



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE  
CARBONATOS EDÁFICOS Y SU RELACIÓN CON LOS  
CAMBIOS DE USOS DE LA TIERRA EN EL CENTRO DE  
APOYO MANGLARALTO UPSE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Efrén Stalin Ramírez Rodríguez.

**La Libertad, 2020**



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE  
CARBONATOS EDÁFICOS Y SU RELACIÓN CON LOS  
CAMBIOS DE USOS DE LA TIERRA EN EL CENTRO DE  
APOYO MANGLARALTO UPSE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Efrén Stalin Ramírez Rodríguez.

**Tutor:** Ing. Daniel Ponce de León Lima. PhD.

**La Libertad, 2020**

## TRIBUNAL DE GRADO



---

Ing. Néstor Acosta Lozano, Phd.  
**DECANO (E) DE LA FACULTAD  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Ángel León Mejía. MSc.  
**DIRECTOR (E) CARRERA DE  
AGROPECUARIA.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, PhD.  
**PROFESOR DEL ÁREA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Daniel Ponce de León, PhD.  
**PROFESOR TUTOR  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Abg. Víctor Coronel Ortiz, MSc.  
**SECRETARIO GENERAL (E)**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a Dios por permitirme seguir adelante y así poder culminar un objetivo más en mi vida, a mis padres, Narciso Ramírez y Judith Rodríguez por haberme forjado como la persona que soy, todos mis logros se los debo a ellos incluyendo este, a la Universidad por permitir convertirme en profesional, a los docentes por ser parte fundamental en mi proceso de formación, a mi tutor Ing, Daniel Ponce de León por proporcionarme los conocimientos, asesoría y motivación durante el desarrollo de este trabajo. A PLAN INTERNACIONAL quien junto a todo su personal me brindaron apoyo durante toda mi carrera universitaria, agradeciéndole especialmente a la Lcda. Rocío Mejillones técnica del proyecto de BECAS UNIVERSITARIAS por su respaldo y confianza.

Efrén Stalin Ramírez Rodríguez.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico al forjador de mi camino, a mi Padre Celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo. A mis padres y hermanos porque son las personas a quienes más quiero y las que siempre han estado en constante apoyo para seguir adelante.

Efrén Stalin Ramírez Rodríguez.

## RESUMEN

Se evalúa la presencia y distribución de carbonatos edáficos con relación a los usos de la tierra y subgrupos de suelo. El estudio se realizó en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, zona representativa de la cuenca del río Manglaralto. Se realizaron dos tipos de muestreos, espacial (0-30 cm; cincuenta observaciones) y vertical (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm; diez observaciones). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por gasometría, método del calcímetro de Bernard. Se encontraron valores en un rango de 0.00 a 3.05 g kg<sup>-1</sup> de suelo, lo que clasifica como suelo libre de carbonatos, por ende, el contenido de carbonatos en los suelos no constituye un factor limitante para el rendimiento de las especies agrícolas comerciales cultivadas en la zona. El análisis estadístico de Kruskal-Wallis, determinó que no hay relación en el contenido de carbonatos con los usos de la tierra; sin embargo, existen diferencias significativas en el contenido de carbonatos con relación a su distribución en profundidad. Se constatan mayores cantidades de carbonatos en horizontes superficiales y con tendencia a disminuir en profundidad, por lo que se recomienda mantener un manejo adecuado, y el empleo de prácticas que atenúen los procesos erosivos, para evitar la acumulación de los carbonatos en horizontes superficiales. Se obtuvo el mapa temático de distribución espacial de los carbonatos por interpolación mediante el método IDW, donde se aprecia una tendencia a una mayor acumulación en las áreas con dedicación pecuaria.

***Palabras claves:*** Carbonatos edáficos, usos del suelo.

## ABSTRACT

The presence and distribution of edaphic carbonates in relation to land use and soil subgroups are evaluated. The study was carried out at the Manglaralto UPSE Support Center, selected as a representative area of the Manglaralto river basin. Sampling was carried out according to one “spatial” protocol (0-30 cm; fifty observations) and another one “vertical” (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm; ten observations). The samples were analyzed in the Soil and Water laboratory of the Santa Elena Peninsula State University, by gasometry, Bernard's calcimeter method. Values were found in a range of 0.00 to 3.05 g kg<sup>-1</sup> of soil, which classifies it as carbonate-free soil, therefore, the carbonate content in the soils does not constitute a limiting factor for the performance of cultivated commercial agricultural species in the zone. A Kruskal-Wallis test shows that there are no relationship in carbonate content with land uses; however, there are significant differences in the carbonate content in relation to its depth distribution. Higher amounts of carbonates are found in surface horizons and with a tendency to decrease in-depth, so it is recommended to maintain proper management, and the use of practices that mitigate erosive processes, to avoid the accumulation of carbonates in surface horizons. Using the IDW interpolation method, a thematic map of the spatial distribution of the carbonates from the studied area was obtained, where a tendency to greater accumulation in the areas with livestock dedication is observed.

***Key words:*** *Edaphic carbonates, land uses.*

"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".



---

Efrén Ramírez Rodríguez

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Problema Científico .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
<b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
1.1.- Formas de carbono en el suelo.....	4
1.1.1.- Carbono orgánico del suelo .....	4
1.1.2.- Carbono inorgánico .....	5
1.2.- Influencia de carbonatos en las propiedades del suelo .....	5
1.3.- Acumulación de carbonatos en el suelo relacionado con el clima .....	6
1.4.- Métodos de determinación de carbonatos en el suelo.....	7
1.4.1.- Determinación del CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> .....	7
1.5.- Tipos de suelos en el Ecuador.....	10
1.6.- Tipos de suelos en la Provincia de Santa Elena.....	10
1.7.- Características de la cuenca del río Manglaralto .....	10
1.7.1.- Localización geográfica.....	10
1.7.2.- Hidrografía.....	10
1.7.3.- Flora y fauna .....	11
1.7.4.- Geología.....	11
1.8.- Usos del suelo en la provincia de Santa Elena.....	11
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
2.1.- Ubicación y descripción del sitio.....	13
2.2.- Características climáticas.....	13
2.3.- Características de los suelos .....	15
2.4.- Manejo del estudio.....	15
2.5.- Esquema de muestreo .....	15
2.5.1.- Muestreo 0 - 30 cm .....	16
2.5.2.- Muestreo vertical .....	16
2.6.- Determinación de carbonatos.....	17
2.7.- Análisis estadístico .....	19

2.8.- Elaboración de mapas temáticos.....	19
2.8.1.- Selección del método de interpolación .....	19
2.8.2.- Generación del mapa .....	20
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
3.1.- Características del área de estudio en relación a la presencia y distribución de carbonatos edáficos .....	21
3.2.- Análisis de la estructura espacial y estadística de carbonatos a una profundidad de 30 cm .....	21
3.3.- Análisis estadístico descriptivo de carbonatos con relación al Orden de suelo .....	24
3.3.1.- Orden Molisol .....	24
3.3.2.- Orden Inceptisol.....	26
3.4.- Análisis estadístico descriptivo de carbonatos con relación al uso del suelo. ....	28
3.4.1.- Uso del suelo: Conservación Forestal.....	28
3.4.2.- Uso del suelo: Agrícola .....	29
3.4.3.- Uso del suelo: Pecuario .....	31
3.5.- Prueba de contraste para los órdenes y usos del suelo.....	32
3.6.- Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad .....	35
3.7.- Análisis de la estructura vertical y estadística de carbonatos en diferentes profundidades.....	37
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
Conclusiones .....	42
Recomendaciones.....	43
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.-</b> Superficie en hectáreas de los usos de los suelos de la Provincia de Santa Elena. ....	12
<b>Tabla 2.1.-</b> Características climáticas de la zona. ....	14
<b>Tabla 2.2.-</b> Características químicas del suelo en el Centro de Apoyo Manglaralto. ....	15
<b>Tabla 3.1.-</b> Resumen estadístico de carbonatos en relación al uso y orden de suelo. ....	23
<b>Tabla 3.2.-</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Molisol. ....	24
<b>Tabla 3.3.-</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Inceptisol. ....	26
<b>Tabla 3.4.-</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en la zona de Conservación Forestal. ....	28
<b>Tabla 3.5.-</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el Uso Agrícola. ....	29
<b>Tabla 3.6.-</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el Uso Pecuario. ....	31
<b>Tabla 3.7.-</b> Prueba de Kruskal-Wallis para datos de carbonatos edáficos a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por órdenes de suelo. ....	33
<b>Tabla 3.8.-</b> Prueba de Kruskal-Wallis para los usos del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm. ....	34
<b>Tabla 3.9.-</b> Prueba de Friedman para el análisis de carbonatos a diferentes profundidades. ....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.-</b> Método calcímetro por volumen: calcímetro de Bernard. ....	8
<b>Figura 1.2.-</b> Métodos gravimétricos.....	9
<b>Figura 1.3.-</b> Neutralización ácida.....	9
<b>Figura 2.1.-</b> Localización del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE. ....	13
<b>Figura 2.2.-</b> Distribución de los puntos de muestreo en forma espacial para el análisis de carbonatos. ....	16
<b>Figura 2.3.-</b> Distribución de los puntos de muestreo en forma vertical para el análisis de carbonatos. ....	17
<b>Figura 3.1.-</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en General.....	22
<b>Figura 3.2.-</b> (A) Distribución espacial de carbonatos, (B) distribución de carbonatos en el eje X y (C) distribución de carbonatos en el eje Y. ....	23
<b>Figura 3.3.-</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Molisol. ....	26
<b>Figura 3.4.-</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Inceptisol. ....	27
<b>Figura 3.5.-</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en la zona de Conservación forestal. ....	29
<b>Figura 3.6.-</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el Uso Agrícola. ....	30
<b>Figura 3.7.-</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el Uso Pecuario. ....	32
<b>Figura 3.8.-</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en el Orden de suelo. ....	33
<b>Figura 3.9.-</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los usos del suelo. ....	34
<b>Figura 3.10.-</b> Semivariograma experimental de carbonatos en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE. ....	35
<b>Figura 3.11.-</b> Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad.....	36
<b>Figura 3.12.-</b> Puntos del muestreo en forma vertical.....	38
<b>Figura 3.13.-</b> Distribución de carbonatos a 1m de profundidad en la zona de Conservación Forestal.....	38

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Tabla 1.A.-** Análisis de carbonatos del muestreo espacial, realizados por gasometría con el método del calcímetro de Bernard.

**Tabla 2.A.-** Análisis de carbonatos del muestreo vertical, realizados por gasometría con el método del calcímetro de Bernard.

**Figura 1.A.-** Toma de muestras, forma espacial.

**Figura 2.A.-** Toma de muestras, forma vertical.

**Figura 3.A.-** Toma de muestras a una profundidad 0 a 10 cm.

**Figura 4.A.-** Toma de muestras a una profundidad 60 cm a 1 m.

**Figura 5.A.-** Tamizado de muestras a 2 mm.

**Figura 6.A.-** Separación y pesaje de impurezas (piedras).

**Figura 7.A.-** Pesaje de muestras para determinar humedad y colocación de muestras en el Matraz Erlenmeyer.

**Figura 8.A.-** Colocación del ácido clorhídrico en la muestra y preparación de la muestra en el calcímetro para el posterior análisis.

**Figura 9.A.-** Muestra reaccionando al ácido clorhídrico.

**Figura 10.A.-** Midiendo el desplazamiento del agua para la posterior determinación de carbonatos.

## INTRODUCCIÓN

La superficie terrestre actualmente tiene un cuarto de tierras áridas o semiáridas provocadas principalmente por el aumento de la población, las inadecuadas prácticas agrícolas, los usos excesivos de los recursos naturales y la intervención humana en la construcción de urbanizaciones, esto trae como consecuencias la desertificación y degradación de los suelos (Mazuela, 2013).

El cambio en el uso de la tierra, desde la destrucción de los bosques forestales hasta llegar a tierras cultivadas, ha provocado la emisión en gran parte de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, además es la práctica de mayor influencia en la degradación de los suelos alrededor del mundo (Hernández *et al.*, 2017).

La desertificación como tal es el resultado de las actividades que generan los humanos sobre el planeta y la variabilidad climática, las regiones subhúmedas secas, áridas y semiáridas son las más susceptibles a los procesos de desertificación (UNCCD, 1978 citado por Reynolds y Stafford, 2002; Abraham, 2008), en casi todos los ecosistemas, como en las zonas subhúmedas se presentan valores altos a la vulnerabilidad de desertificación, de modo que en estas zonas hay mayor presión humana por el aprovechamiento de sus recursos (Abraham, 2006).

La desertificación se encuentra relacionada con dimensiones meteorológicas por los cambios de temperatura, con la sequía, el aire, el polvo atmosférico, CO<sub>2</sub> atmosférico elevado y variabilidad en precipitación. En las dimensiones ecológicas están incluidas, la actividad microbiana, cubierta vegetal, crecimiento vegetal, el ciclo de nutrientes, regeneración y mortalidad, evapotranspiración y ciclos de vida herbívoros. Además se incluyen las dimensiones socioeconómicas a menudo están relacionados con la pérdida y fragmentación de hábitat, problemas de sobreexplotación, la propagación de especies exóticas, contaminación ambiental, y problemas que se relacionan con el cambio climático (Geist, 2017).

Los suelos de estas zonas están denominados como suelos con perfiles poco desarrollados, con acumulaciones de carbonatos y sales solubles cuya concentración, distribución y composición depende de los flujos de agua en el perfil de suelo. La

evapotranspiración en zonas con bajas precipitaciones propicia acumulación de sales en los horizontes superiores del suelo (Mazuela, 2013).

Los carbonatos secundarios (de origen edáfico) se almacenan en diferentes formas en la red porosa del suelo, estos a su vez, entran en procesos de humedecimiento y secado, la evapotranspiración y la absorción de agua por parte de las plantas provocan precipitaciones de las sales carbonatadas de acuerdo con su solubilidad y concentraciones de la solución de suelo, por tanto, los primeros en formarse son los carbonatos de calcio, carbonatos de magnesio con baja solubilidad y después el sulfato de magnesio con alta solubilidad permanece en solución y determina las sales de un perfil (García y Rojas, 2006).

La provincia de Santa Elena cuenta con un clima semidesértico árido, factores como la precipitación y temperatura mantienen las mismas características en el tiempo (García *et al.*, 2017 y Malavé, 2019). La cuenca del río Manglaralto se encuentra ubicada en la misma Provincia, tiene una extensión aproximada de 56 km<sup>2</sup> (5.600 ha). En los terrenos con pendientes abruptas se distribuye la mayor cantidad de vegetación con especies nativas y en las zonas bajas predomina el bosque tropical seco, con plantas de diversas variedades frutales y hortícolas para fines agrícolas (Berrezueta *et al.*, 2013).

El estudio de carbonatos en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE es el primero que se realiza dentro de la provincia de Santa Elena y forma parte del proyecto “Propuesta de sitios promisorios para la conservación y secuestro de carbono en la Península de Santa Elena”, cuyo objetivo es cuantificar las reservas de carbono en las zonas de estudio.

Además la finalidad de esta investigación es evaluar la presencia y distribución de carbonatos en el Centro de Apoyo Manglaralto de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) en relación con los cambios de usos de la tierra, tomado como un sitio representativo de las condiciones edafo-climáticas de la parte baja de la cuenca, proveerá información útil en la toma de decisiones para la ejecución de proyectos agropecuarios dentro de la zona.

## **Problema Científico:**

¿Cuál es la distribución y contenido de carbonatos edáficos y su relación con los cambios de uso de la tierra en los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE?

