

ISSN: 2773-7772

Volumen 16 | Número 1 | Junio 2022

Revista Científica

Ciencias Naturales y Ambientales



UNIVERSIDAD
DE GUAYAQUIL



Facultad
de Ciencias Naturales

ÁREA CIENCIAS DE LA VIDA

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad de Guayaquil

Editora

Dra. Carmita Bonifaz de Elao, MSc. (Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil,
Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, carmenbonifaz@hotmail.com)

Consejo Editorial

Xavier Cornejo Sotomayor, MSc. (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Galo Salcedo Maridueña, Ph.D. (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Beatriz Pernía Santos, Ph.D. (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Ariel Escobar Troya, MSc. (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Comité Científico

Claes Persson, Ph.D. (Departamento de Biología y el Medio Ambiente, University of Gothenburg, Suecia)

Bertil Ståhl, Ph.D. (Departamento de Biología, Gotland University, Suecia)

Adolfo Borges, Ph.D. (Universidad Central de Venezuela, Venezuela)

Elba Mora de Baños, MSc. (Profesor Honorario Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Jaime Buestán Aucancela, Dr. (Profesor Honorario Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Manuel Cruz Padilla, MSc. (Instituto Oceanográfico de la Armada, Ecuador)

PhD. María Eugenia Rondon Rivas, Universidad de los Andes (Venezuela)

Coordinación Editorial

Jessy Santana Pincay

Impresión y acabados

Imprenta de la Universidad de Guayaquil

Edición patrocinada y financiada por la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Esta publicación se envía a personas o instituciones por intercambio con otros similares, dedicada a las Ciencias Naturales.

This publication is sent to people or institutions for exchange with other similar issues dedicated to Natural Sciences.

Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales es de periodicidad semestral y se distribuye por canje con otras publicaciones dedicadas a temas afines. Toda correspondencia que tenga relación con la Revista deberá ser dirigida a la editora, Carmita Bonifaz Balseca, a la dirección que se indica más adelante.

Incluida en el Directorio de LATINDEX

con el número de Folio 16446,

ISSN electrónico: 2773-7772

Vol. 15(2), Se terminó de editar en junio de 2022

Canje, suscripciones y avisos, dirigirse a:

Exchange, subscriptions and publicity, go to:

Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales

Código Postal 090110634

Avenida Raúl Gómez Lince s/n y Avenida Juan Tanca Marengo

<https://www.revistas.ug.edu.ec/>

<https://www.revistas.ug.edu.ec/index.php/cna>

revistacienciasnaturales@ug.edu.ec

Telf.: (04) 3080777 - 3080758 ext. 200

Guayaquil, Ecuador



Cuantificación de cadmio en suelos de cultivo de cacao en el cantón Arenillas, provincia de el Oro, Ecuador

Quantification of cadmium in cocoa crop soils in the Arenillas canton, el Oro province, Ecuador

Karina Arias Miranda^{1*}, Olga Arévalo Castro², Mariuxi Mero Valarezo³

¹Egresada de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

²⁻³ Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

Recibido 10/02/2022; recibido en forma revisada 10 abril 2022; aceptado 30 de mayo 2022; disponible en línea 04/06/2022

Resumen

El aumento de la contaminación por cadmio con el paso del tiempo es resultado de un desbalanceado proceso de fertilización. La finalidad del presente estudio fue cuantificar la concentración de cadmio en suelos agrícolas destinados a la producción de cacao en el cantón Arenillas, provincia de El Oro, al suroccidente de Ecuador. Para el estudio se seleccionaron 4 puntos de muestreo, tomando muestras triplicadas por cada punto a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm. Para cuantificar el cadmio se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica con llama (AAS). Además, se realizaron análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo y de los fertilizantes más usados para conocer su influencia con el Cd del suelo. Se demostró que existe una mayor presencia de cadmio a profundidades de 20-30 cm, variando las concentraciones entre 0.40-0.52 mg/kg de Cd, concluyendo que esto se debía mayormente al aporte de cadmio por parte de los fertilizantes utilizados.

Palabras Claves: Cacao, cadmio, contaminación, fertilizantes, normatividad, suelo.

Abstract

The increase of cadmium pollution over time is the result of an unbalanced fertilization process. The aim of this study was to quantify the concentration of cadmium in agricultural soils used for cocoa production in the Arenillas canton, province of El Oro, southwestern Ecuador. For the study, four sampling points were selected, triplicate samples for each point at depths of 0-10, 10-20, 20-30 cm were taken. The flame atomic absorption spectrophotometry (AAS) method was used to quantify cadmium. In addition, analyses of the physicochemical parameters of the soil and of the most used fertilizers were carried out to determine their influence on soil Cd. It was shown that there was a greater presence of cadmium at depths of 20-30 cm, with concentrations varying between 0.40-0.52 mg/kg of Cd, so it was concluded that this was mainly due to the contribution of cadmium by the used fertilizers.

Keywords: Cadmium, cocoa, contamination, fertilizers, regulations, soil.

Introducción

La contaminación de los suelos por metales pesados es un tema que ha tomado importancia en años recientes. Existen considerables concentraciones de metales altamente nocivos como cadmio, plomo, entre otros, los cuales pueden alterar de forma negativa las características físicas, químicas y biológicas del suelo, además, pueden llegar a ser perjudiciales para

la salud humana (Morocho & Puente, 2019).

El cadmio (Cd) es un metal pesado que puede tener origen natural o antropogénico, este no presenta ninguna función conocida ni en las plantas ni en las personas, sin embargo, la acumulación y biodisponibilidad de este metal en el suelo ha llevado a que sea asociado a diversos problemas de salud por lo que tiende a almacenarse en el cuerpo humano y afectar a ciertos órganos como los riñones y también pueden generar problemas óseos (Meter et

* Correspondencia del autor:
E-mail: olga.arevaloc@ug.edu.ec



al., 2019) que no tiene una función conocida en los seres humanos. Se acumula en el cuerpo y afecta principalmente a los riñones, pero también puede causar desmineralización ósea. Estamos cada vez más expuestos al cadmio en nuestra dieta. En respuesta a esto, la Unión Europea (UE). En los últimos años, se han obtenidos datos que muestran el aumento progresivo de cadmio en suelos agrícolas como resultado de una extensa y continua fertilización fosfatada, provocando así una mayor movilidad y biodisponibilidad de este metal en las plantas (Herrera, 2011).

En el Ecuador se ha demostrado a través de diversos estudios realizados que existen evidencias de contaminación por Cd en suelos agrícolas, tal es el caso reportado por Mite *et al.* (2010), quienes encontraron elevados contenidos de Cd en suelos de cultivo de cacao en varias provincias de Ecuador. Esto ha generado una gran preocupación en el mercado internacional, que de acuerdo a lo reportado en la revista "El Productor" (Miranda, 2019), Ecuador es el cuarto exportador mundial de cacao en grano y lidera la producción de la variedad de cacao fino de aroma con una participación del 63%, siendo la Unión Europea y Estados Unidos los principales destinos de exportación.

Por todo lo anteriormente mencionado, las normativas ambientales nacionales e internacionales han establecido niveles de concentración máxima de cadmio que se pueden encontrar en suelos agrícolas y en los productos derivados de las materias primas. Para el caso de Ecuador, el Acuerdo Ministerial 097 A establece que el nivel máximo de cadmio en suelo debe ser de 0.5 mg/kg, y para el caso internacional rige lo establecido por la Unión Europea en la Directiva 86 /278 /CEE, el cual indica que el nivel máximo de cadmio en suelo debe ser de 3 mg/kg y en el Reglamento UE de la Comisión No. 488 / 2014 que indica las concentraciones máximas de cadmio en los productos derivados del cacao que varían de entre 0.1 a 0.8 mg/kg (European Commission, 2013; Ministerio del Ambiente, 2015; Union Europea, 1986b) a concentration-effect model that relates the concentration of cadmium in urine to that of beta-2-microglobulin (B2M. Por otro lado, el cantón Arenillas perteneciente a la provincia de El Oro, posee una extensión de 810.27 Km² de la cual alrededor del 9.87% de su superficie se encuentra destinada al uso agrícola, dando como resultado que únicamente el 1% es decir alrededor de 769.85 ha. se usa para cultivo de cacao (Segara, 2013).

Estudios realizados (INIAP- PROMSA, 2003, citado en Díaz *et al.*, 2018) reportaron la presencia de Cd en niveles tóxicos en suelo cacaotero de la Provincia de El Oro, y almendras de cacao con cantidades superiores a 1 mg de Cd. Así mismo, Smolders (2017) atribuye que la contaminación de los suelos por este metal puede ser generada por distintos factores, dentro de los cuales uno de los más representativos puede ser los fertilizantes fosfatados, debido a que el cadmio se encuentra a menudo en altas concentraciones en las

rocas fosfatadas de las que se elabora el fertilizante. Sin embargo, no existen estudios con resultados específicos asociados al cantón Arenillas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El cantón Arenillas se encuentra localizado en la Provincia de El Oro, en el suroccidente de Ecuador, cuenta con una extensión de 810,27 , posee un clima cálido y seco, y sus principales actividades económicas son la agricultura, ganadería y acuicultura (Segara, 2013).

