

Cuantificación Del Carbono Almacenado En Dos Niveles Altitudinales De Bosque Y Pastizal En El Sur Del Ecuador

Quantification Of Carbon Stocks In Two Altitudinal Levels Of Forest And Grassland In Southern Ecuador

Autores

Jandry Steven Encalada Maldonado¹, María Cristina Cabrera Fajardo², Tito David Serrano Guartatanga³, Jaime Enrique Maza Maza⁴

¹Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Estudiante pregrado en Ingeniería Ambiental, Machala-Ecuador, e-mail: jencalada8@utmachala.edu.ec

²Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Estudiante pregrado en Ingeniería Ambiental, Machala- Ecuador, e-mail: mcabrera13@utmachala.edu.ec

³Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Estudiante pregrado en Ingeniería Ambiental, Machala- Ecuador, e-mail: tserrano2@utmachala.edu.ec

⁴Profesor de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Magister en Impacto Ambiental, Machala- Ecuador, e-mail: jemaza@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El constituyente del COs representa una pequeña parte dentro del ciclo del carbono. Así mismo, los diferentes tipos de suelos en la naturaleza contienen diversos porcentajes de Carbón orgánico, dependiendo de su composición. Respecto a los suelos del cantón Machala y Chilla son áreas de gran riqueza dentro del Ecuador, siendo esencial para el crecimiento y equilibrio de las especies de flora-fauna, sin embargo. El objetivo de este trabajo fue determinar el porcentaje de C y la cantidad de COs en pastizales-bosques. Se construyeron fosas a una determinada medida, donde se extrajeron muestras de suelo a diferentes profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) para determinar las propiedades físico-químicas. Los resultados en el porcentaje de COs ($\approx 2,24\%$) y la densidad real en bosques ($\approx 2,26 \text{ mg.m}^{-3}$) y densidad aparente en pastizales ($\approx 1,29 \text{ mg.m}^{-3}$) en el Pueblo Viejo evidencian un incremento notable, a diferencia de la finca Santa Inés que dio un $\approx 2,08\%$ de COs, $\approx 1,93 \text{ mg.m}^{-3}$ de densidad real y $\approx 1,45 \text{ mg.m}^{-3}$ densidad aparente en pastizales. El C obtenido en la biomasa de COs almacenado por cobertura y profundidad en el bosque de Machala y Chilla muestran una alta variabilidad alterando los procesos fisiológicos de las plantas en el sur del Ecuador.

Palabras claves: Bosque, pastizal, clase textural, muestreo, propiedades físicas y químicas

ABSTRACT

The COs constituent represents a small part of the carbon cycle. Likewise, the different types of soils in nature contain different percentages of organic carbon, depending on their composition. Regarding the soils of the Machala and Chilla cantons, they are areas of great wealth within the equator, being essential for the growth and balance of the flora-fauna species, however. The objective of this work was to determine the percentage of carbon and the amount of COs in grasslands-forests. Pits were built to a certain extent, where soil samples were extracted at different depths (0-10 cm and 10-30 cm) to determine the physical-chemical properties. The results in the percentage of COs ($\approx 2.24\%$) and the real density in forests ($\approx 2.26 \text{ mg.m}^{-3}$) and apparent density in grasslands ($\approx 1.29 \text{ mg.m}^{-3}$) in the Pueblo Viejo show a notable increase, unlike the Santa Inés farm, which gave $\approx 2.08\%$ COs, $\approx 1.93 \text{ mg.m}^{-3}$ real density and $\approx 1.45 \text{ mg.m}^{-3}$ apparent density in grasslands. The carbon obtained in the biomass of COs stored by coverage and depth in the Machala and Chilla forests show a high variability, altering the physiological processes of plants in southern Ecuador.

Keywords: Forest, grassland, textural class, sampling, physical and chemical properties

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

Factores como el calentamiento global, degeneración del territorio y disminución de la diversidad biológica han provocado que uno de los recursos naturales indispensables para la supervivencia de los seres vivos como lo es el suelo, se exponga abismalmente. De igual forma, es considerado como una reserva importante de Carbono (C), el cual, supera el contenido del medio atmosférico. No obstante, el impacto ambiental que ha experimentado durante todo este tiempo y de continuar así mismo, puede transformarlo en fuente para la generación de gases que originan una serie de actividades naturales negativas y catastróficas para el entorno. Con respecto al Carbono orgánico del suelo (COs) se ha querido explicar su evolución convirtiéndolo en un enorme progreso de la ciencia, pero, en cuanto a su protección y monitoreo a nivel nacional y global aún se enfrentan desafíos que dificultan el diseño de políticas útiles sobre el terreno y ajustadas a regiones determinadas [1].

El suelo según Andrades y Elena [2], es una base rica en elementos nutritivos, y es un elemento indispensable en el desarrollo y soporte de la producción de una determinada flora o especie vegetal, para establecer su fertilidad se deben seguir parámetros *físico-químicos*. Martínez, Fuentes y Acevedo [3] contextualizan que el carbono enlaza el balance de los sistemas de agricultura que degradan las propiedades del suelo analizadas junto a la productividad de los cultivos. *El carbono orgánico* es un elemento indispensable en el mantenimiento de los suelos, grandes cantidades de un *elemento químico* como lo es el *carbono (C)* favorece a la vegetación y al ambiente, genera una buena composición de materia orgánica (M.O) o residuos orgánicos (vegetal, animal o microorganismos) en los suelos. De acuerdo con García y Ballesteros [4], la indagación sobre el carbono orgánico está obteniendo una considerable aceptación.