## **Objetivo General:**

Evaluar la presencia y distribución de carbonatos edáficos y su relación con los cambios de usos de la tierra en los sitios seleccionados del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

## **Objetivos Específicos:**

1. Determinar el contenido de carbonatos edáficos en los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.
2. Evaluar la influencia de uso de la tierra en la distribución de carbonatos edáficos.
3. Elaborar el mapa de carbonatos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

## **Hipótesis:**

La presencia y distribución de carbonatos edáficos espacial y vertical se relaciona con el uso de la tierra.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### ***1.1.- Formas de carbono en el suelo***

Los suelos están considerados como sumideros principales de carbono por su alta capacidad que tienen para almacenar este elemento (IGBP, 1998). En los suelos se pueden encontrar tres formas del carbono: orgánico, inorgánico y elemental (Ginebra *et al.*, 2015), como forma básica se estima que la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) es de 1555 Petagramos (Pg) y carbono inorgánico del suelo (CIS) es de 1738 Pg, aunque las cantidades pueden variar de acuerdo a la profundidad y variabilidad de los tipos de suelos (Swift, 2001).

En los ecosistemas terrestres se encuentra almacenada la mayor parte del carbono total, por debajo del suelo se encuentran alrededor de dos tercios de carbono terrestre, además existe el carbono subterráneo con porcentajes de rotación más lenta que la está por encima del suelo, esto trae como resultado acumulación de carbono durante largos periodos de tiempo (IGBP, 1998).

#### **1.1.1.- Carbono orgánico del suelo**

La acción del COS en ambientes naturales representa un equilibrio dinámico entre el aporte de material vegetal muerto y mineralización. Los flujos entre el COS y la atmosfera pueden ser positivos como los secuestros de carbono y negativos como las emisiones de CO<sub>2</sub>. La mayor parte del carbono que ingresa al suelo es carbono lábil y solo el 1% del carbono se acumula en forma húmica estable, estas reacciones se dan en suelos con condiciones aeróbicas (Robert, 2001).

El COS se puede encontrar en forma de humus, residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, y en diferentes formas condensadas de composición cercanas al carbono principal, correspondiendo a la materia orgánica del suelo con un 58% (Ayala *et al.*, 2018).

La materia orgánica presente en el suelo es inestable en condiciones óxicas, su presencia se explica por influencia de ambientes de cinética oxidativa y metabólica ralentizada, de tal manera que el carbono no es oxidado a CO<sub>2</sub>. La mayor reserva de carbono terrestre activo está presente en el suelo, con un aproximado a 2500 Pg de

carbono localizado a 1 m de profundidad, en comparación con la atmosfera con 780 Pg, la biota terrestre con 620 Pg (Vásquez *et al.*, 2017).

El COS influye en la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, emparentadas con la sustentabilidad, calidad y capacidad productiva, el COS se mantiene o aumenta si se le da un manejo sustentable, por lo contrario se reducirán los contenidos (Martínez *et al.*, 2008).

### **1.1.2.- Carbono inorgánico**

El CIS es el resultado de la degradación lenta de la mayor parte del COS, en escalas temporales (Torn *et al.*, 1997).

El CIS se encuentra abundante en las regiones áridas y semiáridas, con valoraciones de 695 a 930 Pg a 1 m de profundidad, se encuentra en diversos minerales, predominantes y estables, como la siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), aragonita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], dolomita ( $\text{MgCO}_3$ ) y la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), estos compuestos son derivados de la degradación de la roca madre o por procesos pedogenéticos de formación de carbonatos secundarios, conduciendo a la retención del  $\text{CO}_2$  atmosférico (Ayala *et al.*, 2018).

La variabilidad y distribución de las reservas de CIS están determinadas por las condiciones climáticas, el régimen hídrico del suelo pasado y presente, además se encuentran condicionadas permanentemente por la cobertura vegetal, otros factores ambientales y los cambios en el uso del suelo. Estos factores influyen en los cambios del carbono inorgánico del suelo (Yescas *et al.*, 2018).

### ***1.2.- Influencia de carbonatos en las propiedades del suelo***

Los carbonatos intervienen en las propiedades del suelo como; estructura, actividad biológica, bloqueo de nutrientes, etc. En los procesos químicos del suelo no hay una idea exacta con respecto al contenido total de carbonatos. Un suelo calizo menor o igual al 15% de carbonatos no presenta problemas para los cultivos, en cambio un suelo con porcentajes superiores a 35 o 40% puede representar problemas de producción (Andrades *et al.*, 2015).

El pH y los carbonatos en un suelo están directamente relacionados, la cantidad o la presencia de carbonatos determina el nivel de acidez o alcalinidad del mismo. Un suelo ácido no tiene carbonatos libres, suelos con carbonatos y pH cercanos a 8 suelen tener  $\text{CaCO}_3$ , y suelos con pH mayores a 8,5 suelen tener carbonatos sódicos (Jaurixje *et al.*, 2013).

Los carbonatos constituyen una acción positiva en la actividad microbiana y estructuración del suelo, por lo contrario, si existe un exceso puede provocar antagonismo y bloquear minerales en formas insolubles como el Zn, Fe, Mn, Cu, provocando que las plantas sufran deficiencias nutricionales (Andrades *et al.*, 2015).

Los contenidos carbonatos en los suelos reducen la acidez, aumentan la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes (Lozano *et al.*, 2010).

Según Castellanos (2015), los contenidos de carbonatos en el suelo, se interpretan de la siguiente manera:

- 0-2% Suelo prácticamente libre de carbonatos.
- 2-5% Suelo ligeramente calcáreo.
- 5-10% Suelo moderadamente calcáreo.
- 10-20% Suelo calcáreo.
- 20-40% Suelo altamente calcáreo
- 40% Suelo extremadamente calcáreo

### ***1.3.- Acumulación de carbonatos en el suelo relacionado con el clima***

Los principales factores en la acumulación de carbonatos en los suelos, son dados por las características climáticas del lugar, generalmente están presentes en climas áridos, semiáridos y subhúmedos con precipitaciones anuales menores a 500 mm (Víctor *et al.*, 2016).

La acumulación de carbonatos no solo es por poca presencia de lixiviación, sino que además es un efecto de las interacciones mineral-orgánicas independientemente de cuál sea el pedoclima del suelo, esto significa que las acumulaciones de carbonatos se relaciona con las características biológicas del suelo y la materia orgánica disponible (Santos *et al.*, 2018).

En zonas donde existe mucha evapotranspiración con bajas precipitaciones, con la evaporación del agua en el suelo precipitan sales solubles que provocan la salinización y la carbonatación. En las zonas áridas y semiáridas, los suelos tienden a acumular carbonatos (Águila, 2013).

La distribución de carbonatos está influenciada por parámetros ambientales como la presencia de silicatos, substrato, salinidad y temperatura (Amorós, 2014).

#### ***1.4.- Métodos de determinación de carbonatos en el suelo***

Según Lamas (2003), hay varios métodos experimentales que se pueden utilizar en la determinación de carbonatos en los suelos, los mismos que se encuentran en dos grandes grupos en los cuales se pueden agrupar aquellos que están basados en la determinación del ión  $\text{CO}_3^{2-}$  y los que se basan en la determinación del ión  $\text{Ca}^{2+}$ . A continuación una breve descripción de los métodos de determinación del ion  $\text{CO}_3^{2-}$ .

##### **1.4.1.- Determinación del $\text{CO}_3^{2-}$**

###### **1.4.1.1.- Métodos de pérdida de peso en medio ácido**

Este método está basado en la aplicación de ácido clorhídrico en suelos calcáreos, el efecto de ácido hace que se descomponga todo el material calcáreo por lo que el margen de error es alto. Esquemáticamente el método consiste en: colocar ácido clorhídrico en una muestra de suelo, hasta que ya no se produzca burbujeo, se lava la muestra con agua destilada, se seca y se pesa (Lamas, 2003).

###### **1.4.1.2.- Método calcímetro por volumen: calcímetro de Bernard**

El objetivo del método es determinar los carbonatos totales, puede aplicarse a suelos, sedimentos y rocas (Esquivel *et al.*, 2018). Este método se basa en la medición del gas  $\text{CO}_2$  desprendido gracias a la reacción del HCl con el carbonato de calcio, consiste en una bureta medidora en conexión con un matraz en el que se hará la mezcla (Ospina *et al.*, 2014).



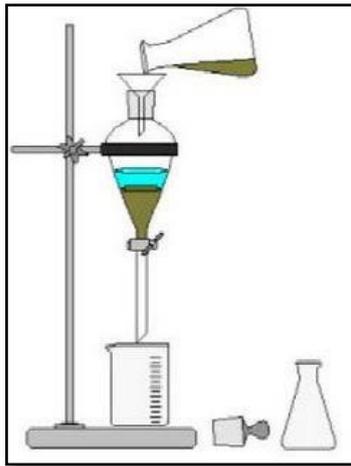
**Figura 1.1.-** Método calcímetro por volumen: calcímetro de Bernard.

#### **1.4.1.3.- Método calcímetro por presión**

Consta de la liberación de  $\text{CO}_2$  en un sistema cerrado de volúmenes constantes y conocidos, la reacción ocurre luego de la mezcla de carbonato cálcico con ácido, se mide el aumento de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  mediante la ley de los gases (Lamas, 2003).

#### **1.4.1.4.- Métodos gravimétricos**

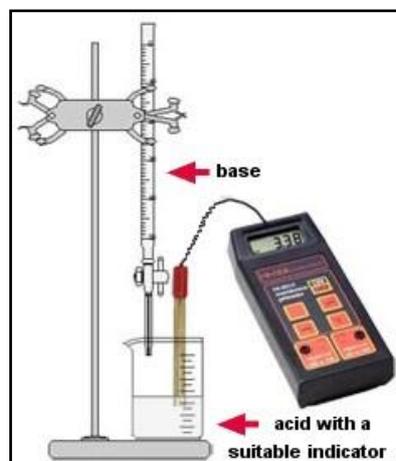
Los métodos gravimétricos son muy utilizados para medir biomasa del suelo, como también humedad, ya que son muy simples, pero desventajosamente consumen mucho tiempo y son poco reproducibles. Entre las desventajas que se encuentra en estas técnicas hay varios factores que afectan la medición de lo que queremos, debido a que en las muestras contienen variedad de microorganismos activos, microorganismos muertos, material inerte, polímeros extracelulares y materia orgánica absorbida, por lo tanto, sus cálculos solo son estimados y presentan un margen de error (Arnáiz *et al.*, 2000).



**Figura 1.2.-** Métodos gravimétricos.

#### **1.4.1.5.- Neutralización ácida**

Se realiza en suelos calcáreos, donde se utiliza ácido Clorhídrico diluido y calentado disuelve todo el material que contiene carbonatos. Estas técnicas se realizan con el propósito de determinar, prevenir o controlar formación de medios alcalinos neutralizando así elementos que inciden el pH. Esto se consigue añadiendo soluciones acidas a muestras alcalina, ara establecer un pH controlado, mediante la aplicación de sustancias acidas, su efectividad va a depender de las características como, el tipo y grado de reacción del ácido. La desventaja de este método es que da un contenido basto del índice de carbonatos y siempre en exceso (Li, 2013).



**Figura 1.3.-** Neutralización ácida.

### ***1.5.- Tipos de suelos en el Ecuador***

Según SIGTIERRAS (2017), se registran 10 órdenes de suelos en Ecuador, que se distinguen por características de origen edafogenéticos y por los tipos de horizontes que se encuentran, entre ellos están: Inceptisoles, Entisoles, Alfisoles, Andisoles, Molisoles, Vertisoles, Aridisoles, Ultisoles, Histosoles y Oxisoles.

### ***1.6.- Tipos de suelos en la Provincia de Santa Elena***

La provincia de Santa Elena está caracterizada como una zona semidesértica, con alto potencial en agricultura, permitiéndole producir en casi todos los meses del año (Mejía *et al.*, 2020). Están representados seis órdenes de suelos en la provincia de Santa Elena, entre los que más abundan están los Inceptisoles ocupando 107 920 ha, los Aridisoles con alrededor 95 600 ha, los Entisoles con 41 000 de ha, los Vertisoles ocupan 27 936 ha, los Alfisoles con 16 174 ha y los Molisoles con 6775 ha (Koupermann, 2014).

### ***1.7.- Características de la cuenca del río Manglaralto***

#### **1.7.1.- Localización geográfica**

La Cuenca del Río Manglaralto se encuentra ubicada en la Provincia de Santa Elena, cuenta con una extensión de 56 km<sup>2</sup>. Tiene una población aproximada de 8000 habitantes y está conformada por las comunas: Manglaralto, Poma Rosa, San Antonio, Cadeate y Dos Mangas. El Río Manglaralto nace de la cordillera Chongón Colonche desde 700 msnm, tiene una longitud aproximada de 18 km y finaliza en el Océano Pacífico (Berrezueta *et al.*, 2013).

#### **1.7.2.- Hidrografía**

El acuífero de la Cuenca del Río Manglaralto resulta de una formación geológica con contenidos de agua dulce, la cual se encuentra rodeada de una masa de agua salada. Los acuíferos se caracterizan por tener el nivel freático muy superficial, generalmente se encuentran a una profundidad de entre 3 y 11 m con espesores aproximados a 20 m (Franco, 2015).

### **1.7.3.- Flora y fauna**

La vegetación que corresponde a la Cuenca del Río Manglaralto es bosque seco tropical. Hay dos zonas características de la cuenca, los lugares altos están cubiertos una vegetación con especies autóctonas (*Carapa guianense*, *Pouteria sapota*, *Laurus nobilis*, *Artocarpus communis*, *Tabebuia chrysantha*, etc), mientras que en los lugares bajos están las especies frutales introducidas por el hombre para el aprovechamiento agrícola (Berrezueta *et al.*, 2013).

### **1.7.4.- Geología**

La cuenca del Río Manglaralto se forma a partir de rocas procedentes de la era Cretácica Superior hasta el tiempo reciente. Los depósitos aluviales, como arenas, limos y arcillas constituyen la mayoría de las formaciones geológicas a lo largo del río. La presencia del diámetro y espesor de las capas de gravas, limos y arena convierten en acuíferos de buena calidad. La parte montañosa está formada por los cerros con elevaciones entre los 300 m y 750 m, disminuyendo a medida que nos acercamos a la costa (Carrión *et al.*, 2019).

En la Cuenca se definen tres diferentes relieves: hay zonas con pendientes abruptas superiores al 40% que pertenecen a litologías no erosionadas, las zonas intermedias con pendientes entre 20% y 40% correspondiente a materiales detríticos y por último la zona llana con pendientes inferiores al 20% con litologías lutitas arcillosas (Berrezueta *et al.*, 2013).

## ***1.8.- Usos del suelo en la provincia de Santa Elena***

En la tabla 1.1. se detalla el uso del suelo y la superficie que ocupa en la provincia de Santa Elena, en donde las dinámicas socio-económicas se han desarrollado a partir del aprovechamiento de los recursos naturales, las estructuras culturales, psicológicas de la población e intervención del Estado en proyectos que son impulsores para el desarrollo productivo del ámbito rural (Koupermann, 2014).

Los principales cultivos que se encuentran son: aguacate (*Persea americana M.*), cacao (*Theobroma cacao L.*), banano (*Musa paradisiaca L.*), ciruelo (*Spondias purpurea L.*), guanábana (*Annona muricata L.*), fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*), limón

(*Citrus latifolia*), mango (*Mangifera indica L.*), maíz (*Zea mays L.*), sandía (*Citrullus lanatus*), melón (*Cucumis melo L.*), cebolla (*Allium cepa L.*), pimiento (*Capsicum annum L.*), uva (*Vitis vinífera L.*), y yuca (*Manihot esculenta C.*) (Candell, 2017).

De los cuales, cultivos como el aguacate es ligeramente tolerante al contenido de carbonatos (Campos y Calderón, 2015), como también el banano, guanábana, frejol, limón, cebolla, pimiento, tomate, uva y yuca son cultivos que pueden adaptarse bien a suelos ligeramente con contenidos de carbonatos o suelos alcalinos (INIAP, 2014) y el cultivo de cacao se puede adaptar a suelos con ph de 8.5 (Mendis, 2003).

