

04

Fecha de presentación: septiembre, 2021

Fecha de aceptación: octubre, 2021

Fecha de publicación: diciembre, 2021

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA RESERVA ECOLÓGICA ARENILLAS

A STUDY OF THE CHEMO-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL IN PRIORITY AREAS OF ARENILLAS ECOLOGICAL RESERVE

Jaime Enrique Maza Maza¹

E-mail: jemaza@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-5165>

Arturo Widberto Sánchez Asanza¹

E-mail: asanchez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5702-7234>

Hugo Enrique Añazco Loaiza¹

E-mail: hanazco@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6090-7155>

Jaime Arturo García Ochoa¹

E-mail: jagarcia@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7846-1400>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Maza Maza, J. E., Sánchez Asanza, A. W., Añazco Loaiza, H. E., & García Ochoa, J. A. (2021). Estudio de las características físico-químicas del suelo en áreas prioritarias de la reserva ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 30-40.

RESUMEN

El bosque seco tropical de la Reserva Ecológica Arenillas (REAR), constituye una de las áreas protegidas del Ecuador con mayor número de especies florísticas y faunísticas endémicas, siendo vital para la conservación en el país. Lamentablemente se han visto amenazada por el hombre, desconociéndose los procesos y alteraciones que estarían provocando en el funcionamiento del suelo y otros recursos. El analizar las características físicas y químicas del suelo en las zonas de restauración activa Norte y Sur de la REAR, fue el objetivo de la investigación. El estudio se efectuó principalmente en las áreas prioritarias de restauración forestal establecidos por el Ministerio de Ambiente y Agua (MAAE), en donde se valoraron ocho puntos de muestreos situados en la zona Norte y Sur de la reserva. Los resultados demostraron que los suelos de las ZRAN de Camaroneras y ZRAS de Ardilla Sabanera tienen un alto grado de influencia con respecto a los parámetros físicos y químicos, esto debido a la heterogeneidad y características edafológicas diferentes de cómo se presentan, cambios que han ido evolucionando por procesos de carácter aluvial, coluvio-aluvial y depósitos salinos, llegando a constituirlos en suelos de tipo mineral, a excepción de la ZRAN-01 que fue de tipo orgánico.

Palabras clave:

Suelo, parámetros físico-químicos, reserva ecológica Arenillas, conservación.

ABSTRACT

The tropical dry forest of the Arenillas Ecological Reserve (REAR) is one of Ecuador's protected areas with the largest number of endemic flora and fauna species, and its conservation is vital for the country. Unfortunately, it has been threatened by man, and the processes and alterations that this has caused in the functioning of the soil and other resources are unknown. The objective of the research was to analyze the physical and chemical characteristics of the soil in the northern and southern active restoration zones of the REAR. The study was carried out mainly in the priority areas of forest restoration established by the Ministry of Environment and Water (MAAE), where eight sampling points located in the northern and southern zones of the reserve were evaluated. The results showed that the soils of the Shrimp Farm ZRAN and Sabanera Squirrel ZRAS have a high degree of influence with respect to physical and chemical parameters, due to the heterogeneity and different edaphological characteristics of how they are presented, changes that have evolved by processes of alluvial, colluvial-alluvial and saline deposits, becoming mineral type soils, with the exception of ZRAN-01 which was of organic type.

Keywords:

Soil, chemo-physical parameters, Arenillas ecological reserve, conservation.

INTRODUCCIÓN

Las áreas naturales protegidas a nivel mundial son estrategias determinantes, orientadas a la conservación de algunas especies al actuar como islas de refugio o islas en extinción (Espinosa, et al., 2016). Adicionalmente, mitigan y previenen las consecuencias provocadas por el cambio de uso del suelo, siendo este fenómeno el responsable de la pérdida de integridad funcional de los ecosistemas (Vitousek, et al., 1997).

El recurso suelo es un factor imprescindible en el funcionamiento de las áreas protegidas, lo que hace importante analizar las características físico-químicas del suelo debido a las alteraciones que se están produciendo dentro de estos ecosistemas frágiles, teniendo en cuenta que son el soporte y suministro de nutrientes de las plantas. Cantú & Yáñez (2018), señalan que *“el cambio de uso de suelo puede alterar, radicalmente, la cubierta vegetal aun en lapsos de tiempo breves, lo que provoca alteraciones en las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo”* (p. 124). Es fundamental no considerar al suelo como un recurso netamente productivo sino desde la perspectiva de un componente socio-ambiental que reemplaza a la visión económica.

En 1976 el Gobierno Ecuatoriano crea el Sistema Nacional de Áreas Protegidas como estrategia para conservar la integridad ecológica y la biodiversidad de sus ecosistemas, Sin embargo, normalmente estas áreas se encuentran rodeadas por actividades de uso intensivo del suelo (Morcatty et al., 2013), siendo uno de ellos la Reserva Ecológica Arenillas (REAR), donde además las presiones climáticas secas y ventosas han sido un factor de riesgo para la zona. La REAR, es una de las áreas protegidas más importantes del Suroccidente del Ecuador, su gran diversidad de vegetación xerofita y riqueza faunística han sido los factores principales para su conservación. Actualmente cuentan con un plan de manejo (PM) que lo han zonificado de acuerdo a sus características ecológicas, antrópicas y al uso del suelo (Ministerio del Ambiente, 2015), que tiene como propósito mitigar y proteger los sectores que ha sido y están siendo sometidos por la fuerte presión del hombre, especialmente en la zona Norte y Sur de la reserva, que de acuerdo a sus características son de fácil acceso para el asentamiento y de actividades acuícolas y agropecuarias.

Los bosques que se encuentran ubicados en zonas relativamente pobladas, muchas veces poseen suelos aptos para cultivos y por tal razón han sido intervenidos y destruidos mucho más que los bosques húmedos. En general todos los ecosistemas enfrentan esta amenaza, pero es el bosque estacionalmente seco uno de los más impactados por este fenómeno (Miles, et al., 2006). Por tal motivo las estrategias para su protección, gestión y conservación requieren un

conocimiento profundo de los elementos y procesos del ecosistema. Sin embargo, estas tácticas se dificultan en la mayoría de los bosques al no contar con suficiente información científica sobre las características morfológicas del suelo.

