



**Universidad Estatal Península de Santa  
Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LA  
TIERRA EN LA PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE  
CARBONATOS EDÁFICOS EN LA CUENCA DEL RÍO  
JAVITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Elena Del Rocío Cortéz Pozo.

**La Libertad, 2021**



**Universidad Estatal Península de Santa  
Elena**



**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LA  
TIERRA EN LA PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE  
CARBONATOS EDÁFICOS EN LA CUENCA DEL RÍO  
JAVITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Elena Del Rocío Cortéz Pozo.

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

**La Libertad, 2021**

## TRIBUNAL DE GRADO



---

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



---

Ing. Nadia Quevedo Pino, PhD.  
**DIRECTORA CARRERA DE  
AGROPECUARIA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

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



---

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



---

Abg. Víctor Coronel Ortiz, MSc.  
**SECRETARIO GENERAL**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por mostrar su amor incondicional y su misericordia, permitiéndome avanzar y culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre, Marianita Pozo García, por su esfuerzo, apoyo y dedicación, todos mis logros se lo debo a ella.

A mi estimado tutor y catedrático de la facultad de Ciencias Agrarias de la universidad, Ing. Daniel Ponce de León, quien me motivó con sus clases impartidas de edafología, proporcionándome el conocimiento, atención y asesoría durante mi desarrollo investigativo.

A la institución y a los docentes que impartieron sus conocimientos y experiencias, para formarme y convertirme en un profesional de excelencia.

A mis amigas de toda la vida Arcelia Portilla y Wendy Montoya, por estar siempre pendientes de mí.

A José Montoya por siempre apoyarme como consejero, padre y amigo.

A mis compañeros de aulas, Claudia Melgar, Katty Montoya y Luís Vera, por compartir gratos momentos de enseñanza durante nuestra formación académica.

A todos y cada una de las personas que prestaron su colaboración para que la presente investigación, llegue a feliz término.

*Elena Cortéz Pozo*

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial, por brindarme diariamente un espíritu de fortaleza y gratitud, para alcanzar mis objetivos.

A mi madre por su afecto sincero, amor y apoyo para que culminen mis estudios.

A mi papá, que hoy no me acompaña, pero me fomentó a no darme por vencida.

A mis hermanos, Víctor y Guillermo, quienes me aconsejaron a tomar mejores decisiones.

A mis hermanas, Fanny y Gloria, que me impulsaron emocionalmente luchar por mis metas.

A mis primos (as) y sobrinos (as) como ejemplo para el futuro.

A mis amigas y compañeros con quienes he compartido mi felicidad, inquietudes y esperanzas.

*Elena Cortéz Pozo*

## RESUMEN

Se evaluó la influencia del uso de la tierra en la presencia y distribución de carbonato edáfico en la cuenca del río Javita, provincia de Santa Elena. Se seleccionaron dos sitios representativos de la cuenca, la finca “El chaparral” y áreas del proyecto PIDAASSE. Se realizaron dos tipos de muestreos; i) Superficial: 50 muestras del suelo en la finca “El chaparral” y 100 muestras en PIDAASSE, a una profundidad de 30 cm y, ii). Distribución vertical: muestras inalteradas en cinco profundidades (0 – 10, 10 – 20, 20 – 40, 40 – 60 y 60 – 100 cm) en sitios conservados bajo bosque seco tropical. Se determinó el porcentaje de carbonato total mediante el método Bernard. Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelo y Agua, del Instituto de Investigación de Ciencia y Tecnología (INCYT) de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Se concluye que los suelos de los sitios investigados de la cuenca son ligeramente calcáreos y bajos en contenido de carbonato, con valores generales que fluctúan en un rango de 0.0 a 18.89 gkg<sup>-1</sup> de suelo (mediana 0.89; moda 0.0), por tal motivo, el contenido de carbonato no constituye una amenaza potencial para los cultivos de las zonas. El análisis de Kruskal Wallis demostró que existen influencia del uso de la tierra con relación al contenido de carbonatos. La distribución del contenido de carbonatos en los bosques secos naturales evidencia una mayor acumulación en la parte superficial, por lo que se sugiere considerar este aspecto en futuros cambios de uso de la tierra, para un manejo adecuado. Se elaboraron mapas temáticos de distribución espacial de los carbonatos por interpolación mediante el método IDW, donde se observa una mayor acumulación de carbonatos edáficos en el uso forestal de la finca “El Chaparral”.

**Palabras claves:** *Carbonatos, uso de tierra, aridisol, inceptisol, bosque seco tropical.*

## ABSTRACT

The influence of land use on the presence and distribution of edaphic carbonate in the Javita river basin, Santa Elena province, was evaluated. Two representative sites were selected in the basin, the "El Chaparral" farm and areas of the PIDAASSE project. Two types of sampling were carried out; i) Surface: 50 soil samples at the "El chaparral" farm and 100 samples at PIDAASSE, at a depth of 30 cm and, ii). Vertical distribution: unaltered samples at five depths (0 - 10, 10 - 20, 20 - 40, 40 - 60 and 60 - 100 cm) in conserved sites under tropical dry forest. The percentage of total carbonate was determined by the Bernard method. All samples were analyzed at the Soil and Water Laboratory of the Science and Technology Research Institute (INCYT) of Universidad Estatal Península de Santa Elena. To conclude, the soils of the investigated sites of the basin are slightly calcareous and low in carbonate content, with general values that fluctuate in a range from 0.0 to 18.89 kg-1 of soil (median 0.89; mode 0.0), for such reason, the carbonate content does not constitute a potential threat for the crops of the zones. The Kruskal Wallis analysis showed that there is an influence of land-use on carbonate content. The distribution of carbonate content in natural dry forests shows a greater accumulation on the surface, so it is suggested to consider this aspect in future land use changes, for proper management. Thematic maps of the spatial distribution of carbonates were elaborated by interpolation using the IDW method, where a higher accumulation of edaphic carbonates was observed in the forest use of the "El Chaparral" farm.

**Keywords:** *Carbonates, land use, aridisol, inceptisol, tropical dry forest.*

“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”.

A handwritten signature in blue ink, reading "Elena Cortéz P.", is positioned above a horizontal line. The signature is written in a cursive style with a large initial 'E' and 'P'.

---

Elena Del Rocío Cortéz Pozo

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Problema científico: .....	3
Objetivo general: .....	3
Objetivos específicos: .....	3
Hipótesis: .....	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
1.1. Formas de carbono en el suelo .....	4
1.1.1. Carbono orgánico del suelo .....	4
1.1.2. Carbono inorgánico del suelo (CIS) .....	5
1.2. Proceso de acumulación de carbonatos edáficos en relación con el clima .....	6
1.3. Influencia de carbonatos en las propiedades del suelo .....	6
1.4. Métodos de determinación de carbonatos en el suelo .....	7
1.4.1. Determinación de los $\text{CO}_3^{2-}$ .....	7
1.4.1.3. Método de calcímetro por presión .....	8
1.4.1.4. Método gravimétrico .....	8
1.4.1.5. Método de calcímetro volumétrico: calcímetro de Bernard .....	8
1.5. Tipos de suelos de la provincia de Santa Elena .....	9
1.6. Características de la cuenca del río Javita .....	9
1.6.1. Localización geográfica .....	9
1.6.2. Hidrografía .....	9
1.6.3. Flora y Fauna .....	9
1.6.4. Geología .....	10
1.7. Usos de suelos en la provincia de Santa Elena .....	10
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
2.1. Ubicación y descripción del ensayo .....	12
2.2. Manejo del experimento .....	13
2.2.1. Selección del sitio .....	13
2.2.2. Esquema de muestreo .....	13
2.3. Tamizado de muestras .....	16
2.4. Determinación de carbonatos .....	16
2.5. Elaboración de mapas temáticos .....	19
2.5.1. Selección del método de interpolación .....	19
2.5.2. Generación del mapa .....	19
2.6. Análisis estadístico .....	19

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
3.1. Características del área de estudio con 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 .....	23
3.3. Análisis estadístico descriptivo de carbonatos con relación al Orden de suelo .....	25
3.3.1. Orden Inceptisol .....	25
3.3.2. Orden Aridisol .....	27
3.4. Análisis estadístico de carbonatos con relación al uso del suelo.....	29
3.4.1. Uso del suelo: Agrícola .....	29
3.4.2. Uso del suelo: Conservación forestal.....	31
3.4.3. Uso del suelo: Pecuario .....	33
3.5. Prueba de contraste para los órdenes y usos de suelo .....	35
3.6. Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad.....	37
3.7. Análisis de la estructura vertical y estadística de carbonatos en diferentes profundidades .....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	50
Conclusiones .....	50
Recomendaciones.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Superficie en hectáreas de los usos de los suelos de la Provincia de Santa Elena. ....	11
<b>Tabla 2.</b> Resumen estadístico de carbonatos en relación con el uso y orden de suelo. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en Orden de suelo: Inceptisol ...	26
<b>Tabla 4.</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Aridisol..	27
<b>Tabla 5.</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el uso agrícola. ....	29
<b>Tabla 6.</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el uso de conservación forestal. ....	31
<b>Tabla 7.</b> Distribución de frecuencia de carbonatos en el uso pecuario. ....	33
<b>Tabla 8.</b> Prueba de Kruskal-Wallis para datos de carbonatos edáficos a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por Órdenes de suelo. ....	35
<b>Tabla 9.</b> Prueba de Kruskal-Wallis para los usos del suelo en una profundidad de 0 a 30 cm. ....	36
<b>Tabla 10.</b> Prueba de Friedman para el análisis de carbonatos a diferentes profundidades. ....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> (A) Distribución espacial de carbonatos, (B) Distribución de carbonatos en el eje X y (C) Distribución de carbonatos en el eje Y, de la finca “El Chaparral”....	23
<b>Figura 2.</b> (D) Distribución espacial de carbonatos, (E) Distribución de carbonatos en el eje X y (F) Distribución de carbonatos en el eje Y, del área de estudio PIDAASSE. .....	24
<b>Figura 3.</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Inceptisol. .....	26
<b>Figura 4.</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Aridisol..	28
<b>Figura 5.</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el uso agrícola.....	30
<b>Figura 6.</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el uso de conservación forestal. .....	32
<b>Figura 7.</b> Histograma de frecuencia de carbonatos en el uso pecuario.....	34
<b>Figura 8.</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los Órdenes de suelo.....	35
<b>Figura 9.</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los usos de suelo.....	36
<b>Figura 10.</b> Semivariograma experimental de carbonatos: (A) Finca “El Chaparral” y (B) PIDAASSE, en la cuenca del río Javita.....	38
<b>Figura 11.</b> Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad de la finca “El Chaparral”.....	39
<b>Figura 12.</b> Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad de PIDAASSE. .	40
<b>Figura 13.</b> Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural de la comuna San Marcos, cuenca del río Javita.....	43
<b>Figura 14.</b> Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural del valle Javita, cuenca del río Javita.....	45
<b>Figura 15.</b> Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural del sector Clementina, cuenca del río Javita. ....	47
<b>Figura 16.</b> Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural del sector las Balsas, cuenca del río Javita. ....	49

## ÍNDICE DE IMAGEN

<b>Imagen 1.</b> Localización de la cuenca del río Javita.....	12
<b>Imagen 2.</b> Distribución de los puntos de muestreo de la finca “El Chaparral”. .....	14
<b>Imagen 3.</b> Distribución de los puntos de muestreo de la comuna San Marcos, PIDAASSE. .....	14
<b>Imagen 4.</b> Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona San Marcos. ....	15
<b>Imagen 5.</b> Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona Clementina. ....	15
<b>Imagen 6.</b> Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona Javita. ....	15
<b>Imagen 7.</b> Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona Las Balsas. ....	16

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Imagen A 1.** Calibración del calcímetro y anotación de datos.

**Imagen A 2.** Preparación de muestras para determinación de carbonato.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos son la base para la producción y seguridad alimentaria, ya que suministran de nutrientes y agua a las plantas y son soporte para sus raíces, además, funcionan como el mayor filtro y reservorio de agua en la tierra (FAO, 2016), además entre otras funciones, capturan y almacenan carbono (Ayala, 2018), que se puede encontrar en forma orgánica e inorgánica (Martínez H, Fuentes E y Acevedo H, 2008) por lo que actúan como sumideros. Su capacidad de almacenamiento supera el carbono almacenado en toda la vegetación de la tierra y la atmósfera (Lefèvre *et al.*, 2017), por lo tanto desempeñan un papel en el aumento o reducción de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, que se asocian al cambio climático global (Carvalhais *et al.*, 2014; Mesías *et al.*, 2018).

Debido al crecimiento económico y demográfico, las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado de forma muy apreciable, desde la era de la Revolución Industrial, como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, así como otros factores antropogénicos – como la expansión de determinadas actividades agrícolas y ganaderas (FAO, 2016) – alcanzando la atmósfera grandes concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (IPCC, 2005, 2015; Jori, 2009).

El cambio climático es uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad (Useros, 2013; Burbano, 2018), con implicaciones en los cambios sobre el uso y la gestión de la tierra. Así como los ecosistemas han sido capaces de proveer y satisfacer las demandas del hombre; también son cada vez más subestimados, explotados, degradados y utilizados de manera no sostenible (Ayala, 2018).

Los cambios de uso de la tierra son respuestas evolutivas de las sociedades humanas a los cambios en las condiciones biofísicas, donde las tierras forestales se transforman a tierras cultivadas, siendo una de las prácticas que mayor impacto ha tenido en la degradación de los suelos en el mundo y generan grandes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por lo cual, el surgimiento y desarrollo de la agricultura y su incremento con la aplicación de riego, mecanización y uso excesivo de químicos, han provocado alteraciones en las propiedades de los suelos (Hernández Jiménez *et al.*, 2017).

En resumen, la participación del hombre tiende a que la desertificación de la tierra y la degradación del suelo provoquen un descenso en la productividad de la mayoría de los cultivos, los severos desbalances en los agroecosistemas y la contaminación ambiental genera impactos negativos en la salud de los productores agrícolas y consumidores.

Se estima que un cuarto de la superficie terrestre corresponde a tierras áridas o semiáridas, existiendo acumulación de carbonato, como resultado de la escasa precipitación, a causa de la elevada evapotranspiración del agua quedan en el suelo sales que, al no ser disueltas y redistribuidas, generan la salinización de los suelos (Mazuela, 2013; Ayala, 2018; Yescas-Coronado *et al.*, 2018).

Un ejemplo es el calcio, quien puede actuar como antagonista de otros elementos, al encontrarse en altas concentraciones en el suelo. Por otra parte, se usa con regularidad en enmiendas que ayudan a neutralizar el pH de suelos ácidos y suministrar de nutrientes a las plantas (Wiesmeier *et al.*, 2015).

Los carbonatos en los suelos son residuos del material parental o el resultado de la neo-formación (carbonatos secundarios), con el tiempo, se van depositando continuamente en diversas superficies del suelo, es decir, que los iones de bicarbonato se transfieren de un punto a otro del perfil del suelo mediante la acción del agua, al estar disueltos en ella y desplazarse por el espacio poroso; los carbonatos secundarios pueden destruir la estructura del suelo para concentrarse en formas de cal polvorienta suave, agregados y nódulos (FAO, 2009).

Por lo general, los carbonatos pueden estar presentes en algunos suelos, pero son más comunes en las áreas despobladas y en ambientes costeros (entre otros), siendo capaces de disminuir los rendimientos de los cultivos, limitando la respuesta a la fertilización e inclusive pueden llegar a impedir el desarrollo de ciertas especies de interés agrario (Ibáñez, 2007).

El estudio de carbonatos secundarios en los suelos de la región costera tiene como propósito la adquisición de información complementaria para el proyecto “Propuesta de sitios promisorios para la conservación y secuestro de carbono en la Península de

Santa Elena”, con la finalidad de proporcionar información sobre la influencia del uso de la tierra en su distribución y contenidos.

Por las particularidades que presentan las áreas estudiadas, ubicadas en la parte alta y baja de la cuenca del río Javita, en referencia a los factores de formación y usos de la tierra, hacen de este un sitio representativo.

**Problema científico:**

¿Qué influencia tiene el uso de la tierra en la presencia y distribución de carbonatos edáficos en la cuenca del río Javita?

**Objetivo general:**

Evaluar la influencia del uso de la tierra en la presencia y distribución de carbonatos edáfico en la cuenca del río Javita, provincia de Santa Elena.

**Objetivos específicos:**

1. Determinar el contenido de carbonatos edáficos en los suelos de la cuenca del río Javita.
2. Evaluar la influencia de uso de la tierra en la distribución de carbonatos edáficos.
3. Elaborar el mapa de carbonatos de la cuenca del río Javita.

**Hipótesis:**

El uso de la tierra influye en la distribución y presencia de carbonatos edáficos de la cuenca del río Javita.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

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

Los suelos son esenciales para la vida en la tierra (Ibáñez, 2006), ya que representan el tercer reservorio de carbono más importante después de los océanos y de los estratos geológicos y mucho mayor que la atmósfera y la biosfera, estimándose en 2.400 billones de toneladas (Milian, 2015).

Se conoce que el carbono es uno de los elementos químicos clave en los compuestos de naturaleza orgánica, que circula entre la atmósfera, el océano, el suelo y el subsuelo, hasta conforman depósitos (Burbano, 2018).

Las reservas de carbono orgánico (COS), inorgánico (CIS) y total (CTS); resultan ser las tres formas de carbono del suelo que se pueden encontrar (Zamanian, Pustovoytov y Kuzyakov, 2016; Ayala, 2018).

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

El contenido del carbono orgánico en el suelo, puede variar en suelos arenosos y desérticos entre 1% a 2,5% en los primeros 0,15 metros de la superficie (Ayala, 2018). El COS es el componente de carbono de MOS (FAO, 2019), la cual se compone de elementos descompuestos plantas, animales, hongos y materia bacteriana (Scharlemann *et al.*, 2014).

En el ciclo global del carbono participa la atmósfera, el suelo, la vegetación y el océano, donde el COS, ocupa un pequeño fragmento del ciclo. Lefèvre *et al.* (2017) estiman que la reserva de carbono orgánico del suelo almacena 1 500 PgC en el primer metro de suelo. Según Kane (2015), este componente es muy inestable.

Sin embargo, el COS se vincula estrechamente con la formación y estabilidad de agregado del suelo (Srivastava *et al.*, 2016), también se relaciona con la cantidad y disponibilidad de nutrientes, lo que, aumenta la solubilidad de varios nutrientes y su asociación con la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, causando un efecto en las propiedades físicas que se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio porosos del suelo (Martínez H, Fuentes E and Acevedo H, 2008).