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Arenillas, la superficie es mayormente ocupada por cobertura natural, mientras que el 9,87% del suelo es utilizado para fines agrícolas, sin embargo, un 3,12% del área total está representada por cultivos misceláneos, es decir un aproximado de 2533,95 ha. están ocupadas por cacao, maíz, maracuyá, limón, mango, naranja y plátano. De toda esta superficie los cultivos de cacao ocupan 769,85 ha., siendo este uno de los productos que tienen mayor área plantada en el cantón; alrededor del 45% del total de superficie cultivada por cacao posee un cultivo asociado, mientras el 55% es monocultivo (Segara, 2013).

En el cantón existen únicamente dos tipos de productores de cacao, los pequeños productores, que poseen una superficie menor a 10 ha. de cultivo, y los medianos productores, los cuales tienen fincas con superficies que abarcan desde los 10 hasta las 50 ha., de los cuales, el 60% de la producción de cacao se exporta en forma de grano, el 35% se utiliza como materia prima para la elaboración de licor, pasta, manteca, polvo, chocolate, y el otro 5% es enviado a industrias artesanales del país (Segara, 2013).

Puntos De Muestreo

Dentro del área de estudio se plantearon 4 puntos estratégicos para la toma de muestras de forma aleatoria simple (Fig. 1).

Metodología en campo

Una vez seleccionados los 4 puntos de muestreo, se prosiguió a realizar el muestreo simple aleatorio en donde se extrajo 3 réplicas por cada punto, recolectando un total de 12 muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm. Para determinar si existe variación en la concentración de cadmio a diferentes profundidades se tomaron muestras a diferentes profundidades, la primera entre 0-10 cm, la segunda entre 10-20 cm y la tercera entre 20-30 cm.

Para la recolección de las muestras se utilizó la metodología por Mendoza & Espinoza (2017), donde se empleó el método de pala, y se realizaron procedimientos por cada punto:

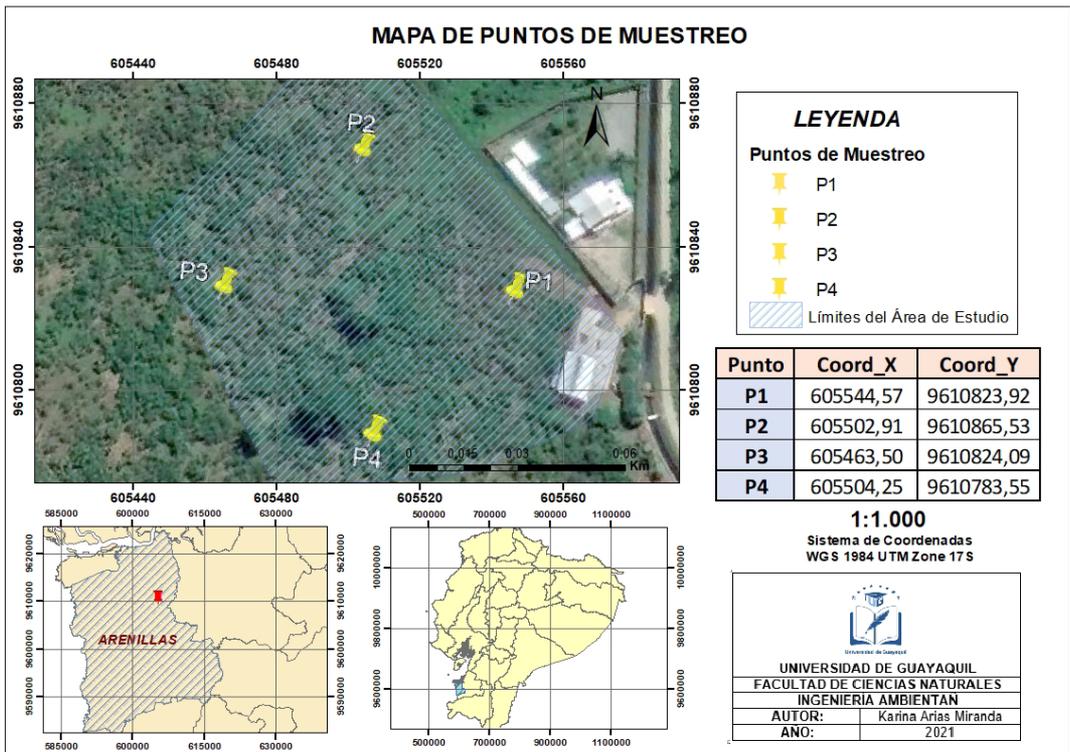


Figura 1. Área de estudio con los puntos de muestreo.

- Se desbrozó el área de localización de los puntos, eliminando la materia orgánica o rocas en la capa superficial del suelo.
- Se cavó un agujero con la pala en forma de V, en donde el ancho del hueco fue el mismo que el de la pala y la profundidad, de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.
- Se realizó el corte de suelo con un espesor de 5 cm desde la pared del hueco, para posteriormente depositarla en una funda plástica negra completamente libre de impurezas, en donde se disgregó el suelo quedando porciones más pequeñas.
- Finalmente se codificó las fundas plásticas con cierre hermético y se almacenó dentro de ellas las muestras que contenían 1 kg de suelo cada una, para ser transportadas al laboratorio acreditado en la ciudad de Guayaquil, evitando contaminación con otros agentes externos.

como Urea y el Fosfato di amónico (DAP), por lo que se tomó en total 6 muestras entre los dos fertilizantes, 3 réplicas por cada uno.

Codificación de Muestras de Suelo y Fertilizantes

En las Tablas 1 y 2 se pueden observar las codificaciones utilizadas para las 12 muestras de suelo y para las 6 muestras de fertilizantes.

Metodología de laboratorio para análisis de parámetros

Para el análisis de las muestras, fueron enviadas al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP.

Antes de realizar los respectivos análisis, primero se llevó a cabo el tratamiento de las muestras, el cual consistió en dejarlas secar alrededor de 7 días a temperatura ambiente, luego fueron disgregadas en un mortero de porcelana y finalmente se usó un tamiz de 0,02 mm para obtener la muestra a analizar.

Análisis de Cadmio

Se realizó la digestión ácida asistida por microondas utilizando una cantidad de suelo 0.5 g., y la lectura se realizó utilizando un Espectrómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer modelo AA-400, con una

Además de realizar el muestreo de suelos también se realizó el muestreo de fertilizantes 0.5 kg debidamente rotulada, dentro de los cuales los más usados fueron el Nitrato de Amonio o más conocido

Tabla 1. Codificación de muestras de suelo.

Punto de Muestreo	N.º Muestra	Codificación
P1	1	MP1-10CM
	2	MP1-20CM
	3	MP1-30CM
P2	4	MP2-10CM
	5	MP2-20CM
	6	MP2-30CM
	7	MP3-10CM
P3	8	MP3-20CM
	9	MP3-30CM
	10	MP4-10CM
P4	11	MP4-20CM
	12	MP4-30CM

lectura de longitud de onda de 228.8 nm, con un límite de detección de 0.002 mg/kg y un límite de cuantificación < 0.5 mg/ kg.

Análisis de parámetros químicos

pH Para la determinación de pH el laboratorio utilizó el método de volumetría potenciométrica, pasta saturada suelo/agua 1:2,5. El proceso sigue las especificaciones del método de referencia dado por la EPA (1982).

Materia Orgánica: Para la determinación de materia orgánica se utilizó el método de Walkley & Black (1934), con Dicromato de Potasio.

Conductividad Eléctrica: En la determinación de la conductividad eléctrica del suelo se usó la metodología establecida por USSL (1954).

Determinación de concentración de Fósforo y Zinc: Para la determinación de estos nutrientes en el suelo se utilizó la metodología descrita por la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, (2018), siendo este el método de Olsen Modificado.

Tabla 2. Codificación de muestras de fertilizantes.

Fertilizante	N.º Muestra	Codificación
Nitrogenado	1	NA-1
	2	NA-2
	3	NA-3
	4	DAP-1
Fosfatado	5	DAP-2
	6	DAP-3

Fósforo (P): Para realizar este análisis se realizó la preparación de los estándares para la curva de calibración de 1 -2.5 -5 y 7.5 ppm de fósforo, procediendo a realizar el proceso para determinación de P en Espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 882 nm.

Zinc (Zn): Se siguió lo descrito por la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, (2018) para el proceso de determinación de zinc realizando también los estándares para la curva de calibración 0.5-1.0-1.5 y 2.0 ppm y realizando las lecturas en espectrofotómetro y multiplicar ese valor por factor de dilución de 10, obteniendo los resultados finales.

Determinación de concentración de Nitrógeno:

Para la determinación de nitrógeno se usó el método de colorimetría y la lectura se la realizó utilizando un espectrofotómetro UV-VIS Lambda 1 con una longitud de onda de 660 nm. Para determinar el NH₄⁺ primero se tuvo que realizar su extracción a través del proceso indicado (McKean, 1993), y posteriormente se procedió a realizar la determinación del mismo a través del método anteriormente mencionado tal como lo describen Arango y Pérez (2005); Kempers (1974) using Berthelot's reaction after Kjeldahl distillation. The blue color formed by the ammonia-phenol complex in the presence of sodiumnitroprusside (disodiumpentacyanonitrosylferrate).

Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C):

Para poder obtener los resultados del análisis de la capacidad de intercambio catiónico se usó la metodología descrita por Azcarate y Kloster (2010), quienes recomiendan utilizar la solución de Acetato de Amonio. Finalmente se realiza la titulación de lo destilado con solución de ácido clorhídrico (HCl), y las cantidades de cationes amonio expresada en miliequivalentes equivale a la C.I.C del suelo.

Análisis de Fertilizantes: En lo que corresponde a la metodología se utilizaron las mismas técnicas mencionadas anteriormente, en lo que respecta a cadmio, micro y macronutrientes.