En este contexto, el presente estudio se plantea el disponer información básica del recurso suelo sobre las áreas prioritarias de restauración forestal de la REAR indicadas por el Ministerio del Ambiente, Agua (MAAE), teniendo como objetivo de la investigación el analizar las características físicas y químicas del suelo en las zonas de restauración activa Norte y Sur de la reserva. Posterior al análisis de los resultados se determinó la variabilidad y dinámica correlacional de los elementos físico-químicos en el suelo, permitiendo de esta manera considerar parámetros importantes en el desarrollo, preservación y restauración de la vegetación y la tierra, recursos que ayudaran a la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos, la gestión y conservación de los bosques secos.

Este estudio fue realizado gracias a la autorización de investigación científica, proyecto denominado “Estimación de las propiedades físicas y químicas de suelos con enfoque ecosistémico de la zona de restauración en la Reserva Ecológica Arenillas” de fecha 14 de agosto de 2017. N° 007-2017-IC-S-DPAEO-MAE emitida por la Dirección Provincial del Ambiente de El Oro, a quienes los autores agradecen su apoyo. Asimismo, a los técnicos de la Reserva Ecológica Arenillas por su acompañamiento en el proyecto investigativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Reserva Ecológica Arenillas “REAR” (Figura 1, c), perteneciente a la provincia de El Oro (Figura 1, a), cantón Arenillas (Figura 1, b), según su mapa y registro oficial la reserva posee una extensión de 13.170,025 ha y se encuentra definida en cuatro zonas de manejo; zona de uso restringido, uso público y turismo, protección estricta y de restauración (Ecuador. Ministerio del Ambiente, 2015).

De acuerdo al análisis del estudio, la investigación se centra en la zona de restauración con una extensión de 9.175,59 ha (Figura 1, d), por sus características ecológicas esta área se fragmenta en dos bloques; Restauración Pasiva (RP) y Restauración Activa (RA), en la primera no se permite realizar actividades de mantenimiento, su restauración es de forma natural. En cambio, en la RA por su radical transformación del suelo, provocado por la explotación del hombre, a través de las actividades agrícolas, extracción de madera, cultivo de camarón, fabricación de ladrillos y turismo informal, se permite la intervención de elementos

naturales o sintéticos que promuevan la recuperación del suelo y biodiversidad, siendo este bloque el interés primordial de la investigación.

El bloque de RA comprende áreas altamente degradadas que en la actualidad siguen siendo sujetas de presión, identificadas claramente en los sectores Norte donde la actividad camaronera privada cada vez gana terreno y al Sur en donde los asentamientos humanos colindantes buscan quitar espacio forestal mediante el establecimiento de las actividades agropecuarias. Bajo este contexto, y con el propósito de estudiar las áreas mayormente afectadas para una futura recuperación, se consideró el mapa de áreas prioritarias de restauración forestal, obtenido del Portal Único de MAAE, permitiendo identificar y determinar la extensión de estudio de 216 ha (Figura 1, d).

El área de estudio presenta varias formaciones geológicas entre las que destacan; Depósito Aluvial de Estero, Aluvión Terciario Superior- Pleistoceno y Serpentinita "El Toro" (Cretácico). El clima se diferencia en los dos sectores, al Norte corresponde a cálida árida con una precipitación menor a 350 mm/año, al Sur con cálida seca con una precipitación que fluctúa de 500–1000 mm/año, el promedio de temperatura es de 24 °C.