### **1.1.2. Carbono inorgánico del suelo (CIS)**

El CIS se encuentra bajo la forma de carbonatos (Hodgson, 1987), cuyo origen puede estar en el material original del suelo, los cuales pueden encontrarse en disolución, por ejemplo; en forma de bicarbonatos o caliza activa.

Por otro lado, los carbonatos pueden emigrar en la profundidades del suelo en forma de bicarbonatos, que se produce por la disolución de carbonatos en presencia de dióxido de carbono, procedente de la atmosfera u originado por la actividad biológica (Torrús Castillo, 2019).

Se han realizado pocas estimaciones respecto a la acumulación de CIS, pero el carbonato cálcico es la forma más estable capturada (Sánchez, Recatalá y Goberna, 2004). Alrededor del 50% de CIS, se ubica en la capa superior de 1 m (Guo *et al.*, 2006).

Los mismos autores agregan que la percolación y las condiciones de aireación, determinan la presencia o la ausencia de carbonatos en distintas partes del suelo. En las zonas secas y semiáridas, desempeña un rol importante la presencia del CI.

Ayala (2018), el CIS se localiza en zonas áridas y semiáridas, con valores de 695 a 930 Pg. a 1 m de profundidad, aunque específica, la participación de diferentes minerales predominantes estables como calcita, magnesita, aragonita, dolomita y siderita, provenientes de la roca madre o por procesos pedogénéticos de formación de carbonatos secundarios.

En los suelos jóvenes de todo el mundo, los minerales (calcita, dolomita y aragonito) se caracterizan por presentarse en fracciones limosas y arcillosas, que predominan en regiones áridas, donde el déficit de agua impide su disolución y lavado hacia capas profundas. Es muy frecuente, que en estas condiciones se desarrollan horizontes cálcicos ricos en calcita que al endurecerse limitan el desarrollo radicular de las plantas (Ibáñez, 2013).

Los carbonatos son componentes de vital importancia para los suelos áridos y semiáridos, pues, de su progresiva acumulación en el suelo, nacen los horizontes

cálcicos y petrocálcicos (Díaz-Hernández, Temiño y Marchesini, 2011), recogidos en los sistemas taxonómicos de clasificación de suelos.

En resumen se puede deducir que la variabilidad y distribución espacial de los carbonatos presentes en el suelo, son influenciadas por las condiciones ambientales, cobertura vegetal y el uso del suelo (Yescas-Coronado *et al.*, 2018).

### **1.2. Proceso de acumulación de carbonatos edáficos en relación con el clima**

Hodgson (1987), describe que en el suelo se puede encontrar tres formas de carbonatos: restos no meteorizados de material de la roca madre calcárea, depósitos secundarios formados por los procesos de formación del suelo o fragmentos de material calizo añadido.

Los carbonatos como la calcita o la dolomita, son menos solubles que los cloruros y se encuentran en todo tipo de suelos, en especial, donde se aporte mucho carbonato de calcio y exista períodos de desecación estacional (Imbellone, Aguilera y Beilinson, 2017).

La solubilidad de los carbonatos decrece cuando la temperatura aumenta, por eso su movilidad es menor en climas cálidos (Sánchez-Beristain, García-Barrera y Calvillo-Canadell, 2016; Dorronsor, 2018).

Los climas áridos, semiáridos o subhúmedos, que presentan una tasa de precipitación anual menor de 500 mm, facilitan la acumulación de carbonato en el suelo (Cabadas Baéz *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2016).

### **1.3. Influencia de carbonatos en las propiedades del suelo**

Desde la perspectiva de la química inorgánica, un carbonato, es una sal de ácido carbónico que se caracteriza por la presencia del ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) (Sánchez-Beristain, García-Barrera y Calvillo-Canadell, 2016).

Ferreira *et al.* (2016) afirma que la acumulación de carbonato influye en las características químicas como el pH, la amortiguación del suelo, la CIC y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Andrades y Martínez (2014), expresan que los carbonatos actúan positivamente sobre la estructura del suelo y la actividad microbiana edáfica. De hecho, a medida que aumenta el carbonato de calcio, el suelo se torna más cohesivo y menos adhesivo (Pellegrini, 2019).

La presencia de carbonato en los suelos influye, notablemente, sobre todo, en la asimilación de determinados elementos como el P, Fe, Mg y B (Montañes y Heras, 1970).

El pH de 8.4 es el valor estable para la calcita en condiciones ambientales de presión y temperatura (Cailleau et al., 2005).

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

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

###### **1.4.1.1. Método análisis termogravimétrico (TGA)**

Choi et al. (2017) indica que esta técnica que permite determinar la cantidad de carbonato de calcio, basado en el peso reducido que tiene la muestra expuesta a temperatura de hasta  $1,000^\circ\text{C}$ , usando el analizador TGA. El  $\text{CaCO}_3$  a temperatura de  $500$  a  $800^\circ\text{C}$ , sufre alteración. Para la aplicación de este método, se usa un total de  $0.04$  g de  $5$  g de muestra. Registrando un peso inicial (A) y los pesos a  $500^\circ\text{C}$  (B) y  $800^\circ\text{C}$  (C), respectivamente. La diferencia que resulto de  $(C - B)$  dio un peso del  $\text{CO}_2$  producido. Se aplica un factor de conversión de  $2.274$  y la relación del peso atómico del  $\text{CaCO}_3$  de  $100.0869$  y el  $\text{CO}_2$  de  $44.01$ .

###### **1.4.1.2. Método ASTM**

Este método determina el contenido de carbonato presentes en el suelo y rocas blandas. El gas de  $\text{CO}_2$  se genera por la reacción que existe entre el  $\text{HCl}$  y  $\text{CaCO}_3$  y es por medio de la calibración, que se puede encontrar una relación lineal entre la masa de  $\text{CaCO}_3$  puro y la presión de  $\text{CO}_2$ , donde se usan  $5$  gramos de la muestra tamizada y se transfirieron a un vaso de precipitación, siendo luego colocadas en un reactor, para después inyectarse  $20$  ml de  $\text{HCl}$  ( $1\text{ M}$ ). El CCC se determinó a través de la curva precalibrada (Choi et al., 2017).

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

El contenido de carbonato de una muestra se puede determinar por reacción con ácido, en un sistema cerrado, para formar CO<sub>2</sub>. A temperatura constante, el aumento de presión está linealmente relacionado con la cantidad de carbonato presente en la muestra. Modificamos el método utilizando frascos de suero Wheaton (20 ml y 100 ml) sellados con tapones de goma de butilo y sellos de corte de aluminio como recipiente de reacción y un transductor de presión controlado por un voltímetro digital (Loeppert and Suarez, 1996; Sherrod *et al.*, 2002)

#### **1.4.1.4. Método gravimétrico**

Las muestras de suelos carbonatados se descomponen al ser tratados en un matraz de reacción con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (4 M) que contiene FeSO<sub>4</sub> como una fuente de antioxidante que evite la liberación de CO<sub>2</sub>; contenido en la materia orgánica. No obstante, el CO<sub>2</sub> que se libera durante la disolución del carbonato se transporta por medio de una corriente de aire libre prepurificado, es decir, funciona como una serie de trampas eliminadoras de gases. (1) El concentrado de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se eliminado como vapor de agua, (2) El Zn metal se usa para eliminar trazas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y (3) Mg se aplica para eliminar las últimas trazas de vapor de agua y ClO. Después, el gas pasa por un bulbo Nesbitt que contiene NaOH, el cual actúa como un absorbente de CO<sub>2</sub>. Se pesa el bulbo de Nesbitt antes y después de la absorción de CO<sub>2</sub> (Loeppert and Suarez, 1996).

#### **1.4.1.5. Método de calcímetro volumétrico: calcímetro de Bernard**

En condiciones constantes de presión y temperatura, el aumento de volumen en el sistema es indicado por la masa de CO<sub>2</sub> obtenido y la descomposición de carbonato presentes en la muestra de suelo. Para esto se usa un matraz de 250 ml el cual se encuentra conectado a una bureta medidora de gases, por lo que mide el volumen de CO<sub>2</sub> desprendido por la reacción entre la muestra con el HCl a una concentración de 0.1 N. Se registran los valores volumétricos del dióxido de carbono que contiene el carbonato de calcio puro y las muestras seleccionadas para el experimento (Loeppert and Suarez, 1996; Moreno, 2015; Elfaki *et al.*, 2016).

## **1.5. Tipos de suelos de la provincia de Santa Elena**

La provincia de Santa Elena se halla situada en el occidente del país, en la región litoral o costera; es una localidad con poca pluviosidad, cuyo clima es seco y árido. En la provincia hay 6 órdenes de suelos según la clasificación taxonómica de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, estos son: Alfisol, Aridisol, Entisol, Molisol, Vertisol e Inceptisol, este último ocupa alrededor de un 37% del territorio (Koupermann, 2014).

## **1.6. Características de la cuenca del río Javita**

### **1.6.1. Localización geográfica**

La cuenca del río Javita se localiza en la provincia de Santa Elena, tiene una superficie aproximada de 801 km<sup>2</sup>. Limita por el norte la provincia de Manabí, al sur la cuenca del río Zapotal, al este la provincia del Guayas y al oeste el océano Pacífico (Rodríguez Ayala, 2014).

### **1.6.2. Hidrografía**

La mayoría de los ríos de la provincia son de régimen intermitente, nacen de la Cordillera Chongón – Colonche. La calidad del acuífero subterráneo del valle de Javita presenta altas concentraciones de sales, la cual, está relacionada con los contenidos salinos intersticial de los ambiguos sedimentos marinos de la península y/o por la elevada evapotranspiración, ya que las lluvias son intensas en un corto periodo de duración (SGR, PNUD y ECHO, 2014). Además, los ríos Javita, fluyen en sentido este-oeste, recibiendo aportes de diferentes acuíferos entre los más relevantes esta: Salado, las Balsas, Hondo y Guangala (Rodríguez Ayala, 2014).

### **1.6.3. Flora y Fauna**

La vegetación de la cuenca del río Javita es semi desértica. Por la excelente condiciones climáticas existentes y calidad del suelo, se encuentra especies arbóreas que son usada a gran escala para la producción de carbón vegetal y entre otros usos. Por consiguiente, existe una gran variedad de especies como: tigrillos, venados, ardillas, gallinazos, murciélagos, búhos, etc., (Rodríguez Ayala, 2014). Es más, los comuneros; han desarrollado una agricultura rentable (intensiva y diversificada de

cultivos permanentes) y con esmero se han dedicado a la crianza de animales de corral como otra actividad económica menos rentable en la localidad (Empresa Pública del Agua, 2019).

#### **1.6.4. Geología**

Al encontrarse en la región litoral, la cuenca del río Javita se caracteriza por tener una sedimentación profunda, suelos poco desarrollados con textura variable y alto contenido de sal. El valle de Javita, contiene terrenos planos a ligeramente ondulados, con pendientes inferiores al 5%, aunque presenta relieves altos debido a que se localiza cerca de la cordillera de Chongón – Colonche (Rodríguez Ayala, 2014; SGR, PNUD y ECHO, 2014). Tiene una cota altitudinal de 300 m.s.n.m.

#### **1.7. Usos de suelos en la provincia de Santa Elena**

Por lo general, la provincia presenta una cobertura vegetal natural, que el uso predominante del cantón Santa Elena, es la conservación y protección de especies vegetales (Ganadería climáticamente inteligente integrando la reversión de degradación de tierras y reducción del riesgo de desertificación en provincias vulnerables, 2017).

En la provincia de Santa Elena, se producen más de 40 cultivos distintos. En el 2015 los cultivos más relevantes (según datos estadísticos del INEC – ESPAC), entre transitorios y permanentes localizados en la provincia son: banano, cacao, café, maracuyá, plátano, maíz y soya (Burgos Vera y Suárez Rodríguez, 2017).

Por otra parte, la actividad pecuaria, se correlaciona con el uso de la tierra de cultivos de pastizales para ganado (Koupermann, 2014).

También, existen sistemas agroforestales, es decir, los agricultores desarrollan sistemas agrícolas tradicionales, donde, incluyen sistemas ganaderos, intercala cultivos anuales o perennes, alternando árboles - cultivos o pastos (Peña, 2016).

**Tabla 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>
Agrícola	23.157,40	6,28%
Agropecuario mixto	1.492,60	0,40 %
Pecuario	2.215,60	0,60%
Actividad camaronera	3.443,70	0,93%
Extracción de sal	1.530,30	0,41%
Áreas Urbanas	3.443,70	1,30%
Centros Poblados	1.530,30	0,41%
Antrópico	76.115,00	20,63%
Conservación y protección o pecuario	32.239,00	8,74%
Conservación y protección	222.501,50	60,30%
<b>TOTAL</b>	<b>369.000</b>	<b>100 %</b>

**Nota:** Información obtenida de GADPSE(2015).

Según Rivera (2015), la comuna San Marcos está ubicada en la parte baja del río Javita, esta área se caracteriza por tener un clima árido y suelos tipo aridisol. En cambio, en la cuenca alta del río Javita, la población de Las Balsas, abunda suelos de tipo Inceptisol (Koupermann, 2014).

En ambas comunidades se desarrolla la crianza de animales de corrales (bovino, porcino, caprino y aves), cultivos de ciclo corto; y de ciclo permanente como los árboles frutales (Tigrero, 2015). Por ejemplo, en la comuna Las Balsas, se implementó un modelo agroforestal y autosustentable (bosques protegidos), permitiendo a la mayoría de sus habitantes desempeñen otras actividades para poder subsistir.

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación y descripción del ensayo

La cuenca del río Javita tiene una superficie aproximada de 801 km<sup>2</sup> está localizada en la región litoral del Ecuador, concerniente a la provincia de Santa Elena. En el extremo oeste del territorio ecuatoriano; la cuenca del río Javita limita por el norte la provincia de Manabí, al sur la cuenca del río Zapotal, al este la provincia del Guayas y al oeste el océano Pacífico.

El área de estudio es poco accidentada con elevaciones relativamente bajas, además posee dos tipos de climas, tropical húmedo y tropical sabana en diferentes épocas del año. La temperatura media en el área de estudio es relativamente constante a lo largo del año, oscila de los 23°C a 25°C.

En la zona de estudio, la actividad actual, se reduce al corte de árboles para la elaboración de leña y carbón, con el consiguiente problema de deforestación. La cría de ganado se realiza con dedicación y esmero pese a la adversidad y a la limitación que impone la falta de agua.

El acceso al área de estudio, se lo realiza por vía terrestre, por carreteras que conducen a parroquias y comunas ubicadas en el sitio de estudio (Rodríguez Ayala, 2014).



**Imagen 1.** Localización de la cuenca del río Javita.

## **2.2. Manejo del experimento**

### **2.2.1. Selección del sitio**

Para la selección de los sitios de muestreo y el procesamiento de información geográfica se usó el software QGIS, versión LTR 3.4.0 Madeira.

Se realizaron dos muestreos de suelos, el primero en el mes de abril y el segundo en el mes de octubre. El área de estudio cubre a Las Balsas, Javita y San Marcos, sitios seleccionados de la cuenca del río Javita. En cada punto se limpió un área de 1 x 1m, en donde el punto central es marcado con el GPS.

### **2.2.2. Esquema de muestreo**

#### **2.2.2.1. Muestreo horizontal**

El procedimiento para extraer las muestras representativas de suelo debe centrarse en un primer nivel de alrededor de 0 a 30 cm, a una distancia entre 50 a 100 metros, usando la barrena edafológica.

Dichas muestras son colocadas en bolsas de plásticos limpias con sus respectivas etiquetas. La identificación presenta iniciales vinculadas con el lugar escogido y el número de la muestra tomada, para luego ser trasladada al laboratorio de la universidad.

Este muestreo horizontal se enfoca en suelos dedicados a la producción agrícola y a la investigación de la variación espacial.

Para este muestreo se seleccionaron dos lugares, Finca “El Chaparral” y PIDAASSE (Proyecto Integral de Desarrollo Agrícola, Ambiental y Social de forma Sostenible del Ecuador), localizados en la cuenca del río Javita, para la obtención de 150 puntos de muestreo.



**Imagen 2.** Distribución de los puntos de muestreo de la finca “El Chaparral”.



**Imagen 3.** Distribución de los puntos de muestreo de la comuna San Marcos, PIDAASSE.

#### **2.2.2.2. Muestreo Vertical**

El muestreo vertical, se realizó en bosques secos y vegetación conservada de las zonas: Las Balsas, Clementina, San Marcos y Javita. Se tomaron muestras a las profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm y 60 a 100 cm, con tres repeticiones en un radio de 1 metro, a un distanciamiento de 50 metros entre cada punto, mediante el uso de barrena edafológica, cápsulas y cilindros no alterados de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad. Las muestras son pesadas, etiquetadas y enviadas al laboratorio.



**Imagen 4.** Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona San Marcos.



**Imagen 5.** Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona Clementina.



**Imagen 6.** Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona Javita.



**Imagen 7.** Distribución de puntos de muestreo vertical de la zona Las Balsas.

### **2.3. Tamizado de muestras**

El secado de la muestra se realiza al ambiente. Una vez seco el material se desmenuza, deshaciendo los terrones con ayuda del mortero hasta obtener un material de aspecto homogéneo con un tamaño de partícula que le permita pasar a través de un tamiz de 2mm, de esta forma se debe separar grava y piedras o trozos de vidrio, componentes que usualmente no deben suponer más del 5% de la masa total. Si sobrepasan ese contenido, hay que pesarlos y expresar el resultado como % de grava.

### **2.4. Determinación de carbonatos**

Se determinaron los carbonatos edáficos mediante la técnica del calcímetro de Bernard.

#### **a) Calibración del calcímetro**

- Pesar 0.2 y 0.4 g (secado) de  $\text{CaCO}_3$  con una precisión de 1 mg. Transferir estas cantidades a dos vasos de reacción y agregar 20 mL de agua a cada uno de estos.
- Las determinaciones de las muestras y los estándares comienzan con un nivel de inicio de 3 mL; esto se establece utilizando los buques de amortiguación.
- Se requiere un nivel de inicio de 3 mL para permitir que el nivel de agua en la bureta aumente. Esto puede ocurrir a veces en la práctica cuando casi no evoluciona el  $\text{CO}_2$ , pero se absorbe una pequeña cantidad.

- Colocar los recipientes de reacción en el calcímetro para que no haya más necesidad de moverlos.
- Se llena un pequeño tubo de ensayo con 7 mL de ácido clorhídrico y colóquelo en un recipiente de reacción con unas pinzas.