En esta investigación se analiza el contenido de carbono en *El Cantón Chilla y el Cantón Machala*, dentro de ambas zonas existen varias problemáticas por el uso y la infertilidad de sus suelos. En el *Cantón Chilla* según Belduma et al. [5] la actividad agrícola y ganadera se dispersan en cantidades excesivas, lo que quiere decir que la mayor parte de los territorios de este sector se dedican al cultivo y al abastecimiento de alimentos dentro de la *Provincia de El Oro*, y afectan al suelo con el uso de fertilizantes y conservantes. Bajo este contexto en la segunda zona, el *Cantón Machala* surge un efecto negativo [6], pues con la explotación del banano, cacao y la producción en el ámbito de la acuicultura se debilitan las cantidades de nutrientes de la tierra, desgastan al suelo y la riqueza de este, por la mala adecuación de pesticidas.

En el presente documento científico se relaciona la efectividad del suelo con distintos tipos parámetros *físicoquímicos* y *la determinación del carbono orgánico* de las zonas de interés mediante el análisis estadístico de correlación de ambas variables. La base de esta investigación es profundizar en los análisis geológicos y edafológicos pues son de gran ayuda para el conocimiento de los factores de los suelos.

Este trabajo tiene como objetivo determinar las concentraciones de carbono orgánico en dos niveles altitudinales de bosque y pastizal en el *sur del Ecuador* específicamente en dos zonas de la *Provincia de El Oro* a diferentes profundidades (0-10 y 10-30 cm), a través del análisis de procedimientos cuantitativos y cualitativos dentro del laboratorio de la *Universidad Técnica de Machala* donde se obtendrá la información pertinente para el debido análisis de las muestras extraídas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realiza en dos zonas altitudinales de la Provincia de El Oro (ver figura 1), Ecuador, siendo la primera Zona el cantón Machala (finca Santa Inés) que cuenta con una altitud 6 m.s.n.m. con una extensión de 337,5 km² con una temperatura que varía de los 21 a 31°C con un clima cálido-tropical. Las actividades económicas principales de esta región son la agricultura, comercio, acuicultura e Industria [7].

La segunda zona es el Cantón Chilla (Pueblo viejo Chilla) con una altitud de 2450 m.s.n.m. y una altitud de 389 km² que cuenta con una temperatura de 8 a 12 °C siendo este un clima Frío. Las actividades económicas más importantes en este cantón son la ganadería y la agricultura [8].

MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE ESTUDIOS

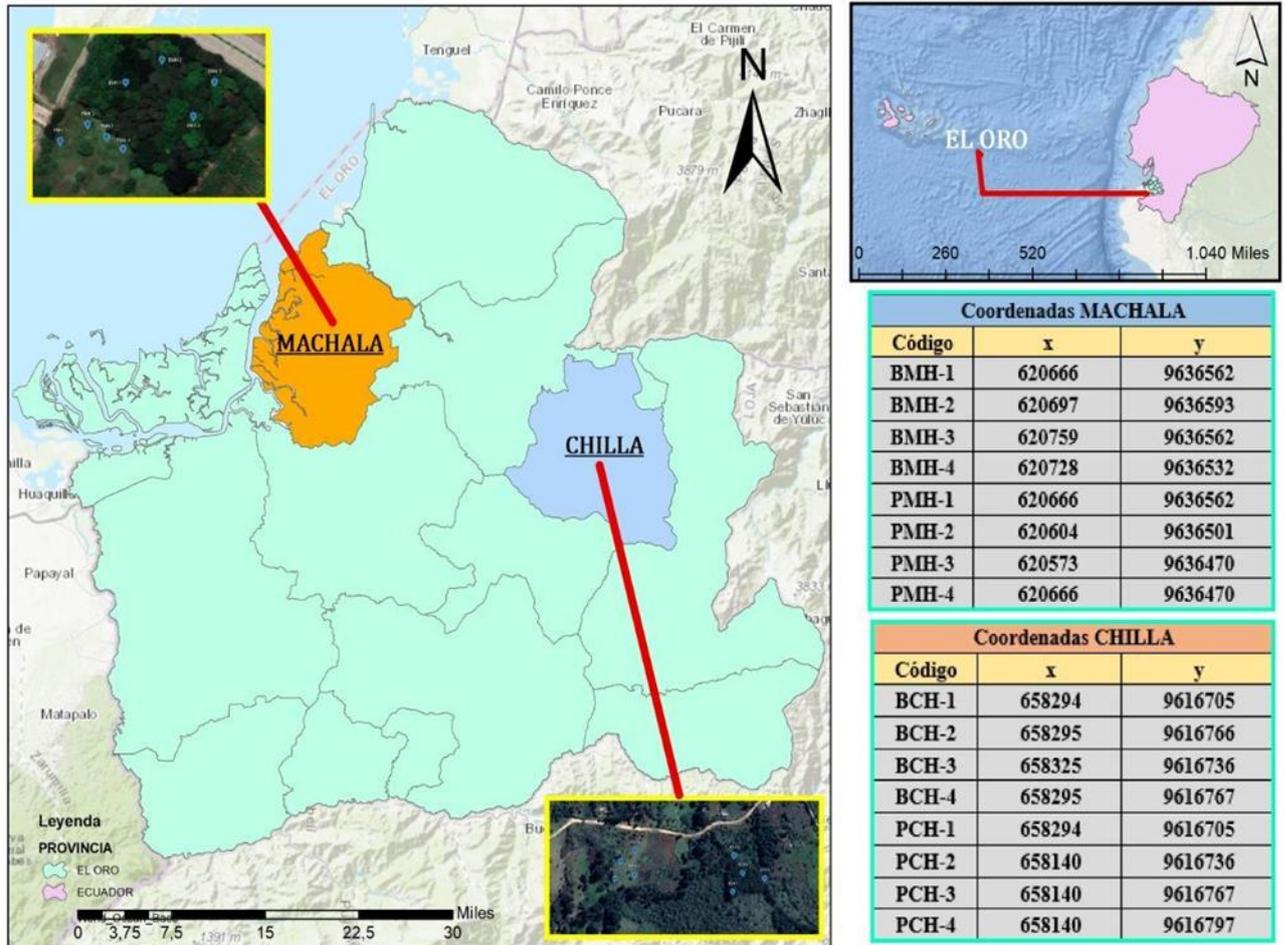


Figura 1.- Área de estudio.

Selección y toma de muestras de suelos

Para un análisis comparativo y completo se tomaron 16 puntos de estudio en las dos zonas altitudinales diferentes (Zona baja Machala y Zona alta Chilla) tal y como se describe en la tabla 1. Se recolectaron 32 muestras en total, en cada punto se extrajeron 4 kg de suelo con dos tipos de profundidades de 0-10 cm y de 10-30 cm. En este proceso se registró la altitud correspondiente en cada punto de muestreo y se tomó la distancia correspondiente entre puntos de muestreo, 80 m.

Tabla 1.-Coordenadas, Ecosistema y Orden de suelo de los puntos de estudio

Cantón	Sector	Altitud (msnm)	Altitud prom. (msnm)	Cobertura	Código	Ecosistema	Ord. de suelo
Machala	Sitio Santa Inés UTMACH	16	16	Bosque	BMH-1	Intervenido	Inceptisol
		17		Bosque	BMH-2		
		17		Bosque	BMH-3		
		15		Bosque	BMH-4		
		13	12	Pastizal	PMH-1		
		12		Pastizal	PMH-2		
		11		Pastizal	PMH-3		
		12		Pastizal	PMH-4		
Chilla	Sitio: Pueblo Viejo	2668	2670	Bosque	BCH-1	Intervenido	Inceptisol
		2670		Bosque	BCH-2		
		2672		Bosque	BCH-3		
		2666		Bosque	BCH-4		
		2639	2640	Pastizal	PCH-1		
		2641		Pastizal	PCH-2		
		2637		Pastizal	PCH-3		
		2640		Pastizal	PCH-4		

Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo

El análisis de las propiedades físicas, se obtuvo por la aplicación de varios métodos para la determinación de densidad aparente, densidad real, porosidad en el suelo. Para la determinación de densidad aparente se utilizó el "método de la parafina" [9], el cual consiste en que una porción de muestra sea sumergida en parafina, para determinar su capacidad de drenaje y compactación, ya que la muestra contiene cierta cantidad de agua.

En el estudio de la densidad real, se determinan las partículas sólidas del suelo, para ellos se utilizó el "método de picnómetro", que consiste en la determinación del peso de las partículas sólidas, mediante la muestra tamizada y pesada junto con el balón de agua. La porosidad del suelo se ve determinada por la relación entre densidad aparente y densidad real, y su valor es expresado en porcentaje.

La textura del suelo, no es más que la conformación de tres factores primarios, tales como lo son: arcilla, limo y arena. La textura se logró determinar con el uso del triángulo de textura desarrollado por el departamento de USDA [1] y el método de laboratorio de Bouyoucos.

Para las propiedades químicas se determinó el contenido de materia orgánica del suelo, indicador muy valioso como indicador de fertilidad, si bien se puede definir de manera preliminar con el color es justo hacer un análisis de laboratorio que precise la magnitud de este componente en el suelo con el método de ignición a 600°C. Con la aplicación del método de Walkley-Black se determina la cantidad de carbono orgánico para esto es preciso el uso de la ecuación (1) [10].

$$\%C = (ml \text{ dicromato} - ml \text{ sulfato}) \times 0,4 = \%MO = \%C \times 1,724 \quad (1)$$

Donde: MO= materia orgánica, 1,724= constante de la fórmula, ml dicromato y ml sulfato= sustancias empleadas, %C= porcentaje de carbono.

El análisis del contenido de carbono orgánico

El análisis de las propiedades químicas, considera la determinación de la cantidad de carbono presente en el suelo dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente el suelo (restos de animales y vegetación bien descompuesta que tiene gran cantidad de carbono). Estos resultados se obtuvieron por el método de ignición con la aplicación de la ecuación (2) y la ecuación (3) para la obtención de los datos de manera precisa [10].

$$COS (kg/m^3) = \frac{(PVs \times \%C)}{100} \quad (2)$$

$$PVs(Mg. ha - 1) = DA \times Ps \times 10000 \quad (3)$$

Donde: COS= carbono orgánico del suelo (Kg/m³), %C= porcentaje de carbono PVs= peso del volumen del suelo (Mg.ha-1), DA= densidad aparente, Ps= profundidad del horizonte (cm).