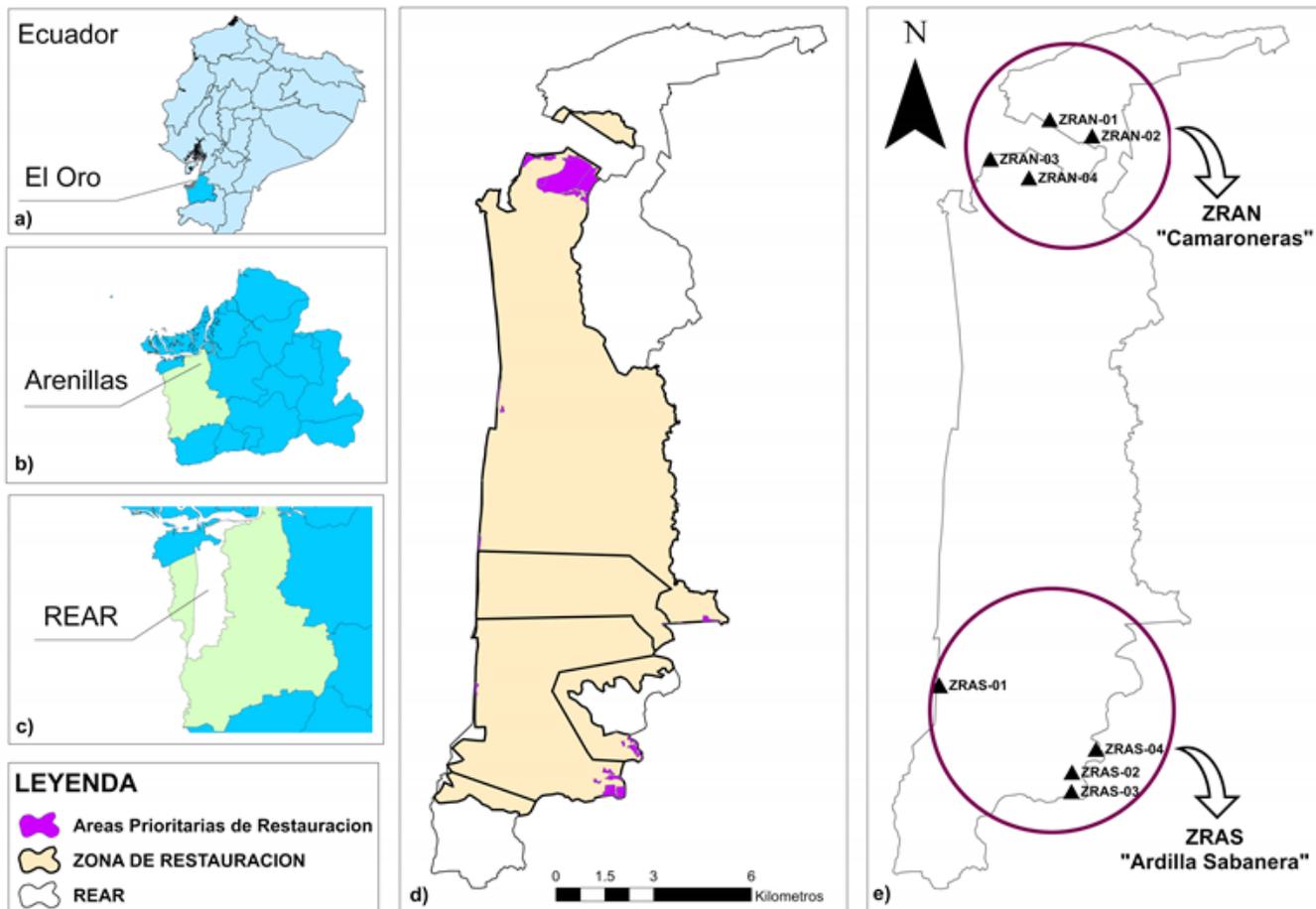


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio; a) El Oro-Ecuador, b) Arenillas-El Oro, c) Reserva Ecológica Arenillas, d) Zona de restauración y Áreas prioritarias de restauración forestal y d) Puntos de muestreo en la zona de restauración activa Norte y Sur (ZRAN y ZRAS).

Para la determinación de los sitios a muestrear se seleccionaron 8 puntos, la localización se realizó mediante georreferencia de forma aleatoria simple, donde se consideró la intervención y uso de suelo actual de las zonas de estudio. El análisis, permitió seleccionar 4 puntos en la Zona de Restauración Activa Norte (ZRAN) denominado "Cameroneras" y 4 puntos en la Zona de Restauración Activa Sur (ZRAS) denominado "Ardilla sabanera" (Figura 1, e), nombres que fueron considerados de acuerdo a los puntos de objetos de conservación descritos en el PM de la REAR. En complementación a los puntos de muestreos, se detalla las coordenadas, los tipos de ecosistemas, orden y formación de suelos, información obtenida del portal de mapa interactivo del Ministerio del Ambiente y cartografía geomorfológica de SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador año 2015 (Tabla 1).

Tabla 1. Zonas de muestreo y tipos de ecosistemas.

Sector	Zona de muestreo	Coordenadas		Ecosistemas	Orden de suelo	Formación
		X	Y			
ZRAN-01	Camaroneras 01	595054	9618890	Intervenido	T. Misceláneas	Depósitos salinos
ZRAN-02	Camaroneras 02	596354	9618390		T. Misceláneas	Depósitos salinos
ZRAN-03	Camaroneras 03	593131	9617493		Aridisol	Depósitos coluvio-aluvial
ZRAN-04	Camaroneras 04	594418	9617102		Aridisol	Depósitos coluvio-aluvial
ZRAS-01	Ardilla Sabanera 01	591657	9601515	Bosque Deciduo Tierras Bajas	Vertisol	Depósitos aluviales
ZRAS-02	Ardilla Sabanera 02	595738	9598848		Alfisol	Depósitos coluvio-aluvial
ZRAS-03	Ardilla Sabanera 03	595722	9598254		Alfisol	Depósitos coluvio-aluvial
ZRAS-04	Ardilla Sabanera 04	596473	9599555		Alfisol	Depósitos coluvio-aluvial

En la ZRAN de Camaroneras, los sectores ZRAN-01 y ZRAN-02 están representadas por el orden de suelo de tierras misceláneas, es decir no están caracterizadas como unidades de suelo, siendo tierras que soportan poca o nula vegetación. Por sus ubicaciones cercanas al mar estas zonas hacen referencia a la génesis de marino y fluvial marino, formado por depósitos salinos. Sin embargo, las ZRAN-03 y ZRAN-04 que están distantes al mar, presentan el tipo de suelo Aridisol con características de relieve colinado muy bajo de textura franco arcilloso en superficie y fertilidad natural mediana. Su formación corresponde a depósitos coluvio-aluviales de arena y grava, de variado tamaño. De acuerdo al tipo de ecosistema, estas zonas se consideran como intervenidas. Para la ZRAS de Ardilla Sabanera, las características del suelo son distintas a la zona norte, el tipo de ecosistema Bosque Deciduo Tierras Bajas y su ubicación geográfica influyen en gran parte en el cambio paisajístico. La ZRAS-01 situado al suroeste de la REAR presenta un orden de suelo Vertisol con características de génesis fluvial, formado de depósitos aluvial con presencia de arcilla, limo y gravas finas, son de pendiente ligeramente suave y presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes. En cambio, las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04 situados al sureste son de tipo Alfisol, presentaron características de pendiente ligeramente suave a moderadas, son de formación de depósitos coluvio-aluviales compuesto de clastos de cuarzo lechoso dentro de una matriz areno-arcillosa, rojiza y ferruginosa, son de textura franco arcilloso, el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes es notable en esta zona.

En cada uno de los puntos seleccionados se realizaron calicatas de hasta 0.85 m de profundidad, se utilizó el libro de Campaña como guía para la descripción de los horizontes genéticos y muestreo de suelos (Schoeneberger, et al., 2002) y se corroboró con los criterios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

La determinación de las propiedades del suelo se realizó en dos escenarios; el primero en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), donde se analizó los parámetros físicos; densidad aparente (DA), densidad real (DR), porosidad y textura, fundado en los métodos de Sandoval, et al. (2012), los parámetros químicos de pH y Conductividad Eléctrica (CE), se midieron a través de diluciones de suelo-agua en volumen de partes iguales 1:2.5, para la materia orgánica (MO) se utilizó el método de Walkley y Black (Behel, et al., 1983). Para la determinación de los elementos nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), el análisis fue efectuado en un laboratorio privado certificado, bajo los métodos reconocidos internacionalmente; *Association of Official Analytical Chemist* (AOAC 955.04/2001.11), *Environmental Protection Agency* (EPA 3050 B/7610) y *American Public Health Association* (APHA 4500 PE).