Estudio comparativo con Normativas Ambientales:

Se realizó una comparación de los resultados de cadmio de las muestras de suelo con las normativas ambientales nacionales Acuerdo Ministerial 097 A - Anexo 2 de 0.5 mg/kg y las internacionales Unión Europea, y la US EPA 1-3 , 0.48 mg/kg respectivamente las mismas que están relacionadas con la presencia de cadmio en suelo (Ministerio del Ambiente, 2015; Union Europea, 1986; EPA, 2002).

Análisis Estadísticos: Una vez obtenidos los resultados del laboratorio acreditado Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se procedió a realizar el procesamiento de datos a través del manejo del programa estadístico

Minitab 2019, y se procedió a realizar la prueba de normalidad Anderson - Darling, para poder conocer la distribución de los datos, seguido de esto se hizo un análisis de varianza, para este caso se utilizó ANOVA de un factor teniendo como nivel de significancia $\alpha=0,05$ y un test posterior de Tukey, esto con el fin de conocer si existía algún tipo de diferencia significativa entre las concentraciones de cadmio, tanto por punto de muestreo como por profundidad. Para poder identificar los factores que influían a que exista presencia de cadmio en el suelo se realizó una prueba de normalidad para cada uno de los elementos, posterior a la prueba se ejecutó un análisis de correlación de Spearman por cada uno de los parámetros analizados, de igual forma se realizó el análisis de correlación con los fertilizantes.

Resultados

Determinación de concentración de Cd en suelo

Se evidencian las concentraciones de cadmio en relación a los puntos de muestreo y la profundidad de 0-10, 10-20 y 20-30 cm respectivamente, obteniendo una concentración mínima en el punto 4 de 0.30 mg/kg y una máxima de 0.52 mg/kg en el punto 1 (Fig. 2).

A continuación se describen los datos estadísticos de las concentraciones de cadmio encontrados en las diferentes muestras de suelo del área de estudio, dándonos como resultado una media de 0.41 ± 0.08 mg/kg (Tabla 3).

Análisis de Varianza de la concentración de Cd en suelo por punto de muestreo.

Las medias de los puntos de muestreo analizados no presentan una variación significativa, teniendo la media máxima en el punto 2 con $0.44 \pm 0,10$ mg/kg y la media mínima en el punto 4 con 0.35 ± 0.05 mg/kg, sin embargo, para comprobar se realizó el Análisis de varianza de un solo factor (Tabla 4).

Adicionalmente se realizó el análisis de normalidad, para este caso se ejecutó una prueba de Anderson-Darling, con el fin de conocer si los resultados presentaban una distribución normal (Fig. 2). Los resultados obtenidos de esta prueba indicaban que existía una distribución normal de los datos, debido a que el valor p fue de 0.134, siendo este mayor al nivel de significancia de 0.05.

A partir del análisis de normalidad se procedió a realizar el ANOVA de un solo factor, cuyo objetivo es examinar algún tipo de diferencia entre las medias de los puntos (Tabla 5). La prueba F de comparación de varianzas dio como resultado 0.78, lo que permitió aceptar la hipótesis nula que indica que “no existen diferencias significativas”, además el valor de p 0.539 es mayor al nivel de significancia, indicando que no existen evidencias suficientes para considerar que al menos dos medias difieren entre sí.

Se observan las concentraciones medias de los puntos

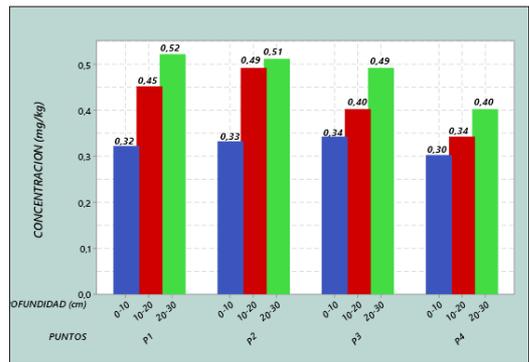


Figura 2. Concentraciones de Cd en suelo.

muestreados, verificando a través de ANOVA de 1 factor ($p<0,05$) y test de Tukey que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Fig. 3).

Análisis de Varianza de la concentración de Cd en suelo por profundidad de muestreo.

Según lo descrito anteriormente en la varianza de medias de las concentraciones por puntos fue poco significativa, sin embargo, para el caso de las medias de concentraciones por profundidad de muestreo es totalmente diferente (Tabla 6), la media máxima se encuentra a una profundidad de 20-30 cm con 0.48 ± 0.03 mg/kg y la media mínima a una profundidad de 0-10 con 0.32 ± 0.01 mg/kg, existiendo una gran diferencia entre las medias.

Luego de obtener la estadística descriptiva y la prueba de normalidad, se procedió a realizar el ANOVA de un solo factor, se muestran los resultados obtenidos al aplicar el Análisis de Varianza dando un valor de F de 10.12 y un valor de p de 0.005 (Tabla 7).

Las concentraciones medias a diferentes profundidades de los puntos muestreados y las letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según ANOVA de 1 factor ($p<0.05$) y test de Tukey. Dando a entender que existe variación

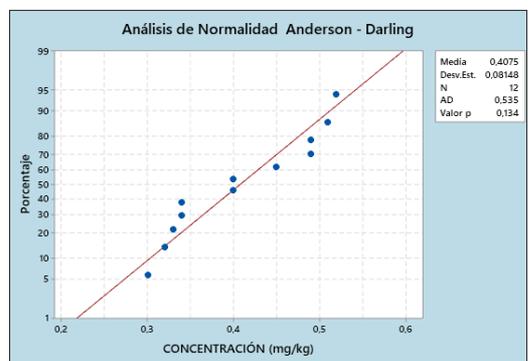


Figura 2. Análisis de normalidad Anderson-Darling.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las concentraciones de Cd en suelo.

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo
mg/kg	12	0.41	0.02	0.08	0.01	0.30	0.40	0.52

Tabla 4. Estadística Descriptiva de las concentraciones de Cd por puntos de muestreo.

Variable	Puntos	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo
(mg/kg)	P1	0.43	0.06	0.10	0.01	0.32	0.45	0.52
	P2	0.44	0.06	0.10	0.01	0.33	0.49	0.51
	P3	0.41	0.04	0.08	0.01	0.34	0.40	0.49
	P4	0.35	0.03	0.05	0.00	0.30	0.34	0.40

significativa entre ellas (Fig. 4a,4b).

Identificación de factores influyentes para la concentración de Cadmio.

Para identificar los factores que influyen a que exista concentración de cadmio, se tabularon los datos obtenidos en laboratorio con respecto al análisis de los parámetros químico de las muestras de suelo: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, zinc y la capacidad de intercambio catiónico, siendo estos parámetros seleccionados los que presentan correlaciones con el cd en otros estudios, en donde el pH de las muestras es neutro, además poseen una conductividad eléctrica no salina, el contenido de materia orgánica es mayormente medio con un rango que varía entre el 1 al 4.8%, el contenido de nitrógeno varía entre 25 a 31 ppm, el contenido de fósforo es bajo y varía entre 4 a 12 ppm, el contenido de zinc presente en suelo son concentraciones medias variando entre 1.73 y 3.34 ppm y la capacidad de intercambio catiónico es mayormente media presentando un único valor bajo en el punto 2 de 12.8 meq/100g (Tabla 8).

Dónde: N= Neutro NS= No Salino B= Bajo M= Medio A= Alto

Además, se realizó un análisis de laboratorio de cadmio a los dos fertilizantes más utilizados por el productor de cacao, siendo el fertilizante Fosfatado el que presenta mayor aporte de Cd con 0.05 mg/kg y los nitrogenados presentan un aporte de Cd de 0.03 mg/kg (Tabla 9).

Una vez elaborada la tabulación de los datos se procedió a realizar la prueba de normalidad Anderson-Darling para cada uno de los parámetros químicos analizados tanto del suelo como de los fertilizantes, con el fin de conocer el análisis de correlación que se debe aplicar. Una vez obtenidos los resultados de normalidad se estableció que se utilizaría el coeficiente de correlación de Spearman, además se realizó un

Tabla 5. Resumen de resultados de ANOVA - Concentración versus puntos

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Media de los Cuadrados	Valor F	Valor p
Puntos	3	0.01649	0.005497	0.78	0.539
Error	8	0.05653	0.007067		
Total	11	0.07302			

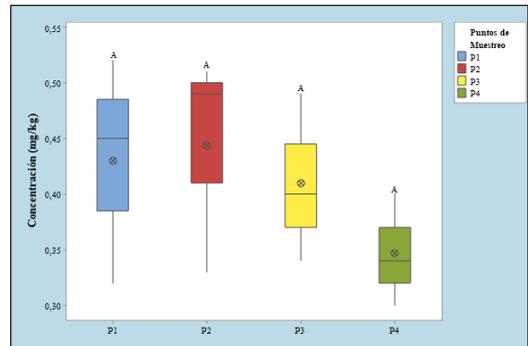


Figura 4a. Diagrama de cajas de la concentración de Cd por puntos de muestreo.

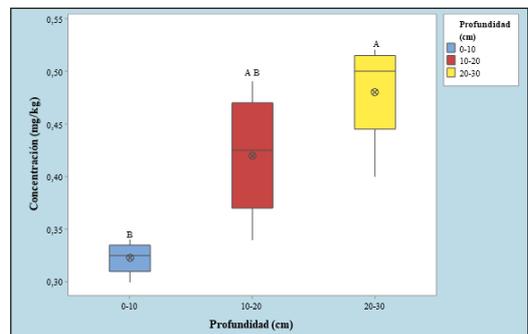


Figura 4b. Diagrama de cajas de las concentraciones de Cd en suelo a distintas profundidades.