Análisis estadístico

Para este trabajo de investigación se optó por utilizar el Programa estadístico SPSS, versión 26.0 [11]. Para el análisis de las propiedades físico-químicas por uso del suelo (contenido de arcilla, arena, limo, densidad aparente (Da), densidad relativa (Dr)) y los valores de COs se utilizó estadística descriptiva, la media estadística, desviación estándar, diagrama de cajas.

Se optó por realizar análisis de la varianza de un factor, con un nivel de significancia de 95% (p<0,005). además, para la comparación de los diferentes parámetros a distinta profundidad y altitud se utilizó la prueba de Games-Howell y Tukey. Para medir el nivel de correlación de las variables se decidió aplicar la prueba de normalidad y correlación de Rho de Spearman [11].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los valores de las medias de los parámetros físicos y químicos obtenidos en este estudio tabla 2.

Tabla 2.- Parámetros Físicos-químicos de los suelos Bosque y pastizal.

Cód	Prof (cm)	Textura (%)			Clase Textural USDA	Densidad Aparente (Mg.m ³)	Densidad Real (Mg.m ³)	Porosidad (%)	C (%)	Cos (Kg/m ³)
		Arena	Arcilla	Limo						
BMH	0-10	24,30	43,58	32,13	Y	1,35	1,92	29,64	1,15	15,14
BMH	10-30	19,95	45,45	34,60	Y	1,47	1,94	23,61	1,28	18,83
BCH	0-10	53,30	24,75	21,95	FYA	1,24	2,25	43,97	1,94	24,02
BCH	10-30	54,93	21,73	23,35	FYA	1,24	2,27	45,25	1,84	23,02
PMH	0-10	19,38	34,38	46,25	FYL	1,45	2,26	30,87	2,31	32,50
PMH	10-30	16,25	23,13	60,63	FL	1,44	2,24	39,62	1,86	26,41
PCH	0-10	45,63	21,88	32,50	F	1,29	2,16	41,02	2,43	31,34
PCH	10-30	57,50	8,75	33,75	FA	1,27	2,07	42,53	2,06	26,04

Y= arcilloso; FYA= franco arcilloso arenoso; FYL= franco arcilloso limosos; FL= franco Limoso; F= franca; FA= franco arenoso.

Clase textural

En cuanto a clase textural se puede observar en el cuadro de resultados que en Machala la cobertura bosque presenta una textura arcillosa en sus dos profundidades mientras que en el bosque Chilla la clase textural es franca arcillo arenoso a sus dos profundidades.

En cuanto a pastizal en Machala se puede ver cómo varía su clase textural de acuerdo a sus profundidades; de 0-10 cm su textura es franca arcillo limosa y de 10-30 es franco limoso mientras tanto en Chilla de 0-10 presenta un suelo franco y de 10-30 franco arenoso. En pastizal de Chilla a una profundidad de 0-10 este tipo de suelo franco es el más óptimo para el crecimiento de la mayoría de las plantas ya que son ligeros, permeables y bien aireados.

Densidad aparente

Los bajos valores de densidad aparente (Da) indican que son suelos porosos, con buena aireación, drenaje e introducción de raíces, lo que hace que haya un buen crecimiento de las raíces. En cambio, los valores altos de este parámetro hacen referencia a suelos compactados y con bajo porcentaje de porosidad, con falta de aireación y baja infiltración del agua lo cual provoca problemas en el desarrollo de las raíces de las plantas [12]. Como se puede observar en el cuadro los valores de densidad en los dos cantones son bajos, y de acuerdo a esta densidad aparente se puede deducir que son suelos óptimos para el desarrollo de la vegetación.

Según los datos obtenidos de los predios de la Universidad Técnica de Machala se obtuvo un promedio de una Da de 1,41 mg/m³ y con respecto a sus texturas, puntualizan que es un valor apto para el crecimiento radicular vegetal. No obstante, para el bosque en la zona alta de Chilla se extrajo un promedio de una Da de 1,24 mg/m³. De acuerdo a investigaciones realizadas [1], un suelo con una buena circulación del agua y un alto desarrollo vegetal, debe estar en el rango de 1,30-1,50 mg/m³ [22].

Se evidencia una homogeneidad en los resultados del sector bosque de los predios de la UTMACH con respecto al pastizal de los predios de la UTMACH con un promedio de Da de 1.44 mg/m³ compartiendo así las mismas características físicas. En cambio, para el pastizal de la zona alta de Chilla se obtuvo un promedio de una Da de 1,27 mg/m³. En los pisos climáticos fríos [2], estos valores de Da aparecen por la presencia de fuertes lluvias, alto contenido de humedad y robustas pendientes [23].

Densidad Real

La densidad real (Dr) expuesta en este análisis no se ve afectada por los métodos aplicados puesto que es una variable más estable. Las variaciones significativas entre los tratamientos indican que su composición y la cantidad de minerales se encuentran directamente relacionadas a la cantidad de materia orgánica de una manera óptima [10].

Los suelos de uso Pastizal y bosque presentaron un nivel muy bajo de densidad real esto se debe a que la zona de estudio presenta arcillas minerales que contienen o están revestidas por finas capas con óxido de hierro y aluminio. Los suelos arcillosos [3] presentan una densidad real de 1,2 a 2,6 g/cm³, resultados similares a la tabla 2.

En la capa superficial no existe un proceso de iluviación correcto debido a la estructura del suelo lo que no permite generar un buen transporte de minerales a las capas inferiores [3].