Con los datos físico-químicos obtenidos se realizó el análisis de la prueba estadística del coeficiente de correlación múltiple de Pearson, con el propósito de determinar la variabilidad de las propiedades físicas y químicas en los suelos de las zonas Camaroneras y Ardilla Sabanera, los valores utilizados para este análisis, correspondieron a los primeros horizontes de cada sector con un espesor de profundidad de 0 a

10 cm, por ser la capa de suelo de mayor afectación y donde se producen los principales cambios. Este proceso de datos se realizó mediante el programa estadístico SPSS versión 21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la hipótesis de que las actividades acuícolas y deforestación están induciendo cambios en las propiedades de los suelos, se efectuó previamente una descripción morfológica en cada uno de los horizontes de los perfiles edáficos de las zonas de estudio.

La Tabla 2 se observó que las características morfológicas de los perfiles en la ZRAN de Camaroneras fueron heterogéneas, siendo las ZRAN-01 y ZRAN-02 las de mayor variación en relación a las ZRAN-03 y ZRAN-04 que mostraron características similares. En el caso de las dos primeras zonas, estas se ubican sobre un terreno antes cubierto por manglar, los perfiles presentaron una saturación de agua subsuperficial de hasta 60 y 80 cm respectivamente, siendo menos severa en la ZRAN-01 reconociendo a los horizontes como (AB-Bg), debido a la reducción y remoción del hierro durante la formación del suelo y cambios patogénicos provocado por el agua estancada, tornándole una homogenización del perfil completamente grisácea (Moreno Ramón & Ibáñez Asensio, 2019). Sin embargo, los perfiles de las dos últimas zonas tuvieron una denominación de (Ai-Bm1-Bm2), producto de la escasa y ligera descomposición de la materia orgánica y fuerte cementación patogénica en sus capas subsuperficiales,

La zona de Ardilla Sabanera mostro que la dinámica de los horizontes no tuvo mayor variación morfológica en relación a las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04, sus características denotaron un proceso iluvial migratorio descendente de MO de un horizonte a otro en cada una de las capas superficiales, esto significo que la MO acumulada y los contenidos de arcilla se pierda a partir de los 12, 18 y 10 cm de profundidad respectivamente, dándole como denominación un horizonte (AE) y horizonte (B) a las capas subsuperficiales con mayor acumulación de arcilla y presencia de moteaduras de Fe y CO_3Ca . Sin embargo, para la ZRAS-01 la capa superficial presento modificaciones de actividades humanas, de color pardo amarillento oscuro, tornándose a mayor profundidad de color rojizo con cierta presencia de sales solubles, denominándole una secuencia de horizontes de (Ap-B-Bz).

Las características de la clase textural de suelos en las ZRAN-01 y ZRAN-02 presentaron variación a pesar de tener la misma formación (depósitos salinos), predominando el franco limoso y franco arenoso respectivamente, lo que significaría que la infiltración del agua en estas zonas sea moderadamente lenta. En las ZRAN-03 Y ZRAN-04 la textura de franco arenoso

predomino en las capas superficiales y en las subsuperficiales el franco arenoso y el arcilloso, sus significativas características edáficas y de relieve, mostraron niveles productivos poco satisfactorios. En cuanto, a la zona Ardilla Sabanera las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04 presentaron superficialmente suelos francos arcillo arenosos con incremento de contenido de arcilla a profundidad, estas características pudieron deberse al aporte gravitacional y deposición de material aluvial proveniente de los relieves situados en el entorno. De acuerdo a Vargas & Céspedes (2019), estos suelos son de capa arable, con un régimen de temperatura isotérmica utilizados para el desarrollo de actividades forestales, Por otro lado, la ZRAS-01 presento característica de relieve menos pronunciado con intervención de actividades agropecuarias (cultivos y ganadería), significando una clase textural que va desde franco arcilloso en la capa superficial hasta franco limoso en la parte subsuperficial (Tabla 2).

Los valores de DA revelaron una variabilidad en cada uno de los sitios de la zona de Camaroneras, la ZRAN-01, presento el promedio más bajo de 0.95 g/cm^3 , significando un suelo con buena estructura y volumen de poros, pudiendo ser un buen indicador para el crecimiento radicular de las plantas, en cambio, las ZRAN-02 y ZRAN-04 su promedio alcanzo 1.65 g/cm^3 , manifestando cierta afectación en la estructura del suelo, para la ZRAN-3 el valor promedio fue alto de 1.90 g/cm^3 lo que demuestra un alto grado de compactación y restricción del crecimiento de las raíces. Al analizar las densidades de la zona de Camaroneras con los de Ardilla Sabanera, estas fueron significativamente mayor, sus valores promedios alcanzaron un mínimo de 1.55 g/cm^3 en la ZRAS-04 y un máximo de 1.84 g/cm^3 en la ZRAS-01, pudiendo deberse este fenómeno al cambio estructural del suelo que presentaron cada uno de sus horizontes, promovidos por el material parental, clima, topografía, y también el uso del suelo para la ZRAS-01.

Según Martínez-Gamiño, et al. (2019), cuando existe un incremento de la densidad aparente, la porosidad del suelo tiende a reducirse, limitando el crecimiento de las raíces en el suelo. Es así que, en el sector de Camaroneras el mayor promedio de tasa de porosidad (48%) se sitúa en la ZRAN-01, y con menor tasa la ZRAN-03 con el 15.7%. En cambio, para el sector Ardilla Sabanera se reflejaron valores descendentes en cada una de las zonas, el más notorio fue en la ZRAS-01, teniendo en la capa superficial un valor del 32% de porosidad, y que pasó a reducirse al 10% a mayor profundidad. Para Mora & Toro (2007), una porosidad baja, es provocada por la disminución de poros en el suelo, lenta infiltración del aire y agua, causando dificultad en las raíces en alcanzar los nutrientes y el mejor desarrollo productivo de la planta.