Tabla 6. Estadística Descriptiva de las concentraciones de Cd por profundidad de muestreo.

Variable	Profundidad (cm)	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
(mg/kg)	0-10	4	0.32	0.01	0.02	0.30	0.33	0.34
	10-20	4	0.42	0.03	0.07	0.34	0.43	0.49
	20-30	4	0.48	0.03	0.06	0.40	0.50	0.52

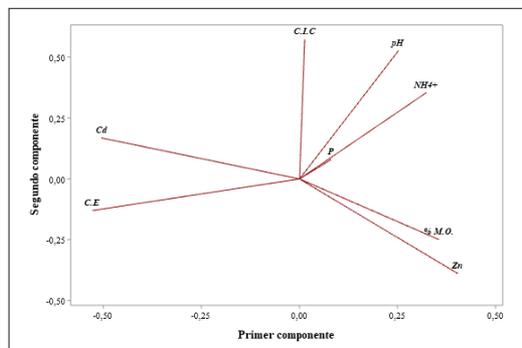


Figura 5. Análisis de componentes principales entre los parámetros químicos del suelo con el Cd.

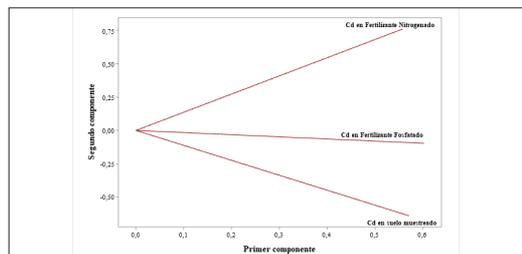


Figura 6. Análisis de componentes principales entre Cd de suelo muestreado y de los fertilizantes utilizados.

análisis de componentes principales. Como se puede observar (Tabla 10) se encuentran los resultados del cálculo de los coeficientes de correlación en donde el primer valor denota la correlación r y el segundo el valor de p , de acuerdo con esta tabla existe el metal contaminante Cd que posee una correlación negativa y escasa ($r = -0.124$) con el pH, una relación positiva y fuerte con la conductividad eléctrica ($r = 0.757$), una relación negativa y moderada ($r = -0.588$) con la materia orgánica, con NH_4^+ , P, posee una relación negativa y escasa ($r = -0.192$ y $r = -0.039$), con Zn por el contrario muestra una relación negativa pero entre moderada y fuerte ($r = -0.717$), mientras que con la C.I.C. posee una relación positiva pero igualmente escasa ($r = 0.120$).

Para la interpretación de los resultados varios autores propusieron diferentes escalas de interpretación,

Tabla 7. Resumen de resultados de ANOVA - Concentración versus profundidad.

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor p
Profundidad (cm)	2	0.05055	0.025275	10.12	0.005
Error	9	0.02247	0.002497		
Total	11	0.07303			

sin embargo, para este estudio se utilizó la Escala 4 descrita por Martínez *et al.*, (2009) la cual indica lo siguiente: 0 - 0.25 escasa o nula, 0.26 - 0.50 débil; 0.51 - 0.75 entre moderada y fuerte; 0.76 - 1.00 entre fuerte y perfecta.

Para poder comprobar la veracidad de las correlaciones obtenidas por el método de Spearman se utilizó la prueba estadística t - Student de dos muestras con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, en donde se utilizaron dos hipótesis: $H_0: \rho = 0$ (No existe grado de correlación entre los parámetros analizados del suelo). $H_a: \rho \neq 0$ (Existe grado de correlación entre los parámetros analizados del suelo) Donde p : media del valor de r , rechazando la hipótesis nula y se acepta la alterna debido a que el valor de $p = -0.062$, por ende, se le da validez al análisis de correlación de Spearman.

Para una mejor visualización de las correlaciones existentes del metal con los parámetros se realizó un análisis de componentes principales tal como se muestra en la Fig. 5a, 5b. Con respecto a la forma en que influye los fertilizantes con la concentración de cadmio en los suelos agrícolas se evidenció que existía una correlación positiva y entre moderada y fuerte para fertilizantes nitrogenados ($r = 0.667$) y para fertilizantes fosfatados fue una correlación positiva y fuerte ($r = 0.834$), siendo el último el que mayor correlación presenta de acuerdo con los resultados obtenidos por el software estadístico MiniTab 2019 (Tabla 11).

Comparación de las concentraciones de cadmio con las normativas ambientales nacionales e internacionales.

En el presente estudio se encontró un nivel de varianza

Tabla 8. Resultados de parámetros químicos del suelo por punto de muestreo.

Puntos de Muestreo	Codificación de Muestras	pH		C.E (mS/cm)	%		ppm						C.I.C (meq/100g)		
					M.O.		NH ₄ ⁺		P		Zn				
P1	MP1-10 cm	7.1	N	0.48	NS	4.7	A	26	B	4	B	2.51	M	18.8	M
	MP1-20 cm	7.1	N	0.50	NS	2.5	M	27	B	4	B	2.36	M	18.6	M
	MP1-30cm	7.2	N	0.49	NS	2.1	M	30	B	5	B	1.87	B	22.0	M
P2	MP2-10 cm	6.7	N	0.49	NS	3.9	M	26	B	5	B	2.94	M	14.0	M
	MP2-20 cm	6.7	N	0.51	NS	4.6	A	25	B	6	B	2.75	M	13.2	M
	MP2-30 cm	6.7	N	0.50	NS	2.2	M	26	B	7	B	2.00	M	12.8	B
P3	MP3-10 cm	6.7	N	0.49	NS	3.0	M	28	B	6	B	3.34	M	14.8	M
	MP3-20 cm	6.7	N	0.49	NS	2.6	M	29	B	5	B	2.95	M	15.2	M
	MP3-30 cm	6.7	N	0.51	NS	1.5	B	27	B	7	B	1.73	B	14.2	M
P4	MP4-10 cm	7.1	N	0.47	NS	4.8	A	31	B	9	M	3.15	M	17.0	M
	MP4-20 cm	7.1	N	0.49	NS	3.4	M	30	B	8	B	2.45	M	16.8	M
	MP4-30 cm	7,0	N	0.49	NS	1.0	B	28	B	12	M	2.37	M	15.8	M

significativo en las concentraciones de cadmio de las muestras a diferentes profundidades, siendo las de 20-30 cm de profundidad se evidenció que presentaron mayores concentraciones de 0.51, 0.52, 0.49, 0.40 mg/kg de Cd respectivamente, se procedió a comparar principalmente estos valores con las normativas ambientales nacionales e internacionales.

Según la normativa de TULSMA para cadmio de 0.5 mg/kg los puntos 1 y 2 no cumplen, mientras que los puntos 3 y 4 cumplen con la normativa. En comparación con la normativa europea todos los puntos cumplieron con los límites establecidos, siendo diferente para el caso de la normativa de US EPA, en donde el único punto que cumple es el 4 (Tabla 12).

Con respecto a la comparación de las normativas con las otras profundidades muestreadas únicamente para el punto 2 a una profundidad de 10-20 cm (Tabla 13), se incumple con la normativa de la US EPA, debido a que este punto presenta una concentración de 0.49 mg/kg, sobrepasando el límite solicitado por la norma. Sin embargo, los otros puntos restantes

cumplen con todos los límites establecidos.

Propuesta de Medidas de Minimización de Cadmio en suelo.

Una vez que los resultados evidenciaron la contaminación por cadmio en el suelo analizado, y pese a ser esta contaminación mínima se procedió a proponer una serie de medidas que ayuden a minimizar las concentraciones de este metal y así

Tabla 9. Resultado de análisis de fertilizantes.

Tipo de fertilizante	Muestra	Concentración Cd (mg/kg)
Nitrogenado	NA-1	0.03
	NA-2	0.03
	NA-3	0.03
Fosfatado	DAP-1	0.05
	DAP-2	0.05
	DAP-3	0.05

Tabla 11. Análisis de correlación entre el cadmio de suelo y fertilizantes.

	Cd en suelo	Cd en Fertilizante Nitrogenado
Cd en Nitrogenado	0.667 0.018	
Cd en Fertilizante Fosfatado	0.834 0.001	0.810 0.001

Tabla 10. Análisis de correlación entre los parámetros analizados: pH, C.E, %M. O, NH4+, P, Zn, C.I.C, Cd

	Cd	pH	C.E	% M.O.	NH4+	P	Zn
pH	-0.124 0.700						
C.E	0.757 0.004	-0.490 0.106					
% M.O.	-0.588 0.045	0.130 0.687	-0.427 0.687				
NH4+	-0.192 0.550	0.521 0.083	-0.527 0.083	-0.128 0.691			
P	-0.048 0.882	-0.108 0.738	-0.021 0.738	-0.163 0.613	0.360 0.250		
Zn	-0.717 0.009	-0.240 0.453	-0.525 0.453	0.648 0.023	0.135 0.677	-0.011 0.974	
C.I.C	0.120 0.711	0.788 0.002	-0.247 0.002	-0.300 0.343	0.389 0.211	-0.230 0.472	-0.483 0.112

Tabla 12. Comparación de los resultados de las concentraciones de Cd a 20-30 cm de profundidad con las normativas ambientales.