El proceso consiste en colocar en un recipiente de reacción un 0,2 a 0,4 de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), luego se ubica el tubo de ensayo con ácido clorhídrico en el recipiente de reacción con unas pinzas (se prepara un recipiente de reacción para cada bureta), se cierra el recipiente de reacción con el tapón. Por otra parte, el grifo debe estar posicionado en dirección horizontal, después se inclina el recipiente de reacción, permitiendo que el ácido clorhídrico caiga sobre el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), iniciando la reacción. Lo recomendable es que permanezca durante un día para que el agua en la bureta se sature con  $\text{CO}_2$  y no se pierda dicho compuesto durante la medición, por lo cual esto hace que el resultado de la medición sea sustancialmente más preciso. Se debe ejecutar dos determinaciones en blanco (para obtener un valor de referencia/cero). La temperatura de la sala debe ser controlada, porque la diferencia de temperatura puede influir significativamente en las mediciones (*Calcimeter - Laboratory equipment / Eijkelkamp, 2018*).

#### **b) Preparación**

- Pesar aprox. 2,5 g de la muestra de laboratorio, siendo colocada en una cápsula de vidrio.
- Diluir 340 mL de HCl concentrado ( $\rho = 1.19 \text{ g / mL}$ ) completando con agua hasta 1000 mL. Por tal motivo, ISO 3696 indica que el agua debe tener una calidad de grado 2, adecuada para el análisis; es decir, presente una conductividad específica de no más de  $0.2 \text{ mS / m}$  a  $25^\circ \text{ C}$ . (*Calcimeter - Laboratory equipment / Eijkelkamp, 2018*).

#### **c) Procedimiento**

1. Llène el matraz Erlenmeyer con la muestra de laboratorio. Coloque el tubo de ensayo un 1mL de ácido clorhídrico en el recipiente de reacción con unas pinzas (preparar un recipiente de reacción para cada bureta). Cerrar el recipiente con el tapón.

No olvidar, colocar el grifo en la posición de medición e inclinando el vaso de reacción, se permitirá que el ácido clorhídrico fluya hacia afuera del tubo de ensayo y sobre la muestra, iniciando la reacción. Agitar durante 5 minutos.

2. El gas producido bajará el nivel del fluido en la bureta y aumentará el nivel en el recipiente de almacenamiento. No permita que esta diferencia de nivel exceda los 3 mL. Si la diferencia fuera superior a 3 mL, el CO<sub>2</sub> estaría bajo presión, lo que a su vez aumentaría su solubilidad en agua. Esto dará un resultado menos preciso.

3. Cuando el volumen ya no varíe, observe este volumen. Si el volumen continúa aumentando, agite hasta que el volumen se estabilice (no lo agite durante más de 1 hora). (Los valores medidos se sitúan alrededor de 40 y 80 mL de CO<sub>2</sub>).

4. Para suelos que contienen carbonatos que son más difíciles de disolver, como las conchas, esto puede demorar un poco más. Generalmente se acepta que la reacción es completa cuando no se pueden observar más burbujas. Lleve la bureta y el recipiente de almacenamiento intermedio al mismo nivel y lea el volumen. Si esto se ha hecho para los cinco recipientes de reacción, la medición está completa (*Calcimeter - Laboratory equipment | Eijkelkamp, 2018*).

#### **d) Cálculo de carbonato**

El contenido de carbonato se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

$w(\text{CaCO}_3)$  = el contenido de carbonato, en gramos/kilogramo, del suelo secado al horno.

$m_1$  = la masa, en gramos, de la porción de prueba.

$m_2$  = la masa media, en gramos, de los estándares de carbonato de calcio.

$V_1$  = el volumen, en mililitros, de dióxido de carbono producido por reacción de la porción de prueba.

$V_2$ = el volumen promedio, en mililitros, de dióxido de carbono producido por los estándares de carbonato de calcio.

$V_3$ = el cambio de volumen, en mililitros, en las determinaciones en blanco (este valor puede ser negativo).

$w(H_2O)$  = el contenido de agua, expresado como porcentaje en masa, de la muestra seca, determinado de acuerdo con ISO 11465.

El resultado se redondea a un número entero expresado en  $g\ kg^{-1}$  (*Calcimeter - Laboratory equipment / Eijkelkamp, 2018*).

## **2.5. Elaboración de mapas temáticos**

### **2.5.1. Selección del método de interpolación**

Para crear los mapas temáticos, el método de interpolación es el indicado, para facilitar el entendimiento del comportamiento espacial y vertical de los carbonatos en los suelos de la cuenca del río Javita, pues, mediante el uso del software RStudio, se determinó el semivariograma experimental, para los conjuntos de datos del muestreo en superficie, ayudando a verificar la existencia o no de estructura espacial en los datos, es decir, si están o no correlacionados espacialmente a la escala de medición.

Debido a que no existe correlación en la estructura espacial de los datos de carbonatos, para la elaboración de los mapas temáticos, se usó el método de la Distancia Inversa Ponderada (IDW), cuya principal función es escoger los puntos conocidos y sus distancias, lo que permite la estimación de los valores de los puntos desconocidos.

### **2.5.2. Generación del mapa**

El software que se utilizó para la elaboración de los mapas de las áreas estudiadas de la cuenca del río Javita fue QGIS versión LTR 3.4.0 Madeira, en base a la información generada anteriormente, que facilitó así el análisis de la presencia y distribución de los carbonatos de forma espacial en los primeros 30 cm.

## **2.6. Análisis estadístico**

El análisis estadístico exploratorio, se utilizó con la finalidad de determinar las tablas e histogramas de frecuencia, estadígrafos de posición y dispersión, en base al total de

los datos y a los grupos formados. Sin embargo, al no cumplirse los presupuestos de partida para el análisis de varianza paramétrico, se seleccionaron pruebas no paramétricas.

Las pruebas no paramétricas de rango de Kruskal – Wallis, permiten la comparación de las medianas entre los diferentes grupos formados de la población de datos obtenidos en la cuenca del río Javita.

Además, para comprar los contenidos de carbonatos a diferentes profundidades, se realizó la prueba de rangos de Friedman, la cual, considera que la acumulación de los carbonatos en un mismo perfil del suelo está sometido a iguales procesos de lavado y acumulación, por lo que se consideran dependiente.

Para el procesamiento de la información se utilizaron los softwares Statgraphics versión 6.1 y RStudio versión 1.2.5033 (RStudio Team, 2019).

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

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

Para el estudio se seleccionó la finca “El Chaparral” y PIDAASSE, cuyas características generales coinciden con las distintas particularidades de la cuenca del río Javita.

La cuenca del río Javita se sitúa en una microrregión seca, se introduce en el territorio de la parroquia Colonche y alberga unas quince comunas jurídicas (Andrade y Ortiz, 2020).

Al localizarse en la zona costera y presentar una estación lluviosa menor de 500 mm/año (Cabadas *et al.*, 2016; Ayala *et al.* 2018), las pérdidas de carbonatos por lixiviación, no son significativas y la elevada tasa de evapotranspiración producen un marcado déficit hídrico en el suelo (Toledo, 2016), lo que permite la acumulación de carbonatos a distintas profundidades (Díaz-Hernández, Temiño y Marchesini, 2011).

Dentro del área de estudio se definieron dos órdenes de suelo para el muestreo superficial y de caracterización de la distribución vertical, Aridisol e Inceptisol. La presencia de suelos aridisoles se da principalmente en la parte baja del río Javita, suborden Cambids, gran grupo Haplocambid y subgrupo Ustic Haplocambid, donde se desarrollan importantes actividades agrícolas (Rivera, 2015).

En la parte alta de la cuenca, predomina suelos del orden Inceptisol (Koupermann, 2014), el cual se clasifica en el suborden Fluvents, gran grupo Haplustepts y Eutrudepts, subgrupos Fluventic Haplustepts y Fluventic Eutrudepts, siendo representativos de ecosistemas forestales, terrenos agrícolas y praderas (Ibañez *et al.* 2011).

Calvache (2015), menciona que estos órdenes de suelos han adquirido mucha importancia para los proyectos de riego estatales, los cuales, persiguen incorporar grandes extensiones de cultivos de interés agrario e industrial, por ejemplo: la comuna San Marcos, el recinto Clementina de la comuna Manantial de Guangala, la comuna las Balsas, entre otras, participan en proyectos estatales que otorgan múltiples

beneficios a los habitantes que se dedican a la agricultura para mejorar el nivel productivo y económico de estos sectores.

Posteriormente, los comuneros instalan sistemas de riego por goteo para proporcionar a sus cultivos la cantidad de agua necesaria hasta antes de la cosecha del producto. Sin embargo, Moreno *et al.* (2011) atribuyen que el mal manejo del regadío moviliza por lixiviación a los carbonatos presentes en el suelo a diferentes profundidades (Villafañe, 2011).

Bouza (2012), destaca que la presencia y distribución de carbonatos edáficos está influenciada por disponibilidad del agua en el suelo, el contenido de materia orgánica, la vegetación y por consiguiente la temperatura y factores de modificación en el uso de la tierra.

De acuerdo con Hernández Jiménez *et al.* (2017), la intervención humana y los cambios en el uso del suelo, rompen el equilibrio ambiental y tales procesos como la deforestación y degradación, generan alteraciones en las propiedades del suelo (Ibáñez, 2007). Por este motivo, es oportuno mencionar que también por el surgimiento y desarrollo de la agricultura, industrial, minería, ganadería y otras actividades económicas, el incremento con la aplicación de riego, mecanización y uso excesivo de químicos, favorecen la acumulación de varios tipos de sales solubles en el perfil del suelo (Gálvez Fernández, 2018).

La intervención del hombre, con referencia al uso que aplica al suelo, permite determinar la influencia de la acumulación de carbonatos edáfico (Colazo, 2012).

En gran parte de la superficie del valle Javita, los suelos han sido erosionados y es muy frecuente y probable la presencia de sales en ellos, lo que genera una reducción en la fertilidad y productividad natural de estas tierras (Kane, 2015b).

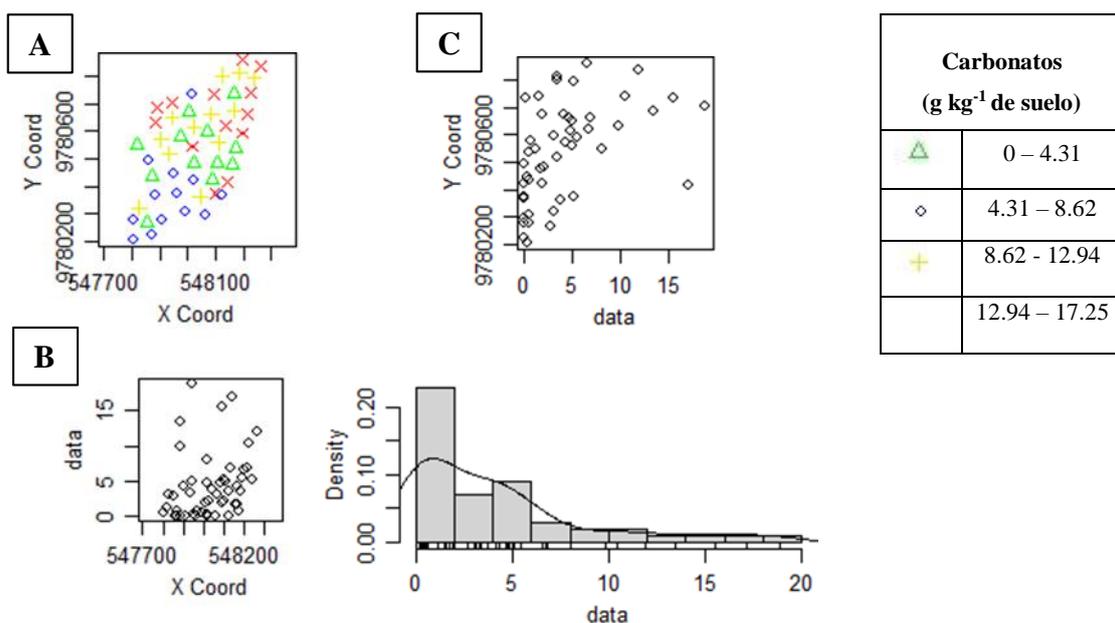
Galilea (2015) afirma que los procesos erosivos (eólico e hídrico) del suelo, es un principal indicador de la degradación de los ecosistemas y su velocidad erosiva, se relaciona con el contenido relativo de carbonatos en la parte superior del horizonte, debido a la eliminación de la capa superficial del suelo.

Las muestras de suelos recolectadas a diferentes profundidades, también corresponden a suelos de orden Vertisol, como Typic Haplotorrert, cuyas principales características,

es presentar grietas, suelos muy compactados (muy duros) y muy plásticos (Flórez M. *et al.*, 2013) y esto se debe a las alteraciones entre periodos secos y lluviosos que se dan en la cuenca del río Javita.

Estas y otras características mencionadas intervienen en la variabilidad espacial y en la distribución vertical de carbonatos totales, ya que se hallan en distintas profundidades y diferentes cantidades.

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

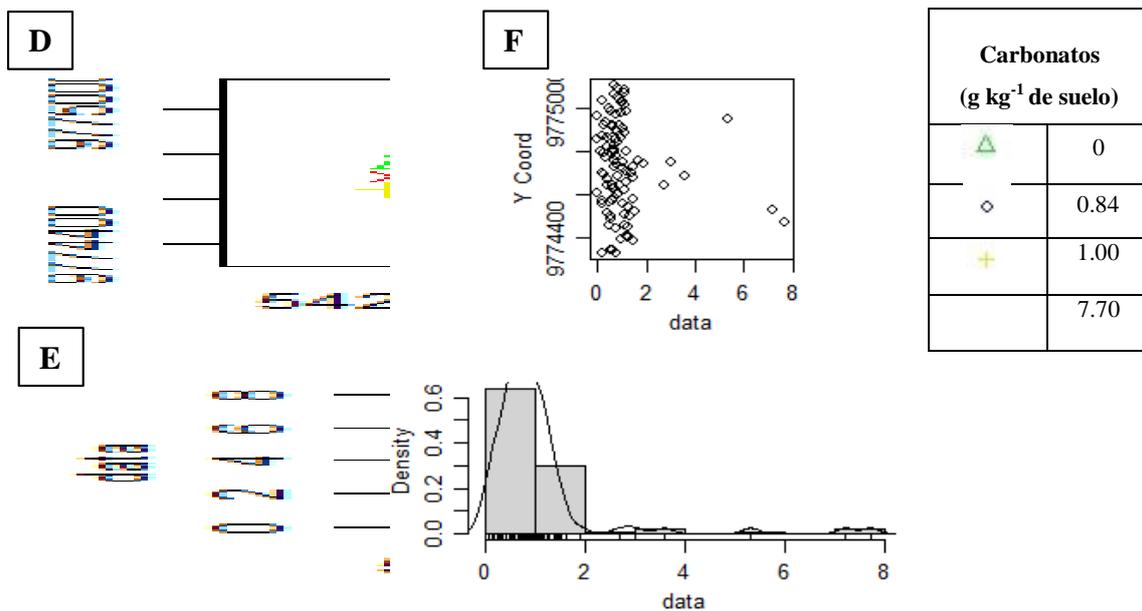


**Figura 1.** (A) Distribución espacial de carbonatos, (B) Distribución de carbonatos en el eje X y (C) Distribución de carbonatos en el eje Y, de la finca “El Chaparral”.

En la figura 1 se muestra el análisis exploratorio de la distribución espacial de los carbonatos, donde, se observa que en el eje X (B) la homogeneidad entre los valores es menor, a diferencia del eje Y (A - C) que demuestra que los valores más altos se encuentran en el norte de la finca Chaparral.

Hacia el norte de la finca se encuentran pequeñas áreas dedicadas a la producción forestal, cuyas plantaciones realizan importantes contribuciones a la estimación de carbono capturado en la biomasa terrestre y atmosférica que puede ser favorable bajo la forma de captura o desfavorable como emisión de dióxido de carbono (Ibáñez, 2007).

El CO<sub>2</sub> es un elemento determinante del clima y que en conjunto con otros gases de efecto invernadero promueven el calentamiento atmosférico (Yepes y Silveira, 2011; Burbano, 2018). Sin embargo, el CO<sub>2</sub> que proviene de actividades biológicas (microorganismos y respiración radicular) (Montani, 2000; Haynes y Mokolobate, 2001; Moreno y Asensio, 2019), en condiciones óptimas de temperatura y humedad (proporcionados por agua de lluvia o de riego), facilitan el proceso de acumulación de carbonatos edáfico (López, Díaz y González, 2018).



**Figura 2.** (D) Distribución espacial de carbonatos, (E) Distribución de carbonatos en el eje X y (F) Distribución de carbonatos en el eje Y, del área de estudio PIDAASSE.

Se observa en la Figura 2 (E – F) que los valores más bajos en g kg<sup>-1</sup> de suelo para PIDAASSE se distribuyen al sur de manera uniforme y homogénea, porque las diferentes alternativas de manejo y la dinámica del suelo (clima, agua, planta, relieve, hombre, etc.) pueden alterar drásticamente el estado natural del suelo y conducirlos a la degradación.

Este grupo incluye grandes áreas de producción de cultivos anuales y cultivos perennes, donde el exceso de riego y las altas temperaturas facilitan la acumulación de carbonatos en el suelo.

La Tabla 2 muestra los resultados del resumen estadístico del contenido de carbonato para los primeros 30cm, diferenciados por el uso y orden de suelo.

**Tabla 2.** Resumen estadístico de carbonatos en relación con el uso y orden de suelo.

General	Usos del suelo			Orden de suelo		
	Agrícola	Pecuaria	Forestal	Aridisol	Inceptisol	
<b>Total</b>	150	126	17	7	100	50
<b>Media</b>	2,06	1,58	5,4	5,40	1,02	4,13
<b>Mediana</b>	0,89	0,83	1,96	4,67	0,77	3,09
<b>Moda</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
<b>Varianza</b>	10,28	6,57	29,77	8,46	1,37	21,89
<b>Desviación Estándar</b>	3,20	2,56	5,45	2,9	1,17	4,67
<b>Valor Min.</b>	0,00	0,00	0,00	1,5	0,00	0,00
<b>Valor Max.</b>	18,89	17,13	18,89	8,95	7,7	18,89

A partir de los análisis realizados, se determinó que la presencia y distribución de carbonatos se encuentra en todas las áreas muestreadas. Los resultados indican que los valores generales oscilan en un rango de 0,0 a 18,89 g kg<sup>-1</sup> de suelo y presentan una mediana 0,89 y moda 0,0 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

Las características edafoclimáticas, la cobertura vegetal semidesértica y el uso de la tierra, son factores que permiten la acumulación de carbonatos en la superficie del suelo (Salas, 2000; Jaramillo J., 2002).

