Biblioteca digital de Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5737>
- Martínez, M., Peña, C. y Restrepo, L. (2019). Cambio climático en la ciudad de Medellín – Colombia, en un periodo de cincuenta años (1960-2010). *DYNA*, 86(209), 312–318. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.69531>
- Moser, J., Wilkinson, R. y Clark, E. (1974). Mites associated with *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Scolytidae: Coleoptera) in Central America and Mexico. *Turrialba*, 24(4), 379–381. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/22386>
- Organización de las Naciones Unidas. (2012). *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Organización de las Naciones Unidas (ONU). [https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/unfccc\\_sp.pdf](https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/unfccc_sp.pdf)
- Pardo-Rozo, Y.-Y., Andrade-Castañeda, H.-J., Muñoz-Ramos, J. y Velásquez-Restrepo, J.-E. (2021). Carbon capture in three land use systems in the Colombian Amazonia. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 38(2), 111–123. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.160>
- Penman, J. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry /The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. By Jim Penman.
- Peña Vanegas, R. A. (2020). *Manual Técnico para la Interpretación de análisis de Suelos y Fertilización de Cultivos. Apuntes de Clase Ser*. Universidad de la Salle.
- Pérez-Ramírez, S., Ramírez, I., Jaramillo-López, P. y Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, XIX(1), 157–173. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.042>
- Reyes, J., León, M. y Herrero, G. (2019). Influencia de la fertilización mineral sobre la retención de carbono en una plantación de pino. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 10(51), 4–22. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.147>
- Rivera, M., Locatelli, B. y Billings, R. (2010). Cambio climático y eventos epidémicos del gorgojo descortezador del pino " *Dendroctonus frontalis*" en Honduras. *Corporación Colombiana De Investigación Agropecuaria CORPOICA*, 19(1), 70–76. <https://doi.org/10.5424/fs/2010191-01168>

- Rodríguez, L. y Castañeda, A. (2005). La Captación de carbono en tres especies forestales en el departamento del Meta. *REVISTA GUARRACUCO*, 1(12), 11. <http://publicaciones.unimeta.edu.co/index.php/gua/article/view/299>
- Sánchez, B., Flores, S., Rodríguez, E., Anaya, A. y Contreras, E. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11(2), 126–145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
- Steiner, J., Schneider, J., Pope, C. y Steele, R. (2015). *Evaluación de vulnerabilidad de las llanuras meridionales y estrategias preliminares de adaptación y mitigación para agricultores, ganaderos y propietarios de ...* [https://www.climatehubs.oce.usda.gov/sites/default/files/southernplains\\_vulnerability\\_assessment\\_espanol.pdf](https://www.climatehubs.oce.usda.gov/sites/default/files/southernplains_vulnerability_assessment_espanol.pdf)
- Steubing, L., Godoy, R. y Alberdi, M. (2002). *Métodos de ecología vegetal*. Universitaria.
- Tsui, C.-C., Tsai, C.-C. y Chen, Z.-S. (2013). Soil organic carbon stocks in relation to elevation gradients in volcanic ash soils of Taiwan. *Geoderma*, 209-210, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.013>
- Valenzuela, I. G. y Visconti, E. F. (2018). Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 12(1), 233–243. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s2011-21732018000100233&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s2011-21732018000100233&script=sci_arttext)
- Vos, B. de, Lettens, S., Muys, B. y Deckers, J. A. (2007). Walkley Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use & Management*, 23(3), 221–229. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00084.x>