Puntos de Muestreo	Codificación de Muestras	Concentración (mg/kg)	TULSMA 0,5 mg/kg	UNIÓN EUROPEA 1-3 mg/kg	US EPA 0,48 mg/kg
P1	MP1-30cm	0.52	No cumple	Cumple	No Cumple
P2	MP2-30 cm	0.51	No cumple	Cumple	No Cumple
P3	MP3-30 cm	0.49	Cumple	Cumple	No Cumple
P4	MP4-30 cm	0.40	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 13. Comparación de los resultados de las concentraciones de Cd a 0 hasta 20 cm de profundidad con las normativas ambientales.

Puntos de Muestreo	Codificación de Muestras	Concentración (mg/kg)	TULSMA 0,5 mg/kg	UNIÓN EUROPEA 1-3 mg/kg	US EPA 0,48 mg/kg
P1	MP1-10cm	0.32	Cumple	Cumple	Cumple
	MP1-20cm	0.45	Cumple	Cumple	Cumple
P2	MP2-10cm	0.33	Cumple	Cumple	Cumple
	MP2-20cm	0.49	Cumple	Cumple	No Cumple
P3	MP3-10cm	0.34	Cumple	Cumple	Cumple
	MP3-20cm	0.40	Cumple	Cumple	Cumple
P4	MP4-10cm	0.30	Cumple	Cumple	Cumple
	MP4-20cm	0.34	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 14. Propuesta de medidas para minimizar concentración de Cd en el suelo.

Propuesta de Medidas de Minimización Generales		
Análisis de Suelo		Es importante realizar periódicamente análisis del suelo con el fin de conocer los excesos o carencias de nutrientes, y de ser el caso plantear acciones correctivas para disminuir o aumentar los nutrientes.
Evitar el uso de agua contaminada para el riego de cultivos.		La contaminación por cadmio en los cuerpos de agua puede aportar de forma significativa la concentración de este metal en el suelo, por lo tanto, se recomienda realizar análisis al agua usada para la irrigación del cultivo de forma periódica.
Evitar el uso excesivo de fertilizantes Fosfatados y Nitrogenados		Se debe realizar la fertilización del suelo de forma balanceada, para esto la fertilización se debe basar en los resultados de los análisis de suelo, debido a que el suelo al tener la cantidad correcta de nutrientes posee menos probabilidad de bioacumular cadmio o cualquier otro metal contaminante.
Realizar un mejor manejo de la Hojarasca		Evitar usar la hojarasca como una fuente de abono orgánico lanzándola directamente al suelo sin antes haber realizado un análisis foliar para evitar contaminación directa por cadmio.
Hacer uso de enmiendas orgánicas		Es necesario el uso de enmiendas orgánicas, como se mostraba en los resultados el cadmio se ha lixiviado llegando a tener altas concentraciones en mayor profundidad. Por lo tanto, el uso de las enmiendas orgánicas ayudará a que exista mayor retención de nutrientes y materia orgánica, al tener un suelo franco-arenoso los nutrientes se lixivian con mayor rapidez.
Hacer uso de la Bio y Fitorremediación.		Se recomienda hacer usos de microorganismos o de plantas captadoras de cadmio que ayuden a mitigar la contaminación en el suelo.
Propuesta de Medidas de Minimización por Factores Influyentes		
Parámetro Influyente	Efecto en la movilidad del Cd	Medida de Minimización
pH	A menor pH mayor es la movilidad del Cd.	Pese a que el pH actual del suelo en la finca es neutro, se deben realizar análisis constantes con el fin de conocer si en algún momento disminuye o se vuelve ácido, se puede regular a través de la técnica del encalamiento, es decir colocar en el suelo compuestos como hidróxidos de calcio, con el fin de incrementar el pH, neutralizar el movimiento del metal y disminuir su concentración.
Materia Orgánica	A menor contenido de M.O. mayor es la movilidad del Cd en el suelo.	Hacer uso de abonos o enmiendas orgánicas para potenciar el contenido de materia orgánica e incluso mejorar su actividad microbiológica. De esta forma se lograría menor movilidad del cd en el suelo y menor absorción de este metal por parte del cultivo.
Fósforo	A mayor concentración de P, mayor concentración de Cd.	Realizar una fertilización balanceada y evitar el uso excesivo de fertilizantes fosfatados, debido a que además de que concentraciones altas de fósforos ayudan al incremento de cd, estos contienen en su composición ciertas concentraciones del metal contaminante.
Nitrógeno	A mayor concentración de N, mayor concentración de Cd.	Evitar el uso de fertilizantes con bajo contenido de metales como lo son los fertilizantes nitrogenados amoniacales, debido a que estos pueden disminuir el pH del suelo en un futuro logrando que aumente la acumulación de metales en el suelo.
Capacidad de Intercambio Catiónico	A medida que aumenta la C.I.C el movimiento del Cd aumenta.	Para disminuir la capacidad de intercambio catiónico se recomienda aumentar las concentraciones de materia orgánica, permitiendo de esta manera la disminución de concentraciones de cadmio

evitar que estas aumenten en un futuro.

Discusión

El cadmio es un metal contaminante cuya toxicidad se incorpora en la vida del ser humano a través de los alimentos que se consume, y estos a su vez son incorporados a través del suelo que permite la biodisponibilidad de este elemento. De forma general se evidenció que en las muestras analizadas cada punto se obtuvieron medias con concentraciones que no sobrepasaban los límites máximos permisibles establecidos tanto en las normas nacionales como internacionales, teniendo así para los puntos 1, 2, 3 y 4, medias que van desde $(0.43 \pm 0.10; 0.44 \pm 0.10; 0.41 \pm 0.08; 0.35 \pm 0.05)$ mg/kg Cd respectivamente.

Sin embargo, cuando se realizó un análisis entre las medias de las muestras por puntos de muestreo no se evidenció una varianza significativa, caso contrario a lo que ocurrió cuando se hizo el mismo análisis pero por rangos de profundidad, dando como resultado que las muestras analizadas en el rango de profundidad de 0-10 cm, presentaban concentraciones que oscilaban entre 0.30 a 0.34 mg/kg de Cd con una media de 0.32 ± 0.02 presentaban mayor varianza con las muestras analizadas a una profundidad de 20-30 cm que presentaban las máximas concentraciones Cd entre 0.40 a 0.52 mg/kg con una media de 0.48 ± 0.06 mg/kg.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, las concentraciones de Cd que se obtuvieron en los resultados del presente estudio difieren en cuanto a otros estudios realizados, como lo manifiesta Argüello *et al.* (2019); Gramlich *et al.* (2017) y Mite *et al.* (2010) animals and humans at low concentrations. It occurs naturally in soils, but inputs from anthropogenic sources have increased soil Cd contents worldwide. Cadmium uptake by cocoa (*Theobroma cacao* L., quienes realizaron estudios por contaminación de Cd a diferentes profundidades del suelo, siendo esta la capa superficial, es decir la de 0-15 cm, la que presente mayor concentración de Cd ya sea total o biodisponible con una media de 1.53 mg/kg, 0.91 mg/kg y 2.53 mg/kg respectivamente, mientras que en el presente estudio las concentraciones mayores se encontraron a un nivel más profundo del suelo 20-30 cm.

La diferencia comparativa entre estos estudios puede darse por la textura del suelo, debido a que el suelo estudiado en la presente investigación posee una textura franca arenosa, lo cual permite que el Cd no se quede atrapado en la superficie, sino más bien este se vaya lixiviando a mayor profundidad, por la permeabilidad que presentan este tipo de suelos, representando un riesgo de contaminación para la planta y para la capa freática del suelo.

En cuanto a lo relacionado con los factores que influyen a que exista presencia de Cd en el suelo, en el presente estudio quedó evidenciado que los parámetros químicos que presentaron mayor

correlación con el metal contaminante fueron: la conductividad eléctrica con un valor de $r=0.757$ lo cual indica que existe una relación lineal directa positiva entre este parámetro y el Cd, este resultado de correlación contradice a lo mencionado por Meter *et al.* (2019) que no tiene una función conocida en los seres humanos. Se acumula en el cuerpo y afecta principalmente a los riñones, pero también puede causar desmineralización ósea. Estamos cada vez más expuestos al cadmio en nuestra dieta. En respuesta a esto, la Unión Europea (UE, quienes indicaron en su estudio que estos dos parámetros poseían una correlación negativa. Otro de los parámetros que tuvo un alto nivel de asociación con el Cd fue el Zn que presentó un $r=0.717$ indicando una correlación negativa y fuerte, tal como lo mencionaba en su estudio el autor mencionado anteriormente, esto debido a que existe una competencia entre ambos elementos, por lo que un bajo nivel de Zn supondría el aumento de Cd en el suelo.

La materia orgánica presenta una correlación moderada, debido a que su valor $r=-0.588$, lo que indica que a menor porcentaje de materia orgánica mayor es el contenido de Cd en el suelo. Esto respalda lo establecido por Gramlich *et al.* (2017) quienes indicaban que la materia orgánica presenta una relación lineal indirecta con el contenido de cadmio en suelo.

Estudios realizados por Argüello *et al.* (2019); Barraza *et al.* (2017); Gramlich *et al.* (2017) evidencian que el contenido de cadmio estaba relacionado linealmente inverso con el pH, evidenciando que en un suelo ácido el contenido de cadmio iba a ser mayor, sin embargo, en el presente estudio no quedó demostrada esta teoría, ya que el pH de todas las muestras analizadas fue neutro variando entre 6.8 y 7.1, presentando una correlación muy baja con el metal contaminante $r=-0.124$.