**Tabla 1.1.-** Superficie en hectáreas de los usos de los suelos de la Provincia de Santa Elena.

<b>Uso del suelo</b>	<b>Superficie (has)</b>	<b>%</b>
<b>Agrícola</b>	23 157.4	6.28
<b>Agropecuario mixto</b>	1492.6	0.40
<b>Pecuario</b>	2215.6	0.60
<b>Actividad camaronera</b>	3443.7	0.93
<b>Extracción de sal</b>	1530.3	0.41
<b>Áreas urbanas</b>	4781.2	1.30
<b>Centros poblados</b>	1523.7	0.41
<b>Antrópico</b>	7611.0	20.63
<b>Conservación y protección pecuario</b>	32 239.0	8.74
<b>Conservación y protección forestal</b>	22 2501.5	60.30
<b>Total</b>	<b>369.000</b>	<b>100</b>

**Fuente:** IEE (2012).

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### *2.1. - Ubicación y descripción del sitio*

La presente investigación se desarrolló en el Centro de Apoyo Manglaralto, perteneciente a la UPSE, ubicada en la parroquia Manglaralto del cantón Santa Elena, en la vía a Dos Mangas, con las coordenadas geográficas 01°50'32" latitud sur, 80°44'22" longitud oeste, a una altura de 12 msnm y el relieve con pendientes menores al 1%. En la Figura 2.1. se aprecia la ubicación del lugar de estudio.



**Figura 2.1.-** Localización del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

El Centro de Apoyo Manglaralto UPSE cuenta con un área aproximada de 22.6 ha, las mismas que se encuentran divididas para uso forestal, producción pecuaria, pastizales, cultivos perennes y cultivos de ciclo corto (Lino, 2019).

### *2.2.- Características climáticas*

La zona se caracteriza por presentar dos épocas climáticas diferentes en un año, en los meses de diciembre hasta mayo comprende la época húmeda (lluviosa) y en junio hasta

noviembre es época seca (garúa). En la Tabla 2.1. se muestran los valores promedios del clima en la zona del muestreo correspondiente al periodo 1900 – 2019.

Cabe señalar que en los años en que se presenta el fenómeno El Niño en la época lluviosa, las precipitaciones acumuladas alcanzan unos 2800 mm/año, por lo contrario, en años sin fenómeno El Niño, las precipitaciones tienen variabilidad alcanzando de 90 mm/mes a 150 mm/mes. En los meses de junio a noviembre corresponde a la época seca con precipitaciones que varían alrededor a 0.

**Tabla 2.1.-** Características climáticas de la zona.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)	Evaporación (mm)	Heliofanía (horas)
<b>Enero</b>	48.3	26.1	149.3	110.6
<b>Febrero</b>	98.3	26.2	141.2	146.5
<b>Marzo</b>	73.6	26.5	146.2	161.7
<b>Abril</b>	29.3	25.7	145.7	198.1
<b>Mayo</b>	12.4	24.2	141.6	120.3
<b>Junio</b>	13.9	22.2	89.1	46.6
<b>Julio</b>	23.0	21.1	73.3	34.7
<b>Agosto</b>	18.9	21.1	98.0	82.0
<b>Septiembre</b>	10.4	21.6	113.2	96.8
<b>Octubre</b>	25.6	21.4	100.2	56.3
<b>Noviembre</b>	11.3	21.9	102.0	65.9
<b>Diciembre</b>	4.9	23.1	159.4	236.3
	$\Sigma = 370.2$	Media = 23.4	$\Sigma = 1459.2$	Media = 112.9

**Nombre de la estación:** Manglaralto.

**Código:** M0619.

**Periodo:** 1900 - 2019. **Serie:** 1989 - 2018. **Latitud:** 1G51'10" S. **Longitud:** 80G44'55" W.

**Elevación:** 6.00.

**Fuente:** INAMHI (2019).

### **2.3.- Características de los suelos**

El Centro de Apoyo Manglaralto UPSE predominan los suelos de textura franco arcillo limoso, con un pH ligeramente alcalino de 7.7, con CE de 0.91 mS/cm, el cual representa un suelo no salino. En la Tabla 2.2. se pueden apreciar mejor las características químicas del lugar de estudio.

**Tabla 2.2.-** Características químicas del suelo en el Centro de Apoyo Manglaralto.

<b>Elementos</b>	<b>Cantidad (ug/mL)</b>	<b>Interpretación</b>
pH	7.7	Ligeramente alcalino
Calcio	3098	Alto
Magnesio	587	Alto

**Fuente:** Modificado de Santos (2015).

### **2.4.- Manejo del estudio**

El estudio se realizó en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE, se encuentra ubicado dentro de la cuenca del río Manglaralto, se escogió por ser una zona subhúmeda y presencia de diversas clases de usos de la tierra y por ser una zona representativa dentro de la provincia de Santa Elena.

El muestreo de suelo correspondió a un muestreo aleatorio estratificado, los criterios de estratificación en la selección del lugar fueron:

- Delimitación de la cuenca, subcuenca y microcuenca hidrográfica. Mapas del Instituto Espacial Ecuatoriano del 2012 (IEE, 2012).
- Subgrupo de suelo. Mapa Geopedológico. Proyecto de Generación de Geoinformación para la gestión del Territorio Nacional a escala 1:25 000.
- El uso de la tierra y vegetación a partir del mapa geo pedológico (IEE, 2012).

### **2.5.- Esquema de muestreo**

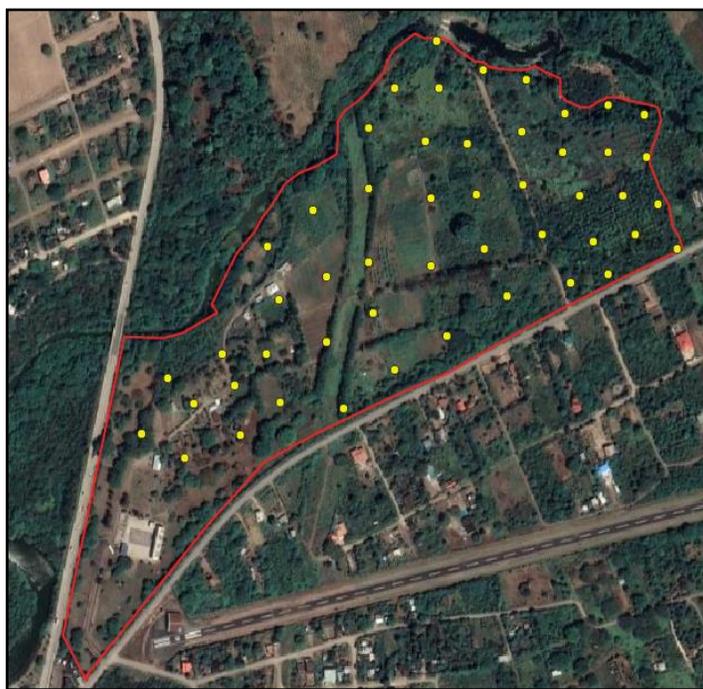
El esquema de muestreo da respuesta a los objetivos del proyecto al que tributa el presente estudio, orientado a la estimación de las reservas de carbono orgánico e inorgánico.

Para ello, y de acuerdo a los objetivos, interesa la distribución horizontal de los carbonatos en la zona de las raíces (muestreo superficial) y su distribución en profundidad (muestreo vertical).

### 2.5.1.- Muestreo 0 - 30 cm

Se tomaron muestras de suelo aleatorias mediante barrena edafológica de 0 - 30 cm de profundidad, y a una separación entre puntos en un rango de 50 a 100 m en zonas con mayor frecuencia e intensidad en el uso de la tierra. Las muestras se colocaron en fundas plásticas con su correspondiente identificación.

Se registraron las características generales, coordenadas GPS y de uso del suelo. En la Figura 2.2. se muestra la ubicación de los puntos del muestreo superficial (0 - 30 cm).



**Figura 2.2.-** Distribución de los puntos de muestreo en forma espacial para el análisis de carbonatos.

### 2.5.2.- Muestreo vertical

Se seleccionó el lugar con vegetación intacta, el tipo de suelo predominante es el Fluventic Eutrudepts, orden Inceptisol, se muestrearon 10 puntos con espaciamientos de 50 m entre

puntos a cinco profundidades diferentes, de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 40 cm, 40 cm a 60 cm, 60 cm a 1 m.

Se utilizó la misma barrena edafológica y cilindros para muestras inalteradas con capacidad de 100 cm<sup>3</sup>, se pesó la muestra extraída y se colocó en fundas plásticas con su etiqueta correspondiente. Además, se utilizó el GPS para registrar las coordenadas del punto. La ubicación de los puntos del muestreo se puede observar en la Figura 2.3.



**Figura 2.3.-** Distribución de los puntos de muestreo en forma vertical para el análisis de carbonatos.

## ***2.6.- Determinación de carbonatos***

Las muestras de suelo se secaron al aire libre, para luego ser tamizadas a partículas  $\leq 2$  mm, posteriormente se determinó el porcentaje de humedad antes del respectivo análisis.

El calcímetro se calibró utilizando carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), la temperatura del laboratorio estuvo en condiciones controladas, con el fin de no influir significativamente en los resultados de los análisis.

En la preparación para el análisis, se pesó 2.5 g de la muestra de suelo y se colocó en una cápsula de vidrio. Se diluyeron 340 mL de HCl concentrado ( $\rho = 1.19 \text{ g/mL}$ ) completando con agua destilada hasta llegar a 1000 mL. El agua destilada presentó una conductividad eléctrica 0 mS/m.

La metodología que se utilizó es la siguiente:

- Se llena el matraz Erlenmeyer con la muestra de suelo.
- Se coloca el tubo de ensayo en el recipiente de reacción con un 1 mL de ácido clorhídrico.
- Se cierra el recipiente con el tapón y se colocó el grifo en la posición de medición
- Se inclina el vaso de reacción permitiendo que el ácido clorhídrico fluya hacia afuera del tubo de ensayo y sobre la muestra, dando inicio a la reacción y agitando durante 5 min, hasta que la muestra deje de desprender  $\text{CO}_2$ .

El gas que se produce baja el nivel del fluido de agua en la bureta, aumentando el nivel en el recipiente de almacenamiento. La diferencia de niveles no tiene que exceder los 3 mL. Los datos se toman cuando el volumen se estabilice.

Para la determinación del contenido de carbonatos en la muestra, se utilizó la siguiente fórmula:

$$w(\text{CaCO}_3) = 1000 \times \frac{m_2 (V_1 - V_3)}{m_1 (V_2 - V_3)} \times \frac{100 + w(\text{H}_2\text{O})}{100}$$

En donde:

$w(\text{CaCO}_3)$ : es el contenido de carbonato expresado en gramos/kilogramo.

$m_1$ : es la masa en gramos de la porción de prueba.

$m_2$ : es la masa media en gramos de los estándares de carbonato de calcio.

$V_1$ : es el volumen en mililitros de  $\text{CO}_2$  producido por reacción de la porción de prueba.

$V_2$ : es el volumen promedio en mililitros de  $\text{CO}_2$  producido por los estándares de carbonato de calcio.

$V_3$ : es el cambio de volumen en mililitros en las determinaciones en blanco.

$w(\text{H}_2\text{O})$ : el contenido de agua expresado como porcentaje en masa, de la muestra seca.

## ***2.7.- Análisis estadístico***

Se realizó un análisis estadístico exploratorio en el que se determinaron las tablas e histogramas de frecuencia, estadígrafos de posición y dispersión al total de los datos y a los grupos formados. Debido al no cumplimiento de los presupuestos de partida para el análisis de varianza paramétrico se seleccionaron pruebas no paramétricas.

Se utilizó la prueba no paramétrica de rango de Kruskal-Wallis para la comparación de las medianas entre los diferentes grupos formados de la población de datos obtenidos en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

Se llevó a cabo una prueba de rangos de Friedman para comparar los contenidos de carbonatos a diferentes profundidades. Se parte del presupuesto de que la acumulación de carbonatos en un mismo perfil está sujeta a los mismos procesos de lavado y acumulación, por lo que se consideran dependientes.

En el procesamiento de la información se utilizaron los softwares Statgraphics Versión 6.1 y RStudio Versión 1.2.5033 (R Core Team, 2019).

## ***2.8.- Elaboración de mapas temáticos***

### **2.8.1.- Selección del método de interpolación**

La finalidad del método de interpolación es crear mapas temáticos, en donde se puedan entender el comportamiento espacial y vertical de carbonatos en los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

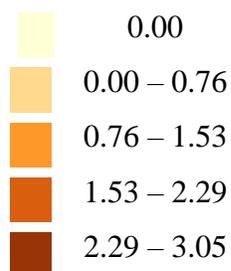
El semivariograma experimental se determinó mediante el software RStudio, para todo el conjunto de datos. Se verificó la existencia o no de estructura espacial en los datos, es decir, si están o no correlacionados espacialmente a la escala de medición.

Dado a que no existe correlación en la estructura espacial de los datos de carbonatos, se seleccionó el método de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) para la interpolación del mapa temático. La interpolación de este método funciona tomando los puntos conocidos y su distancia para estimar los valores de los puntos desconocidos.

### 2.8.2.- Generación del mapa

El mapa se realizó con el software QGIS a partir de la información generada anteriormente, a fin de analizar la presencia y distribución de los carbonatos de forma espacial en los primeros 30 cm.

Para la identificación de carbonatos se crearon representaciones por rango expresados en gramos/kilogramo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de suelo de carbonatos encontrados en los análisis.



- 0 - 2% (0 - 20  $\text{g kg}^{-1}$  de suelo). Suelo prácticamente libre de carbonatos.

## **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***3.1.- Características del área de estudio en relación a la presencia y distribución de carbonatos edáficos***

El área investigada se considera representativa de la parte baja de la cuenca del río Manglaralto. Las características generales del sitio concuerdan con los descritos para las áreas de influencia del río, en cuanto a aquellos factores de formación y usos de la tierra que se pueden considerar relevantes para la distribución de los carbonatos edáficos.

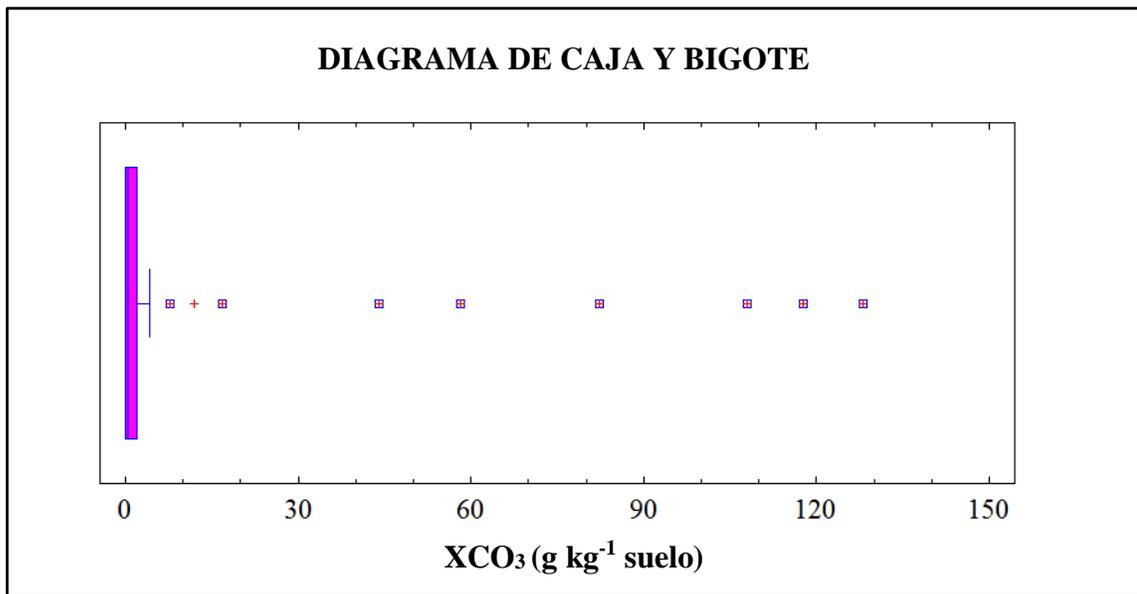
Según Mardones *et al.* (2011), 14 600 años antes del presente, en la época de la glaciación, la mayor parte del relieve andino estaba cubierto de extensos glaciales. Gutiérrez *et al.* (2012) mencionan que la evapotranspiración durante esa época producida por el calentamiento medieval, generó la precipitación de los carbonatos y que su presencia esté determinada por los cambios en el nivel del mar y al uso del suelo a través de la historia.