Porosidad

Analizando este parámetro físico se puede deducir que en el cantón Chilla en pastizales a sus dos profundidades se tiene un porcentaje muy cerca pero por debajo al 50% que es el valor promedio que indica una buena porosidad del suelo. Así mismo en aquel cantón, pero en bosque se tienen los valores más cercanos a dicho porcentaje, en cambio en Machala se tienen valores más bajos que en Chilla tanto en pastizales como en bosque pudiendo llegar a la conclusión que en los dos cantones los valores de porosidad indican que no hay un balance entre poros grandes y pequeños (mayor porcentaje de microporos) lo que produce un suelo con problemas de aireación, circulación del agua no siendo apto para el desarrollo de las raíces de las plantas.

Mientras el tamaño de los poros disminuye, las fuerzas para retener el agua aumentan. Debido a esto se afectan el drenaje, la aireación, la disponibilidad de agua y el desarrollo de las raíces. Por ello el porcentaje óptimo sería entre 50%-55% [13].

Carbono orgánico del suelo por cobertura y profundidad

Con la prueba de la Anova se verifica de manera cuantitativa que el valor de significancia al ser menor que 0,005 (margen de error al aplicar el método descriptivo), dicta que existen diferencias entre tratamientos. Además, al aplicar la prueba de homogeneidad de varianza da como resultado, tabla 3, que no cumple con lo establecido en esta prueba ya que su valor es de 0,004 siendo menor a 0,005.

Tabla 3.-Prueba Anova carbono almacenado, cobertura y profundidad

ANOVA					
Carbono almacenado en el suelo (Mg C.ha-1)					
	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	502,374	7	717,768	4,081	0,004
Dentro de grupos	4221,23	24	175,888		
Total	9245,696	31			

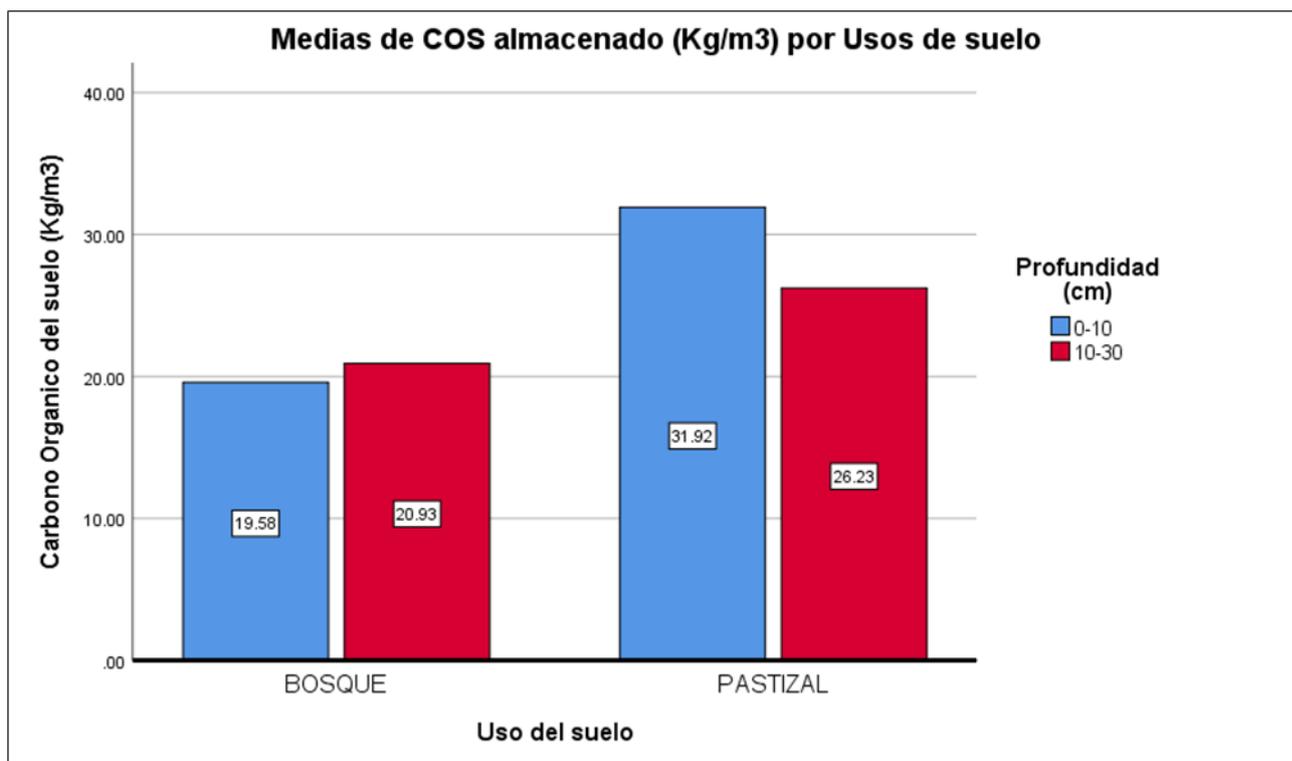


Figura 2.- test de Games-Howell ($p < 0.05$) por uso del suelo, cobertura y profundidad carbono orgánico almacenado(COS)

En la figura 2 se puede visualizar que la cantidad de almacenamiento de carbono en uso de suelo pastizal es mayor en relación al uso de suelo Bosque. En Bosques a mayor profundidad el almacenamiento de carbono es ligeramente superior; sin embargo, en el uso de suelo Pastizal a menor profundidad presenta mayor nivel de COs. Además, que las concentraciones de carbono orgánico almacenado en el uso de suelo Bosque en las profundidades de 0-10 y de 10-30 son inferiores al uso de suelo pastizal de 0-10 y de 10-30, a su vez la mayor diferencia se da en la profundidad de 0-10 en el uso de suelo pastizal donde se logra ver un almacenamiento de COs superior.