Algo parecido ocurrió con la relación existente entre Cd, NH_4^+ , P y C.I.C, debido a que varios estudios relacionaban de manera significativa estos parámetros con el contenido de Cd, tal es el caso de Gramlich *et al.* (2017); Meter *et al.* (2019); Sarwar *et al.* (2010) y Zug *et al.* (2019), pese a esto en el presente trabajo de investigación se pudo observar una relación poco significativa entre estos parámetros, siendo así los valores de $r=-0.192, -0.039$ y 0.120 , respectivamente para cada parámetro anteriormente mencionado.

Con respecto al aporte de Cd que realizan los fertilizantes, se obtuvieron como resultado concentraciones de cadmio de 0.03 y 0.05 mg/kg, cuya correlación entre ambos fertilizantes analizados, tanto nitrogenado como fosfatado, fue fuerte y positiva con un valor de r de 0.667 y 0.834, respectivamente. Estos resultados concuerdan con lo dicho por Gramlich *et al.* (2017); Lewis *et al.* (2018) y Meter *et al.* (2019), cuyos estudios informaban sobre la relación existente entre la contaminación por Cd del suelo y el uso de fertilizantes fosfatados.

Cabe recalcar que esta contaminación del suelo se da no solamente por el hecho de aplicar un fertilizante contaminado por Cd, sino también por la forma en cómo se aplicaba el fertilizante, debido a que en la finca La Libertad no se realizaba ningún análisis del suelo para conocer si era necesario o no aplicar ciertos elementos nutritivos, además del desconocimiento de la poca fijación de los nutrientes por la textura del suelo que presentaba, haciendo que se apliquen fertilizantes de forma no balanceada y excesiva.

Finalmente, el estudio comparativo de las concentraciones de cadmio con las normativas ambientales nacionales e internacionales se realizó en base a los rangos de profundidad de suelo analizado, debido a que estos presentaban valores significativos de contaminación especialmente los de 20 - 30 cm, siendo el de mayor concentración el Punto 1 con 0.52 mg/kg Cd, determinando así que el 50% de las muestras analizadas a dicha profundidad sobrepasaban el límite establecido por la norma nacional en el Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097 A que es de 0.5 mg/kg Cd, y el 75% superaban el valor límite establecido por la US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) que es de 0.48 mg/kg Cd, mientras que para la norma Europea el 100% del suelo muestreado cumple con su valor límite establecido que es de 1-3 mg/kg Cd.

En cuanto al análisis comparativo de la profundidad de 0-10 cm se evidenció que el 100% de las muestras cumplían con los valores permitidos por las normas. Algo parecido ocurrió en el análisis comparativo en el rango de 10-20 cm en cuanto a la norma nacional y la establecida por la Unión europea, sin embargo, esto no ocurrió con lo establecido por la US EPA, ya que únicamente el 75% de las muestras analizadas a esta profundidad cumplían con la norma, presentando valores menores a 0.48 mg/kg Cd.

Pese a que la contaminación por Cd en suelo no fue significativa para la Norma Europea, la existencia de este metal contaminante en suelo supondría un riesgo de biodisponibilidad para la planta, y es allí donde la Comisión Europea es más restrictiva estableciendo un nivel máximo de contaminación para los productos relacionados con este cultivo.

Conclusiones

De acuerdo con los análisis realizados en el suelo se pudo observar que las concentraciones significativas de Cd se evidenciaron mayormente cuando se realizó un análisis comparativo entre las distintas profundidades muestreadas, siendo el de mayor concentración el punto 1 a una profundidad de 20-30 cm, presentando un valor de 0.52mg/kg.

Pese que a varios estudios mostraban niveles altos de asociación entre el pH y Cd, en este trabajo de investigación se determinó que no siempre va a existir tal correlación, y que la presencia de Cd en el suelo puede deberse a otros factores como lo fue en

este caso, las bajas concentraciones de Zn, el poco contenido de materia orgánica y el uso no balanceado de fertilizantes contaminados por Cd, incluso la textura del suelo puede también influenciar en las concentraciones de cadmio, tal es el caso en este estudio, que presenta una textura franco-arenosa, por ende, poseía características relacionadas a la permeabilidad y fijación de nutrientes adecuadas para la lixiviación tanto de los nutrientes como del metal pesado contaminante.

Las medias de concentración de cadmio por puntos de muestreo no llegaron a sobrepasar los niveles máximos permitidos por las normativas ambientales nacionales e internacionales, sin embargo, en el caso del análisis de las medias por rangos de profundidad, se pudo establecer que las concentraciones de cadmio a una profundidad de 20-30 cm sobrepasaban los límites de la norma nacional - Acuerdo Ministerial 097 A y la internacional - US EPA.

Si bien es cierto para la normativa europea todas las muestras cumplieron con el límite establecido, al no ser tan restrictiva en sus niveles máximos permitidos de cadmio en suelo, sin embargo, estos toman mayor importancia cuando la contaminación por cadmio se da en los productos derivados del cultivo de cacao.

Finalmente se concluye con la aceptación de la hipótesis planteada, debido a que existe contaminación por cadmio en el suelo, además se evidenció en los análisis de correlación que esto se debe mayormente al aporte de cadmio por parte de los fertilizantes.

Referencias

- Arango, G., y Pérez, J. C. 2005. Determinación de Nitratos y Amonio en Muestras de Suelo Mediante el Uso de Electrodo Selectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 58(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1799142380110ACómo>
- Argüello, D., Chavez, E., Laurysen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., y Montalvo, D. 2019. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*, 649: 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
- Azcarate, M. ., & Kloster, N. 2010. *Comparación de métodos de ensayo para determinación de Cic: Acetato de Amonio y Cloruro de Amonio*. 1: 1-5.
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., y Maurice, L. 2017. Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229: 950-963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Díaz, L., Mendoza, E., Bravo, M., y Domínguez, N. 2018. Determination of levels of cadmium and lead in cocoa beans from organic cocoa farms in Vinces (Ecuador) *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 2(15). <http://revistaespirales.com/index.php/es/article/view/213>
- Environmental Protection Agency. 1982. EPA Method 150.2. *National Bureau of Standards*, 260: 5-8.
- EPA, U. 2002. *Supplemental guidance for developing soil*

- screening levels for superfund sites. *Offices of Solid Waste and Emergency Response*. <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm>
- European Commission. 2013. Statement on tolerable weekly intake for cadmium. *EFSA Journal*, 9(2): 75-79. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot, L., Schneider, M., y Schulin, R. 2016. Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of the Total Environment*, 580: 677-686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., y Schulin, R. 2017. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, 612: 370-378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>
- Herrera, T. 2011. La contaminación con Cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2): 42-47. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112/1040
- Industria Sulfúrica S.A. 2016. *Ficha técnica- Superfosfato triple*. Disponible en: http://isusa.com.uy/files/2016-01/1452778822_ficha-de-seguridad-superfosfato-triple-web.pdf
- Kempers, A. J. 1974. Determination of sub-microquantities of ammonium and nitrates in soils with phenol, sodiumnitroprusside and hypochlorite. *Geoderma*, 12(3): 201-206. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(74\)90068-8](https://doi.org/10.1016/0016-7061(74)90068-8)
- Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., y Umaharan, P. 2018. Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, 640-641: 696-703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., y Cánovas, A. 2009. El coeficiente de correlación de los rangs de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2): <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180414044017>
- McKean, S. 1993. *Manual de Análisis de Suelos y Tejido Vegetal* (No. 1529; Vol. 129).
- Mendoza, R., y Espinoza, A. 2017. Guía Técnica para muestreo de suelos. *Universidad Nacional Agraria*, 1-56. <https://core.ac.uk/download/pdf/151729876.pdf> <http://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Meter, A., Atkinson, R., y Labiberte, B. 2019. Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe. En *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53 (9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del Ambiente. 2015. *Reforma del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*. 1-184.
- Miranda, F. 2019. Cacao el sabor dulce del Ecuador. *Revista de Investigaciones Agroproducción Sustentable*, 40. https://elproductor.com/wp-content/uploads/2019/04/REVISTA_MAYO_CACAO.pdf
- Mite, F., Carrillo, M., y Durango, W. 2010. *Avances del monitoreo de presencia de Cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador*. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.-Francisco-Mite.-Cadmio.-INIAP.pdf>
- Moreno, M. 2003. *Toxicología ambiental: evaluación de riesgo para la salud humana* (Madrid McG).
- Morocho, J., y Puente, B. 2019. *Determinación de la concentración de cadmio en suelo urbano y vegetación de Cuenca por espectrometría ICP y cálculo del riesgo de exposición a la población*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18150>
- Sarwar, N., Saifullah, Malhi, S., Zia, M., Naeem, A., Bibia, S., y Farida, G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6): 925-937. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3916>
- Segara, F. 2013. "Plan De Ordenación Territorial del Cantón Arenillas." 371.
- Smolders, E. 2017. *Scientific aspects underlying the regulatory framework in the area of fertilisers-state of play and future reforms*. <http://www.europarl.europa.eu/studies>
- Unión Europea. 1986a. Directiva 86/278/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. *Diario Oficial de Las Comunidades Europeas* 181: 6-12. <http://data.europa.eu/eli/dir/1986/278/oj>
- Unión Europea. 1986b. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=PT>
- Universidad Politécnica Estatal del Carchi. 2018. *Procedimientos Específicos de Ensayos de Laboratorio*. [https://www.upec.edu.ec/images/stories/r_anexos2018/Procedimientos específicos de laboratorio - suelos.pdf](https://www.upec.edu.ec/images/stories/r_anexos2018/Procedimientos%20especificos%20de%20laboratorio%20-%20suelos.pdf)
- USSL. United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. En United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation (Ed.), *Agriculture Handbook* 60(3). <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- Walkley, A., y Black, I. A. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37: 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Zug, K. L. M., Huamani Yupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., y Cierjacks, A. 2019. Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation. *Water Air Soil Pollut.*, 230: 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>