La Densidad real, es un parámetro que se refiere al peso del material sólido que compone al suelo. En

consideración a los resultados obtenidos, podemos decir que los suelos minerales son mucho más frecuentes que los suelos orgánicos, en este caso la ZRAN-01 presentó esta última característica, sin embargo, las ZRAN-04 y ZRAS-01 presentaron valores superiores a 2,5 g/cm³ con características de (arcillas, cuarzo, feldspatos, calcitas, micas), el resto de zonas se mantuvieron en un rango de 1.92 a 2.33 g/cm³ significando una esporádica presencia de humus y yeso en el suelo.

Tabla 2. Propiedades físicas del suelo de la Zona de Restauración Activa Norte “Cameroneras” y Sur “Ardilla Sabanera”.

Sector	Horizonte	Profundidad (cm)	Textura (%)			Clase Textural USDA	Densidad Aparente (g/cm-3)	Densidad Real (g/cm-3)	Porosidad (%)
			Arcilla	Limo	Arena				
ZRAN-01	AB	0 – 60	10,7	71,3	18	FL	0,96	1,67	42,5
	Bg	61 – 80	18	62	20	FL	0,93	2,01	54,4
ZRAN-02	ABg	0 – 60	1,3	39,4	59,3	FA	1,55	2,17	28,57
ZRAN-03	Ai	0 – 10	8,4	24,4	67,3	FA	1,90	2,17	12,4
	Bm1	11 – 30	30	20,4	49,7	FYA	1,84	2,33	21
	Bm2	31 – 80	46,4	5,7	48	YA	1,96	2,27	13,7
ZRAN-04	Ai	0 – 10	16	16	68	FA	1,66	2,63	36,9
	Bm1	11 – 47	12	30,4	57,7	FA	1,89	2,33	18,9
	Bm2	48 – 70	70,7	21,3	8	Y	1,53	2,27	32,6
ZRAS-01	Ap	0 – 20	10	20	70	FA	1,70	2,50	32
	B	21 – 55	42,4	17,7	40	YA	1,80	2,17	17,1
	Bz	56 – 85	14,7	50	35,3	FL	2,03	2,27	10,6
ZRAS-02	AE	0 – 12	20,4	19	60,7	FYA	1,69	2,22	23,9
	B	13 – 45	20	18	62	FYA	1,81	2,17	16,6
	B/C	46 – 85	62,4	9,7	28	Y	1,82	2,17	16,1
ZRAS-03	AE	0 – 18	26	28	46	FYA	1,60	2,15	25,6
	B	19– 85	52	20	28	Y	1,62	1,92	15,6
ZRAS-04	AE	0 – 10	38	20	42	FY	1,43	2,13	32,9
	B	11 – 74	44,4	15,7	40	Y	1,68	2,32	27,6

Abreviaturas: A= Arenosa; F= Franca; L= Limosa; Y= Arcillosa

La Tabla 3 muestra que los valores del pH fueron variables en los suelos de la zona de Cameroneras. Al estar situados en un clima semiárido con baja precipitación y reducida disponibilidad de agua, son susceptibles a la acumulación de sales solubles causado por la evaporación, siendo notoria la alta presencia de sustancias alcalinas como los carbonatos y común en praderas semiáridas, significando un problema en el intercambio catiónico (CIC), estas características prevalecieron en las ZRAN-01, ZRAN-02 y ZRAN-04, y para la ZRAN-03 el pH fue bajo con un promedio de 6.6 ligeramente ácido. En cambio, en la zona de Ardilla Sabanera la que mayor trascendencia tuvo fue la ZRAS-01 con aumentos de pH a mayor profundidad de 6.6 a 8.9, cambio que pudo haberse derivado por la alcalinidad del agua con mayor solubilidad de N, K, Ca y Mg, lo que podría ser incompatible para el crecimiento y salud de las plantas (Saavedra-Romero, et al., 2020), característica distinta a las ZRA-02, ZRAS-03 y ZRAS-04, donde los valores de pH fueron menores a 7.1 teniendo gran repercusión los contenidos moderados de materia orgánica sobre estos perfiles.

Al analizar la salinidad del suelo a través de la conductividad eléctrica (CE), los valores revelaron un mayor grado en la ZRAN-01 con un registro de 5.7 dS m⁻¹, factor que podría estar limitando de acuerdo a la resistencia el desarrollo de algunas especies, entre ellas; del mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) que es común encontrarlas asociadas en esta zona. Sin embargo, es importante tener en cuenta los ligeros aumentos de CE que presentan las capas subsuperficiales de las ZRAN-03 y ZRAN-04, con registros de 0.1 a 1.1 y 0.5 a 2.7 dS m⁻¹ respectivamente, resultados que para vegetaciones muy sensibles podrían restringir sus rendimientos. En el caso de la zona Ardillas Sabanera, los cuatro sectores de estudio presentaron valores <1 dS m⁻¹, significando suelos libres de sales, facilitando el manejo de la fertilización y evitando problemas por fitotoxicidad en las plantas, estos bajos valores se deben en gran medida al tipo de ecosistema donde se desarrollan (Bosque Deciduo Tierras Bajas),

una planta en un ambiente húmedo y fresco tolera mejor la salinidad que una cultivada en un ambiente cálido y con baja humedad relativa.

Tabla 3. Propiedades químicas del suelo de la Zona de Restauración Activa Norte “Camaroneras” y Sur “Ardilla Sabanera”.