Desde la perspectiva de Martínez *et al.* (2008), el reservorio de carbono orgánico en el suelo puede depender de su uso y manejo, además puede estar influenciado en el contenido de carbonatos; en la cuenca del río Manglaralto puede estar influenciada por el aumento de pastizales, cultivos, población, por pérdida de la vegetación natural y consecuente cambio del régimen hídrico.

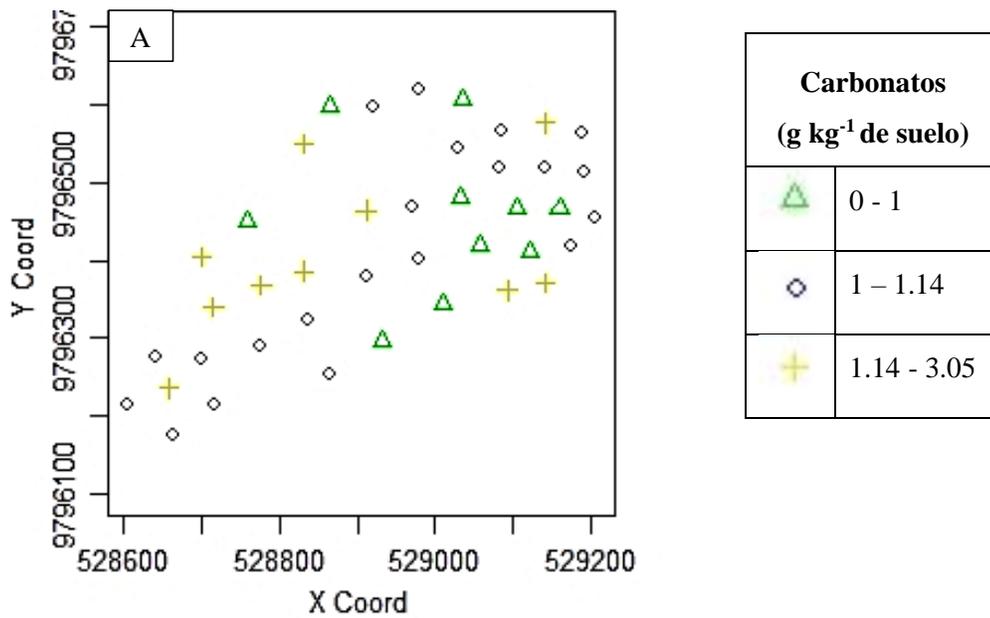
Los aspectos antes mencionados influyen en la variabilidad espacial y en la distribución vertical de los carbonatos, encontrándose en distintas cantidades y en diferentes profundidades.

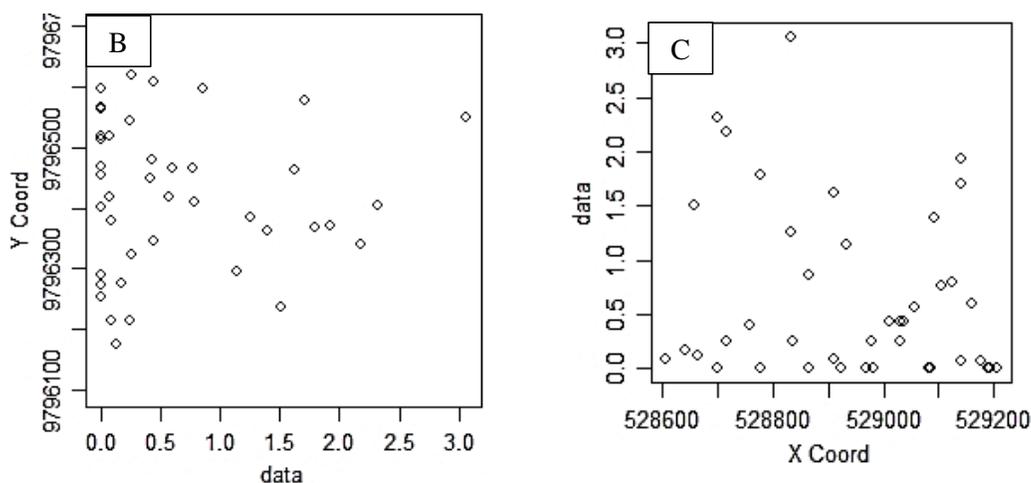
### ***3.2.- Análisis de la estructura espacial y estadística de carbonatos a una profundidad de 30 cm***

De los 50 puntos muestreados, se consideró descartar nueve puntos, porque los valores en los análisis se encontraban fuera de rango ( $\geq 3.05 \text{ g kg}^{-1}$ ) y no son representativos en la muestra de población en estudio (Figura 3.1.), esos valores de carbonatos fueron afectados probablemente por su localización en la zona de borde y por su cercanía espacial a zonas alteradas del paisaje, no observables en el momento del muestreo.



**Figura 3.1.-** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en General.





**Figura 3.2.-** (A) Distribución espacial de carbonatos, (B) distribución de carbonatos en el eje X y (C) distribución de carbonatos en el eje Y.

En la Figura 3.2. se muestra el gráfico de distribución de carbonatos expresados en  $\text{g kg}^{-1}$  de suelo, para los primeros 30 cm de profundidad en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE. Se identifican diferentes zonas pero dicha distribución no muestra una tendencia con la localización, como se aprecia en las Figura 3.1 B y C.

A continuación, se presenta el resumen de resultados estadísticos de carbonatos en forma general, divididos en los usos y órdenes de suelo, encontrados dentro de la zona de muestreo, a una profundidad de 30 cm (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1.-** Resumen estadístico de carbonatos en relación al uso y orden de suelo.

	General	Usos del suelo			Orden de suelo	
		Conservación Forestal	Agrícola	Pecuario	Molisol	Inceptisol
<b>N</b>	41.00	21.00	14.00	6.00	18.00	23.00
<b>Media</b>	0.66	0.47	0.61	1.44	0.52	0.76
<b>Mediana</b>	0.26	0.25	0.22	1.96	0.34	0.26
<b>Moda</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Varianza</b>	0.63	0.33	0.63	1.18	0.37	0.83
<b>Desviación estándar</b>	0.79	0.57	0.79	1.09	0.61	0.91
<b>Valor min.</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Valor max.</b>	3.05	1.93	2.18	3.05	1.93	3.05

En los análisis realizados, se identificó que la presencia de carbonatos se encuentra distribuida dentro de toda la zona de estudio, teniendo en cuenta que el clima es semiárido, por lo cual, favorece a la acumulación estas sales. De acuerdo con Berrezueta *et al.* (2013), la cuenca del río Manglaralto se encuentra denominada como bosque seco tropical, está compuesta por abundante vegetación y tiene un clima de transición entre el tropical húmedo en la zona alta y el clima desértico en la zona baja.

Las condiciones semiáridas en la que se encuentra la cuenca del río Manglaralto, hace que se pierda más agua por la transpiración de la vegetación y evaporación del suelo, permitiendo las acumulaciones de carbonatos en diferentes profundidades (MacNeill 2011).

Hechavarría (2017) indica que la presencia de carbonatos es muy frecuente en las cuencas cerradas y abiertas, áreas semiáridas y en muchos ambientes litorales, característicos de la cuenca del Río Manglaralto.

### ***3.3.- Análisis estadístico descriptivo de carbonatos con relación al Orden de suelo***

#### **3.3.1.- Orden Molisol**

En la distribución de carbonatos para Orden de suelo Molisol (Tabla 3.2), los valores correspondientes al 83.33 % se sitúan entre 0.00 y 1.15 g kg<sup>-1</sup> de suelo, mientras que el 16.68 % se centran entre 1.15 y 2.3 g kg<sup>-1</sup> de suelo. A priori, los contenidos de carbonatos edáficos son mayores en las áreas con uso agrícola y pecuario que las zonas conservadas.

**Tabla 3.2.-** Distribución de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Molisol.

<b>Clase</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>	<b>Punto medio</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>	<b>Frecuencia Relativa Acumulada</b>
		0.00	0.00	5	0.2778	5	0.2778
1	0.00	0.38	0.19	4	0.2222	9	0.5000
2	0.38	0.77	0.58	4	0.2222	13	0.7222
3	0.77	1.15	0.96	2	0.1111	15	0.8333
4	1.15	1.53	1.34	1	0.0556	16	0.8889

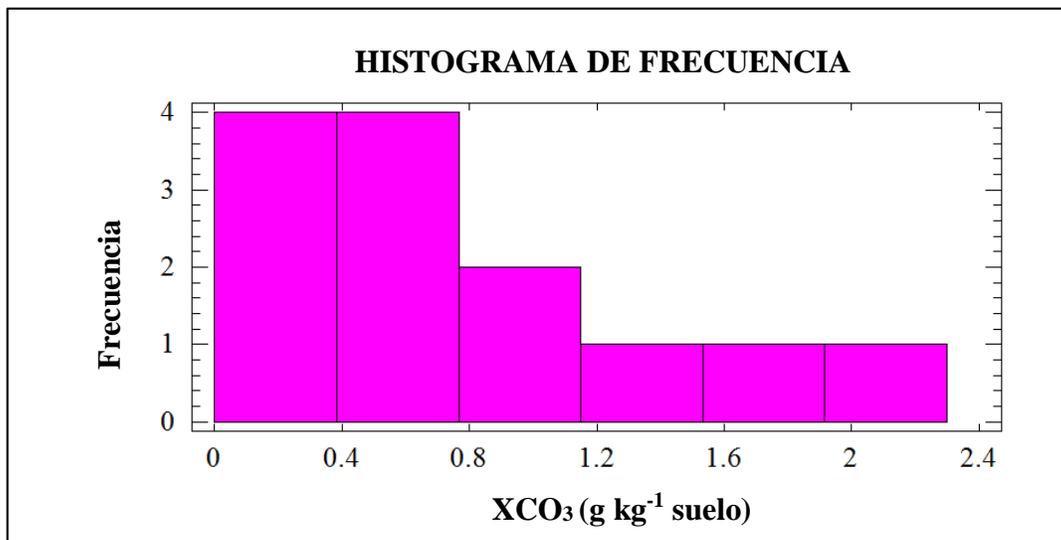
Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
5	1.53	1.92	1.73	1	0.0556	17	0.9444
6	1.92	2.3	2.11	1	0.0556	18	1.0000

La Figura 3.3. muestra que los valores medios de carbonatos con mayores frecuencias se encuentran por debajo de  $1 \text{ g kg}^{-1}$  de suelo, está estrechamente relacionado con la zona de conservación forestal (Figura 3.2) debido a que el orden de suelo tiene poca influencia antrópica y posee horizontes de mayor desarrollo. Ibáñez *et al.* (2011) indican que los Molisoles son ricos en materia orgánica y se caracterizan por ser oscuros y por tener horizontes superficiales gruesos.

La humificación en los molisoles aumentan la fracción pasiva de CO del suelo y con ello su translocación, conduciendo a la formación de carbonatos en los climas áridos y semiáridos (Riestra, 2012).

Rollan *et al.* (2017) comprobaron que en el horizonte superficial se encuentra con poca o libre presencia de carbonatos y que a partir de los 60 cm de profundidad habrá mayor contenido del mineral.

Pereyra *et al.* (1997) indican que los Molisoles generalmente no presentan grandes variaciones en sus perfiles porque son suelos desarrollados, sin embargo, los contenidos de carbonatos pueden variar desde cero hasta 15%.



**Figura 3.3.-** Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Molisol.

Los autores han mencionado que los valores del contenido de carbonatos en suelos del orden Molisol son bajos. En el Centro de Apoyo Manglaralto se comprobó lo que anteriormente citaron los autores, principalmente porque en la zona de estudio predomina vegetación con altos contenidos de materia orgánica y por ser suelos desarrollados, principalmente en la zona de conservación.

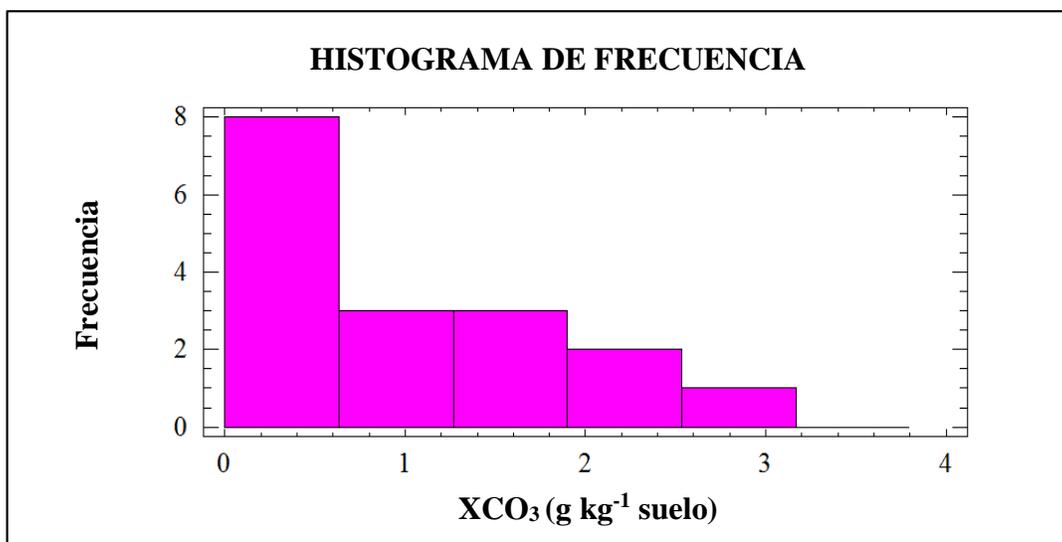
### 3.3.2.- Orden Inceptisol

La Tabla 3.3. describe que los valores de 0.00 a 0.32 g kg<sup>-1</sup> de suelo en la distribución de frecuencias representan el máximo porcentaje con un 60.87% y el mínimo con 4.35% con valores de 2.53 a 2.17 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

**Tabla 3.3.-** Distribución de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Inceptisol.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
		0.00	0.00	6	0.2609	6	0.2609
1	0.00	0.63	0.32	8	0.3478	14	0.6087
2	0.63	1.27	0.95	3	0.1304	17	0.7391
3	1.27	1.90	1.58	3	0.1304	20	0.8696
4	1.90	2.53	2.21	2	0.0870	22	0.9565
5	2.53	3.17	2.85	1	0.0435	23	1.0000

Los valores medios del histograma de frecuencia para el Orden de suelo Inceptisol (Figura 3.4) son de 2.85 g kg<sup>-1</sup> de suelo, tienen una alta tasa de variación, ya que se encuentran usos pecuarios y agrícolas, además es un suelo erosionado, proveniente del Orden de suelo Molisol, al erosionarse, los carbonatos quedan expuestos en la superficie del suelo, por tal razón los valores de carbonatos en esta zona de estudio varían.



**Figura 3.4.-** Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Inceptisol.

Ibáñez *et al.* (2011) argumenta que los Inceptisoles son suelos con un mínimo desarrollo del perfil y que se desarrollan en suelos erosionados con pendientes abruptas donde continuamente se elimina la parte superior.

Colazo (2015) objeta que la intensidad de erosión se relaciona con la acumulación de carbonatos por la reducción del horizonte superficial. Además Richart *et al.* (2019) mencionan que los diferentes manejos antrópicos en el uso del suelo determinan las concentraciones de carbonatos en el suelo.

La acumulación y los altos contenidos de carbonatos se relacionan principalmente con los usos del suelo de la zona de estudio, la erosión del suelo expone a los carbonatos en la superficie, por tal razón los contenidos se encuentran muy dispersos en este Orden de suelo.