### Anexos

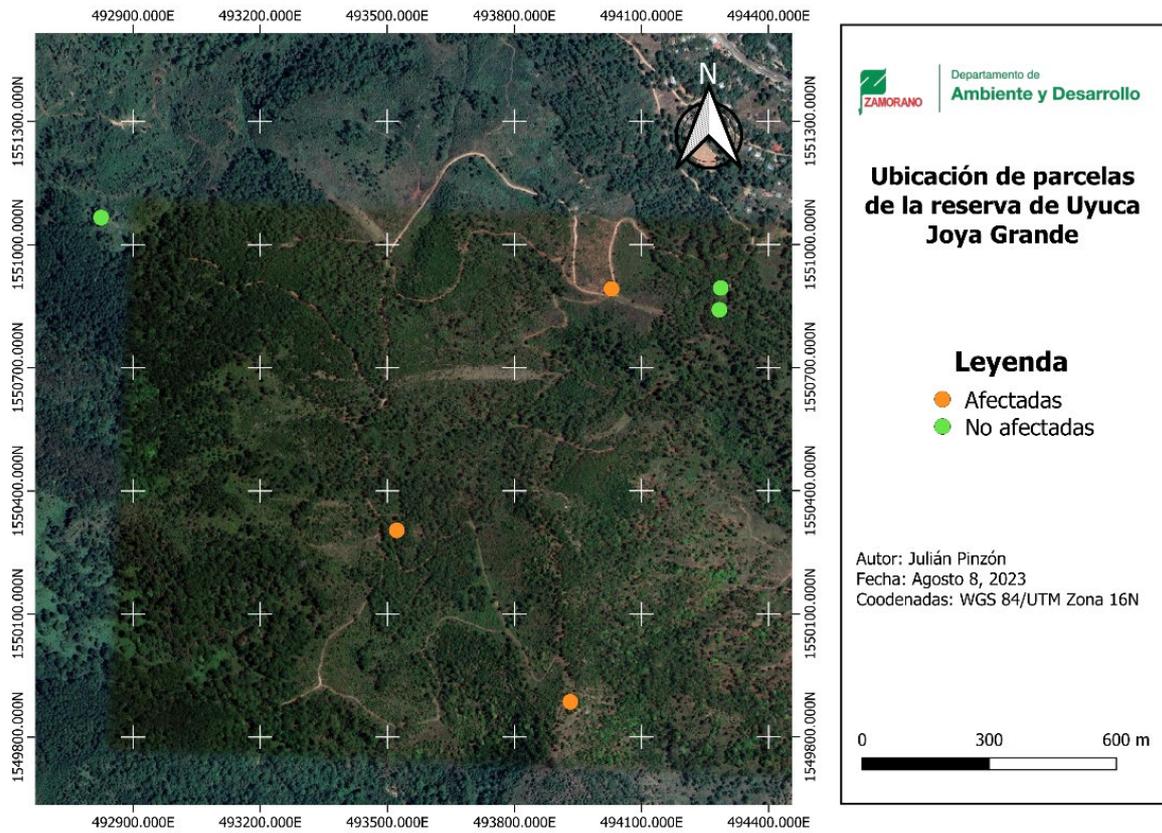
#### Anexo A

Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Uyuca Tatumbla



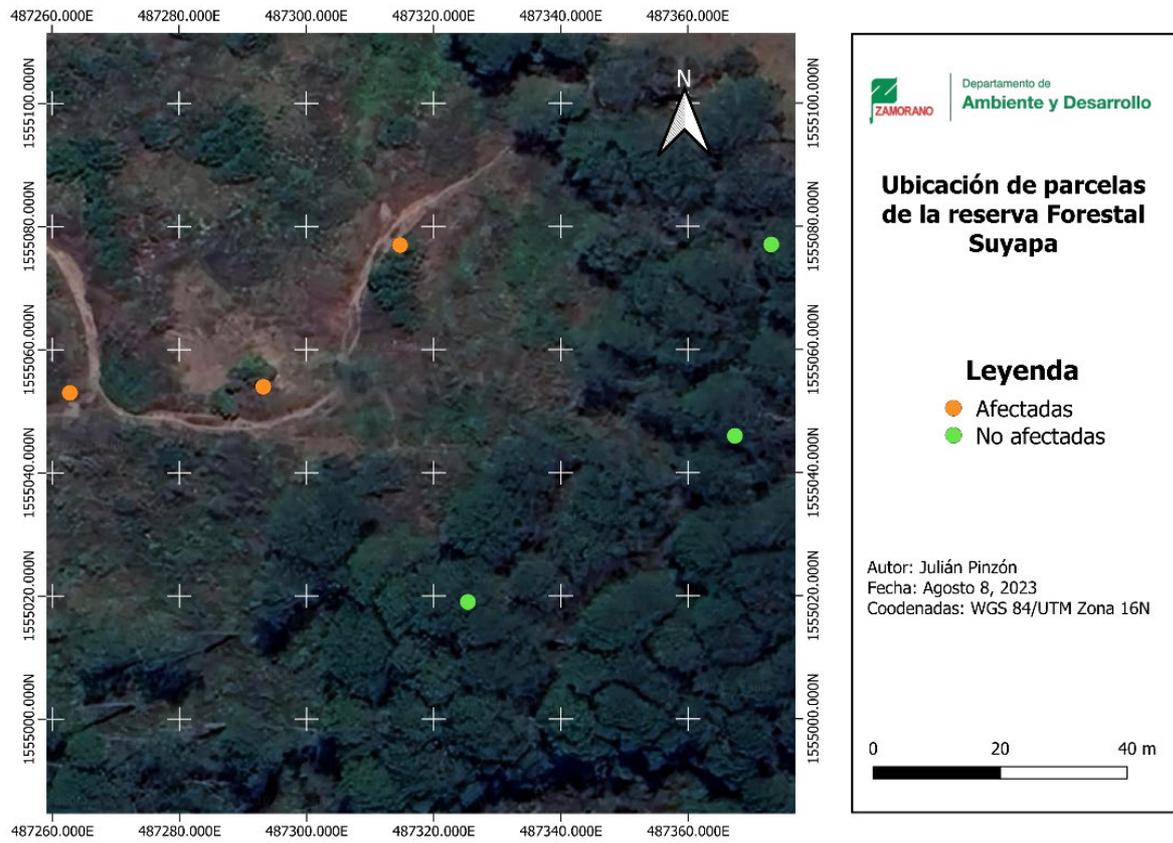
### Anexo B

Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Uyuca Joya Grande



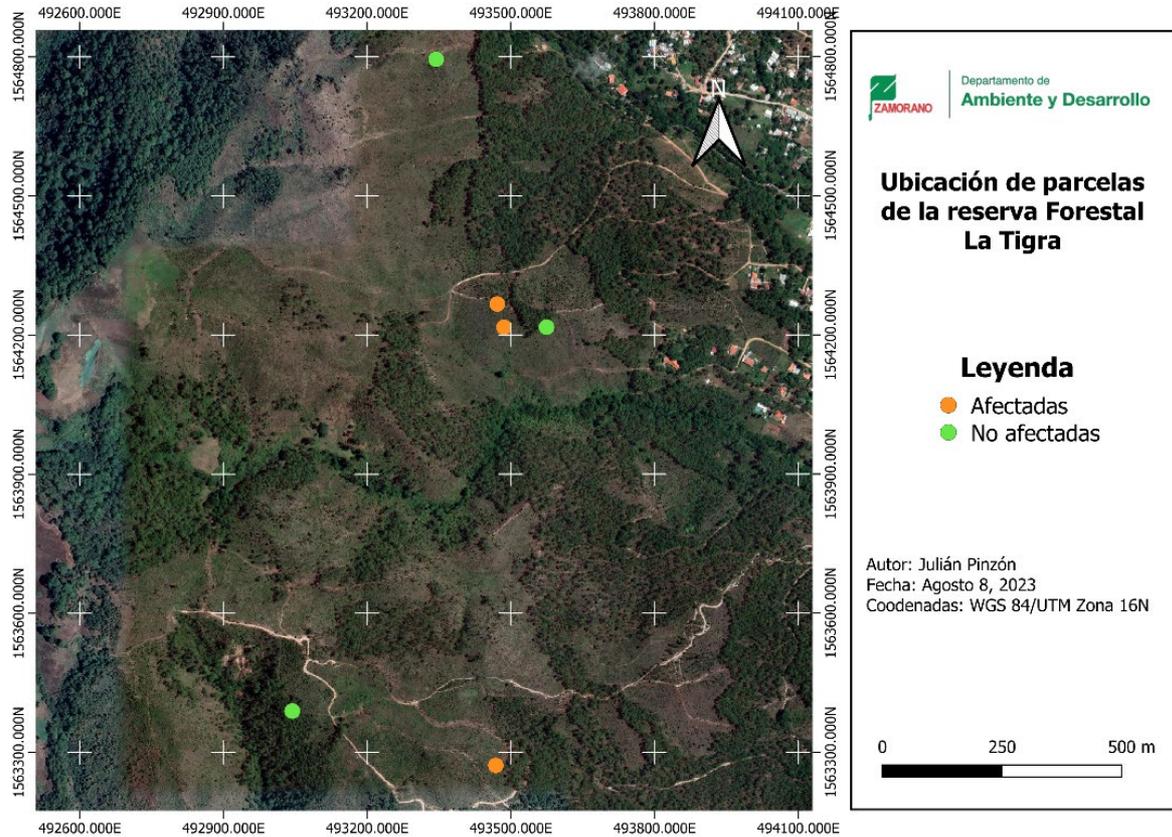
### Anexo C

Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Suyapa

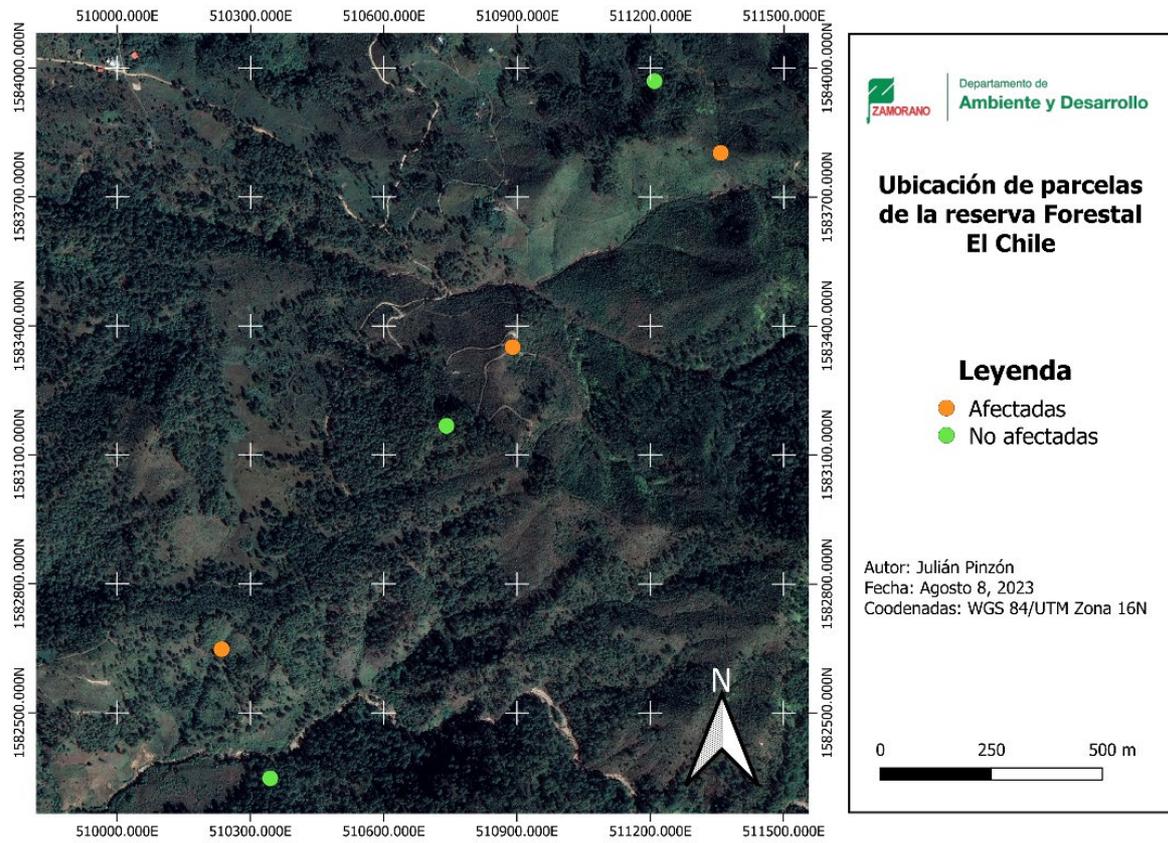


### Anexo D

Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal La Tigra



## Anexo E

*Mapa de ubicación de las parcelas de la reserva forestal Uyuca Tatumbla*