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

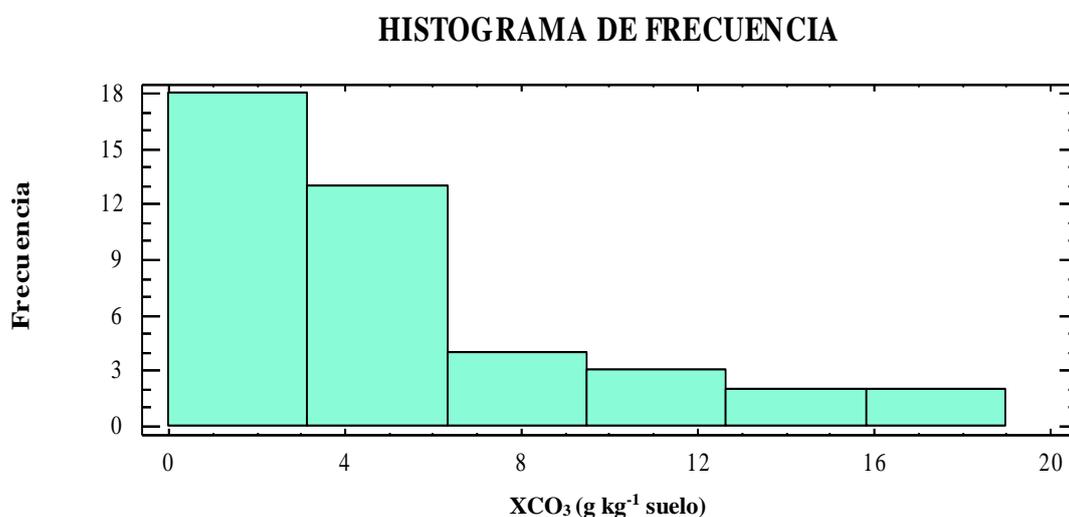
#### **3.3.1. Orden Inceptisol**

Los resultados obtenidos muestran que cerca del 52% de los valores se sitúan entre 0,00 y 3,16 g kg<sup>-1</sup> de suelo, así mismo entre 3,16 y 6,33 g kg<sup>-1</sup> representa cerca del 26%, mientras que el 8% se centra entre 6,33 y 9,5 g kg<sup>-1</sup> de suelo, sólo el 22% está entre 9,5 hasta 19 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

**Tabla 3.** Distribución de frecuencia de carbonatos en Orden de suelo: Inceptisol

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia Acumulada Relativa
1	0	0		8	0,16	8	0,160
2	0	3,16	1,58	18	0,360	26	0,520
3	3,16	6,33	4,75	13	0,260	39	0,780
4	6,33	9,5	7,91	4	0,080	43	0,860
5	9,5	12,66	11,08	3	0,060	46	0,920
6	12,66	15,83	14,25	2	0,040	48	0,960
7	15,83	19	17,41	2	0,040	50	1 000
8	19			0	0,000	50	1 000

Como se muestra en la Figura 3, los valores medios de carbonatos con mayores frecuencias se encuentran por encima de 4 g kg<sup>-1</sup> de suelo.



**Figura 3.** Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Inceptisol.

Los inceptisoles son suelos representativos de la Finca “El Chaparral”, por sus características morfológicas y propiedades físicas químicas, hacen de este suelo excelente para desarrollar actividades de interés agrario, pecuario y forestal.

Cailleau et al. (2005) indican que el pH de estos suelos está dentro de los valores típicos de suelos calizos, correspondiente a las 8,5 unidades, lo que aseguran Arricibita y García (1998) que la mayoría de estos suelos acumulan carbonato secundario sea en

mayor o menor medida, porque todo depende de las condiciones climáticas y edáficas de la localidad (Ferreira *et al.*, 2016).

El orden de suelo inceptisol, posee bajo contenido de materia orgánica y según (Toresani *et al.*, 2009) son considerados erosionables, dichos suelos son el resultado de la dinámica que existe entre la vegetación y el clima.

A medida que se intensifica la erosión, se reduce el horizonte superficial del suelo y este proceso facilita la acumulación de carbonatos (Ramírez, 2020), lo que concuerda con Ibañez *et al.* (2011), quienes agregan que los suelos inceptisoles son jóvenes, son pedregosos, poco profundos y se desarrollan en suelos erosionados que poseen relieves fuertemente ondulados, donde continuamente se elimina la parte superior (Chinchilla, Mata y Alvarado, 2011). También los manejos antrópicos en el suelo, determinan las concentraciones de los carbonatos edáficos (Richart *et al.*, 2019).

### 3.3.2. Orden Aridisol

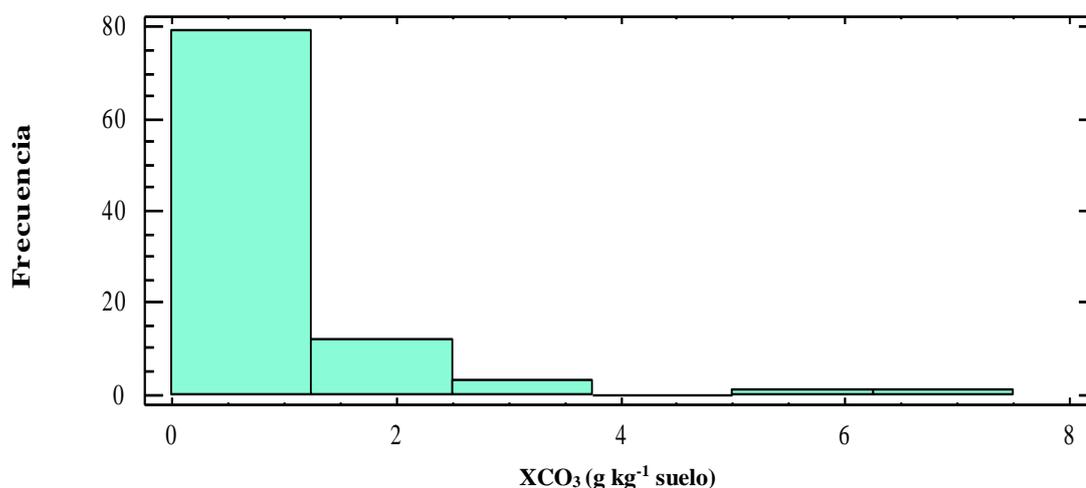
La Tabla 4 muestra que los valores de 0,00 a 1,25 g kg<sup>-1</sup> de suelo dentro de los resultados obtenidos del estudio de la distribución de frecuencia de carbonatos del orden de suelo Aridisol, constituye cerca del 82% y el 15% oscilan entre 2,5 a 3,75 g kg<sup>-1</sup> de suelo, mientras el 3% logra alcanzar valores entre 5 a 7,5 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

**Tabla 4.** Distribución de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Aridisol

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia Acumulada Relativa
1	0	0		3	0,030	3	0,030
2	0	1,25	0,625	79	0,790	82	0,820
3	1,25	2,5	1,875	12	0,120	94	0,940
4	2,5	3,75	3,125	3	0,030	97	0,970
5	3,75	5	4,375	0	0,000	97	0,970
6	5	6,25	5,625	1	0,010	98	0,980
7	6,25	7,5	6,875	1	0,010	99	0,990
8	7,5			1	0,010	100	1 000

Los valores medios del histograma de frecuencia para el orden de suelo Aridisol (Figura 4) son de 1,02 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

## HISTOGRAMA DE FRECUENCIA



**Figura 4.** Histograma de frecuencia de carbonatos en el Orden de suelo: Aridisol.

Dichos suelos representativos de PIDAASSE, tienen marcado el régimen de temperatura del suelo isohipertérmico (Águila, 2013) y un régimen de humedad del suelo árido que contribuyen a la acumulación de carbonatos en el suelo (Moreno, Ibáñez y Gisbert, 2011).

Estos suelos son limitados para la producción agrícola por el régimen de humedad que presentan y gracias al progresivo avance de la agricultura en los últimos años, ha permitido al productor usar grandes extensiones de las zonas áridas bajo condiciones de riego (Moreno *et al.*, 2011; Bouza, 2012).

En la cuenca del río Javita, se comprobó lo que citaron los autores, ya que en la zona de estudio como es el caso de la comuna San Marcos, el clima es árido y gracias al avance de la agricultura, extensas áreas de cultivos transitorios y perennes se han desarrollado bajo condiciones de riego que favorecen la acumulación de carbonatos en el horizonte superficial.

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

#### 3.4.1. Uso del suelo: Agrícola

Los datos presentados en la Tabla 5 ilustran la distribución de frecuencia de carbonatos en el uso agrícola, el 87% del total de valores están en 0,00 a 2,83 g kg<sup>-1</sup> de suelo y el 13% corresponde a valores entre 8,5 a 17 g kg<sup>-1</sup> de suelo.

**Tabla 5.** Distribución de frecuencia de carbonatos en el uso agrícola.

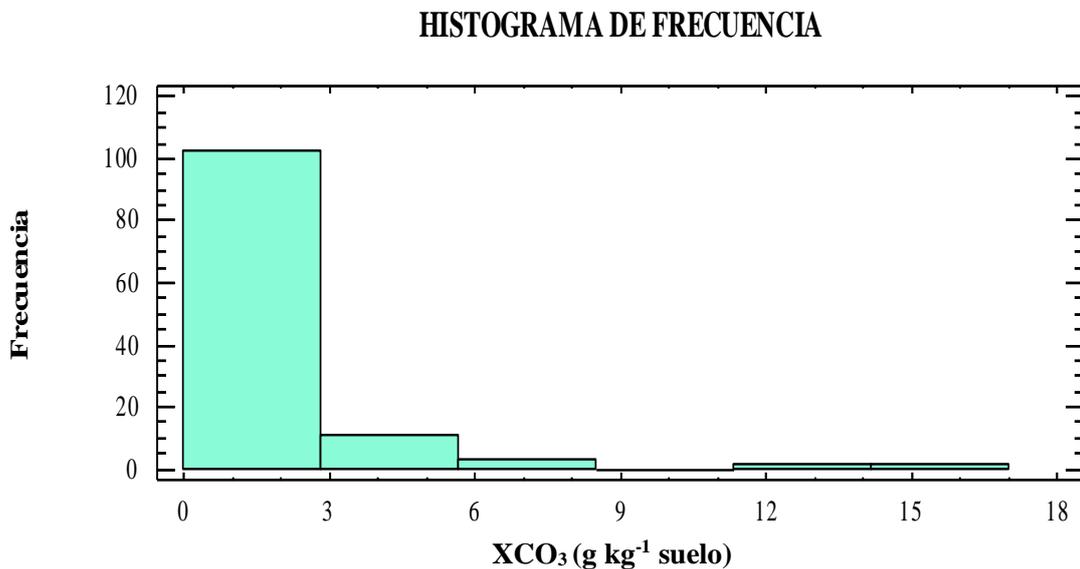
Clases	Límite inferior	Límite superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia Acumulada Relativa
1	0	0		7	0,055	7	0,055
2	0	2,83	1,41	102	0,809	109	0,865
3	2,83	5,66	4,25	11	0,087	120	0,952
4	5,66	8,5	7,08	3	0,023	123	0,976
5	8,5	11,33	9,91	0	0,000	123	0,976
6	11,33	14,16	12,75	1	0,007	124	0,984
7	14,16	17	15,58	1	0,007	125	0,992
8	17			1	0,007	126	1 000

Como se observa, en la Figura 5. los valores del histograma de frecuencia correspondiente al uso agrícola están dispersos en dos grupos determinados, el primero y de mayor frecuencia están en un punto medio de 1,41 g kg<sup>-1</sup> de suelo, así también, el segundo grupo y de menor frecuencia presenta valores desde 12,75 a 15,58 g kg<sup>-1</sup> de suelo, pues estas cantidades tienen que ver con los diferentes manejos que se aplique a los cultivos predominantes de la zona de estudio.

Como ya se había mencionado, la intervención del hombre, al cambiar el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos, genera alteraciones en las propiedades, los procesos y balance del mismo (Hernández Jiménez *et al.*, 2017), creando así condiciones favorables para la acumulación y precipitación de carbonato en el suelo.

También, Haynes y Mokolobate (2001) explican que el riego constante y las altas temperaturas de la zona contribuyen a la acumulación de carbonatos en los cultivos de ciclo corto y perennes.

Según Berhongaray (2007), el riego aumenta el contenido de carbonato en el suelo, es por esta razón que Nishanthiny *et al.* (2010), en algunos de sus estudios comenta que la principal fuente de carbonatos, es el agua de irrigación, la cual proviene de la dilución de rocas carbonatadas y se precipitan, porque los ríos contienen gran concentraciones de calcio y magnesio.



**Figura 5.** Histograma de frecuencia de carbonatos en el uso agrícola.

Los suelos que acumulan la mayor cantidad de carbonato corresponden al orden Inceptisol (ver Tabla 2). Aun cuando el orden Aridisol posee una menor superficie con respecto al orden Inceptisol, es el que posee una distribución homogénea de carbonato en los primeros 30 cm del suelo en el eje sur (ver Figura 6. E - F).

Los suelos de orden Aridisol, son representativo de la comuna San Marcos, cuyos propietarios participan en el Proyecto PIDAASSE para la habilitación de tierras de uso agrícola. En esta comuna se ha sembrado distintos tipos de cultivos desde maíz, maracuyá hasta banano y papaya, los cuales se desarrollan bajo condiciones de riego por goteo, donde se aplican grandes cantidades de agua en los primeros estadios fenológicos provocando que se laven los carbonatos existentes en la superficie del suelo. Teniendo en cuenta que las láminas de riego aplicadas por un largo período, logran que los carbonatos se lixivien a diferentes distancias del suelo (Villafañe, 2011) y de su progresiva acumulación en el suelo, se forman los horizontes cálcicos o

petrocálcicos (Díaz-Hernández, Temiño y Marchesini, 2011), estos se acumulan cuando el agua del suelo se evapora y causa la disminución de dióxido de carbono lo que conlleva que aumente el pH (Moreno, *et al.*, 2011; Bouza, 2012).

El pH en condiciones ambientales de presión y temperatura, puede facilitar la acumulación de carbonatos en el suelo (Cailleau *et al.*, 2005).

Debido a la escasa información generada con algunos estudios realizados con respecto a la calidad agronómica del agua y del suelo (Sutharsiny *et al.*, 2012) en la cuenca del río Javita y sobre todo en las áreas estudiadas, siendo la agricultura, la principal actividad económica, es importante la generación de conocimientos que garanticen un adecuado manejo de los recursos agrícolas de la zona.

Hasta el momento, el tipo de suelo condiciona en gran medida la producción en cantidad y calidad del cultivo (Arricibita y Garcia, 1998). Por lo que la presencia y distribución variará de acuerdo con el tipo de manejo que cada cultivo reciba.

### 3.4.2. Uso del suelo: Conservación forestal

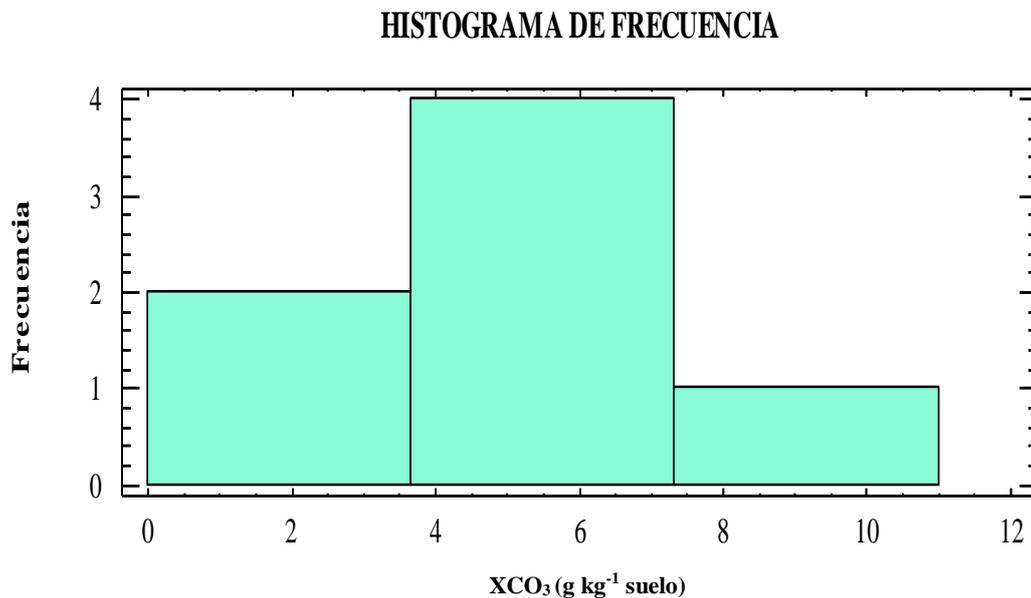
Los valores obtenidos para el uso de conservación forestal indican que el 29% está entre 0,00 a 3,66 g kg<sup>-1</sup> de suelo, el 57% parte de 3,66 a 7,33 g kg<sup>-1</sup> de suelo y alrededor 14% es mayor que 7,33 g kg<sup>-1</sup> de suelo (Tabla 6).

**Tabla 6.** Distribución de frecuencia de carbonatos en el uso de conservación forestal.

Clases	Límite inferior	Límite superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia Acumulada Relativa
1	0	0		0	0,000	0	0,000
2	0	3,66	1,83	2	0,285	2	0,285
3	3,66	7,33	5,5	4	0,571	6	0,857
4	7,33	11	9,16	1	0,142	7	1000
5	11			0	0,000	7	1000

Esto se debe, fundamentalmente, que bajo ciertas condiciones climáticas de la cuenca del río Javita, se hallan especies arbóreas que son usadas a gran escala para la producción de carbón vegetal y entre otros usos (Rodríguez, 2014).

Asimismo, los cambios que se generan en los ecosistemas forestales, tales como agrosilvicultura, forestación, reforestación, deforestación y quema (Mataix, 1999), inciden directamente en la acumulación y distribución de carbonatos en los primeros 30 cm de suelo (Figura 6). Un ejemplo de eso es, la comuna Las Balsas, donde se ha implementado un modelo de desarrollo agroforestal - autosustentable.



**Figura 6.** Histograma de frecuencia de carbonatos en el uso de conservación forestal.

En este sentido, dado que los bosques, actúan como sumideros de carbono y que así como almacenan este componente en su biomasa arbórea, asimismo lo hacen en el suelo (Vela, 2009; Chimbo, 2016) por medio de la acumulación de la materia orgánica.