Caracterización del bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Provincia Los Ríos, Ecuador

Characterization of the primary moist forest of the Pedro Franco
Davila Biological Station, Los Ríos Province, Ecuador

Jacqueline Pesantes Barragan^{1*} & Carmita Bonifaz Balseca²

¹Fundación GAIA, Av. El bombero s/n Guayaquil, Ecuador

²Universidad de Guayaquil, Herbario GUAY, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gomez
Lince s.n y Av. Juan Tanca Marengo (campus Mapasingue), Guayaquil -Ecuador

Recibido 10/02/2022; recibido en forma revisada 10 abril 2022; aceptado 30 de mayo 2022; disponible en línea
04/06/2022

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la vegetación primaria del bosque húmedo tropical Pedro Franco Dávila en la provincia de Los Ríos, Ecuador. En el área de estudio se establecieron dos cuadrantes permanentes al azar de 50 x 50 m² a una distancia entre parcelas de 100 m. Se identificaron las especies en cada cuadrante y se tomaron datos dasométricos como el diámetro a la altura del pecho (DAP) a partir de 10 cm y altura total (Ht), para calcular el área basal y el volumen de todos los individuos censados. Se registró un total de 155 individuos arbóreos los cuales se distribuyen en 12 familias, 19 géneros y 19 especies. La composición florística del bosque húmedo primario Pedro Franco Dávila está caracterizado por las familias Moraceae, Fabaceae, y Rubiaceae. A nivel de especie está caracterizada por la presencia de dos especies de bosque maduro *Castilla elastica*, *Erythrina poeppigiana* y dos árboles pequeños de bosque maduro como: *Duguetia peruviana* y *Stenostomum acreanum*, representando estas especies el 55,4% de todos los individuos censados en 5000 m². A nivel estructural el bosque está determinado por una mayor presencia de individuos arbóreos en clases diamétricas menores entre 10-19 cm con un 59,35% y clases de altura menores entre 10-19 m con un 57,41%; éstos van disminuyendo en cantidad mientras aumenta el DAP mostrando la característica curva en forma de J invertida. El índice de Shannon demuestra dominancia media, es decir no hay árboles dominantes, por la disminución de individuos emergentes de bosque primario.

Palabras claves: Bosque húmedo tropical, composición, diversidad florística, estructura.

Abstract

The present study aimed to characterize the primary vegetation of the Pedro Franco Dávila tropical moist forest in the province of Los Ríos, Ecuador. Two permanent plots of 50 x 50 m² were randomly established in the study area at a distance of 100 m each other. The species in each plot were identified and dasometric data such as diameter at breast height (DBH), from 10 cm and total height (Ht) were measured to calculate the basal area and volume of all the individuals registered. A total of 155 arboreal individuals distributed in 12 families, 19 genera, and 19 species were recorded. The floristic composition of the Pedro Franco Dávila primary humid forest is characterized by the Moraceae, Fabaceae, and Rubiaceae families. At the species level, it is characterized by the presence of two species of mature forest *Castilla elastica*, *Erythrina poeppigiana* and two small trees of mature forest such as: *Duguetia peruviana* and *Stenostomum acreanum*, these species representing 55.4% of all individuals recorded in 5000 m². At structural level, the forest is determined by a greater presence of arboreal individuals in smaller diameter classes between 10-19 cm with 59.35% and lower height classes between 10-19 m with 57.41%. These are decreasing in quantity while the DBH increases, exhibiting the characteristic inverted J-shaped curve. The Shannon index shows medium dominance, that is, there are no dominant trees, due to the decrease in emerging individuals from primary forest.

Keywords: Composition, floristic diversity, structure, tropical moist forest.

* Correspondencia del autor:

E-mail: carmita.bonifazb@ug.edu.ec; larilace7@gmail.com



INTRODUCCIÓN

Los bosques húmedos tropicales son considerados entre los sistemas más importantes de la biosfera por contener una alta diversidad de especies tanto de flora como de fauna, y por brindar diferentes servicios ambientales para la sociedad: almacenan grandes cantidades de carbono orgánico (C) en el tejido leñoso, protegen a las comunidades de la escorrentía, regulan el ciclo del agua y el clima, suministran alimentos, plantas medicinales y proveen de hábitat a una gran variedad de formas de vida (Fernandez, 2007; Cusack et al., 2016; Aguilar, Flores, Lara, & Tapuy, 2020).

América del sur contiene el 58% de la cubierta total de bosques tropicales húmedos a nivel mundial, estos se localizan en la zona de convergencia intertropical entre los trópicos Capricornio y Cáncer, entre los 23.5° de latitud N y S del Ecuador, respectivamente. Se distribuyen en bosques de tierras bajas que cubren gran parte de la cuenca amazónica y centroamérica, presentándose bajo condiciones climáticas cálidas (22° y 34° C) y precipitaciones promedio anual entre 1500 a 3500 mm. Estas condiciones prescriben una alta riqueza de especies vegetales arbóreas, como de otras formas de vida entre ellas arbustos, hierbas, lianas, y epífitas (Jaramillo, 2012; Louman, Quirós, & Nilsson, 2001; Morales, 2010; Hartshorn, 2016; Holl, 2016; Banin et al., 2015; Lamprecht, 1990).

Los bosques húmedos primarios son importantes por presentar más especies arbóreas (>60) por unidad de superficie, que cualquier otro tipo de vegetación (Gentry, 1969; Lamprecht, 1990), y pueden caracterizarse por el tamaño de los árboles y la composición de las especies. La composición florística de estos ecosistemas se encuentra caracterizada generalmente por las familias Fabaceae, Moraceae, Annonaceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, Meliaceae y Arecaceae, representando el 57% de todos los árboles y arbustos registrados en una hectárea de bosque (Jaramillo, 2012). Ciertas especies que componen el bosque primario toleran la sombra en su juventud (especies clímax); ya que tienen la capacidad de fotosintetizar con bajos niveles de radiación lumínica, a diferencia de las especies que constituyen los bosques secundarios, mayormente especies pioneras que requieren mayor disponibilidad de luz para desarrollarse.

Las características morfológicas de las especies arbóreas en estos ecosistemas es similar; poseen troncos rectos y columnares, hojas grandes, compuestas, con borde entero y puntas acuminadas. Existen también, grandes cantidades de madera muerta que es reciclada rápida y continuamente por una gran abundancia de descomponedores. Así también, presenta un suelo escaso en nutrientes, ya que el clima cálido y húmedo promueve su erosión y lixiviación; es por ello que los nutrientes son adquiridos mediante un proceso constante de autofertilización o retención mediante la asociación de las raíces con

hongos micorriza, los cuales favorecen las condiciones para el mantenimiento y establecimiento de las especies vegetales (Wadsworth, 2001; EUROPARC, 2020).

El bosque húmedo de la región litoral de Ecuador se distribuye principalmente en la provincia de Esmeraldas al noroccidente, correspondiendo a la región biogeográfica del Chocó ecuatoriano, este se extiende hasta el norte de la provincia de Manabí y Los Ríos (Cerna, 2010; Vásquez, Freire, & Suárez, 2005).

En la actualidad, la conversión de este ecosistema en zonas de cultivo es uno de los mayores problemas, debido a que la fragmentación causada por esta actividad incide en la desaparición de especies arbóreas; ya sea por factores bióticos como limitaciones en la polinización y diseminación de semillas o abióticos como cambios en la temperatura y la humedad, dando como resultado una reducción en la riqueza de especies (Asquith, 2002; Armenteras & Rodríguez, 2014); lo que supone un riesgo de extinción para la flora y fauna local (Rojas et al., 2008; García et al., 2008).

El bosque protector de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila es un área protegida que representa uno de los últimos remanentes de bosque húmedo tropical en el occidente del Ecuador, se ubica en la Provincia de los Ríos en el Cantón Palenque, y comprende 138,8 hectáreas con áreas de bosque maduro, y porciones de bosque intervenido (Dodson et al., 1986).

Dodson et al. (1986) contribuyeron al conocimiento florístico del bosque maduro, registrando especies arbóreas como Mata palo (*Coussapoa villosa*), Caucho (*Castilla elastica*), Fernán Sánchez (*Triplaris cumingiana*) entre otras. Además, reportaron especies endémicas como *Inga jaunechensis* y *Duguetia peruviana*; las mismas que se encuentran En Peligro (EN), y En Peligro Crítico (CR), respectivamente, debido a la alta tasa de deforestación que azotó su hábitat hace 50 años (Muriel, 2017).

Por lo antes expuesto, la caracterización florística de un bosque, es una de las tareas más importantes para contribuir al manejo y conservación de los recursos existentes debido a que permite evidenciar la presencia y distribución de especies endémicas, o amenazadas o que tengan limitaciones ecológicas por algún factor (suelo, humedad, luz, etc.) y requieran acciones de conservación. Además, permite diferenciar las comunidades vegetales en función de su riqueza y variabilidad de especies (Casias, 2015; Mena, Andrade & Torres, 2020).