El almacenamiento de Carbono orgánico (COS) en bosques y pastizales es conveniente para la captura de emisiones de gases de efecto invernadero, porque los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal perjudican la cantidad de carbono acumulado en la vegetación y el suelo [14].

La razón por la que la cantidad de Carbono se da a niveles altos es por características del suelo, del clima y de las prácticas de uso de suelo que se realicen. Es importante que el suelo pueda estar protegido la mayoría del tiempo.

También se puede decir que se da por los restos vegetales aéreos y por los restos de raíces después de la cosecha de la pastura; por sedimentos de los animales y por los residuos de organismos degradadores habitantes en el suelo [15].

Comparación de carbono orgánico del suelo por niveles altitudinales

Para determinar si existe o no homogeneidad en los tratamientos es preciso realizar una comparativa entre los mismos, con el uso de una prueba de Anova, Tabla 4, con esto se puede verificar el nivel de significancia si resulta ser mayor a 0,005 se comprueba que existe homogeneidad. En la tabla se verifica lo planteado con un valor de 0,212.

Tabla 4.- Prueba ANOVA carbono orgánico del suelo por niveles altitudinales

ANOVA					
Carbono almacenado en el suelo (Mg C.ha-1)					
	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	1353,191	3	451,064	1,600	0,212
Dentro de grupos	7892,506	28	281,875		
Total	9245,696	31			

En la figura 3 se puede observar que el carbono orgánico almacenado es más alto en el uso de suelo pastizal. El carbono orgánico a mayor altitud en bosque responde mejor, en contraste a bosque de altitud baja.

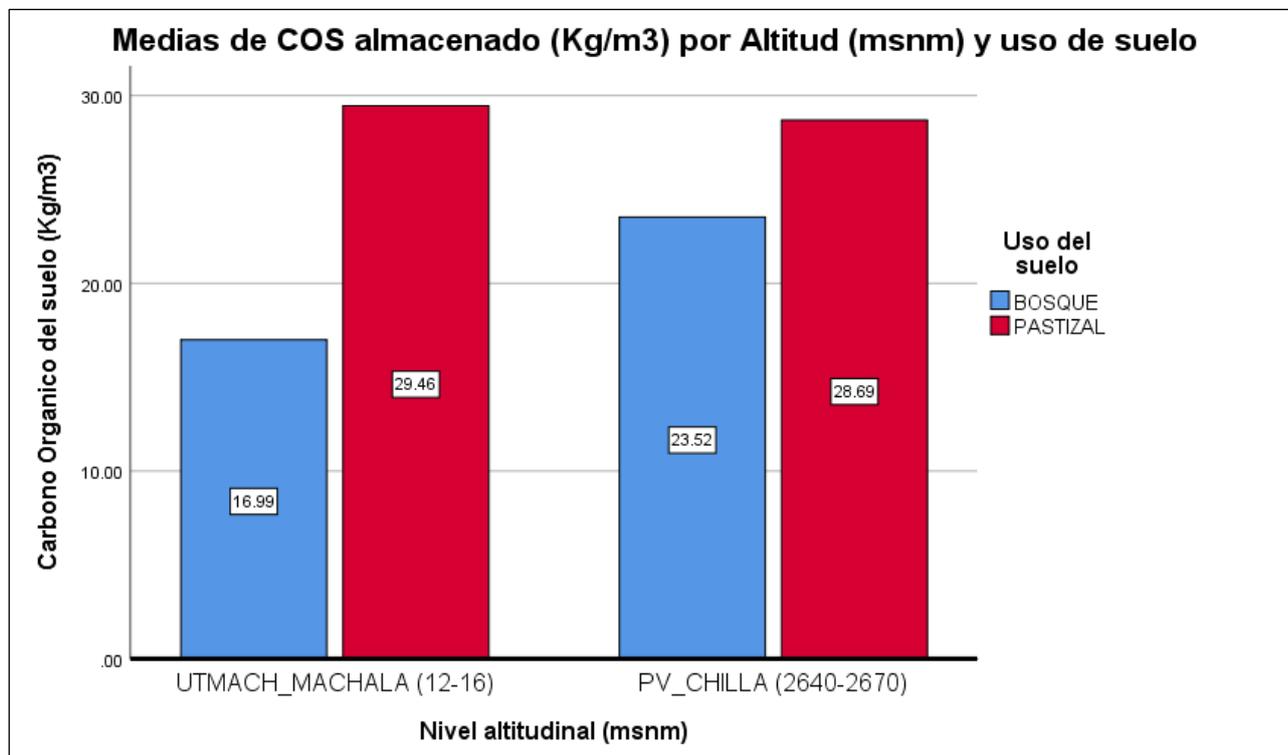


Figura 3.- Diagrama de barras.