Ahora bien, los terrenos forestales que sufren una lenta descomposición, por causa de deforestación/reforestación o hasta quema de la biomasa, etc., pueden dar lugar a la liberación de bióxido de carbono a la atmósfera, esto ocasiona, que ocurran cambios en el ciclo del carbono, generando, un profundo desequilibrio en el clima (Vela, 2009; Thiers *et al.*, 2014).

Si bien es cierto que el carbono del suelo puede hallarse en forma orgánica e inorgánica (Ayala, 2018; Burbano, 2018) y mediante el uso de diversos métodos de forma estable (Vela, 2009), se puede estimar la cantidad total, tanto de carbono orgánico como carbono inorgánico, ya que la degradación que sufre una gran parte del carbono

orgánico produce carbono inorgánico (Torn *et al.*, 1997) y se debe a que las partículas son muy sensibles a los cambios en el uso de la tierra. (Hodgson, 1987) afirma que la forma más común en que se presenta el carbono inorgánico es en carbonatos.

### 3.4.3. Uso del suelo: Pecuario

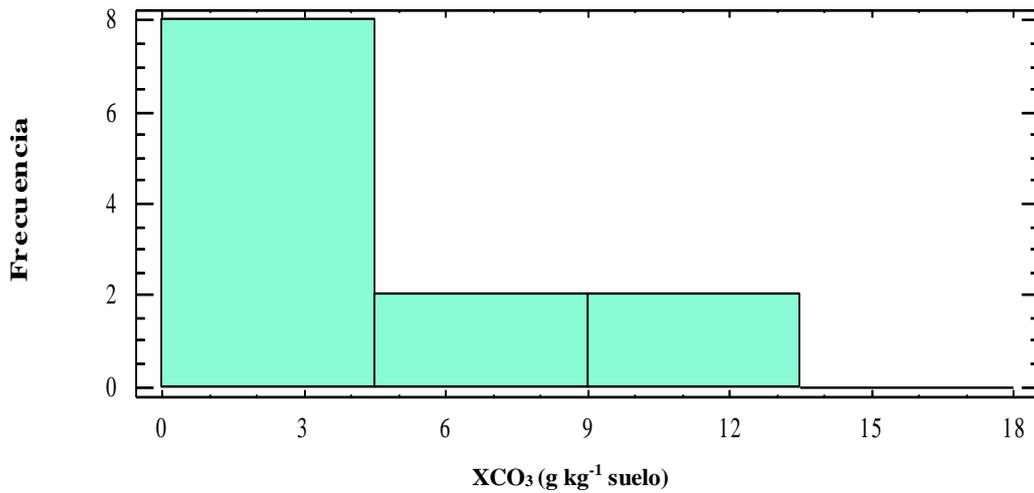
El 87% corresponde a valores de 0,00 a 4,5 g kg<sup>-1</sup> de suelo y el 13% enmarca valores de 9 a 18 g kg<sup>-1</sup> de suelo, tal como se aprecia en la Tabla 7. de distribución de frecuencia para el uso pecuario.

**Tabla 7.** Distribución de frecuencia de carbonatos en el uso pecuario.

<b>Clases</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 Acumulada Relativa</b>
<b>1</b>	0	0		4	0,235	4	0,235
<b>2</b>	0	4,5	2,25	8	0,471	12	0,706
<b>3</b>	4,5	9	6,75	2	0,118	14	0,824
<b>4</b>	9	13,5	11,25	2	0,118	16	0,941
<b>5</b>	13,5	18	15,75	0	0,000	16	0,941
<b>6</b>	18			1	0,059	17	1000

Se observó que el uso pecuario influye sobre la presencia y distribución de carbonatos, ya que los valores obtenidos se ubican por encima de un punto medio de 2,25 g kg<sup>-1</sup> de suelo (Figura 7).

## HISTOGRAMA DE FRECUENCIA



**Figura 7.** Histograma de frecuencia de carbonatos en el uso pecuario.

Con base a la relación que existe entre la compactación del suelo y la actividad pecuaria, Ramírez (2020), concuerda que este factor disminuye la capacidad de infiltración del agua en el suelo y que consecuentemente, produce la acumulación de carbonatos en el horizonte superficial.

Lo antes expuesto concuerda con lo expresado por Laureda *et al.*, (2016), que factores tales como la intervención del hombre y los procesos geoquímicos, pueden ocasionar compactación del suelo, este efecto disminuye el volumen ocupado por los poros del suelo y la conductividad hidráulica cambia durante este problema, existiendo una mayor impermeabilidad (Abecasis, 1987) en el suelo.

Por otra parte, las áreas estudiadas en el proyecto de investigación referente con la cuenca del río Javita, se identificó que la finca “El Chaparral” se dedican a la actividad ganadera (Tigrero, 2015); de igual manera (Gomis, 2016) señala que las pezuñas de los animales actúan como un arado natural, pero también, rompe las costras del suelo, impidiendo la infiltración del agua y el crecimiento de nuevos brotes.

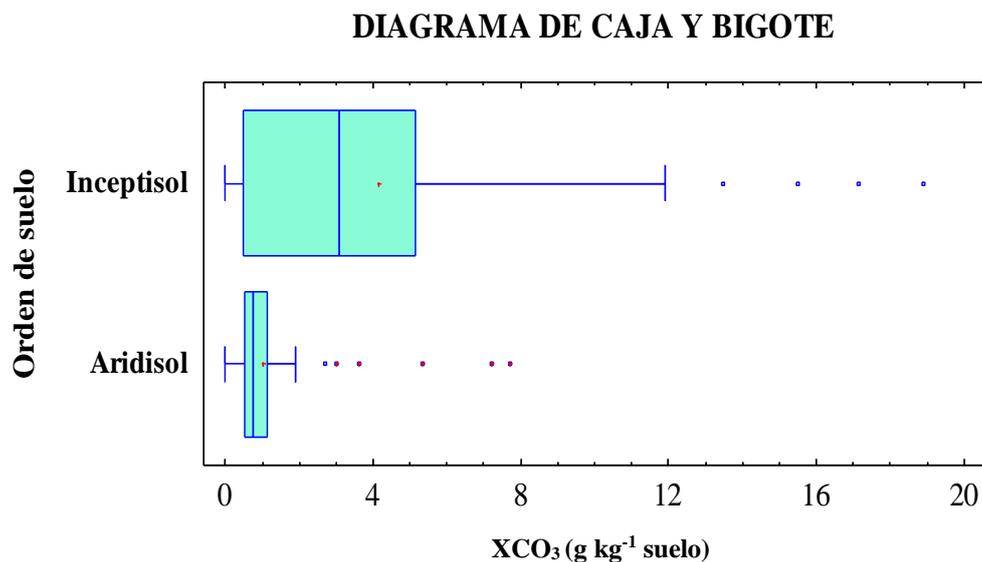
### 3.5. Prueba de contraste para los órdenes y usos de suelo

El análisis de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre los órdenes de suelo con un 95% de confianza (Tabla 8).

**Tabla 8.** 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	p<0.05
Inceptisol	50	4,14	3,09	4,68	0,00015
Aridisol	100	1,02	0,77	1,17	

El diagrama de caja de bigote viene reflejado en la siguiente Figura 8, en el que se usa la prueba Kruskal Wallis para contrastar las diferencias entre los órdenes de suelo. El 50% de los valores en el orden Inceptisol corresponden entre 3 a 5 g kg<sup>-1</sup> de suelo y para el orden Aridisol los valores se hallan en 0 y 1 g kg<sup>-1</sup> de suelo.



**Figura 8.** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los Órdenes de suelo.

Es evidente que los procesos erosivos que se han dado en la parte alta de la cuenca, donde predominan los suelos de tipo Inceptisol, presentaron una alta cantidad de carbonatos en los primeros 30 cm del suelo. A diferencia del orden Aridisol, que se

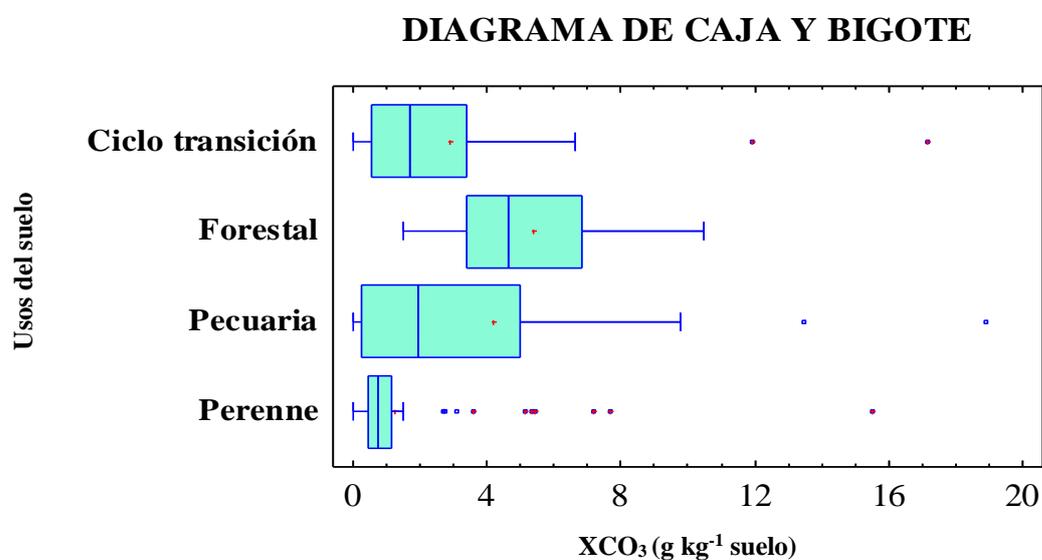
encuentran en la parte baja del valle, cuyas condiciones climáticas y propiedades del suelo, hacen posibles la acumulación de carbonatos en el horizonte superficial.

Así como se observó una diferencia significativa entre los órdenes del suelo, se debe tener en cuenta que, para los usos del suelo, también, existe una diferencia significativa, con una probabilidad ( $p < 0,00023$ ) tal como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Prueba de Kruskal-Wallis para los usos del suelo en una profundidad de 0 a 30 cm.

Usos	N	Media	Mediana	Desviación estándar	$p < 0.05$
Ciclo Transición	26	2,92	1,71	3,91	0,00023
Forestal	7	5,40	4,67	2,91	
Pecuaria	17	4,18	1,96	5,4562	
Perenne	100	1,24	0,77	1,96	

Gracias al análisis de Kruskal-Wallis, se obtuvo el diagrama de caja y bigote para el uso de suelo (Figura 9), donde el uso agrícola, que engloba a cultivos de transición y perennes, parte de 0 a 1 hasta 3 g kg<sup>-1</sup> de suelo, mientras el 50% de los valores en el uso forestal está comprendida en 7 g kg<sup>-1</sup> de suelo y para el uso pecuario es de aproximadamente, 5 g kg<sup>-1</sup> de suelo.



**Figura 9.** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de carbonatos en los usos de suelo.

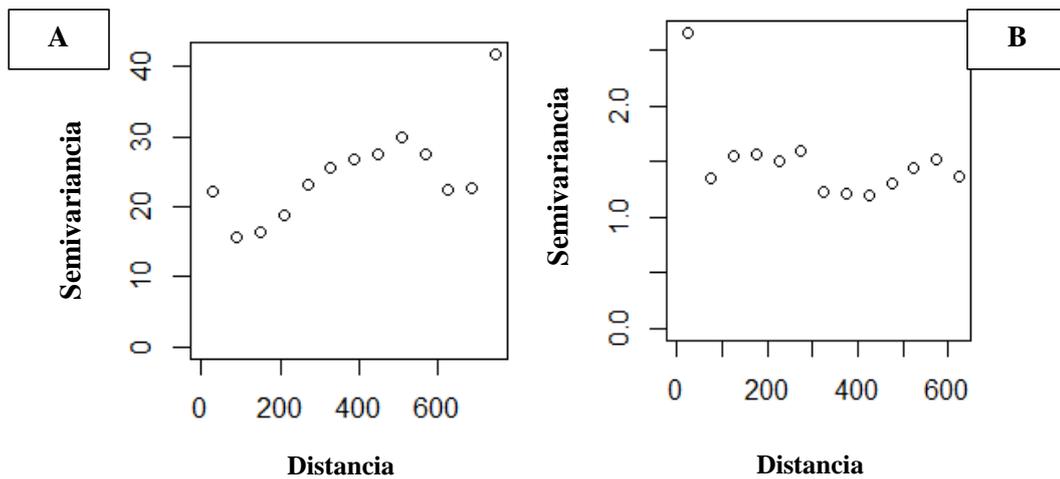
Los suelos de uso agrícolas (cultivos de transición y perennes) no consiguen valores de carbonatos superiores al 5%, por lo cual no se los considera perjudiciales para los cultivos, lo que afirma Ferreira *et al.* (2016) que valores mayores de 35% podrían ser considerados perjudiciales para el suelo y la plantas, porque la acumulación de carbonatos influyen en las características químicas del suelo como el pH, la amortiguación del suelo, la CIC y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, sobre todo, en la asimilación de determinados elementos como el P, Fe, Mg y B (Montañes y Heras, 1970).

Por otra parte, la presencia de carbonatos activos interfiere entre otros cationes impidiendo su retención y absorción en las plantas (Ramírez, 2020).

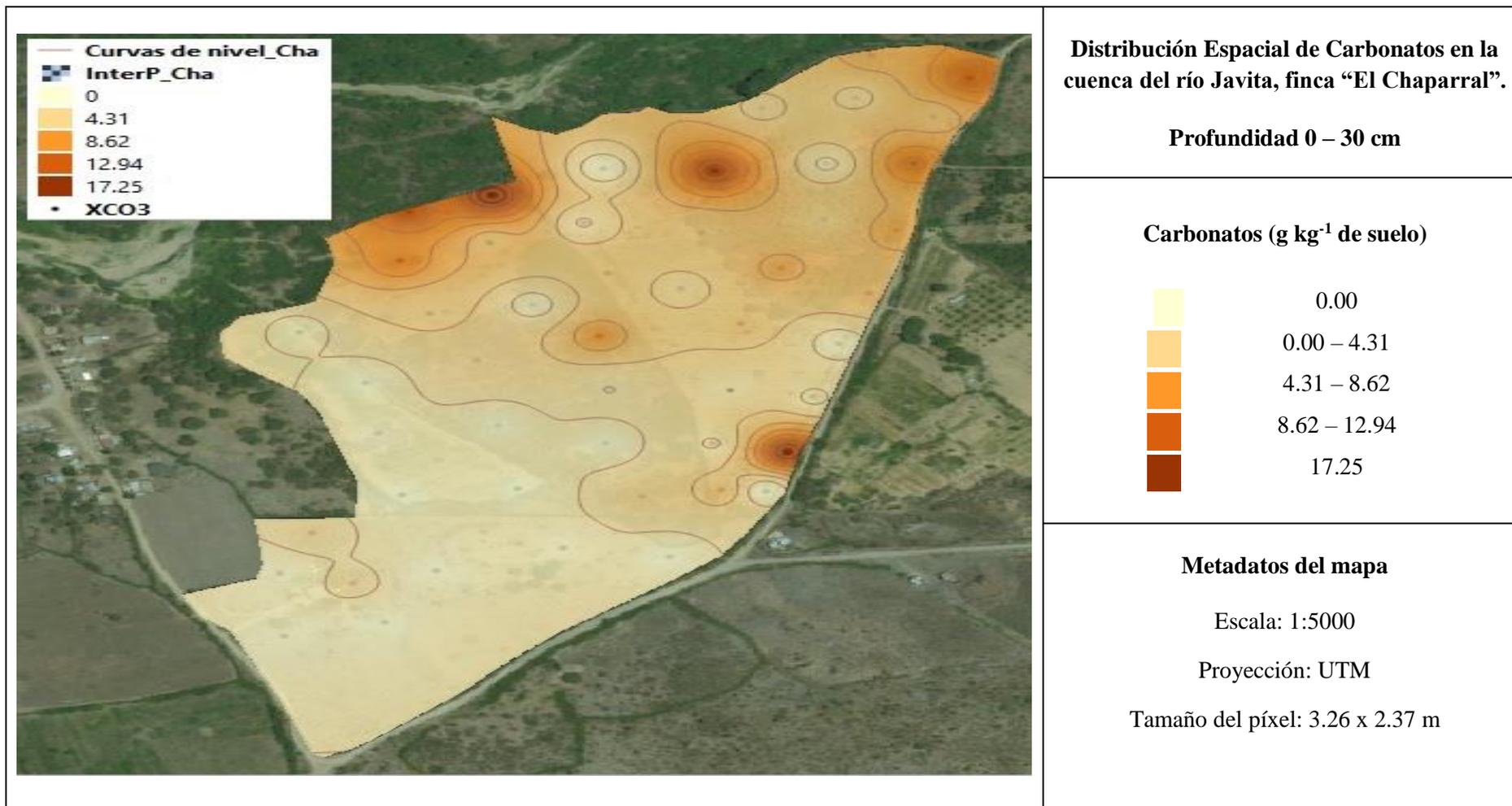
Por debajo de los suelos forestales de ambientes tropicales secos que han sido regenerados, se pueden topa con un horizonte mólico, los cuales se relacionan estrechamente con el orden Inceptisol, por ende, existe una gran diferencia con el resto de los suelos bajo producción, sea agrícola o ganadera (Ramírez, 2020), a pesar de conocer el tiempo de explotación del área, es casi probable determinar las diferencias para la distribución espacial de carbonatos edáficos en la cuenca del río Javita.