### 3.4.- Análisis estadístico descriptivo de carbonatos con relación al uso del suelo.

#### 3.4.1.- Uso del suelo: Conservación Forestal

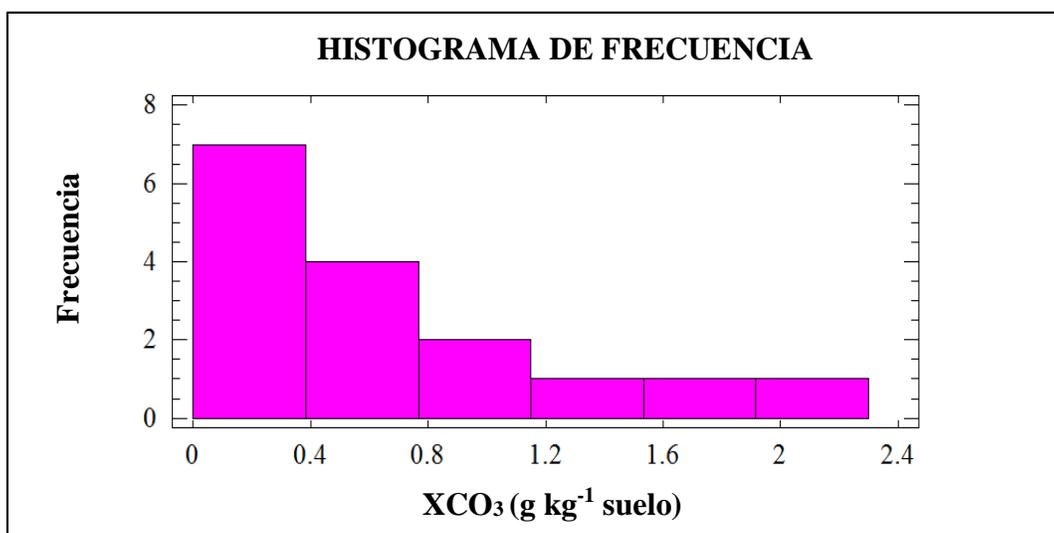
Los valores con mayor frecuencia se encuentran entre 0.00 a 0.38 g kg<sup>-1</sup> de suelo y representan un 76.19% del total y con menor frecuencia se encuentran los valores de entre 1.15 g kg<sup>-1</sup> de suelo en adelante, con 23.81% del total de valores (Tabla 3.4).

**Tabla 3.4.-** Distribución de frecuencia de carbonatos en la zona de Conservación Forestal.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
		0.00	0.00	5	0.2381	5	0.2381
1	0.00	0.38	0.19	7	0.3333	12	0.5714
2	0.38	0.77	0.58	4	0.1905	16	0.7619
3	0.77	1.15	0.96	2	0.0952	18	0.8571
4	1.15	1.53	1.34	1	0.0476	19	0.9048
5	1.53	1.92	1.73	1	0.0476	20	0.9524
6	1.92	2.30	2.11	1	0.0476	21	1.0000

El histograma de frecuencia (Figura 3.5) muestra que la mayoría de los valores de carbonatos en la zona de conservación forestal a una profundidad de 30 cm se encuentran en cantidades menores, puede estar relacionado con los perfiles desarrollados en esta área, se asemeja a lo que comenta Lorenz (1995), en las zonas semiáridas el clima es variado, eso favorecen a la humificación y a la acumulación de materia orgánica en los horizontes superiores, también asegura que por tal motivo los carbonatos están en forma de pseudomicelios en horizontes profundos y con menor presencia en la superficie del suelo.

Berru *et al.* (2015) mencionan que los carbonatos son sustancias que abundan mucho en la naturaleza por ser en principal compuesto de algunas rocas formadoras de suelo, además Ruiz *et al.* (2017) menciona que los carbonatos suelen acumularse en horizontes profundos porque poseen una alta solubilidad.



**Figura 3.5.-** Histograma de frecuencia de carbonatos en la zona de Conservación Forestal.

### 3.4.2.- Uso del suelo: Agrícola

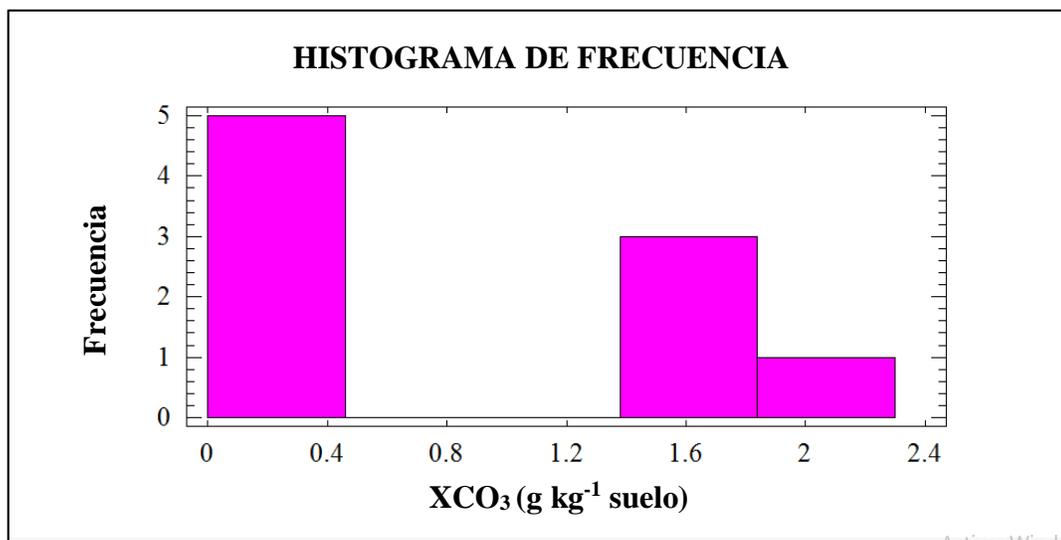
La distribución de frecuencia de carbonatos en el uso agrícola expuestos en la Tabla 3.5. indica que el 71.43% del total de valores están en 0.00 a 0.23 g kg<sup>-1</sup> de suelo y el 28.57% corresponden a valores entre 1.38 a 2.3 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

**Tabla 3.5.-** Distribución de frecuencia de carbonatos en el Uso Agrícola.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
		0.00	0.00	5	0.3571	5	0.3571
1	0.00	0.46	0.23	5	0.3571	10	0.7143
2	0.46	0.92	0.69	0	0.0000	10	0.7143
3	0.92	1.38	1.15	0	0.0000	10	0.7143
4	1.38	1.84	1.61	3	0.2143	13	0.9286
5	1.84	2.3	2.07	1	0.0714	14	1.0000

En la Figura 3.6. se representa el histograma de frecuencia, en donde, los valores están dispersos en dos grupos específicos, el primero y de mayor frecuencia están en un punto medio de 0.23 g kg<sup>-1</sup> de suelo, mientras que el segundo grupo y menor frecuencia está en puntos medios de 1.61 y 2.07 g kg<sup>-1</sup> de suelo, las variantes en las cantidades pueden estar

relacionados con los diferentes manejos a los cultivos. Según Ramírez *et al.* (2011), las actividades antrópicas perturban al balance del suelo, alterando los procesos y propiedades del suelo.



**Figura 3.6.-** Histograma de frecuencia de carbonatos en el Uso Agrícola.

Los sistemas de riego podrían estar influyendo en la distribución de los carbonatos, al aplicar un exceso de láminas de riego, los carbonatos estarán presentes en los horizontes profundos por la infiltración del agua. González *et al.* (2019) afirman que los mecanismos de disolución de carbonatos ocurren en los horizontes superficiales y que sufren traslocaciones por infiltración del agua, también menciona que los porcentajes de carbonatos se mantienen uniformes y estables en la profundidad.

La disminución de materia orgánica en lugares cultivados está relacionado con mayor proporción de carbonatos en los horizontes profundos. El drenaje de los suelos y en condiciones de aireación permite el lavado de los carbonatos (Oyarzún y Álvarez., 2001). Además Flores *et al.* (2015) concluyeron que en los suelos sin enmiendas orgánicas, los carbonatos determinarían su estabilidad. Por lo que su distribución varía de acuerdo al tipo de manejo a cada cultivo.

En el centro de apoyo Manglaralto UPSE hay diferentes tipos de cultivos, ciclo corto y perenne. Esto explica la variación de las cantidades de carbonatos a una profundidad de 0 a 30 cm.

### 3.4.3.- Uso del suelo: Pecuario

En la Tabla 3.6. se muestra la distribución de frecuencias de los carbonatos en el uso pecuario, los valores entre 0.95 a 1.90 g kg<sup>-1</sup> de suelo representan el máximo porcentaje (33.33%), el resto de los valores pero con menores porcentajes (16.67% cada uno) completan el total del porcentaje de la población.

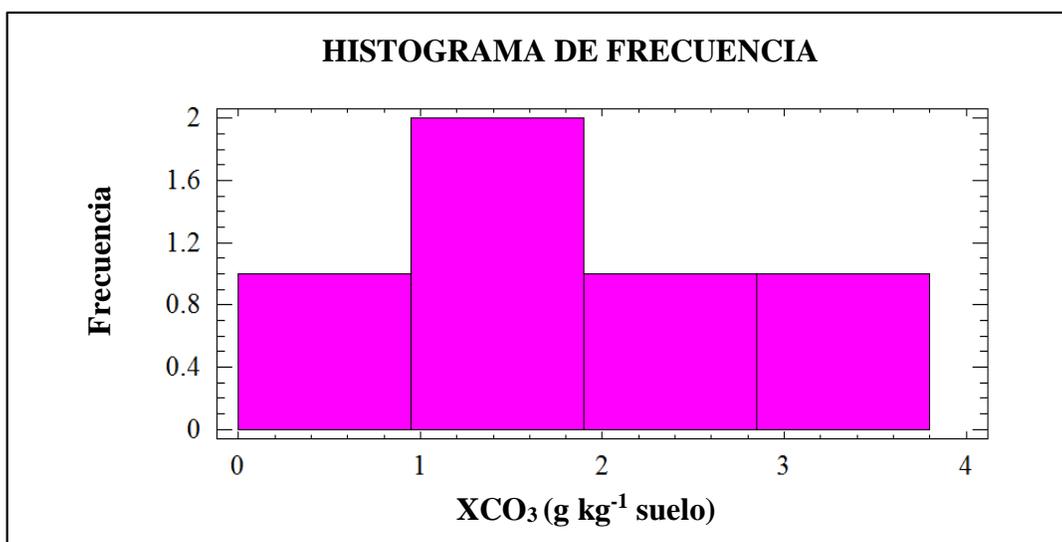
**Tabla 3.6.-** Distribución de frecuencia de carbonatos en el Uso Pecuario.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
		0.00	0.00	1	0.1667	1	0.1667
1	0.00	0.95	0.48	1	0.1667	2	0.3333
2	0.95	1.90	1.43	2	0.3333	4	0.6667
3	1.90	2.85	2.38	1	0.1667	5	0.8333
4	2.85	3.8	3.23	1	0.1667	6	1.0000

El histograma de frecuencia representado en la Figura 3.7. demuestra que existe una gran influencia del uso pecuario sobre la distribución de carbonatos, la población de valores se sitúan por debajo de un punto medio de 3.23 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

Las causas pueden ser por la compactación del suelo provocada por la actividad ganadera, este no permite que el agua infiltre con regularidad. (López y Torres, 1991) argumentan que la compactación es generada por causas geoquímicas y antrópicas, reduce la infiltración del agua en el suelo, aumentando la erosión por escorrentía.

La actividad pecuaria es un referente en la compactación del suelo, lo que hace que los carbonatos se acumulen en la superficie del suelo, tal como Salgado *et al.* (2003) mencionan que los suelos que están siendo afectados por algún tipo de compactación, disminuyen la capacidad de infiltración causando la acumulación de carbonatos en horizontes superficiales.



**Figura 3.7.-** Histograma de frecuencia de carbonatos en el Uso Pecuario.

Según Chagas et al. (2007), en sistemas ganaderos es muy coherente encontrar contenidos de carbonatos, porque el suelo ha estado en procesos de compactación provocada por los animales. Duque y Escobar (2002) señalan que en suelos compactos, las partículas que lo forman, sufren un acomodo de alto grado, y por ende disminuye la macro porosidad.

La circulación del agua en el suelo tiene relación constante con la distribución espacial de los carbonatos, cuyos valores responden a la velocidad de infiltración (González *et al.*, 2011).

Con lo que indican los autores y con los análisis de carbonatos realizados en la zona de estudio, se justifica los altos contenidos de carbonatos en el uso pecuario, principalmente por la actividad ganadera, este produce compactación al suelo impidiendo la infiltración del agua y al haber mucha evaporación, los carbonatos quedan acumulados en horizontes superficiales.

### ***3.4.- Prueba de contraste para los órdenes y usos del suelo***

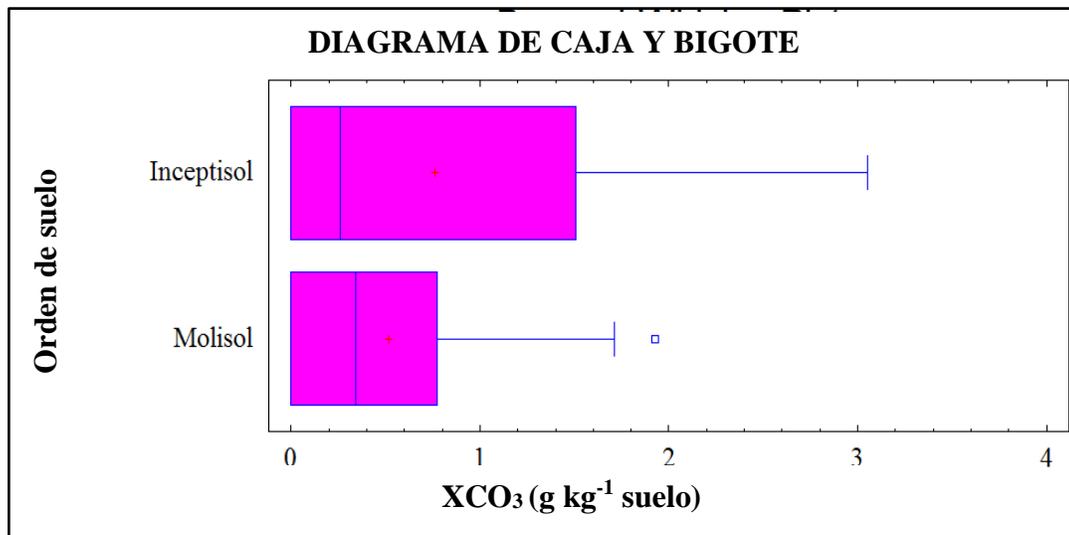
De acuerdo a lo descrito, podía esperarse que existan diferencias significativas entre los órdenes, dicho de otro modo, que las  $k$  muestras aleatorias de carbonatos presentan diferentes distribuciones, no obstante, se estima que no existen diferencias significativas

entre los órdenes de suelo con un 95% de confianza, de acuerdo con una prueba de rangos Kruskal-Wallis (Tabla 3.7).

**Tabla 3.7.-** Prueba de Kruskal-Wallis para datos de carbonatos edáficos a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por Órdenes de suelo.

Orden de suelo	N	Media	Mediana	Desviación estándar	H	p < 0.05
Inceptisol	23	0.7635	0.26	0.9119	0.26	0.6049
Molisol	18	0.5167	0.34	0.6048		

En el diagrama de caja y bigote (Figura 3.8) muestra que el 50% de los valores en el orden Inceptisol están comprendidos entre 0 y 1.51 g kg<sup>-1</sup> de suelo y en el orden Molisol los valores llegan a 0.77 g kg<sup>-1</sup>, pero con una alta dispersión.