Con la prueba de Anova se puede determinar que existe homogeneidad de varianzas realizadas y con el diagrama de la figura 3 se puede verificar que no existe diferencia significativa entre el uso de suelo pastizal en la zona baja como en la zona alta siendo esta última un poco inferior. La media de concentración de almacenamiento en Machala fue de 46,45 Kg/ m³ a una altitud de 12 a 16 msnm algo no tan alejado a lo representado en Pueblo Viejo de Chilla donde la media de (COs) fue de 53,21 Kg/ m³ a una altitud de 2640 a 2670 msnm, la diferencia es mínima de 5,76 Kg/ m³ que en porcentaje representa el 3%.

La existencia de actividad agrícola y ganadera aumenta la presencia de MOS esto en compañía de la altitud toma un papel importante en las reservas de carbono orgánico del suelo en el Pueblo Viejo de Chilla, ya que esto se asocia con un incremento de las precipitaciones y temperaturas más bajas que resultan en un incremento de las reservas de COs [16], dando contraste a la zona de Machala debido a su altitud y temperatura que da como resultado un nivel de COs un poco más bajo; sin embargo, no muy lejano debido a las actividades que allí se generan.

La vegetación juega un papel importante ya que puede determinar diferencia en los niveles altitudinales cuando se habla de la capacidad de almacenamiento de COs, mientras que en la zona de Pueblo Viejo Chilla se presenta (*Stipa*, *Festuca* y *Calamagrostis*) y en Machala se presenta (*Cyperus esculentus*, *Panicum maximun*, *Eriochloa polystachya* [17]) como especies presentes en pastizal, lo que indica que tienen capacidades similares de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo [18], dando como resultado valores de carbono orgánico elevados ya que su cobertura vegetal aísla el suelo de factores climáticos y de la radiación del suelo [3]. En cuanto a bosques en el Pueblo Viejo de Chilla [8] se tiene la presencia de una especie introducida (*Pinus patula*) que ha generado cambios significativos en las concentraciones de COs ya que presenta un aumento considerado por las características de la especie [19] en comparación con las especies presentadas en bosque de Machala (*Pseudosamanea guachapele*, *Spondias purpurea*) las cuales tienen un nivel de almacenamiento de carbono orgánico menor en comparativa Bosque de pueblo viejo de Chilla.

Efecto de correlaciones de las propiedades fisicoquímicas del suelo por profundidad y nivel altitudinal.

Aplicando prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov se puede determinar lo siguiente, tabla 5:

Tabla 5.- Tabla Efecto del COS almacenado sobre las propiedades físicas del suelo.

		densidad aparente (mg. m3)	porosidad (%)	arcilla (%)	limo (%)	arena (%)	profundidad (cm)	nivel altitudinal (msnm)
N		32	32	32	32	32	32	32
Parámetros normales^{a,b}	Media	13425	37,0463	27,9531	35,6438	36,4031	1,5000	1,5000
	Desv. Desviación	0,15507	12,35116	20,35755	22,75859	18,97194	0,60800	0,60800
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,113	0,124	0,102	0,099	0,139	0,338	0,338
	Positivo	0,113	0,073	0,102	0,099	0,132	0,338	0,338
	Negativo	-0,099	-0,124	-0,085	-0,059	-0,139	-0,338	-0,338
Estadístico de prueba		0,113	0,124	0,102	0,099	0,139	0,338	0,338
Sig. asintótica (bilateral)		0,200 ^{C,d}	0,200 ^{C,d}	0,200 ^{C,d}	0,200 ^{C,d}	0,118 ^{C,d}	0,000 ^{C,d}	0,000 ^C

Con la aplicación de la prueba de normalidad se pueden definir los cuadros de normalidad tal y como indica su regla Valor de significancia mayor a 0,050 con valores normales, al ser el mayor número de variables son de característica normal. Por lo tanto, se considera la prueba de correlación de Spearman tabla 6.

Tabla 6.- Tabla correlación de Rho de Spearman.

Correlación de Rho de Spearman		COS almacenado (kg/m³)
Densidad aparente (mg.m-3)	Correlación	-0,005
	sig. (bilateral)	0,977
Porosidad (%)	Correlación	0,162
	sig. (bilateral)	0,376
Arcilla (%)	Correlación	-0,133
	sig. (bilateral)	0,489
Limo (%)	Correlación	-0,291
	sig. (bilateral)	0,108
Arena (%)	Correlación	0,404
	sig. (bilateral)	0,022
Nivel altitudinal (msnm)	Correlación	0,359
	sig. (bilateral)	0,044
Profundidad (cm)	Correlación	0,142
	sig. (bilateral)	0,438

Al aplicar la prueba de correlación se establece que a mayor porcentaje de arena el nivel de carbono almacenado será superior, bajo el análisis de este estudio se puede definir que los resultados están relacionados a las características que presenta este tipo de suelo ya que ocurre algo similar con el parámetro nivel altitudinal donde se refleja un almacenamiento de carbono orgánico superior, lo que indica una mayor capacidad de almacenamiento de carbono a mayor nivel altitudinal [18].

4. CONCLUSIONES

Los análisis obtenidos de los suelos, se lograron agrupar por sus diferentes taxonomías tanto físicas como químicas, donde el límite geográfico que presenta el cantón Chilla y el cantón Machala de la provincia de El Oro son zonas de gran importancia para la diversidad florística y faunística, además, permite el equilibrio de los diferentes suelos. Estas clases texturales que se determinaron en el campo general, se encuentran dominadas por suelos tanto franco arcilloso como franco arenoso, debido a que la mayoría de los espacios presentan zonas de monocultivo respecto a un suelo con grandes valores de humedad para la zona alta. Sucede lo contrario en el área de Machala que presenta un terreno relativamente bajo de acuerdo a los estudios y datos presentados en esta investigación.