Sector	Horizonte	Profundidad (cm)	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	Nitrógeno (mg/Kg)	Potasio (mg/Kg)	Fósforo (mg/Kg)
ZRAN-01	AB	0 – 60	7,8	5,7	0	<2530	2015	0,5
	Bg	61 – 80	6,6	5,7		4144	2751	1,8
ZRAN-02	ABg	0 – 60	8,7	0,5	0	4242	1761	1,1
ZRAN-03	Ai	0 – 10	6,7	0,1	1,4	<2530	613	0,9
	Bm1	11 – 30	6,8	0,5		<2530	1146	2
	Bm2	31 – 80	6,5	1,1		<2530	862	1,0
ZRAN-04	Ai	0 – 10	7,4	0,5	0,3	<2530	1516	0,5
	Bm1	11 – 47	8,1	2,7		<2530	751	0,8
	Bm2	48 – 70	8,3	1,2		<2530	906	0,7
ZRAS-01	Ap	0 – 20	6,6	0,06	1,7	<2530	790	4,8
	B	21 – 55	6,7	0,13		<2530	1766	0,9
	Bz	56 – 85	8,9	0,3		<2530	555	5,3
ZRAS-02	AE	0 – 12	6,6	0,13	3,2	<2530	733	0,2
	B	13 – 45	6,5	0,13		<2530	725	1,7
	B/C	46 – 85	7,1	0,6		<2530	707	2,9
ZRAS-03	AE	0 – 18	6,8	0,08	3,5	5409	862	0,4
	B	19– 85	6,6	0,09		<2530	854	0,8
ZRAS-04	AE	0 – 10	6,8	0,12	3,9	5938	996	1
	B	11 – 74	6,7	0,14		<2530	647	<0,1

Abreviaturas: pH= Potencial de Hidrogeno; CE= Conductividad Eléctrica; MO= Materia Orgánica

Para el análisis de la MO, se tomó como referencia los suelos de los primeros horizontes, los resultados revelaron una baja concentración en la zona de Camaroneras, especialmente en las ZRAN-01 y ZRAN-02, cuyos valores fueron 0%. En cambio, en la zona de Ardilla Sabanera, la tasa fue mayor, principalmente en las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04, con valores de 3,2; 3,5 y 3,9% respectivamente, es probable que la topografía accidentada tenga implicación con el aumento de la MO, debido a las condiciones que esta pudiera prestar, frente a la protección del viento, radiación solar, temperatura, humedad y acción biológica de microorganismos en el suelo, permitiendo mejorar su estructura y evitar la erosión del suelo.

La mineralización del N para este tipo de ecosistema semiárido presento disponibilidades próximas a la real, debido a las dificultades más notorias como; el flujo de agua, circulación de aire, contenido de materia orgánica y presencia microbiana, volviendo compleja la medición de este elemento. Para el caso de las ZRAN-01 y ZRAN-02 el contenido de N fue alto 4144 y 4242 mg/kg en comparación a las ZRAN-03 y ZRAN-04 con un promedio de (<2530 mg/Kg) pudiendo deberse al significativo flujo de agua y moderado contenido de materia orgánica en las capas subsuperficiales, características diferentes a las otras zonas. Sin embargo, en el Sur por el tipo de ecosistema se presentaron parches o islas de fertilidad, evidenciándose altos contenidos de N en las capas superficiales de las ZRAS-03 y ZRAS-04 (5409 y 5938 mg/Kg), al analizarlo con zonas similares esto se da por la cobertura del dosel de árboles y arbustos, el microclima, contenido de nutrientes, eficiente humedad y circulación de aire que presenta el suelo (Celaya-Michel & Castellanos-Villegas, 2011).

En lo que respecta a las concentraciones de K y P, la disponibilidad fue heterogénea en todos los horizontes de cada perfil del suelo. En el caso de las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04 las fijaciones fueron menor, viéndose condicionadas por los altos contenidos de MO y arcilla. En cambio, para las demás zonas, en especial las ZRAN-01 y ZRAN-02 las concentraciones de K y P fueron altas, en este caso los contenidos de MO y arcilla fueron bajos. Sin embargo, es importante considerar otras propiedades como el Ph, la estructura de suelo franco, los cambios estacionales y los procesos que son regulados por equilibrios químicos, como parte de la variabilidad de las concentraciones en los elementos de K y P.

Los resultados de variabilidad en la ZRAN “Camaroneras”, mediante el coeficiente de correlación de Pearson, demostró correlaciones fuertes entre cinco variables, con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Estas relaciones presentaron diferencias con respecto a los valores, correspondiendo cuatro correlaciones menores a cero (negativa); limo-arena, arena-CE, DA-CE y MO-K, y una correlación mayor a cero (positiva); arena-DA (tabla 4). Para Asuero, et al (2006), una correlación negativa, significa que mientras la una variable aumenta de valor la otra disminuye o viceversa, en cambio, para la correlación positiva cuando el valor de una variable es alto, el valor de la otra es igual o viceversa.

Tabla 4. Coeficiente de correlación-Pearson de las propiedades física-químicas del suelo en la ZRAN “Camaroneras”.

	Arcilla	Limo	Arena	D.A	D.R	Porosidad	pH	C.E	M.O	N	K	P
Arcilla	1											
Limo	-,223	1										
Arena	-,028	-,968*	1									
D.A	-,061	-,921	,960*	1								
D.R	,331	-,934	,873	,733	1							
Porosidad	,383	,526	-,637	-,813	-,200	1						
pH	-,574	,392	-,255	-,440	-,172	,474	1					
C.E	,177	,920	-,989*	-,953*	-,812	,682	,162	1				
M.O	,071	-,507	,502	,719	,182	-,873	-,842	-,480	1			
N	-,851	,045	,173	,054	,017	-,078	,837	-,299	-,418	1		
K	-,036	,657	-,665	-,844	-,351	,909	,777	,646	-,980*	,307	1	
P	-,905	-,200	,437	,480	,028	-,677	,325	-,565	,236	,778	-,321	1

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

La tabla 4 muestra la prueba de los valores significativos del coeficiente de correlación de Pearson para la ZRAN de Camaroneras. Limo - Arena. - El análisis correlacional para estos dos parámetros fue negativo -0.937, significando que, a mayor porcentaje de limo, menor es la concentración de arena. Estas propiedades tienen influencia sobre la fertilidad del suelo; el limoso posee una adecuada retención de agua y nutrientes, por otro lado, los suelos arenosos retienen poca humedad y requieren de aportes de elementos por su baja fertilidad, sin embargo, ambos poseen buena aireación.

Arena - Conductividad eléctrica. – Para esta correlación, el coeficiente fue negativa de -0.978 (significativa), este valor confirma con la característica de la ZRAN-01 donde el porcentaje de textura de arena es bajo en comparación a la CE que es alta, característica que, de acuerdo a estudios florísticos realizados en la zona, permiten asegurar un mejor desarrolló del bosque *Rhizophora mangle*, seguido de *Avicennia germinans*.