### **3.6. Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad**

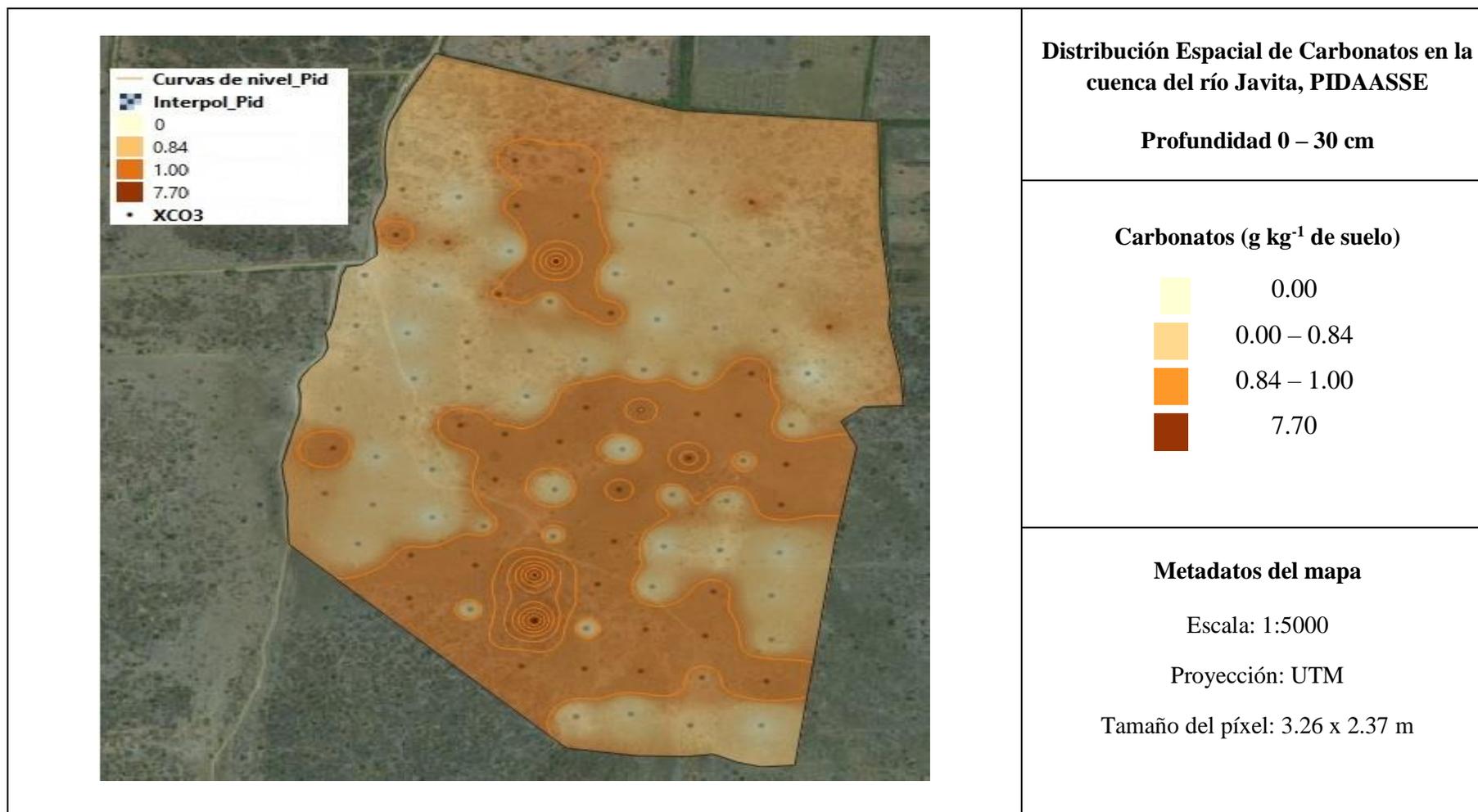
La Figura 10, muestra el semivariograma experimental de carbonatos, tanto de la finca “El Chaparral” como PIDAASSE, donde se observa que no hay estructura espacial, cuyo comportamiento permite evaluar la calidad con el método de interpolación (IDW) para la generación de los mapas temáticos (Cabrera *et al.*, 2015), este método radica en la ausencia de correlación espacial entre las observaciones y siendo la media el mejor estimador en este estudio.



**Figura 10.** Semivariograma experimental de carbonatos: (A) Finca "El Chaparral" y (B) PIDAASSE, en la cuenca del río Javita.



**Figura 11.** Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad de la finca “El Chaparral”.



**Figura 12.** Mapa temático de carbonatos a 30 cm de profundidad de PIDAASSE.

Se puede observar en el mapa temático de carbonatos para finca “El Chaparral” (ver Figura 11) que los valores más representativos ( $17.25 \text{ g kg}^{-1}$  de suelo) se localizan en la zona de bosque seco tropical. Mientras la Figura 12, demuestra que PIDAASSE posee valores de  $7.70 \text{ g kg}^{-1}$  de suelo, los cuales se distribuyen por casi toda el área de producción agrícola.

(Andrades, *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2016) expresan que los porcentajes de carbonatos que oscilan entre 35 – 40, son contraproducentes para las plantas, ya que actúan como antagonista de microelementos y como consecuencia las plantas tienen problemas nutricionales, son susceptibles a contraer enfermedades y hasta dejar de ser productivas.

### 3.7. Análisis de la estructura vertical y estadística de carbonatos en diferentes profundidades

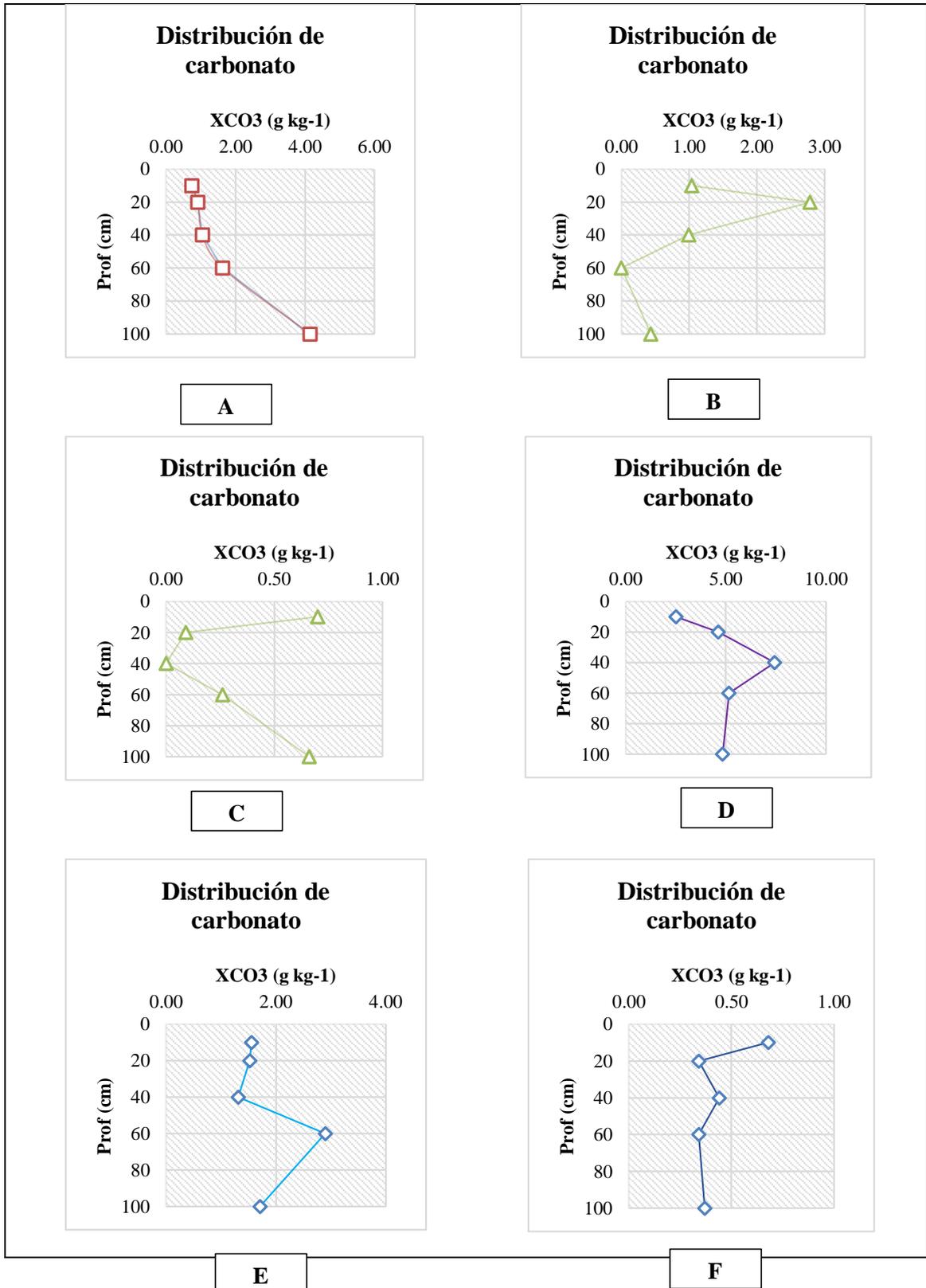
La prueba de Friedman para el análisis de carbonatos a diferentes profundidades se presenta en la Tabla 10. De manera que el análisis de Friedman determinó una significancia de  $p > 0,050$ . Por lo cual, no aparecieron diferencias significativas para la acumulación de carbonatos a diferentes profundidades de la cuenca del río Javita.

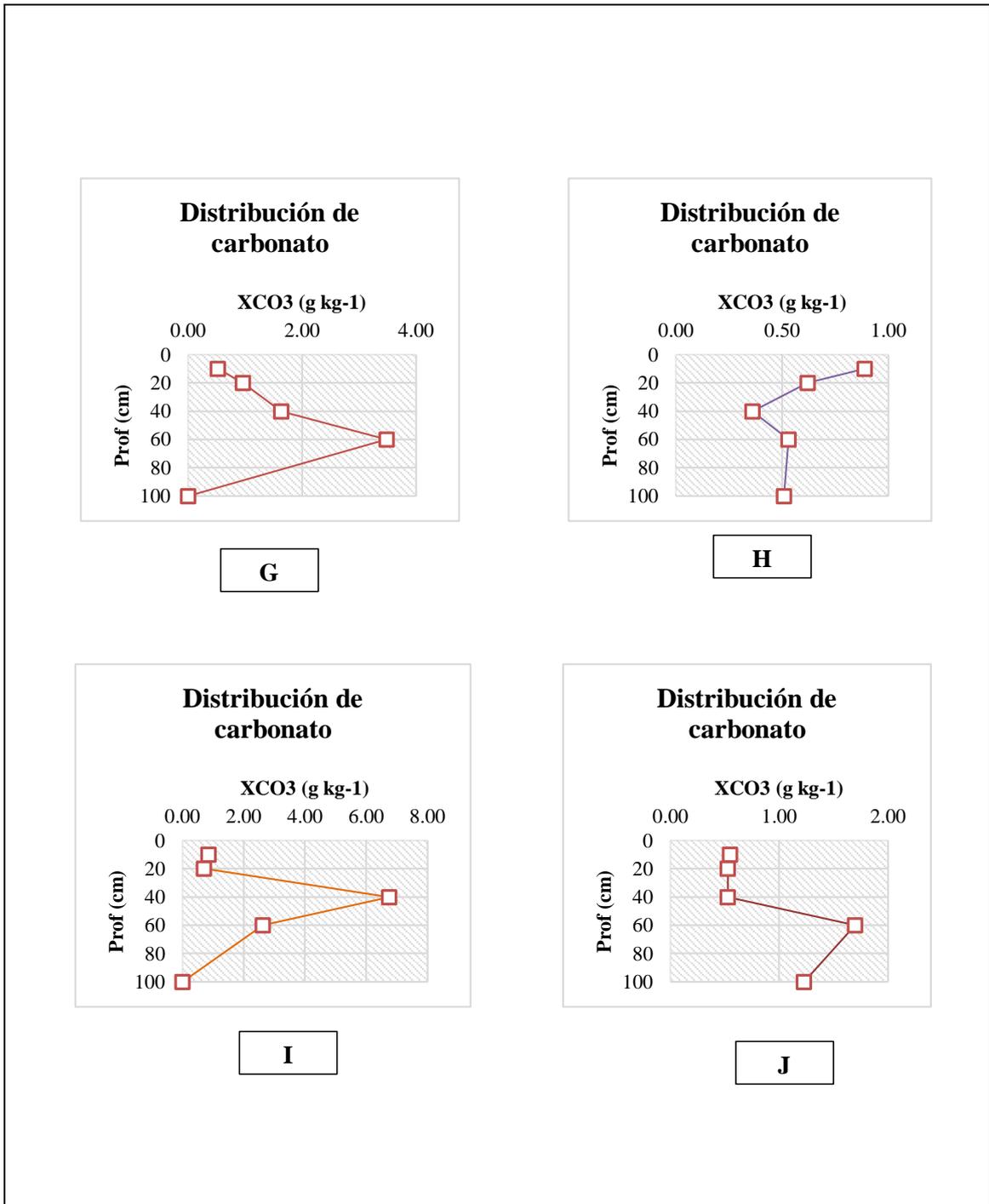
**Tabla 10.** Prueba de Friedman para el análisis de carbonatos a diferentes profundidades.

Profundidad	Suma	Media	N	
0 – 10 cm	134,50	3,36	40	A
10 – 20 cm	114,00	2,85	40	A
20 – 40 cm	109,50	2,74	40	A
40 – 60 cm	128,00	3,21	40	A
60 – 100 cm	113,50	2,84	40	A

Se observa en los diagramas de dispersión, el comportamiento de los carbonatos a un metro de profundidad en la zona de bosque seco natural de los sitios promisorios pertenecientes de la cuenca del río Javita.

En general, las figuras 13, 14, 15 y 16, muestran que la distribución del contenido de carbonato es asimétrico en profundidad, es decir, existe una mayor acumulación en la parte superficial de cada muestra, la cual varía a medida que profundiza (Bouza, 2012).

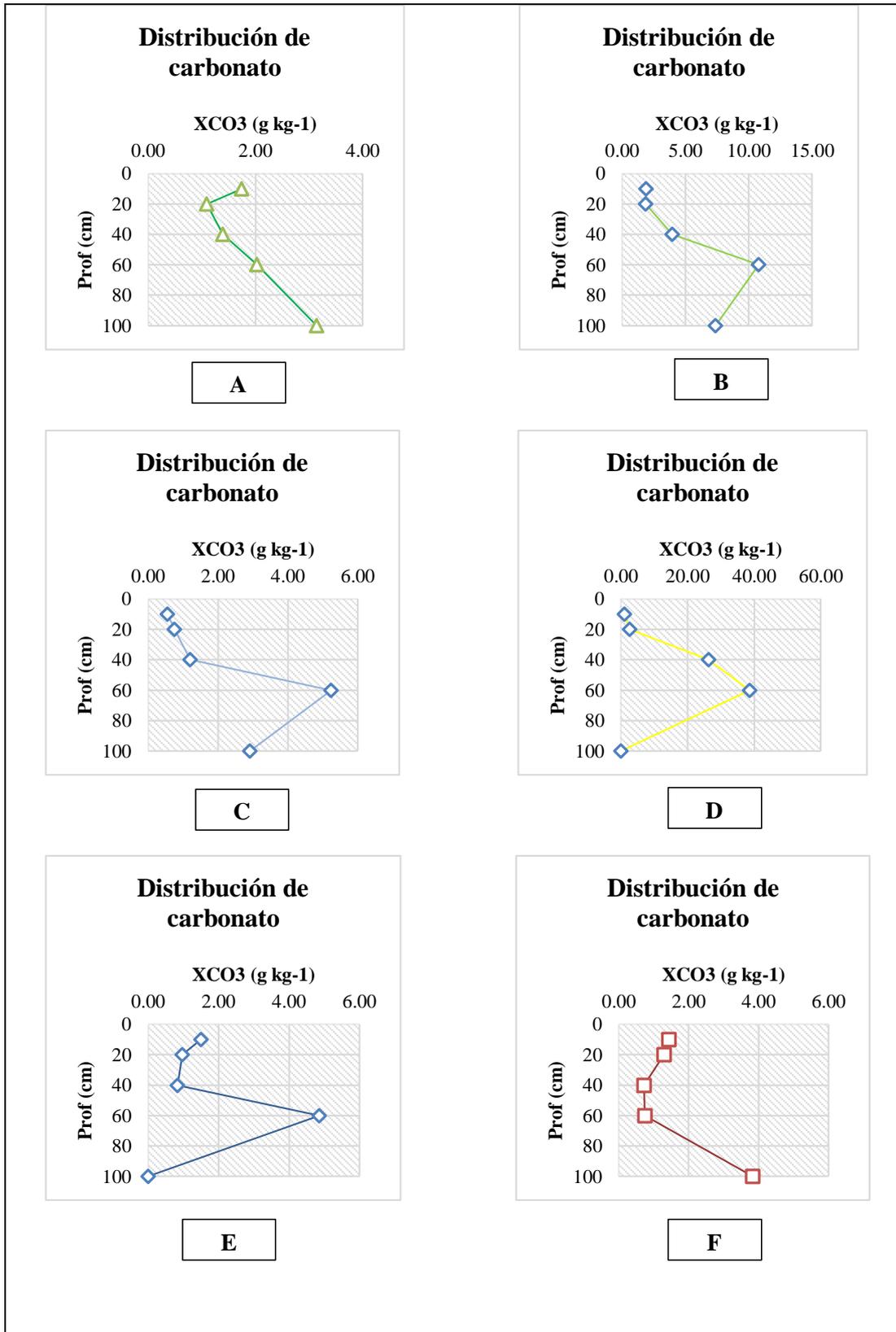


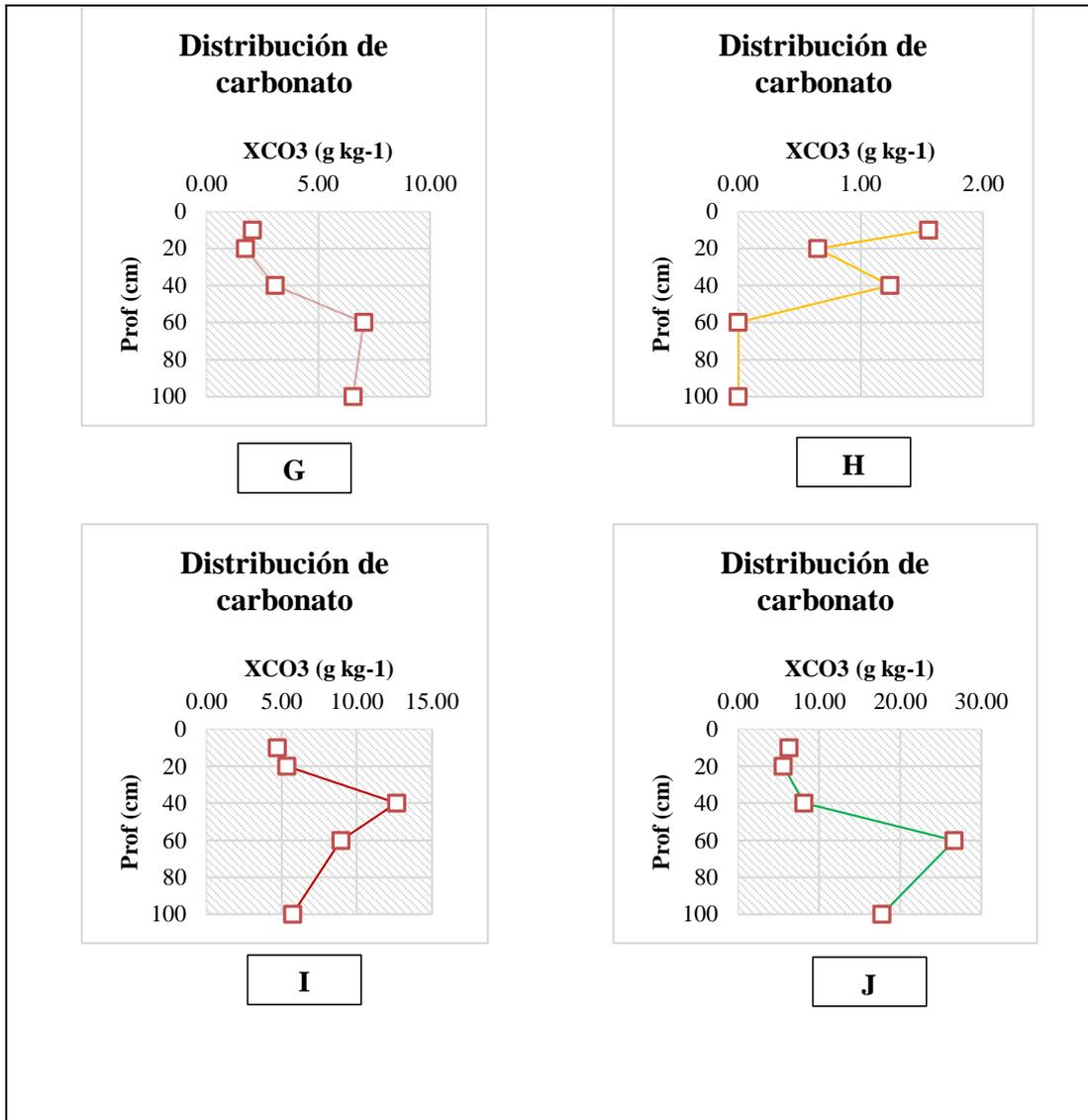


**Figura 13.** Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural de la comuna San Marcos, cuenca del río Javita.

Como se aprecia en la Figura 13, los suelos aridisoles, suborden Cambids están presentes en las zonas áridas y semiáridas de la cuenca, las cuales pueden acumular carbonato (Mazuela, 2013), desde la superficie hasta los 100 cm (Moreno, Ibáñez y Gisbert, 2011), como resultado de las bajas precipitaciones y excesiva

evapotranspiración (Ayala, Maya Delgado y Troyo Diéguez, 2018) durante la mayor parte del año (Berhongaray, 2007).