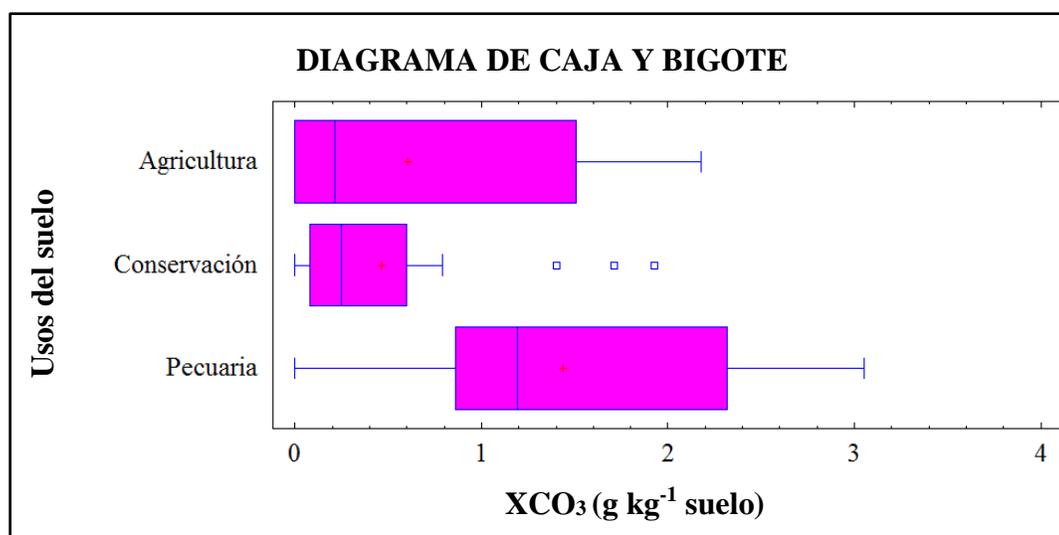
**Figura 3.8.-** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los Órdenes de suelo.

En la Tabla 3.8. se muestran los resultados estadísticos de carbonatos para los diferentes usos de suelo, se determinó mediante una prueba de Kruskal-Wallis con una significancia asociada a la prueba  $p < 0.1321$ , que indica que no existe una diferencia significativa entre los usos del suelo.

**Tabla 3.8.-** Prueba de Kruskal-Wallis para los usos del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm.

Usos	N	Media	Mediana	Desviación estándar	H	p < 0.05
Agrícola	14	0.605	0.215	0.7944	3.97	0.1321
Conservación Forestal	21	0.4652	0.25	0.5730		
Pecuario	6	1.4367	1.195	1.0865		
<b>Total</b>	41	0.6551	0.26	0.7926		

En el diagrama de caja y bigote (Figura 3.9) se observa que el 50% de los valores en el uso pecuario está comprendida en  $2.32 \text{ g kg}^{-1}$  de suelo, en el uso agrícola es de  $1.51 \text{ g kg}^{-1}$  de suelo y en la zona de conservación forestal es de  $0.6 \text{ g kg}^{-1}$  de suelo.



**Figura 3.9.-** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los usos del suelo.

Una posible explicación tiene que ver con el proceso de degradación de los suelos y el tiempo transcurrido de explotación.

En el Mapa Geopedológico (IEE, 2012), como ya ha sido explicado, aparecen cartografiadas unidades geopedológicas donde predominan casi absolutamente los suelos del orden Inceptisol, sin embargo, en las áreas conservadas aparece suelos con características propias del orden Molisol, perfil con saturación mayor de 50%, y presencia

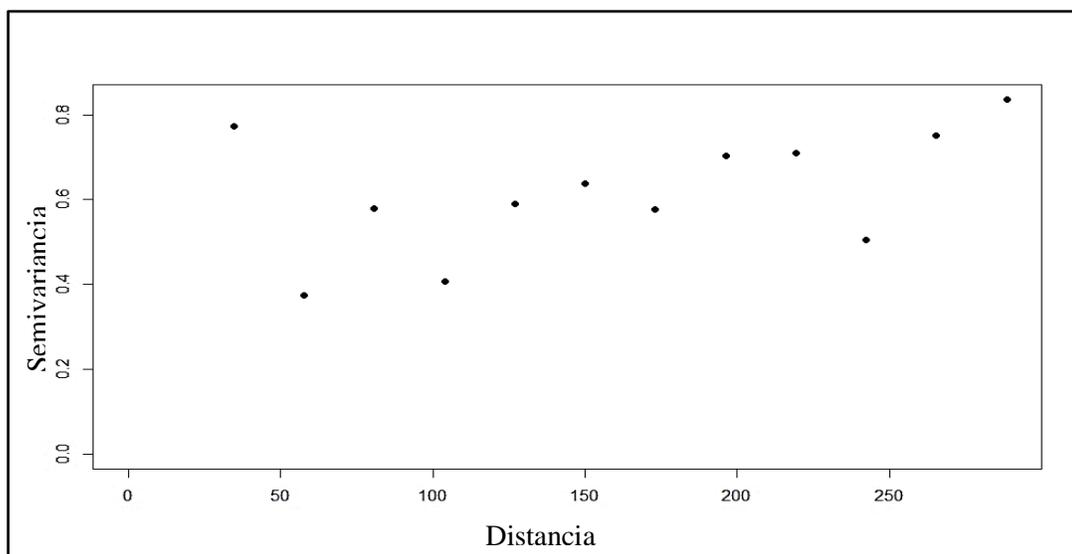
de horizonte mólico (profundidad mayor de 18 cm, *value* y *chroma* menor o igual que tres en seco y húmedo).

La erosión de los molisoles conlleva a: i. disminución de la potencia del horizonte A mólico, y ii. Pérdida de la materia orgánica y aumento del *value* y *chroma*, ambos caracteres diagnósticos clasifican para un horizonte ócrico y por ende al orden Inceptisol.

Los suelos bajo el bosque seco tropical regenerado, ha logrado conservar las características del horizonte mólico, no así en las áreas bajo producción, sin embargo, es posible que el tiempo de explotación no haya sido aún suficiente para determinar las diferencias en la distribución espacial de los carbonatos edáficos.

### ***3.5.- Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad***

EL semivariograma experimental de carbonatos a Figura 3.10, muestra la inexistencia de estructura espacial, tal comportamiento es determinante para la calidad de la estimación con el método de interpolación IDW en la generación del mapa temático (Cabrera *et al.*, 2015), debido a que el método parte del principio de la ausencia de correlación espacial entre las observaciones y que la media es el mejor estimador.



**Figura 3.10.-** Semivariograma experimental de carbonatos en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

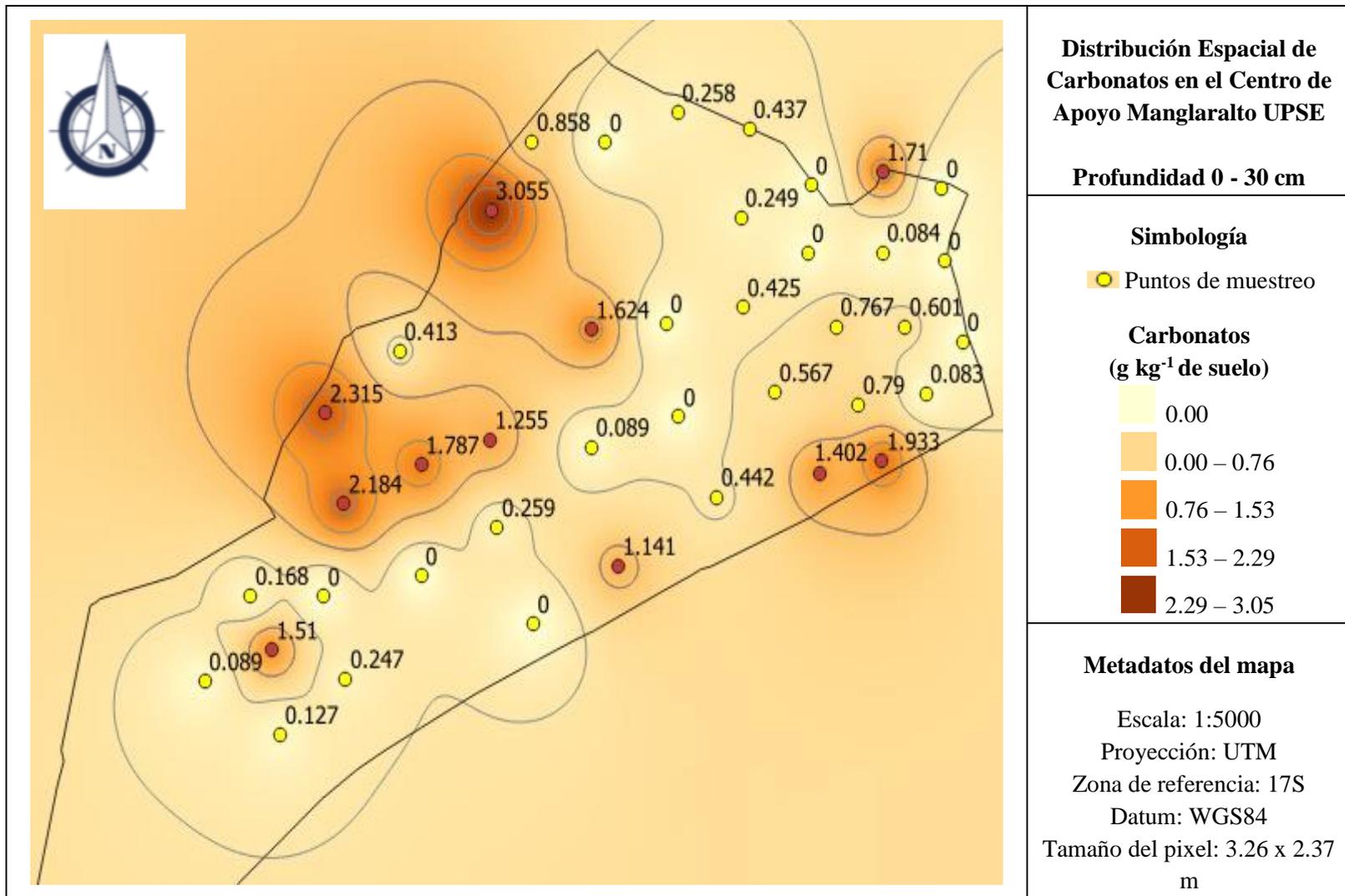


Figura 3.11.- Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad.

El mapa temático de carbonatos (Figura 3.11) muestra que los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE están considerados como suelos libres de carbonatos, tal como indican Castellanos (2015); Andrades y Martínez (2014), los valores que se encuentran < 2% se denominan suelos libres de carbonatos.

### ***3.6.- Análisis de la estructura vertical y estadística de carbonatos en diferentes profundidades***

En la Tabla 3.8. se muestran el resultado estadístico de carbonatos para las diferentes profundidades, se determinó mediante la prueba de Friedman con una significancia de  $p < 0.0001$ , indica que existe una diferencia significativa en la acumulación de carbonatos a diferentes profundidades.

**Tabla 3.9.-** Prueba de Friedman para el análisis de carbonatos a diferentes profundidades.

<b>Profundidad</b>	<b>Suma</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	
0-10 cm	47.00	4.70	10	D
10-20 cm	39.00	3.90	10	D
20-40 cm	23.50	2.35	10	A B C
40-60 cm	20.00	2.00	10	A
60-100 cm	20.50	2.05	10	A B

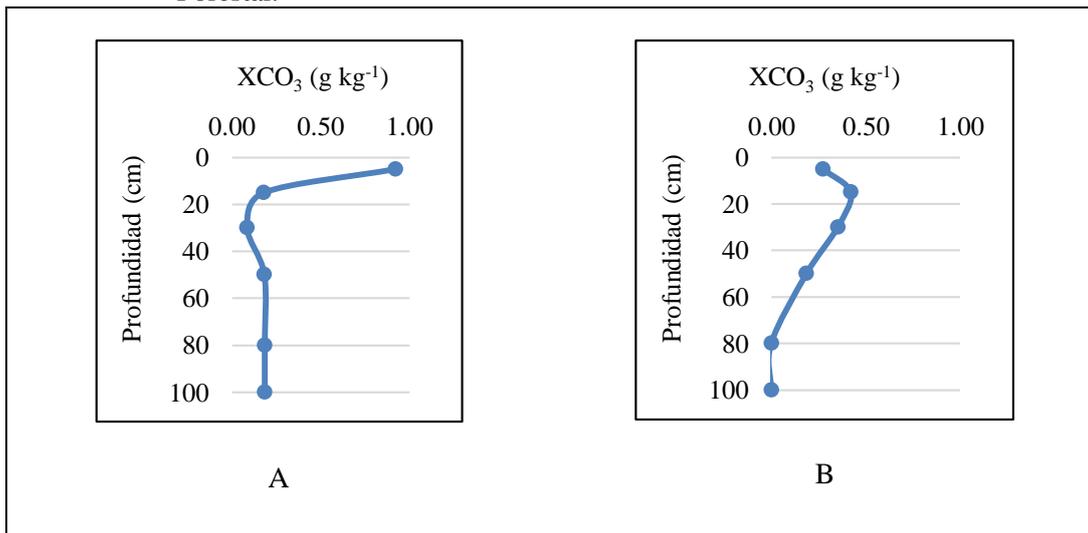
Se puede observar además en la Tabla 3.8. que a profundidad de 40 cm a 1 m existe una mayor variabilidad en contenidos de carbonatos, siendo más estable en los primeros 20 cm. El contenido y la distribución de carbonatos vertical en los primeros 20 cm, se asemeja a la distribución espacial en la zona de conservación y al orden de suelo Molisol porque las muestras fueron obtenidas en la misma área de estudio.

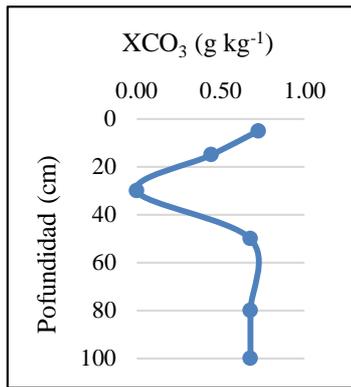
Lastra et al. (1991) aseguran que la vegetación influye en los contenidos de carbonatos a diferentes profundidades. La cuenca de Manglaralto al encontrarse en una región semiárida, las acumulaciones de carbonatos tienden a ser una de las características más relevantes en un perfil de suelo.



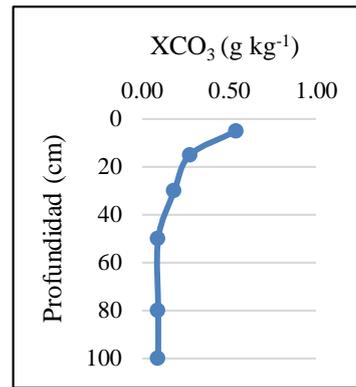
**Figura 3.12.-** Puntos del muestreo en forma vertical.