Densidad aparente - Conductividad eléctrica. – Su valor de coeficiente de relación fue negativa significativa con -0.908, al igual que el análisis anterior la representación más clara se ubica en la ZRAN-01, donde los valores de DA fueron los más bajos y su CE fue la más alta. “La conducción de la electricidad en los suelos se realiza principalmente a través de macro y microporos continuos y llenos de agua entre partículas de suelo” (Simón, et al., 2013, p.52), esto se relaciona con los valores obtenidos para las ZRAN-03 y ZRAN-04.

Materia orgánica – Potasio. - El análisis de correlación presenta una significancia negativa de -0.961, esto indica que al disminuir la MO el contenido de K en el suelo aumenta, tal como se explica en los valores de las ZRAN-01 y ZRAN-02 y viceversa de las ZRAN-03 y ZRAN-04 (Tabla 3). Existen otros factores que podrían estar influyendo en el aumento del K, producidos por el bajo contenido de humedad y aumento del pH del suelo, componentes que tienen relación por el bajo contenido de MO.

Arena - Densidad aparente. - El coeficiente de estos parámetros dio como resultado una correlación positiva de 0.921. correspondiendo que, a mayor porcentaje de arena, mayor será el valor de DA o viceversa, análisis que es corroborado por Rosas, et al. (2016). Esta característica mayormente la vemos acentuada en las ZRAN-03 y concuerda con el análisis, que los suelos de textura arcillosa y con altos contenidos de MO presentan concentraciones bajas de DA que los suelos tipo arenoso.

Efecto de la variabilidad sobre las Propiedades Físico-químicas del suelo “ZRAS-Ardilla Sabanera”

Los resultados de variabilidad en la ZRAS “Ardilla Sabanera”, mostraron como valores significativos a cuatro relaciones de variables con un nivel de significancia de $p \leq 0,01$ y de ($p \leq 0,05$), tres correlaciones fueron negativas; arena-N (-0,956), DA-K (-0,965) y DR-MO (-0,993), y una correlación fue positiva; pH-N (0.995) (Tabla 5).

Tabla 5. Coeficiente de correlación-Pearson de las propiedades física-químicas del suelo en la ZRAS “Ardilla Sabanera”.

	Arcilla	Limo	Arena	D.A	D.R	Porosidad	pH	C.E	M.O	N	K	P
Arcilla	1											
Limo	,154	1										
Arena	-,948	-,462	1									
D.A	-,937	-,082	,867	1								
D.R	-,880	-,356	,905	,665	1							
Porosidad	,147	-,334	-,024	-,478	,338	1						
pH	,885	,454	-,941	-,925	-,709	,324	1					
C.E	,593	-,418	-,398	-,375	-,666	-,296	,151	1				
M.O	,922	,269	-,914	-,729	-,993**	-,248	,733	,707	1			
N	,876	,525	-,956*	-,891	-,743	,241	,995**	,757	,757	1		
K	,829	,183	-,804	-,965*	-,509	,614	,939	,120	,568	,852	1	
P	-,668	-,298	,696	,365	,933	,634	-,412	-,738	-,903	-,481	-,166	1

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral); **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

La tabla 5 muestra la prueba de los valores significativos del coeficiente de correlación de Pearson para la ZRAS de Ardilla Sabanera.

Arena - Nitrógeno. – El resultado de esta correlación, presentó un coeficiente negativo de -0.915, al analizar los valores de estos parámetros, se pudo deducir que las ZRAS-01 y ZRAS-02 sus concentraciones de N fueron bajas en todo su perfil y su clase textural estuvo dominada por el franco arenoso, es decir con mayores concentraciones de arena. Sin embargo, para las ZRAN-03 y ZRAN-04 el comportamiento fue diferente, revelando altos contenidos de N solo en las capas superficiales, mientras la textura de suelo estuvo dominada por el franco arcilloso y arcilla.

Densidad aparente - Potasio. – La correlación entre DA-K fue negativa con un valor de -0.931, estos parámetros al ser analizados con la textura del suelo, muestran que la DA no es la óptima para el crecimiento efectivo de las raíces de las plantas, ya que están por lo alto de los valores normales de 1.4 g/cm^3 , lo cual significa que la fijación de K se presente en concentraciones bajas en comparación a las ZRAN-01 y ZRAN-02, a esta característica de cambio también se considera el pH, la humedad y compactación del suelo.

Densidad real – Materia Orgánica. – El coeficiente obtenido en esta correlación fue de -0.987, valor que establece, que a mayor medida de DR, menor será el porcentaje de MO, colaborando este análisis con lo descrito por Rosas, et al. (2016), donde indican que la DR varía en función de la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, entre otros componentes del suelo. Bajo el contexto antes señalado, se puede deducir que todos los suelos de las ZRAS de ardilla Sabanera están constituidos por minerales con bajo contenido de material orgánico.

pH - Nitrógeno. - La correlación en los dos parámetros fue positiva de 0.991. significando una dependencia en sus comportamientos sobre el suelo, es decir, el comportamiento del pH en todas las zonas de Ardilla Sabanera no presentó cambios significativos en cada una de sus profundidades, manteniéndose en un rango de 6.5 a 7.1 moderadamente ácido, estos valores al ser analizados con los contenidos de bajo a moderado de materia orgánica, se obtiene como respuesta una fijación baja de N. Según Hernández, et al (2018), el pH se considera transcendental dentro de las actividades microbianas al momento de sintetizar compuestos húmicos durante temporadas de alta sequía, de ahí la importancia dada su relación con la fisiología y la respuesta bioquímica de las plantas.

CONCLUSIONES

A través de los resultados obtenidos se determinó que los suelos de las ZRAN de Camaroneras y ZRAS de Ardilla Sabanera tienen un alto grado de influencia con respecto a los parámetros físicos y químicos, esto debido a la heterogeneidad y características edafológicas diferentes de cómo se presentan, particularidades que han venido siendo provocados a lo largo del tiempo por la alteración de los depósitos de carácter aluvial, coluvio-aluvial y depósitos salinos.