El perfil del suelo que es arena media gruesa cambió de categoría debido a la profundidad, donde presentaron espesores de texturas y drenajes internos, y que a su vez generaron espacios de poros que varían desde el 14% hasta el 60% de porosidad. Finalmente, este suelo, en proporciones óptimas y equilibradas puede ser empleado en sembríos de cultivos agrícolas, debido al carbono orgánico y la fertilidad que contiene, lo que produce porosidad. Es importante enfatizar, que los sectores de esta clase estadísticamente se encuentran deteriorados debido a los altos índices de degradación de fertilidad con modificaciones físicas y químicas.

Mediante el análisis estadístico usando la matriz de Pearson se determinó como resultado que la concentración de COs disminuye conforme va decreciendo la profundidad, esto se debe a las condiciones climáticas en la que se encuentran los suelos. También se realizó un análisis estadístico usando ANOVA para el COs para dos niveles altitudinales de bosque y pastizal en el cual se determinó que el valor de significancia es mayor que el 5% evidenciando una homogeneidad entre variables.

Se determinó con este estudio el nivel de carbono almacenado, dando una perspectiva positiva tanto en la zona baja como en la zona alta, lo que indica un manejo apropiado sobre recurso del suelo el cual bajo este estudio da un porcentaje alto de reserva de carbono orgánico.

1. USDA, "Soil Survey Manual Agriculture. Handbook No. 18," *USDA, Nat. Resour. Conserv. Serv.*, vol. 18, no. 18, p. 483, 2017.
2. M. Andrades and M. Elena, "Fertilidad del suelo y parametros que lo definen," *Iberus*, vol. 3, no. 1. pp. 55–63, 2014.
3. H. Eduardo Martínez, E. Juan Pablo Fuentes, and H. Edmundo Acevedo, "Carbono orgánico y propiedades del suelo," *Rev. la Cienc. del Suelo y Nutr. Veg.*, vol. 8, no. 1, pp. 68–96, 2008.
4. J. García and M. Ballesteros, "Evaluación De Parámetros De Calidad Para La Determinación De Carbono Orgánico En Suelos," *Rev. Colomb. Química*, vol. 34, no. 2, pp. 201–210, 2005.
5. R. G. Belduma-Belduma, S. Barrezueta-Unda, O. Vargas-Gonzales, and O. Sánchez-Romero, "Gestión y uso del suelo agropecuario en la zona de rural del Cantón Chilla desde una visión socioeconómica," *Univ. Y Soc.*, vol. 12, no. 1, pp. 299–306, 2020.
6. D. Villaseñor, J. Chabla, and E. Luna, "Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro," *Cumbres*, vol. 1, no. 2, pp. 28–34, 2016.
7. Alcaldía de Machala, "Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Machala," 2019.
8. C. Vidal, L. Velepucha, M. Tur, and E. Samaniego, "Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chilla," 2015.
9. D. Villaseñor, *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. 2016.
10. S. Barrezueta-unda, A. Cervantes-alava, M. Ullauri-espinoza, J. BARRERA-LEON, And A. Condygorotiza, "Evaluación Del Método De Ignición Para Determinar Materia Orgánica En Suelos De La Provincia El Oro-Ecuador," *FAVE Sección Ciencias Agrar.*, vol. 19, no. 2, pp. 25–36, 2020.
11. IBM, "IBM SPSS Statistics," *IBM Web Site*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics>.
12. A. M. Rubio Gutiérrez, "La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales," 2010.
13. U.N.L.P., "Apunte de edafología," 2019.
14. L. A. Castillo-Pacheco, J. I. Bojórquez-Serrano, A. Hernández-Jiménez, and D. García-Paredes, "Contenidos De Carbono Orgánico En Suelos Bajo Diferentes Coberturas Vegetales Y De Cultivo," *Cultiv. Trop.*, vol. 37, no. 3, pp. 72–78, 2016.
15. CRCS, "Carbono orgánico: aliado de nuestros suelos," *Consejo Regional de Conservación de Suelos - Río Cuarto*, 2022. [Online]. Available: <http://conservaciondesuelos.org/carbono-organico-aliado-de-nuestros-suelos/>.
16. O. Cano-Flores, G. Vela-Correa, O. A. Acevedo-Sandoval, and M. Á. Valera-Pérez, "Organic carbon concentrations in the woodland and soils of the protected natural area 'El Faro' in Tlalmanalco, Estado de Mexico," *Terra Latinoam.*, vol. 38, no. 4, pp. 895–905, 2020.
17. M. L. Mendoza Castro, "Inventario florístico de la granja Santa Inés," 2015.
18. M. L. Huamán-Carrión, F. Espinoza-Montes, A. I. Barrial-Lujan, and Y. Ponce-Atencio, "Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos," *Sci. Agropecu.*, vol. 12, no. 1, pp. 83–90, 2021.
19. J. Jiménez Pérez, E. J. Treviño Garza, and J. I. Yerena Yamallel, "Concentración De Carbono En Especies Del Bosque De Pino-Encino En La Sierra Madre Oriental," *Rev. Mex. Ciencias For.*, vol. 4, no. 17, pp. 50–61, 2018.