**Figura 3.13.-** Distribución de carbonatos a 1 m de profundidad en la zona de Conservación Forestal.

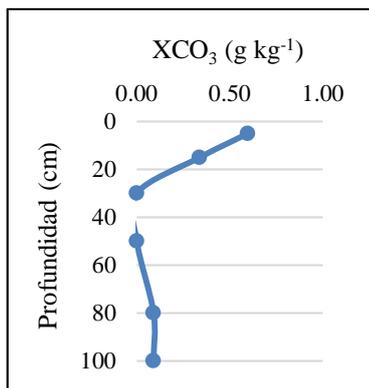




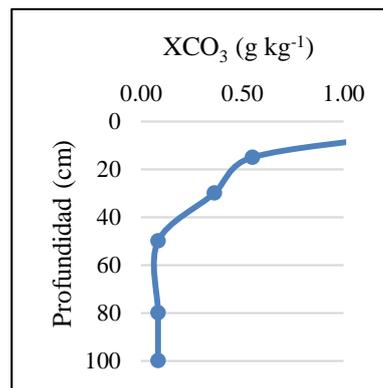
C



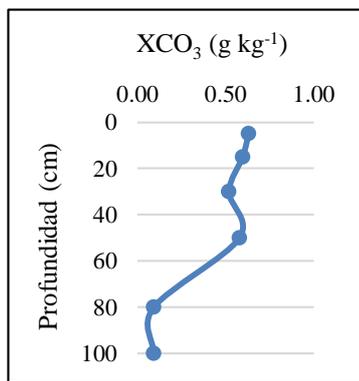
D



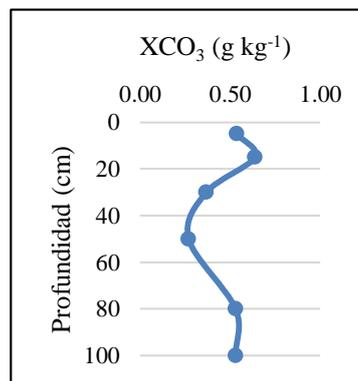
E



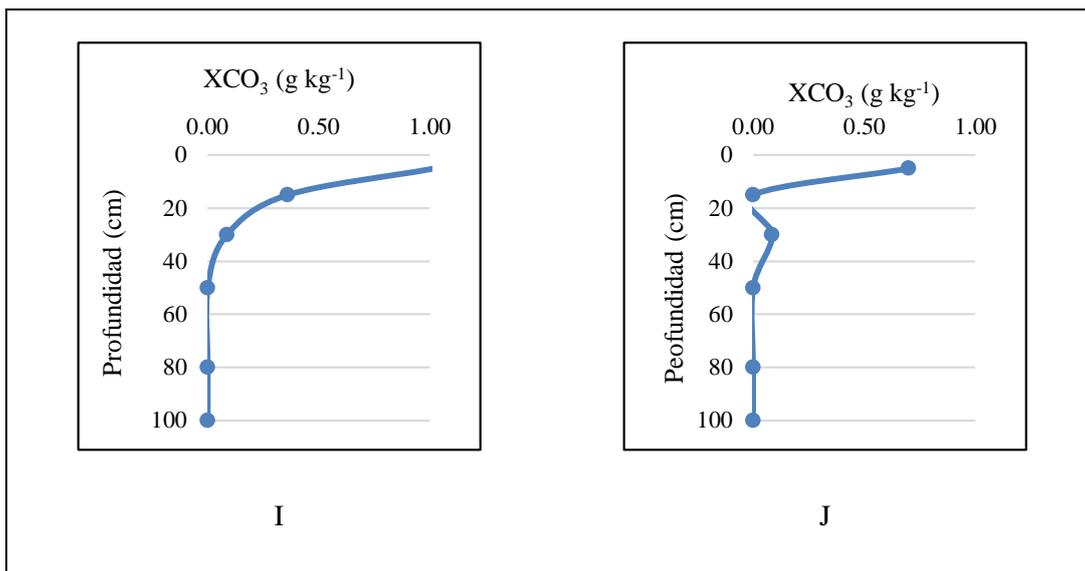
F



G



H



Se puede observar que los contenidos de carbonatos de forma general disminuyen con la profundidad. Esto puede deberse al aporte orgánico de la vegetación del lugar. Según Bouza (2012), la formación de carbonatos está fuertemente influenciado por la presión parcial de CO<sub>2</sub> por parte de las raíces, la disponibilidad de agua en el suelo y la descomposición de materia orgánica.

En suelos con alto contenido de materia orgánica la presencia de carbonatos es mayor en la superficie del suelo y en laderas. Además se demostró que aumenta en cantidad cuando se trata de estaciones secas y cálidas, disminuyendo en estaciones húmedas debido a que la solubilidad es mayor y por lo tanto tiende a infiltrarse con el agua (Nadal *et al.*, 2006). Por otro lado, Santos *et al.* (2018) argumentan que las acumulaciones de carbonatos son consecuencias de interacciones mineral-orgánicas y que están estrechamente relacionadas con las características bióticas, por lo tanto, su precipitación está afectada por el contenido de materia orgánica.

Yescas *et al.* (2018) mencionan que la distribución y variabilidad espacial del carbono orgánico e inorgánico del suelo, son controladas parcialmente por la cobertura vegetal, el uso del suelo y las condiciones ambientales.

El contenido de carbonatos en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE no significa una limitante para las especies de interés agronómico o pecuario. El principal problema que ocasiona la presencia de zonas con tendencia a tenores más altos de carbonatos se asocia al desarrollo de procesos erosivos, por lo tanto, para evitar una evolución

desfavorable en la distribución de carbonatos deben atenderse los problemas de erosión mediante prácticas adecuadas que controlen el desarrollo de estos procesos.

Los aspectos de manejo que se observan con incidencia en la aceleración de los procesos erosivos, son el riego a los cultivos, el tránsito de ganado bovino y el desarrollo de problemas de compactación, que favorecen la escorrentía con relación a la infiltración (Romero *et al.*, 2020).

El riego, debe estar planificado y aplicado de acuerdo a los requerimientos de cada especie, por otra parte, es conveniente revisar la carga por hectárea de ganado bovino así como la adecuación de las áreas de tránsito (Landaeta, 2020).

La zona de protección vegetal, tiene gran contenido de materia orgánica, con suelos profundos, que permiten una buena infiltración del agua, por lo tanto, mientras no haya intervención antrópica el contenido de carbonatos permanecerá en profundidad, por el contrario, si se realizan prácticas agropecuarias en el lugar, de igual forma deberá evitarse la aceleración de erosión del suelo mediante prácticas agroecológicas o silvopastoriles que aseguren una buena infiltración. De esta manera se evitará la acumulación de carbonatos en horizontes superficiales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Conclusiones*

Los contenidos de carbonatos en los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE varían, se encontraron mayores cantidades en los suelos con intervención antrópica a diferencia de la zona de protección vegetal. En general estos suelos se clasifican como suelos libres de carbonatos con contenidos menores al 2%.

Los carbonatos en los suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE no constituyen una limitante edafológica potencial para los cultivos presentes, sin embargo, deben atenderse los problemas erosivos.

De acuerdo a la distribución de suelo que aparece en el mapa 1:25 000 solamente en la zona predomina el orden de suelo Inceptisol, sin embargo, en el muestreo realizado se constataron suelos del orden Molisol en las zonas mejor conservadas de bosque seco tropical regenerado, eso indica que pueden estar ocurriendo procesos de erosión intensos que es corroborado con la distribución de carbonatos espacial, las diferencias no son significativas pero en el caso de los valores de las medianas son mayores en los suelos.

En los análisis realizados no se encontraron diferencias significativas en los usos del suelo, pero cabe recalcar que en el uso agrícola y pecuario los valores son más elevados que en la zona de protección vegetal.

Se realizó el mapa temático de carbonatos a escala 1:5000 en donde se puede observar la distribución espacial a 30 cm de profundidad, es muy importante ya que se podrá tomar acciones preventivas en los manejos para los diferentes usos del suelo, obteniendo así una mejor conservación del mismo.

### ***Recomendaciones***

Continuar con estos tipos de investigaciones, ya que no existen antecedentes investigativos y esta es la primera investigación, además es importante saber el comportamiento de carbonatos en el Centro de Apoyo Manglaralto UPSE.

Equipar el laboratorio del suelo y agua, para que sea posible una mejor medición de otros parámetros, y así determinar el tipo de carbonatos.

Se realicen estudios que se relacionen con la presencia de carbonatos con los procesos de remoción y posición de sedimentos locales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abraham, E. M. (2006) ‘Desertificaciones: Bases conceptuales y metodológicas para planificación y gestión. Aportes a la toma de decisión’, *Revista Zonas áridas*, 7(1), pp. 18–67. doi: 10.21704/za.v7i1.717.

Abraham, E. M. (2008) ‘Tierras secas, desertificación y recursos hídricos’, *Revista Ecosistemas*, 17(1), pp. 1–4. doi: 10.7818/re.2014.17-1.00.

Águila, P. (2013) ‘Agricultura en zonas áridas y semiáridas’, *Idesia (Arica)*. Universidad de Tarapacá. Facultad de Ciencias Agronómicas, 31(2), pp. 3–4. doi: 10.4067/S0718-34292013000200001.

Amorós, O. E. (2014) *Columna estratigráfica y geoquímica de la formación gramadal en el proyecto Chupaca, Moquegua - Perú*. Tesis. Universidad Nacional de Cajamarca.

Andrades, M. y Martínez, M. (2014) *Fertilidad del suelo parámetros que la definen*. 3° edición. Logroño, España: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones (631.452).

Andrades, M., Moliner, A. y Masaguer, A. (2015) *Prácticas de edafología: métodos didácticos para análisis de suelos*. Logroño, España: Universidad de La Rioja.

Arnáiz, C., Isac, L. y Lebrato, J. (2000) ‘Determinación de la biomasa en procesos biológicos I. Métodos directos e indirectos’, *Tecnología del agua*, 20(205), pp. 45–52.

Ayala, F., Maya, Y. y Troyo, E. (2018) ‘Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México’, *Terra Latinoamericana*, 36(2), pp. 93–104. doi: 10.28940/terra.v36i2.334.

Berrezueta, E., Arenas, L., Herrera, G., Saeteros, M. y Olaya, P. (2013) ‘Valoración de la gestión de recursos naturales mediante la medida de la Huella Ecológica (HE)’, *Cuenca de Manglaralto, Ecuador. Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros*, 4(13), pp. 13–24.

Berru, Y.O., Castro O.G., Colcas, O.J., Díaz, B.M. y Morán S.J. (2015) ‘Diseño de Planta para la producción de Carbonato de Calcio a partir de la Concha de Abanico’.

Bouza, P. J. (2012) ‘Génesis de las acumulaciones de carbonatos en Aridisoles Nordpatagónicos: su significado paleopedológico’, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(2), pp. 300–315.

Cabrera, J.R., Ponce, D., Cervantes, R., Vargas, H. y Domínguez, D. (2015) ‘Distribución espacial de la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para el riego’, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Universidad Agraria de La Habana, 24(3), pp. 13–21.

Candell, S.J., (2017) *Diversificación de cultivos y tipificación de sistemas para la sustentabilidad en el área de influencia del trasvase Santa Elena, Ecuador*. Tesis para optar el grado de Doctoris Philosophiae en agricultura sustentable. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Carrión, P., Campoverde, J. y Fajardo, I. (2019) *Contribución de la Geología Aplicada para la mejora en el diseño de un dique en la subcuenca del Rio Manglaralto, Provincia de Santa Elena*. Tesis de Grado - Ingeniero en Geología. ESPOL.

Castellanos, J. (2015) ‘Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua’, *Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, Intagri*.

Chagas, C.I., Piazza, M.V., De Siervi, M., Santanatoglia, O.J., Moretton, J., Paz, M., Castiglioni, M. y Iruetia, C. (2007) ‘Calidad del agua de escorrentía superficial en sistemas ganaderos extensivos e intensivos de Argentina’, *AGROCHIMICA-PISA-*, 51(2/3), p. 130.

Colazo, J. C. (2015) ‘Selección de indicadores de sustentabilidad relacionados con la erosión eólica para la región semiárida central argentina (RSCA)’.

Duque, G. y Escobar, C. (2002) ‘Mecánica de suelos’, *Notas del curso Suelos I. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales*.

Esquivel, V.B., Cueto, W.A., Cruz, C.O., Guerrero, P.A., Jarquín, S.A. y Burgos, C.D., (2018) ‘Carbono orgánico y nitrógeno total en suelos forestales de México mediante espectroscopia VIS-NIR’, *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(47), pp. 295–313. doi: 10.29298/rmcf.v9i47.158.

Flores, S.B., Segura, M.Á., Fortis, H.M., Martínez, C.L., Aldaco, R.A. y Orozco, J.A. (2015) 'Enmiendas de estiércol solarizado en la estabilidad de agregados de un Aridisol cultivado de México', *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7), pp. 1543–1555.

Franco, G. A. (2015) *Estudio para un Modelo de Gestión de un Acuífero Costero, mediante Metodologías Participativas y Análisis Geo estadístico en el marco del Desarrollo Local. Manglaralto, Ecuador*. Tesis de PhD. Universidad Politécnica de Madrid.

García, A. y Rojas, C. (2006) 'Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos', *Nota Técnica Tecnicaña*, 10(17), pp. 3–13.

García, G.I., Romero, P., Jiménez, S. y Jordá, L. (2017) 'Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático', *DYNA*, 84(203), pp. 37–44. doi: 10.15446/dyna.v84n203.59600.

Geist, H. (2017) *The causes and progression of desertification*. Routledge.

Ginebra, A.M., Rodríguez, A.M., Calero, M.B., Ponce, L.D. y Font, V.L. (2015) 'Carbono lábil como un indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos', *Cultivos Tropicales*. Ediciones INCA, 36(3), pp. 64–70.

González, O., Bezada, M., Millán, Z., Godoy, D. y Ascanio, N. (2019) 'Relación geomorfología-suelos de depósitos cuaternarios del SO de Barquisimeto, estado Lara, Venezuela', *Revista de Investigación*, 43(97).

González, R.A., Delgado, A. y Mudarra, M. (2011) 'Análisis de la respuesta a la recarga en carbonatos alpujárrides mediante el estudio hidrodinámico, hidroquímico e isotópico del manantial del Carcabal (La Peza, Granada)', *Boletín Geológico y Minero*, 122(1), pp. 93–108.

Gutiérrez, L.V., Torrescano, V.N. y Islebe, G.A. (2012) 'Reconstrucción paleoambiental del Holoceno tardío de la reserva Los Petenes, Península de Yucatán,

México’, *Revista mexicana de ciencias geológicas*. Instituto de Geología, UNAM, 29(3), pp. 749–763.

Hechavarría, I. E. (2017) *Estimación de la distribución espacial del nivel de salinidad en agua de riego y suelos en fincas de la CCSF ‘Juan Manuel Romero García’ del municipio Calixto García*. Trabajos de Diploma de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Universidad de Holguín.

Hernández, J.A., Vera, L., Naveda, C.A., Guzmán, Á.M., Vivar, M., Roberto, Z.T., Mesías, G.F., Ormanza, K., León, R.V. y López, G.A. (2017) ‘Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador’, *Cultivos Tropicales*, 38(1), pp. 50–56.

Ibañez, S., Gisbert, J. y Moreno, H. (2011) ‘Inceptisoles’, *Universidad Politécnica de Valencia*, p. 8.

Ibañez, S., Gisbert, J. y Moreno, H. (2011) ‘Mollisoles’, *Universidad Politécnica de Valencia*, p. 6.

Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE). (2012): *Memoria Técnica: Componente 4: “Sistemas Productivos”*. Proyecto para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000. Quito.

International Geosphere Biosphere Program (IGBP). (1998) ‘The Terrestrial Carbon Cycle: Implications for the Kyoto Protocol’, *Science*, 280(5368), pp. 1393–1394. doi: 10.1126/science.280.5368.1393.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2019). *Anuario meteorológico*. Ecuador.

Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J., (2013) ‘Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara’, *Bioagro*. Universidad Centro occidental ‘Lisandro Alvarado’ (UCLA), 25(1), pp. 47–56.

Koupermann, J. I. (2014) *Determinación y mapeo de las áreas potencialmente incorporables al desarrollo sustentable a partir de la implementación del plan*

*hidráulico en la provincia de Santa Elena*. Tesis de Licenciado en Ciencias Geográficas y Estudios Ambientales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Lamas, F.F. (2003) *Influencia del contenido de carbonatos en las características resistentes de materiales margosos usados en la construcción de núcleos impermeables de presas*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Landaeta, J. C. Z. (2020) 'Evaluación de pastizales naturales y determinación de la carga animal actual en la comunidad chila, Puno. Perú.', *Revista de Investigaciones (Puno)-Escuela de Posgrado de la UNA PUNO*, 8(4), pp. 1286–1296.

Lastra, M., Palacio, J., Sánchez, A. y Mora, J. (1991) 'Estructura trófica infra litoral de la bahía de Santander', *Cah. Biol. Mar*, 32(3), pp. 333–351.

Li, L.S. (2013) *Medición del potencial de generación de agua ácida para un relave en la zona central del Perú y sus necesidades de neutralización*. Tesis de Ingeniero en Minas. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Lino, J. (2019) *Comportamiento espacial y temporal de la salinidad de suelos y aguas del centro de apoyo Manglaralto UPSE*. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4993>

López, J.M. y Torres, H.N. (1991) 'Uso de explosivos en la agricultura: una alternativa en el caso de suelos compactados', *Agronomía Colombiana*, 8(2), pp. 350–363.