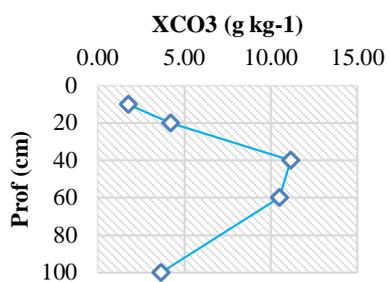




**Figura 14.** Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural del valle Javita, cuenca del río Javita.

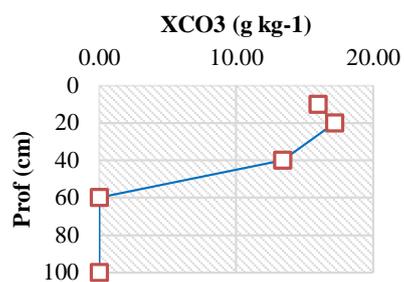
Por lo consiguiente, los suelos vertisoles del subgrupo Typic haplotorrerts (Figura 14), que son ricos en arcilla, se encuentran en suelos de climas semiáridos hasta subhúmedos relativamente seco (López *et al.*, 2010), es propio del valle Javita, cuya vegetación nativa se desarrolla en matorrales, sabanas, bosques maderables y pastizales (Quintana, 2015), lo que indica que la formación de carbonatos secundarios en el suelo, tanto superficial como en profundidad, resulte de un deslizamiento de materiales y agua de la parte más alta del relieve hacia la parte baja de la terraza (Bernal *et al.*, 2015).

### Distribución de carbonato



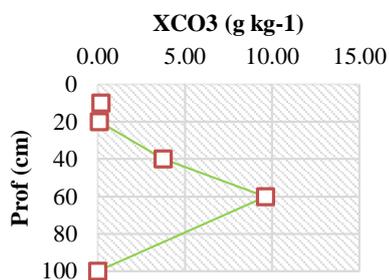
A

### Distribución de carbonato



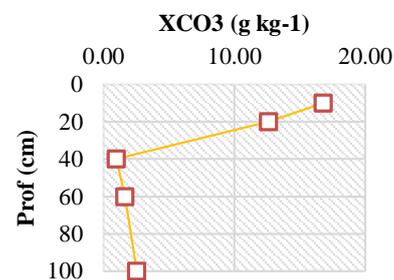
B

### Distribución de carbonato



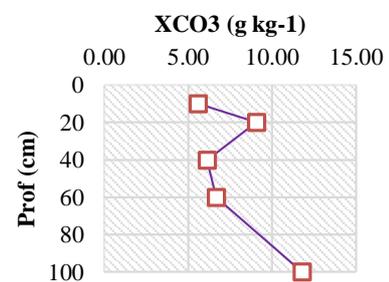
C

### Distribución de carbonato



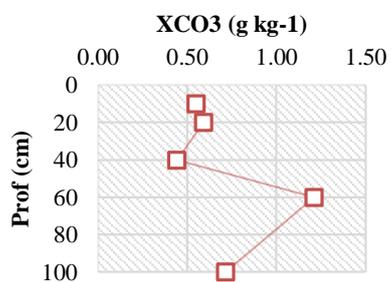
D

### Distribución de carbonato

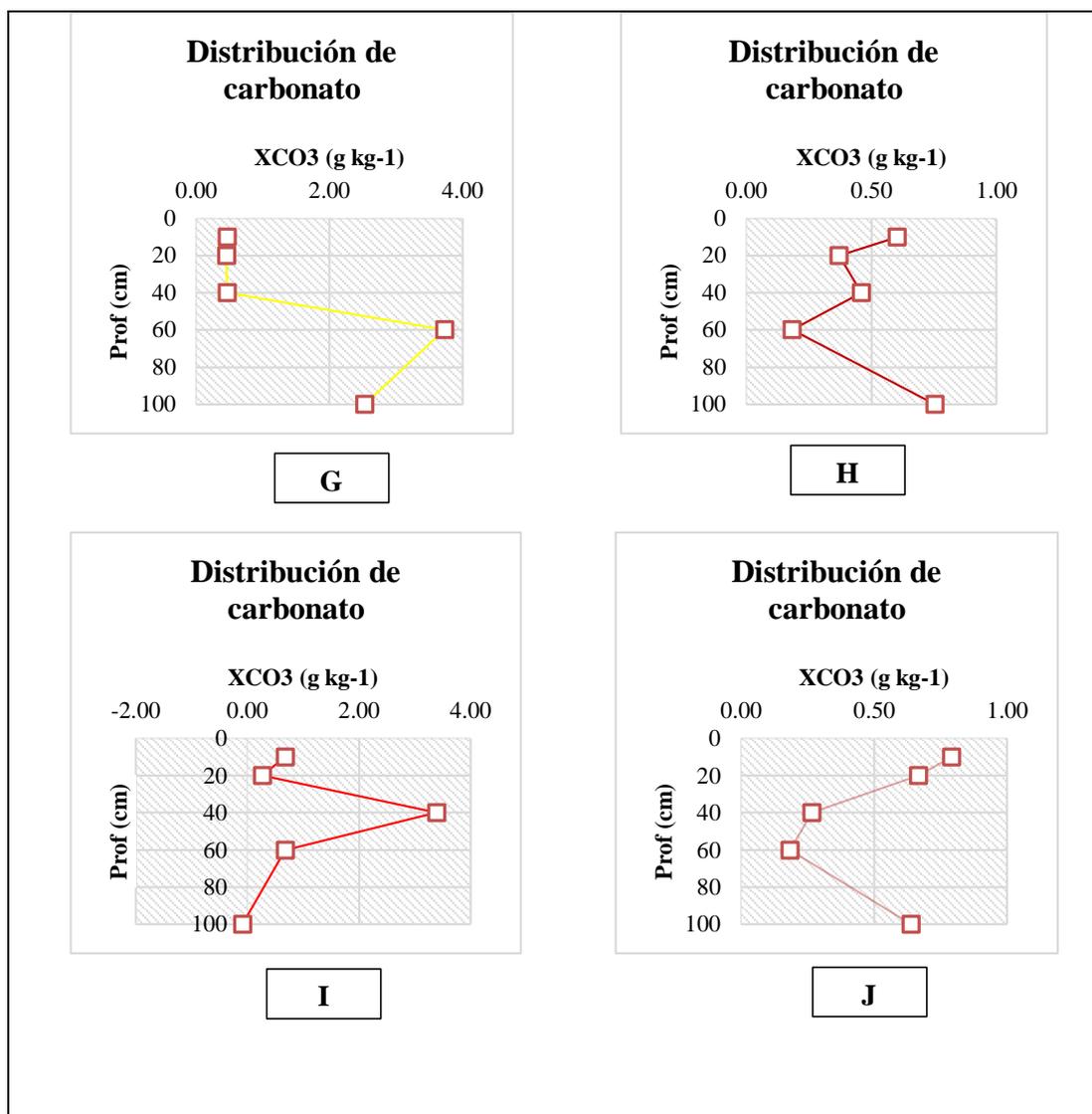


E

### Distribución de carbonato



F

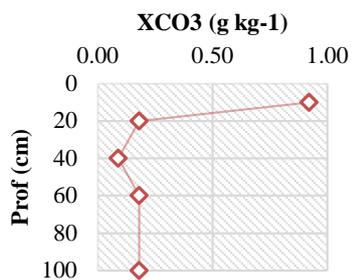


**Figura 15.** Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural del sector Clementina, cuenca del río Javita.

En las Figuras 15 y 16 se ilustra el comportamiento vertical de carbonatos a diferentes profundidades, ambos sitios presentan suelo de orden inceptisol, suborden Fluvents, subgrupo Fluventic Haplustepts (Clementina) y Fluventic Eutrudepts (Las Balsas).

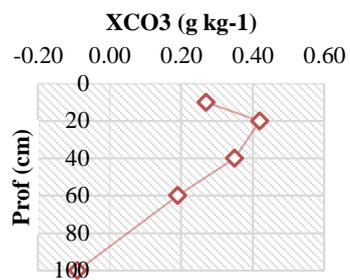
Estos suelos son jóvenes y la cantidad de carbonatos es menor a diferencia de los suelos viejos que poseen una progresiva acumulación de carbonatos (Díaz-Hernández, Temiño y Marchesini, 2011).

### Distribución de carbonato



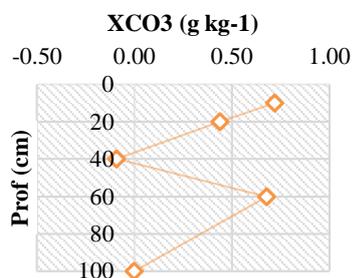
A

### Distribución de carbonato



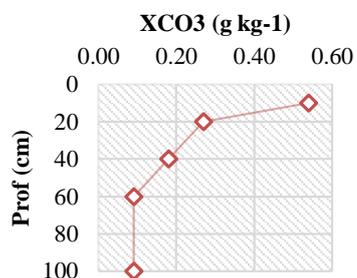
B

### Distribución de carbonato



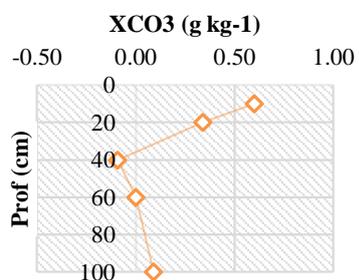
C

### Distribución de carbonato



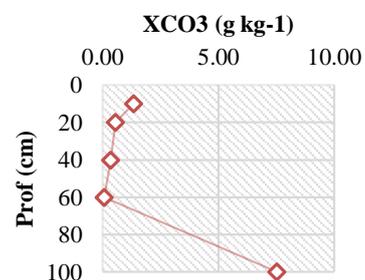
D

### Distribución de carbonato

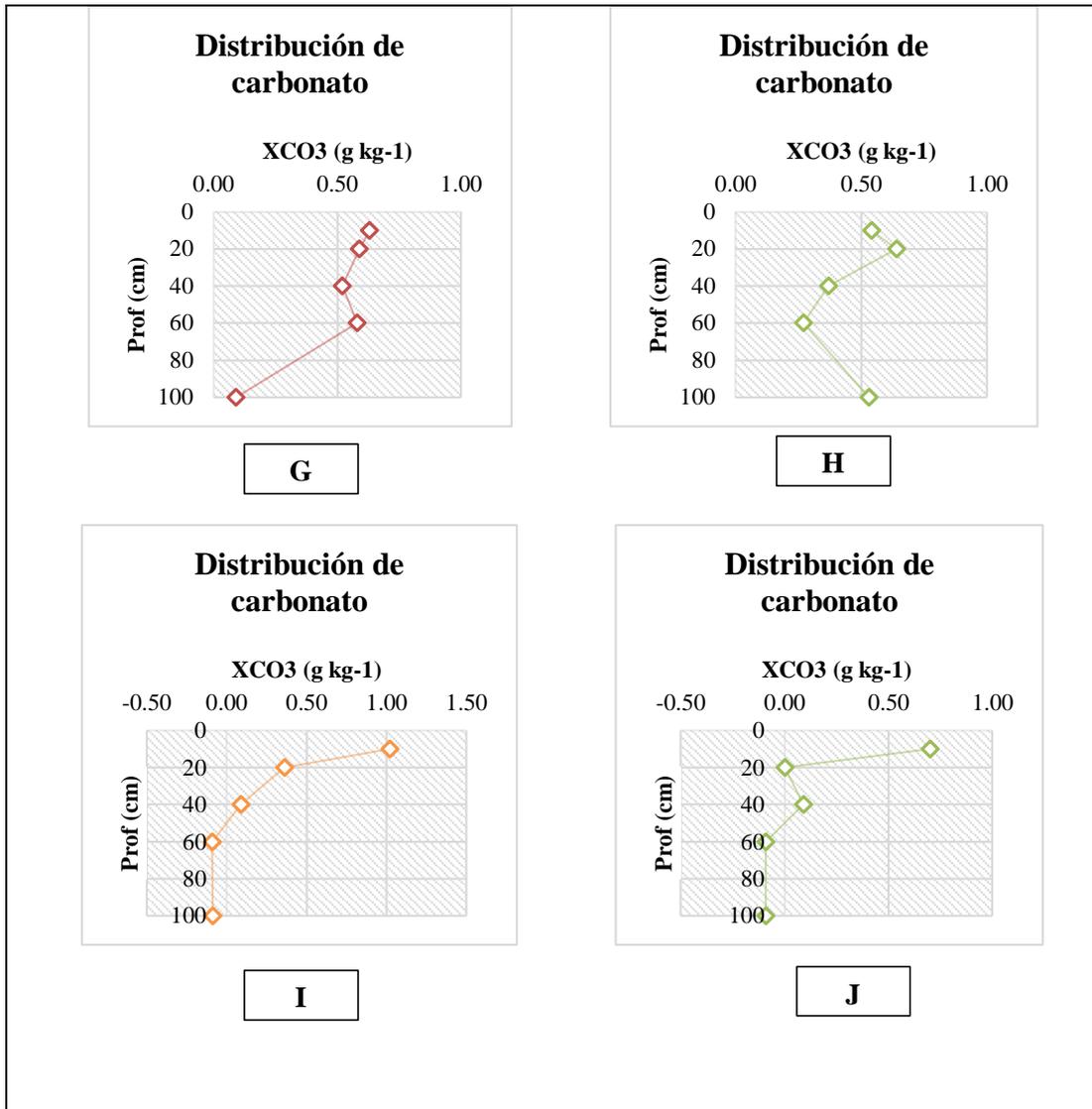


E

### Distribución de carbonato



F



**Figura 16.** Diagrama de dispersión: distribución vertical de carbonatos, en profundidad: 10, 20, 40, 60 hasta 100 cm, en el bosque seco natural del sector las Balsas, cuenca del río Javita.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- Los carbonatos no constituyen un problema para los cultivos presentes en la cuenca del río Javita.
- Existen diferencias significativas para la variable orden del suelo, con una marcada influencia del uso del suelo.
- En los análisis realizados dentro del uso del suelo, se encontraron diferencias significativas, con valores más elevados en la zona conservada de bosque seco tropical, lo que se atribuye a la influencia del riego que facilita el lavado de los carbonatos presentes en el perfil del suelo.
- La distribución de carbonatos en profundidad en la zona de bosque seco natural muestra una relación con las características topográficas, edafoclimáticas y vegetativas del sitio.
- En el mapa temático de la finca “El Chaparral” se muestra la distribución espacial de los carbonatos en los primeros 30 cm de profundidad, donde se constata una distribución uniforme en la parte norte de la finca.
- A través del mapa temático elaborado para el área de PIDAASSE, se observa la distribución espacial uniforme de carbonatos en el eje sur de la localidad.

### **Recomendaciones**

- Todas las muestras de suelo deben ser correctamente nombradas, clasificadas y registradas, que posibiliten su identificación.
- Se sigan realizando investigaciones referentes en la región sobre estos temas, con el fin de generar y recopilar información que aún es escasa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecasis, J. (1987) *Sistematización de los medios de compactación y su control*. Available at: <http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/otras/pdfs/compactacion.pdf>.
- Águila, M. and Carolina, P. (2013) 'Agricultura en zonas áridas y semiáridas', *Idesia (Arica)*, 31(2), pp. 3–4. doi: 10.4067/S0718-34292013000200001.
- Andrade, P. R. V. and Ortiz, C. T. (2020) 'Agua en territorios comunales: gestión del riego en el valle del río Javita, provincia de Santa Elena', *Siembra*, 7(1), pp. 027–042. doi: 10.29166/siembra.v7i1.1865.
- Andrades, M. and Martínez, M. E. (2014) *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. 3ª. Logroño.
- Andrades, M., Moliner, A. and Masaguer, A. (2015) *Prácticas de edafología: métodos didácticos para análisis de suelos*. Logroño, España: Universidad de La Rioja.
- Arricibita, J. and Garcia, I. (1998) *Inceptisoles dedicados al cultivo de Tabaco en Navarra*. Available at: <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo5/a163t.htm> (Accessed: 12 November 2020).
- Ayala, F. (2018) *FLUJOS Y ALMACENES DE CARBONO EDÁFICOS EN UN ECOSISTEMA ÁRIDO DEL NOROESTE DE MÉXICO: UN ENFOQUE MULTIESCALAR*. CiB. Available at: [http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1727/ayala\\_f.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1727/ayala_f.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Ayala, F., Maya Delgado, Y. and Troyo Diéguez, 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.
- Berhongaray, G. (2007) *Carbono en suelos pampeanos: efectos de la vegetación y el uso*. Universidad Nacional de La Pampa. Available at: [ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2010BerhongarayGonzalo.pdf](http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2010BerhongarayGonzalo.pdf).
- Bernal, A. *et al.* (2015) 'Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia La Habana', *Cultivos Tropicales*, 36(2), pp. 30–40.
- Bouza, P. J. (2012) 'Génesis de las acumulaciones de carbonatos en aridisoles nordpatagónicos: su significado paleopedológico', 69(2), pp. 300–315.