Los suelos mostraron una variabilidad horizontal y vertical en los perfiles, significando una clase textural heterogénea, dominando el franco arenoso en la ZRAN de Camaroneras y el franco arcillo arenoso y arcilloso en la ZRAS de Ardilla Sabanera, esta última debido a la alta meteorización en las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04. Los valores de densidad aparente (DA) tendieron a aumentar en mayor significancia en zonas donde han sido intervenidas por el hombre siendo las ZRAN-03, ZRAN-04, ZRAS-01 y ZRAS-02. Sin embargo, los valores en las ZRAN-01 fueron bajos, esto debido a la constitución de tipo material orgánico por la que están compuesto, siendo esta la razón para que la densidad real (DR) refleje valores $<2 \text{ g/g/cm}^3$, es decir, todas las demás zonas están constituidas por material de tipo mineral con valores $>2 \text{ g/g/cm}^3$, característica que estaría condicionando que los suelos presenten un porcentaje de porosidad baja $<36.9\%$, debido al agrupamiento de partículas elementales, generando un cambio textural y estructural en el suelo.

El pH se clasificó de ligeramente ácido a ligeramente alcalino para la ZRAN de Camaroneras y ligeramente ácido a neutro en la ZRAS de Ardilla Sabanera, es importante resaltar que las ZRAN-04 y ZRAS-01 revelaron una diferencia significativa del grado de pH en las tres profundidades analizadas, característica parecida a los valores obtenidos en la conductividad eléctrica (CE) donde las concentraciones de sales fueron bajas, favorables para el desarrollo de plantas, pero que podrían tener ligeras limitaciones para especies sensibles, a excepción de la ZRAN-01, donde las concentraciones salinas fueron altas, propias para la adaptación del bosque de manglar, en especial de los géneros *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. El contenido de materia orgánica (MO) tuvo mayor significancia en la zona de Ardilla Sabanera, alcanzando niveles medio en las ZRAS-02, ZRAS-03 y ZRAS-04. Sin embargo, en la zona de Camaroneras los porcentajes resultaron muy bajos con valores de hasta el 0% en las ZRAN-01 y ZRAN-02.

Los niveles nutricionales de N, P y K mostraron una variabilidad de contenidos de un punto a otro en las mismas zonas, siendo las ZRAS-03 y ZRAS-04 las de significativa concentración nutricional, con mayor presencia y abundancia relativa de especies florísticas.

En cambio, para las ZRAN-01 y ZRAN-02 por su ubicación en suelos de manglar y de tipo orgánico, producto de la acumulación de residuos orgánicos la fijación de nitrógeno fue alta.

La calidad y estado de la vegetación en las zonas de Camaroneras y Ardilla Sabanera, están íntegramente condicionadas por el recurso suelo, lo que demanda políticas de recuperación y estrategias de manejo para este recurso, ya que de forma contraria aumentaría los riesgos de degradación. La restauración con especies florísticas tolerantes a las características de la zona se considera de esencial importancia, al igual que los programas de mejoramiento genético, estudio de bioindicadores adecuado a las condiciones actuales y la integración de las comunidades aledañas, constituyen mecanismos de gran beneficio para la restauración de estas zonas. Además, la información suscitada, al considerar el ecosistema manglar un sistema complejo por los elementos naturales que la rodean, fortalece el accionar de futuras actividades de reforestación en estas zonas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asuero, A. G., Sayago, A., & González, A. G. (2006). The Correlation Coefficient: An Overview. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 36(1), 41–59.
- Behel, D., Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1983). Assessment of heavy metal equilibria in sewage sludge-treated soil. *Journal of Environmental Quality*, 12(2), 181–186. _
- Cantú Silva, I., & Yañez Díaz, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45). _
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343–356.
- Ecuador. Ministerio del Ambiente. (2015). Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Arenillas. <https://mae.eloro.files.wordpress.com/2015/08/ministerio-del-ambiente-plan-de-manejo-de-la-reserva-ecologica-arenillas3.pdf>
- Espinosa, C. I., Jara-Guerrero, A., Cisneros, R., Sotomayor, J. D., & Escribano-Ávila, G. (2016). Arenillas Ecological Reserve; A refuge of biodiversity or an island of extinction? *In Ecosistemas*, 25(2), 5–12. _
- Hernández, W., Marco, L. M., Torres, D., & Romero, P. (2018). Variabilidad espacial del Ph y del contenido de Fe_2O_3 en suelos de la cuenca del río Tabure del estado Lara. *Ciencia y Tecnología*, 11(1), 18–26.
- Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna Ceja, E. S., & Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 765–778.

- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491–505. _
- Mora, E., & Toro, M. (2007). Estimulación del crecimiento vegetal por *Burkholderia cepacia*, una cepa nativa de suelos ácidos de sabanas venezolanas. *Agronomía Tropical*, 57(2).
- Morcatty, T. Q., El Bizri, H. R., Carneiro, H. C. S., Biasizzo, R. L., Alméri, C. R. de O., Silva, E. S. da, Rodrigues, F. H. G., & Figueira, J. E. C. (2013). Habitat loss and mammalian extinction patterns: are the reserves in the Quadrilátero Ferrífero, southeastern Brazil, effective in conserving mammals? *Ecological Research*, 28(6), 935–947.
- Moreno Ramón, H., & Ibáñez Asensio, S. (2019). Procesos formadores: La salinización. Universitat Politècnica de València.
- Rosas Patiño, G., Muñoz Ramos, J., & Suárez Salazar, J. C. (2016). Incidence of agroforestry systems *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. On physical properties of soil hilly in Caquetá department, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(2), 116–122.
- Saavedra-Romero, L., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., & Hernández-De la Rosa, P. (2020). Physical and chemical properties of the urban soil in the San Juan de Aragon Park, Mexico City. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 529–540.
- Sandoval, M., Doner, J., Seguel, O., Cuevas, J., & Rivera S. (2012). Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales.
- Schoeneberger, P. J. (2000). Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. National Soil Survey Center.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del suelo*, 31(1), 45-55.
- Vargas Curaca, E. R., & Céspedes Paredes, R. (2019). Clasificación de suelos según la aptitud de riego en la estación experimental Patacamaya. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 72–80. _
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277(5325), 494–499.