Lorenz, G. (1995) 'Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido, Argentina', *Quebracho*, 3, pp. 13–23.

Lozano P, Z., Mogollón, Á., Hernández, R.M., Bravo, C., Ojeda, A., Torres, A., Rivero, C. y Toro, M. (2010) 'Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas', *Bioagro*. Universidad Centroccidental 'Lisandro Alvarado' (UCLA), 22(2), pp. 135–144.

MacNeill, M. (2011) 'El OIEA ayuda a encontrar agua en la sedienta península de Santa Elena', *Boletín del OIEA*, 53, p. 1.

Malavé, R. (2019) *Rehabilitación de café caturra (Coffea arabica L.) bajo sistema agroforestal en el Centro de Prácticas Manglaralto*. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4963>

Mardones, M., González, L., King, R. y Campos, E. (2011) ‘Variaciones glaciales durante el Holoceno en Patagonia Central, Aisén, Chile: evidencias geomorfológicas’, *Andean geology*. Servicio Nacional de Geología y Minería, 38(2), pp. 371–392.

Martínez, H.E., Fuentes, J.P. y Acevedo, H.E. (2008) ‘Carbono orgánico y propiedades del suelo’, *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 8(1), pp. 68–96. doi: 10.4067/S0718-27912008000100006.

Mazuela, P. C. (2013) ‘Agricultura en zonas áridas y semiáridas’, *Idesia (Arica)*, 31(2), pp. 3–4.

Mendis, P. A. (2003) ‘Manual del cultivo de Cacao’, *Programa para el desarrollo de la amazonía*, p. 100.

Nadal, R.E., Regüés, M.D., Martí, C.E. y Serrano, M.P. (2006) ‘Dinámica estacional de los procesos de meteorización en cárcavas del Pirineo Central’.

Ospina, J.B., Palacio, J.A. y Vásquez, L.F. (2014) ‘¿Responden los micromoluscos a los cambios ambientales durante el Holoceno tardío en el sur del mar Caribe colombiano?’, *Universitas Scientiarum*, 19(3), pp. 233–246. doi: 10.11144/Javeriana.SC19-3.rmca.

Oyarzún L., R. y Álvarez L., P. (2001) ‘Morfología de suelos de la cuenca de Talhuén del secano semiárido de la IV Región, Chile’, *Agricultura Técnica*, 61(4), pp. 517–521. doi: 10.4067/S0365-28072001000400014.

Pereyra, F., Ferrer, J. y Province, A. (1997) ‘El material originario de los Molisoles de las sierras australes, Provincia de Buenos Aires, Argentina’, *Cienc del Suelo*, 15(2), pp. 87–94.

Ramírez, M.E., Limas, E.A., Ortiz, P.R. y Díaz, A.R., (2011) 'Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México', *Papeles de geografía*, (53–54), pp. 77–88.

Reynolds, J. y Stafford, S. (2002) 'Do humans cause deserts', *Global desertification: do humans cause deserts*, pp. 1–21.

Richart, I.M., Morales, N.J., Ondoño, E.F. y Reyes, B.N. (2019) 'Diversidad florística en sistemas tradicionales de acequias y relaciones con el suelo', *Revista Ecosistemas*, 28(3), pp. 81-91–91. doi: 10.7818/re.2014.28-3.00.

Riestra, D. R. (2012) *Efectos de la forestación sobre carbono orgánico y propiedades físicas de molisoles y entisoles de la región semiárida pampeana*. Tesis de postgrado: Doctor en agronomía. Universidad Nacional del Sur.

Robert, M. (2001) *Soil carbon sequestration for improved land management*. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations (World soil resources reports, 96).

Rollan, A.A., Bachmeier, O.A., Rosi, M.S. y Moreno, M.A. (2017) 'Efecto de la siembra directa sobre los procesos de adsorción de fósforo en los molisoles del centro norte de la provincia de Córdoba (Argentina)', *AgriScientia*, 34(2), pp. 1–11. doi: 10.31047/1668.298x.v34.n2.19036.

Romero, A., Quiñonero, J.M., Ortiz, S.R., Sánchez N.A., Fernández, J.M., Gil, J.M. (2020) 'El uso de parámetros edáficos como indicadores de riesgo de erosión Rambla de Las Moreras', Murcia, SE de España, in: Congreso Internacional Sobre Desertificación.

Ruiz, L., Moisés, H. y Rivera, L.J. (2017) *Estudio comparativo sobre densidad de micorrizas en distintos suelos de uso agroforestal del Ingenio Monte Rosa, departamento de Chinandega*. PhD Thesis.

Salgado, E.J., Orpi, J.A., Guerra, M., Pérez, B. y Ruiz, F., (2003) 'Diagnóstico ambiental de los suelos del municipio Bauta, La Habana', *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 4, p. 8.

Santos, P.E., Roa, H.A., Darghan, A.E. y Monroy, J.C. (2018) 'Modelado espacial del carbono orgánico del suelo y su relación con otras propiedades químicas en el cultivo de arroz del distrito de riego del Norte de Santander Colombiano', *Gestión y Ambiente*, 21(2), pp. 252–262. doi: 10.15446/ga.v21n2.73004.

Santos, J. (2015) *Efecto de diferentes regímenes de humedad en el comportamiento productivo del maíz en las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto, Santa Elena*. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena. <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2226>

Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS). (2017) 'Mapa Digital, Órdenes de Suelos del Ecuador. Escala 1:4 300.000'. Quito, Ecuador.

Swift, R. S. (2001) 'Secuestro de carbono por el suelo', *Soil Science*, 166(11), pp. 858–871. doi: 10.1097/00010694-200111000-00010.

Torn, M.S., Trumbore, S.E., Chadwick, O.A., Vitousek, P.M. y Hendricks, D.M. (1997) 'Mineral control of soil organic carbon storage and turnover', *Nature*, 389(6647), pp. 170–173. doi: 10.1038/38260.

UNCCD. (1978) 'United Nations Conference on Desertification', in *Round-up, Plan of Action and Resolutions*. New York: United States, p. 71.

Vásquez, J.R. y Macías, V.F. (2017) 'Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia', *Terra Latinoamericana*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C., 35(1), pp. 7–17.

Víctor, B.H., Landa, J.F., Sedov, S. y Solleiro, R.E. (2016) 'Carbonatos secundarios en las calcretas del noreste de la península de Yucatán: formas, procesos e implicaciones en la pedogénesis de geosistemas cársticos.', *GEOS*, 36(02).

Yescas, C.P., Álvarez, R.V., Segura, M.Á., García, C.M., Hernández, H.V. y González, C.G. (2018) 'Variabilidad Espacial del Carbono Orgánico e Inorgánico del Suelo en la Comarca Lagunera, México', *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(3), pp. 591–610.

## ANEXOS

Anexo. Puntos muestreados con su información correspondiente.

**Tabla 1.A.-** Análisis de carbonatos del muestreo espacial (0 - 30 cm), realizados por gasometría con el método del calcímetro de Bernard.

ID_PUNTO	Longitud	Latitud	%Inclusión	%Humedad	XCO3
RCSE-MA-001	-80.737 169	-1.841 996	25.79	3.96	16.77
RCSE-MA-002	-80.737 398	-1.841 505	0.00	6.84	0.00
RCSE-MA-003	-80.737 530	-1.840 983	0.00	9.34	0.00
RCSE-MA-004	-80.737 548	-1.840 514	0.00	8.51	0.00
RCSE-MA-005	-80.737 973	-1.840 406	0.00	6.33	1.71
RCSE-MA-006	-80.737 972	-1.840 927	0.00	6.09	0.08
RCSE-MA-007	-80.737 811	-1.841 406	0.00	5.47	0.60
RCSE-MA-008	-80.737 663	-1.841 838	0.00	2.29	0.08
RCSE-MA-009	-80.737 974	-1.842 276	7.44	6.10	1.93
RCSE-MA-010	-80.738 143	-1.841911	0.00	7.55	0.79
RCSE-MA-011	-80.738 304	-1.841 406	0.00	5.88	0.77
RCSE-MA-012	-80.738 508	-1.840 932	0.00	5.63	0.00
RCSE-MA-013	-80.738 481	-1.840 494	0.00	9.06	0.00
RCSE-MA-014	-80.738 925	-1.840 130	0.00	4.49	0.44
RCSE-MA-015	-80.739 435	-1.840 025	0.00	8.39	0.26
RCSE-MA-016	-80.738 985	-1.840 702	0.00	5.27	0.25
RCSE-MA-017	-80.738 969	-1.841 283	0.00	7.84	0.42
RCSE-MA-018	-80.738 740	-1.841 832	0.00	5.70	0.57
RCSE-MA-019	-80.738 414	-1.842 359	46.47	4.19	1.40
RCSE-MA-020	-80.739 156	-1.842 507	0.00	8.06	0.44
RCSE-MA-021	-80.739 425	-1.841 992	0.00	6.66	0.00
RCSE-MA-022	-80.739 519	-1. 841 387	0.00	14.87	0.00
RCSE-MA-023	-80.739 616	-1.840 835	0.00	0.95	128.12
RCSE-MA-024	-80.739 981	-1. 839 694	0.00	5.36	4.08
RCSE-MA-025	-80.740473	- 1.840 214	0.00	8.64	0.86
RCSE-MA-026	-80.739 952	-1.840 218	0.00	10.51	0.00
RCSE-MA-027	-80.740 107	-1.840 810	0.00	2.56	82.32
RCSE-MA-028	-80.740 767	-1.840 656	0.00	11.83	3.05

<b>ID_PUNTO</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>%Inclusión</b>	<b>%Humedad</b>	<b>XCO3</b>
RCSE-MA-029	-80.740 050	-1.841 427	0.00	8.99	1.62
RCSE-MA-030	-80.740 050	-1.842 185	0.00	9.99	0.09
RCSE-MA-031	-80.739 859	-1.842 953	0.00	2.37	1.14
RCSE-MA-032	-80.740 467	-1.843 328	0.00	7.20	0.00
RCSE-MA-033	-80.740 774	-1.841 327	0.00	1.48	117.61
RCSE-MA-034	-80.740 772	-1.842 137	0.00	6.25	1.25
RCSE-MA-035	-80.740 722	-1.842 705	0.00	7.44	0.26
RCSE-MA-036	-80.741 065	-1.843 748	0.00	6.84	107.90
RCSE-MA-037	-80.741 268	-1.84 3019	0.00	7.32	0.00
RCSE-MA-038	-80.741 266	-1.842 300	0.00	6.94	1.79
RCSE-MA-039	-80.741 419	-1.841 566	0.00	4.75	0.41
RCSE-MA-040	-80.741 951	-1.841 967	0.00	5.23	2.32
RCSE-MA-041	-80.741 817	-1.842 553	0.00	6.87	2.18
RCSE-MA-042	-80.741964	-1.843 152	0.00	8.76	0.00
RCSE-MA-043	-80.741 804	-1.843 684	0.00	3.22	0.25
RCSE-MA-044	-80.742 271	-1.844 044	0.00	8.07	0.13
RCSE-MA-045	-80.742 333	-1.843 498	0.00	4.87	1.51
RCSE-MA-046	-80.742 483	-1.843 146	0.00	7.63	0.17
RCSE-MA-047	-80.743 111	-1.843 421	0.00	8.22	58.13
RCSE-MA-048	-80.742 813	-1.843 700	0.00	9.26	0.09
RCSE-MA-049	-80.742 914	-1.844 302	0.00	5.82	43.93
RCSE-MA-050	-80.743 417	-1.844 036	0.00	6.29	7.71

**Tabla 2.A.-** Análisis de carbonatos del muestreo vertical, realizados por gasometría con el método del calcímetro de Bernard.

<b>ID_PUNTO</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>%Inclusión</b>	<b>%Humedad</b>	<b>XCO3</b>
KFEP_1_1			0.00	6.51	0.92
KFEP_1_2			0.00	6.63	0.18
KFEP_1_3	-80.737 789	-1.840 626	0.00	7.21	0.09
KFEP_1_4			0.00	7.63	0.18
KFEP_1_5			0.00	6.90	0.18

ID_PUNTO	Longitud	Latitud	%Inclusión	%Humedad	XCO3
KFEP_2_1			0.00	5.84	0.27
KFEP_2_2			0.00	6.06	0.42
KFEP_2_3	-80.73 7576"	-1.841 127	0.00	8.31	0.35
KFEP_2_4			0.00	9.26	0.19
KFEP_2_5			0.00	8.36	0.00
KFEP_3_1			0.00	6.90	0.72
KFEP_3_2	-80.737 379	-1.841 625	0.00	6.60	0.44
KFEP_3_3			0.00	9.25	0.00
KFEP_3_4			0.00	5.91	0.68
KFEP_4_1			0.00	6.50	0.54
KFEP_4_2			0.00	6.44	0.27
KFEP_4_3	-80.737 968	-1.841 335	0.00	7.60	0.18
KFEP_4_4			0.00	7.08	0.09
KFEP_4_5			0.00	6.87	0.09
KFEP_5_1			0.00	6.09	0.60
KFEP_5_2			0.00	6.36	0.34
KFEP_5_3	-80.738 190	-1.840 891	0.00	9.36	0.00
KFEP_5_4			0.00	8.08	0.00
KFEP_5_5			0.00	5.99	0.09
KFEP_6_1			0.00	4.66	1.35
KFEP_6_2			0.00	6.19	0.55
KFEP_6_3	-80.739 008	-1.840 208	0.00	6.13	0.36
KFEP_6_4			0.00	5.34	0.08
KFEP_6_5			0.00	5.22	0.06
KFEP_7_1			0.00	4.90	0.63
KFEP_7_2			0.00	5.06	0.59
KFEP_7_3	-80.738 590	-1.840 525	0.00	6.68	0.52
KFEP_7_4			0.00	4.95	0.58
KFEP_7_5			0.00	5.01	0.09

ID_PUNTO	Longitud	Latitud	%Inclusión	%Humedad	XCO3
KFEP_8_1			0.00	5.74	0.54
KFEP_8_2			0.00	5.52	0.64
KFEP_8_3	-80.738 635	-1.840 965	0.00	10.66	0.37
KFEP_8_4			0.00	5.39	0.27
KFEP_8_5			0.00	6.84	0.53
KFEP_9_1			0.00	6.36	1.02
KFEP_9_2			0.00	7.00	0.36
KFEP_9_3	-80.738 451	-1.841 502	0.00	8.65	0.09
KFEP_9_4			0.00	8.31	0.00
KFEP_9_5			0.00	9.10	0.00
KFEP_10_1			0.00	6.34	0.70
KFEP_10_2			0.00	7.43	0.00
KFEP_10_3	-80.738443	-1.842 041	0.00	8.33	0.09
KFEP_10_4			0.00	8.30	0.00
KFEP_10_5			0.00	7.88	0.00

**KFEP** = Tipo de suelo, Fluventic Eutrudepts, orden Inceptisol.

**X\_1** = 0 cm a 10 cm; **X\_2** = 10 cm a 20 cm; **X\_3** = 20 cm a 40 cm; **X\_4** = 40 cm a 60 cm; **X\_5** = 60 cm a 1 m.

**Anexo.** Imágenes del proceso de muestreo, preparación y análisis de muestras.



**Figura 1.A.-** Toma de muestras, forma espacial.



**Figura 2.A.-** Toma de muestras, forma vertical.



**Figura 3.A.-** Toma de muestras a una profundidad 0 a 10 cm.



**Figura 4.A.-** Toma de muestras a una profundidad 60 cm a 1 m.



**Figura 5.A.-** Tamizado de muestras a 2 mm.



**Figura 6.A.-** Separación y pesaje de impurezas (piedras).



**Figura 7.A.-** Pesaje de muestras para determinar humedad y colocación de muestras en el Matraz Erlenmeyer.



**Figura 8.A.-** Colocación del ácido clorhídrico en la muestra y preparación de la muestra en el calcímetro para el posterior análisis.



**Figura 9.A.-** Muestra reaccionando al ácido clorhídrico.



**Figura 10.A.-** Midiendo el desplazamiento del agua para la posterior determinación de carbonatos.