- Burbano, H. (2018) 'El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático', *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), p. 82. doi: 10.22267/rcia.183501.85.
- Burgos Vera, B. and Suárez Rodríguez, O. (2017) 'Déficit agroalimentario de la provincia de Santa Elena', *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(2). doi: 10.26423/rctu.v4i2.267.
- Cabadas Baéz, V. *et al.* (2016) 'Carbonatos secundarios en las calcretas del noreste de la península de Yucatán: formas, procesos e implicaciones en la pedogénesis de geosistemas cársticos.', 36(2), p. 17.
- Cabrera Alfonso, J. R. *et al.* (2015) 'Distribución espacial de la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para el riego', *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), pp. 13–21.
- Cailleau, G. *et al.* (2005) 'Biologically induced accumulations of CaCO<sub>3</sub> in orthox soils of Biga, Ivory Coast', *CATENA*, 59(1), pp. 1–17. doi: 10.1016/j.catena.2004.06.002.
- Calcimeter - Laboratory equipment | Eijkelkamp* (2018). Available at: <https://en.eijkelkamp.com/products/laboratory-equipment/calcimeter.html> (Accessed: 15 August 2019).
- Calvache Ulloa, A. (2015) 'Los suelos del Ecuador', in. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/301701400\\_los\\_suelos\\_del\\_ecuador](https://www.researchgate.net/publication/301701400_los_suelos_del_ecuador).
- Carvalhois, N. *et al.* (2014) 'Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems', *Nature*, 514(7521), pp. 213–217. doi: 10.1038/nature13731.
- Chimbo, I. (2016) *Evaluación del carbono en la biomasa de dos especies forestales introducidas (Eucalyptus Y Pinus) y una especie nativa (Hesperomeles Ferruginea) en el bosque Aguarongo*. Politecnica Salesiana. Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11782/1/UPS-CT005578.pdf>.
- Chinchilla, M., Mata, R. and Alvarado, A. (2011) 'Andisoles, inceptisoles y entisoles de la subcuenca del río Pirrís, región de los Santos, Talamanca, Costa Rica', 35(1), pp. 83–107.
- Choi, S.-G. *et al.* (2017) *Methods for Calcium Carbonate Content Measurement of Biocemented Soils*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/320766764\\_Methods\\_for\\_Calcium\\_Carbonate\\_Content\\_Measurement\\_of\\_Biocemented\\_Soils](https://www.researchgate.net/publication/320766764_Methods_for_Calcium_Carbonate_Content_Measurement_of_Biocemented_Soils) (Accessed: 18 June 2019).

Colazo, J. C. (2012) ‘Selección de indicadores de sustentabilidad relacionados con la erosión eólica para la región semiárida central argentina (RSCA)’. Available at: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2252> (Accessed: 23 October 2020).

Díaz-Hernández, J. L., Temiño, J. Y. and Marchesini, S. (2011) ‘Carbonatos en suelos de la zona oriental de gran Canaria’, p. 2.

Dorronsoro, C. (2018) *EDAFOLOGIA. Lección 1. Procesos específicos: de translocación* 2. Available at: <http://www.edafologia.net/introeda/tema01/proctra22.htm> (Accessed: 16 June 2019).

Elfaki, J. *et al.* (2016) ‘Assessment of Calcimetric and Titrimetric Methods for Calcium Carbonate Estimation of Five Soil Types in Central Sudan’, January. Available at: [https://www.scirp.org/pdf/GEP\\_2016012214180040.pdf](https://www.scirp.org/pdf/GEP_2016012214180040.pdf).

Empresa Pública del Agua (2019) *TRASVASE CHONGON – SAN VICENTE. EMPRESA PÚBLICA DEL AGUA EPA EP*, p. 138. Available at: <http://www.empresaagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/02/Perfil-de-Proyecto-Chongon-San-Vicente-con-Dictamen-STPE.pdf>.

FAO (2009) *Guía para la descripción de suelos*. Cuarta. Roma, Italia: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>.

FAO (2016) *Estado mundial del Recurso Suelo: resumen técnico*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO (2019) ‘Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems.’ Available at: <http://www.fao.org/3/CA2934EN/ca2934en.pdf>.

Ferreira, E. P. *et al.* (2016) ‘Genesis and Classification of Soils Containing Carbonate on the Apodi Plateau, Brazil’, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40. doi: 10.1590/18069657rbc20150036.

Flórez M., M. T. *et al.* (2013) ‘Paleosuelos del mioceno en el desierto de la Tatacoa’, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(143), pp. 229–244.

GADPSE (2015) *Resumen ejecutivo plan de desarrollo y ordenamiento territorial provincial 2015 – 2019*. Santa Elena: Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena., p. 102. Available at: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0968580510001\\_](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0968580510001_)

Resumen%20Ejecutivo\_PDOT%20SANTA%20ELENA%202015\_14-08-2015\_16-15-57.pdf.

Galilea, I. (2015) *Erosión de suelos y laderas en el espacio agrícola de la Rioja. Aplicación y Cartografía del modelo Rusle*. Universidad de la Rioja.

Gálvez Fernández, J. (2018) 'El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos', p. 7.

*Ganadería climáticamente inteligente integrando la reversión de degradación de tierras y reducción del riesgo de desertificación en provincias vulnerables* (2017). Santa Elena: Ministerio del Ambiente, MAGAP, FAO, gef, p. 76. Available at: [http://ganaderiaclimaticamenteinteligente.com/documentos/An%C3%A1lisis%20de%20Vulnerabilidad%20Local\\_Santa%20Elena.pdf](http://ganaderiaclimaticamenteinteligente.com/documentos/An%C3%A1lisis%20de%20Vulnerabilidad%20Local_Santa%20Elena.pdf).

Gomis, F. (2016) *Evaluación de respuestas tempranas del hábitat en un diseño de manejo holístico de ganado en la sierra Cacachilas, B.C.S.* CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C. Available at: [https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/78/1/gomis\\_f.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/78/1/gomis_f.pdf).

Guo, Y. *et al.* (2006) 'Quantity and Spatial Variability of Soil Carbon in the Conterminous United States', *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), pp. 590–600. doi: 10.2136/sssaj2005.0162.

Haynes, R. J. and Mokolobate, M. S. (2001) 'Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved', *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59(1), pp. 47–63. doi: 10.1023/A:1009823600950.

Hernández Jiménez, A. *et al.* (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.

Hodgson, J. (1987) *Muestreo y descripción de suelos*. Barcelona: Reverté, S.A. Available at: <https://books.google.com.ec/books?id=Gge-HNCUwXYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.

Ibañez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J. M. and Moreno Ramón, H. (2011) 'Inceptisoles', *Universidad Politecnica de Valencia*, p. 8.

Ibáñez, J. J. (2006) 'Los Suelos y el Ciclo del Carbono | Un Universo invisible bajo nuestros pies', *madrid blog*, 28 September. Available at:

<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/09/28/43795> (Accessed: 7 June 2020).

Ibáñez, J. J. (2007) ‘Carbonatos del Suelo: Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo (Régulo León Arteta) | Un Universo invisible bajo nuestros pies’, 1 May. Available at: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693> (Accessed: 9 June 2019).

Ibáñez, J. J. (2013) ‘Aragonito y calcita en las rocas, suelos y horizontes endurecidos | Un Universo invisible bajo nuestros pies’, *madrid blog*, 27 August. Available at: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/08/27/143247> (Accessed: 16 June 2019).

Imbellone, P. A., Aguilera, E. Y. and Beilinson, E. (2017) ‘Capítulo 3: Mineralogía de suelos’, p. 9.

IPCC (2005) *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono: resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Genève: Ippc. Available at: [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_spm\\_ts\\_sp.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf).

IPCC (2015) *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Primera publicación. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Available at: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf).

Jaramillo J., D. F. (2002) *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Available at: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Jori, G. (2009) ‘El cambio climático como problema y el diálogo social como solución’, *nº 48*, p. 125.

Kane, D. (2015a) ‘Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices’, p. 36.

Kane, D. (2015b) ‘Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices’, p. 36.

- 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*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. Available at: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10918>.
- Laureda, D. A. *et al.* (2016) ‘Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina’, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, p. 22.
- Lefèvre, C. *et al.* (2017) *CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO el potencial oculto*. Roma, Italia: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf>.
- Loeppert, R. and Suarez, D. (1996) ‘Carbonate and Gypsum’. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Available at: [https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf\\_pubs/P1272.pdf](https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P1272.pdf).
- López, D. *et al.* (2010) ‘LA ROSITA. I. CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS’, 31(1), p. 8.
- López, R., Díaz, M. J. and González, J. (2018) ‘Secuestro de CO<sub>2</sub> en un suelo calizo al utilizar cenizas de biomasa de la industria olivarera’, p. 4.
- Martínez H, E., Fuentes E, J. P. and Acevedo H, E. (2008) ‘CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO’, *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), pp. 68–96. doi: 10.4067/S0718-27912008000100006.
- Mataix, J. (1999) *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. Doctoral. Alicante.
- Mazuela, P. (2013) ‘Agricultura en zonas áridas y semiáridas’, *Idesia (Arica)*, 31(2), pp. 3–4. doi: 10.4067/S0718-34292013000200001.
- Mesías, F. W. *et al.* (2018) ‘Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador’, *Cultivos Tropicales*, 39(4), pp. 27–33.
- Milian, L. (2015) *Influencia de la materia orgánica del suelo en el secuestro de carbono. biochar, una estrategia potencial*. Tesis de Grado. Universidad Complutense de Madrid. Available at: <https://eprints.ucm.es/48810/1/LAURA%20MILIAN%20GAY%20%281%29.pdf>.
- Montañes, L. and Heras, L. (1970) ‘Influencia del contenido de carbonato cálcico sobre la fijación de hierro’, 4 November, p. 9.

- Montani, R. (2000) *Resumen*. Available at: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm> (Accessed: 1 February 2021).
- Moreno, H. (2015) *Determinación de carbonatos - YouTube*. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=M-2Zw2uUFRw&t=183s> (Accessed: 4 August 2019).
- Moreno, H., Ibáñez, S. and Gisbert, J. (2011) *Aridisoles*. Universidad Politecnica de Valencia. Available at: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13662/Aridisoles.pdf?sequence=3>.
- Moreno, R. and Asensio, I. (2019) 'Procesos formadores de suelos: carbonatación', p. 10.
- Nishanthiny, S. C. *et al.* (2010) 'Irrigation Water Quality Based on Hydro Chemical Analysis, Jaffna, Sri Lanka', *Environ. Sci.*, p. 3.
- Pellegrini, A. (2019) 'Tema 3: Textura y Color del suelo'. Available at: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod\\_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf).
- Peña, R. A. (2016) 'Agroforestería una propuesta para el desarrollo sostenible de la agricultura en la cordillera Chongon Colonche - Ecuador', *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 9(25), p. 13.
- Quintana, J. (2015) *Caracterización y manejo de suelo vertisol (Aakalché) en el instituto tecnológico de la zona Maya*. México: Instituto Tecnológico de la zona Maya, p. 28. Available at: [http://www.itzonamaya.edu.mx/web\\_biblio/archivos/res\\_prof/agro/agro-2015-16.pdf](http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2015-16.pdf).
- Ramírez, E. (2020) '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'. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5398> (Accessed: 25 November 2020).
- Richart, A. I. M. *et al.* (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.
- Rivera, J. (2015) "Propuesta de plan de zonificación para el mejoramiento económico y ambiental de la zona de la cuenca baja del río Javita sectores Cerezal de Belavista,

*San marcos y sus recintos*". Guayaquil. Available at: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8642/1/TESIS%20FINAL%20TRIBUNAL%20Arq.%20RIVERA%2C%20julio%2030.pdf>.

Rodríguez Ayala, C. M. (2014) *Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los ríos Javita y Zapotal de la península de Santa Elena*. Universidad Central del Ecuador. Available at: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2325>.

RStudio Team (2019) *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston, MA: RStudio, Inc. Available at: <http://www.rstudio.com/>.

Salas, J. D. (2000) 'Hidrología de zonas áridas y semiáridas', *Ingeniería del agua*, 7(4), p. 409. doi: 10.4995/ia.2000.2855.

Sánchez, J., Recatalá, L. and Goberna, M. (2004) 'Secuestro de Carbono inorgánico en el suelo: Una primera estimación en el ámbito semiárido español', 11, p. 9.

Sánchez-Beristain, F., García-Barrera, P. and Calvillo-Canadell, L. (2016) 'Mares calcínicos y aragoníticos: efectos en organismos formadores de arrecifes a través del tiempo', *TIP*, 19(1), pp. 45–53. doi: 10.1016/j.recqb.2016.02.005.

Scharlemann, J. P. *et al.* (2014) 'Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool', *Carbon Management*, 5(1), pp. 81–91. doi: 10.4155/cmt.13.77.

SGR, PNUD and ECHO (2014) *Agenda de reducción de riesgos Provincia de Santa Elena*. Primera Edición. Available at: <http://openbiblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54581.pdf>.

Sherrod, L. A. *et al.* (2002) 'Inorganic Carbon Analysis by Modified Pressure- Calcimeter Method', *Soil Science Society of America Journal*, 66(1), pp. 299–305. doi: 10.2136/sssaj2002.2990.

Srivastava, P. *et al.* (2016) 'Soil carbon dynamics and climate change: current agro-environmental perspectives and future dimensions', *Energy, Ecology and Environment*, 1(5), pp. 315–322. doi: 10.1007/s40974-016-0024-9.

Sutharsiny, A. *et al.* (2012) 'Characterization of Irrigation Water Quality of Chunnakam Aquifer in Jaffna Peninsula', *Tropical Agricultural Research*, 23(3), pp. 237–248.

Thiers, O., Gerding, V. and Schlatter, J. (2014) 'Suelos en ecosistemas forestales', in, pp. 33–178. Available at:

[https://www.researchgate.net/publication/277131964\\_SUELOS\\_EN\\_ECOSISTEMAS\\_FORESTALES](https://www.researchgate.net/publication/277131964_SUELOS_EN_ECOSISTEMAS_FORESTALES).

Tigrero, J. (2015) ‘Caracterización de sistemas de producción agropecuaria en comunas de la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena’, p. 102.

Toresani, S. *et al.* (2009) ‘Parámetros edáficos como indicadores de calidad de suelo en diferentes sistemas de manejo.’, 42, p. 7.

Torn, M. S. *et al.* (1997) ‘Control mineral del almacenamiento y recambio de carbono orgánico del suelo.’, 389, pp. 170–173.

Torrús Castillo, M. (2019) ‘Reservas de carbono orgánico e inorgánico en sistemas perennes semiáridos; el papel de la cubierta vegetal’, p. 91.

Useros, J. (2013) ‘El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales’, *Académico de Número, Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, pp. 71–98.

Vela, G. (2009) *Vulnerabilidad del suelo de conservación del distrito federal ante el cambio climático y posibles medidas de adaptación*. Informativo. México. Available at: [http://www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/sis\\_admin/archivos/sc\\_vela\\_informe\\_final.pdf](http://www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/sis_admin/archivos/sc_vela_informe_final.pdf).

Villafañe, R. (2011) ‘Sosalriego: un procedimiento para diagnosticar los riesgos de sodificación y salinización del suelo con el agua de riego’, p. 9.

Wiesmeier, M. *et al.* (2015) ‘Carbon storage capacity of semi-arid grassland soils and sequestration potentials in northern China’, *Global Change Biology*, 21(10), pp. 3836–3845. doi: 10.1111/gcb.12957.

Yepes, A. and Silveira, M. (2011) ‘Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión)’, 14(2), pp. 213–232.

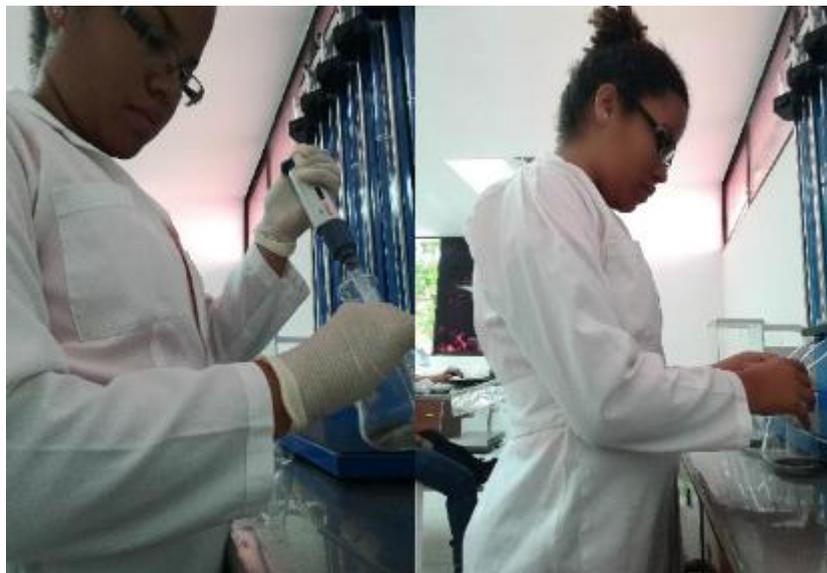
Yescas-Coronado, P. *et al.* (2018) ‘Variabilidad Espacial del Carbono Orgánico e Inorgánico del Suelo en la Comarca Lagunera, México’, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, p. 591 – 610.

Zamanian, K., Pustovoytov, K. and Kuzyakov, Y. (2016) ‘Pedogenic carbonates: Forms and formation processes’, *Earth-Science Reviews*, 157, pp. 1–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.03.003>.

## ANEXOS



**Imagen A 1.** Calibración del calcímetro y anotación de datos.



**Imagen A 2.** Preparación de muestras para determinación de carbonato.