## Anexo F

Cuadro con las coordenadas de cada una de las parcelas de muestreo

Reserva	Parcela	Coordenadas UTM		Altitud	Presencia de gorgojo
		x	y		
Uyuca Joya Grande	2	494287	1550894	1370	No afectada
	3	494284	1550841	1376	No afectada
	11	494029	1550892	1423	Afectada
	19	493522	1550304	1547	Afectada
	25	492825	1551066	1661	No afectada
	43	493932	1549886	1523	Afectada
Uyuca Tatumbla	12	492168	1548837	1511	Afectada
	16	491852	1548878	1448	Afectada
	19	491911	1548898	1494	Afectada
	20	491855	1548978	1504	No afectada
	24	491354	1549285	1484	No afectada
	29	491261	1549345	1460	No afectada
El Chile	1	511208	1583970	1265	No afectada
	2	510889	1583351	1298	Afectada
	3	511357	1583803	1230	Afectada
	4	510889	158351	1251	No afectada
	5	510741	1583167	1034	No afectada
	6	510344	1582347	1097	Afectada
Suyapa	1	487373	1555077	1578	No afectada
	2	487367	1555049	1574	No afectada
	3	487325	1555019	1576	No afectada
	4	487314	1555077	1583	Afectada
	5	487293	1555054	1584	Afectada
	6	487262	1555053	1587	Afectada
La Tigra Montaña Grande	4	493575	1564247	1467	No afectada
	9	493486	1564217	1477	Afectada
	10	493472	1564267	1474	Afectada
	17	493345	1564795	1466	No afectada
	18	493469	1563272	1517	Afectada
	30	493044	1563389	1561	No afectada