Para caracterizar una comunidad vegetal se evalúan diferentes propiedades como lo son su composición (diversidad, riqueza) y estructura (diámetro y altura). La composición describe el número de familias,

géneros, y especies presentes en un área específica de bosque, al realizar un inventario en parcelas permanentes de muestreo (Louman et al., 2001; Torres et al., 2016). La estructura de una población determina la distribución del número de árboles por clase diamétrica, el área basal y el volumen, además se conoce su abundancia y frecuencia, siendo importante cuantificar su participación en relación a las otras especies (Aguirre, 2013; Acosta et al., 2006; Food and Agriculture Organization, 2016; Quintero, 2019).

El bosque de la estación biológica Pedro Franco Dávila ha sido poco documentado, y los datos sobre su estructura y composición son pocos, evidenciando la necesidad de realizar estudios como el presente.

Materiales y métodos

Área de estudio

La estación biológica Pedro Franco Dávila, ubicada en la provincia de los Ríos en el cantón Palenque, Ecuador, se sitúa por debajo de los 220 m de altitud y corresponde a la zona de vida Bosque húmedo tropical (bh-T) según la clasificación de Holdridge (1979), con una precipitación anual de 1855 mm y una temperatura promedio anual que varía; durante la época lluviosa la temperatura ambiental puede alcanzar hasta 36° C, y en la época seca la temperatura ambiental no supera los 23.3°C (Dodson et al., 1986). Los cuadrantes de muestreo con coordenadas Lat -1.245250; Log-79.660050 / Lat -1.246650; Log-79.660717, se localizaron en el área primaria del bosque, durante los meses de Junio y Julio del 2021 en época seca. Para graficar las coordenadas se utilizó el programa Basecamp, para realizar el mapa se utilizó el programa ArcGIS, versión 2,5 del 2016 (Fig. 1).

Metodología

Fase de campo

Para caracterizar la vegetación del bosque húmedo tropical Pedro Franco Dávila se establecieron dos cuadrantes permanentes al azar de 50 x 50 m², a una distancia entre parcelas de 100 m en sentido altitudinal. Las unidades muestrales constituidas

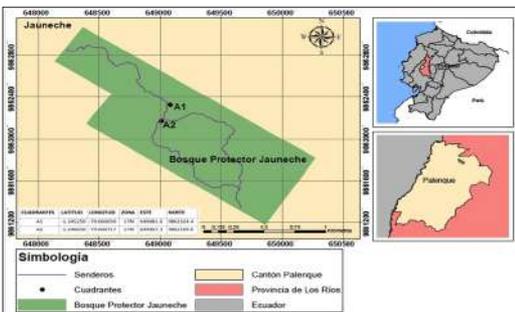


Figura 1. Localización de los cuadrantes en el bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche. Elaborado por Tony Albán.



Figura 2. A.- Ubicación de los cuadrantes en el bosque primario. B.- Marcaje y censo de los individuos. C.- Medidas de DAP y Ht de los individuos. D.- Colecta de muestras.

de 2500 m², presentan un área de muestreo total de 5.000 m² o media hectárea de bosque. Cada cuadrante fue georeferenciado con la aplicación móvil UTM Geo Map y se delimitó con piolas de nylon (Anexo 1). Posteriormente, se marcó los individuos arbóreos utilizando fichas plásticas respectivamente numeradas, las cuales se colocaron en cada árbol mediante hilo nylon (Anexo 2). Se registró todos los individuos a partir de 10 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho), las medidas dasométricas fueron tomadas utilizando una cinta diamétrica y se procedió a tomar los datos de altura total (Ht) de cada individuo, estimándose desde el suelo hasta la punta más alta de la copa, siendo esta altura con fines científicos y no comerciales. Finalmente se fotografió y colectó muestras de hojas y frutos (Fig. 2).

4.3. Análisis de datos

4.3.1. Descripción de la composición florística del bosque húmedo primario en la estación biológica Pedro Franco Dávila.

La identificación en campo de cada individuo se realizó por su nombre común, además se observó y fotografió las características morfológicas como corteza, hojas, flores o frutos (Fig. 3). Las muestras colectadas para la identificación, fueron colocadas dentro de hojas de papel periódico, y trasladadas al Herbario GUAY e identificadas con la Flora de Jauneche.



Figura 3. Observación e identificación de individuos. A.-Fuste de Palo de ajo (*Galesia integrifolia*). B.- Corteza de palo de ajo. C.- Frutos de Caracolí (*Anacardium excelsum*). D.-Fruto de Piñuelo (*Duguetia peruviana*). E.-Corteza de Cedro rojo (*Cedrela odorata*). F.- Fuste de Cedro rojo.

4.3.2. Determinación de la estructura del bosque húmedo primario en la estación biológica Pedro Franco Dávila.

Para determinar la estructura del bosque se utilizó los registros de datos dasométricos (DAP y Ht) obtenidos en el censo de árboles, los cuales se categorizaron por clases de diámetro (DAP) y alturas (Ht) para cada cuadrante. Posteriormente, se realizaron los cálculos para determinar el área basal y el volumen de cada individuo mediante las siguientes fórmulas:

Área Basal. - Es la superficie de una sección transversal del tronco del individuo a determinada altura del suelo; se expresa en m² de material vegetal por unidad de superficie de terreno. En los árboles, la medición se realiza a la altura del pecho (DAP), es decir aproximadamente a 1,3 m del suelo (Matteucci, & Colma, 1982). También se define como la proyección diamétrica del árbol sobre el suelo.

$$AB = d.H / a$$

Donde :

D: Diámetro a la altura del pecho

H= Altura total

a= Unidad de área

Volumen.- Es utilizado para determinar la cantidad de madera, de una o varias especies existentes en un determinado lugar. El volumen de la madera se obtiene a partir de el área basal y la altura total del tronco de un individuo.

$$V = Ht * AB$$

Donde:

Ht= Altura total

AB = Área Basal

Frecuencia relativa % : Es la relación de los registros absolutos de la presencia de una especie en los sub-transectos o sub-cuadrantes, en relación al número total de registros para todas las especies.

$$FR = (a_i / A) * 100$$

Donde:

a: Número de apariciones de una determinada especie

A: Es igual al número de apariciones de todas las especies

Abundancia relativa: Proporción de individuos por especie con respecto al total de la muestra.

$$AB\% = (n_i / N) * 100$$

Donde:

n_i = Número de individuos de la iésima especie

N= Número de individuos totales en la muestra

Se calcularon los siguientes índices para estimar la diversidad del bosque:

Índice de diversidad de Shannon: Este índice contempla la cantidad de especies presentes en una muestra, es decir la riqueza de especies y la abundancia relativa de individuos de cada especie. Este análisis, asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra.

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = índice de diversidad

n_i= número de individuos por taxon en una muestra de una población.

n= número total de individuos en una muestra de la población.

Los valores obtenidos varían entre 0 a 3,5 por lo que se utilizó la escala establecida por Magurran (1988).

Categorías de clasificación del índice de diversidad de Shannon y Weaver:

Intervalo	Interpretación
Entre 0 - 1,5	Diversidad baja
Entre 1,6-3	Diversidad media
Entre 3,1-5	Diversidad alta

Índice de Simpson: Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Se basa en medidas de dominancia, cuanto menos dominancia de especies se presenta, la distribución es más equitativa (Magurran, 1988).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Categorías de clasificación del Índice de diversidad de Simpson:

Intervalo	Interpretación
0-0.5	Diversidad baja
0.6-0.9	Diversidad media
1	Diversidad alta

Resultados

Descripción de la composición florística del bosque húmedo primario Pedro Franco Dávila en la provincia de los Ríos, Ecuador.

En 5.000 m² de bosque primario de la estación biológica Pedro Franco Dávila se logró determinar un total de 155 individuos arbóreos los cuales se distribuyen en 12 familias, 19 géneros y 19 especies. En el cuadrante A1 se encontró un total de 80 individuos arbóreos, 11 familias, 16 géneros y 16 especies (Anexo 1); para el cuadrante A2 se registró un total de 75 individuos, 11 familias, 18 géneros y 18 especies (Anexo 2) (Fig. 5).

La mayoría de las especies se registraron en ambos cuadrantes, sin embargo, *Zanthoxylum panamense* o Sasafráz solo fue reportado en el cuadrante A1 con 3 individuos; y Palo de murciélago (*Simira standleyi*), Palo de ajo (*Gallesia integrifolia*), y Guaba de cajón (*Inga sp.*) fueron registrados solo en el cuadrante A2, con 1 individuo cada uno.

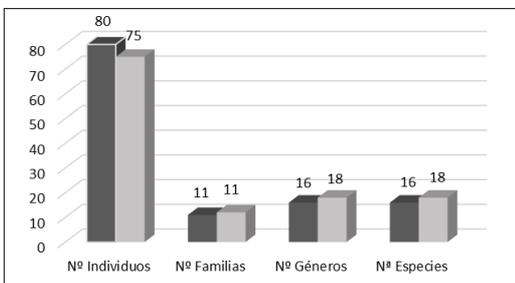


Figura 4. Composición florística en dos cuadrantes permanentes del bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

La familia Moraceae presentó la mayor riqueza con cinco especies registradas tanto para el cuadrante A1 como el cuadrante A2, seguida de Fabaceae con 3 especies; dos de ellas registradas en el cuadrante A1 y 3 en el cuadrante A2, y Rubiaceae con 2 especies; una de ellas registrada en el cuadrante A2 y una registrada en ambos cuadrantes. Las familias restantes presentaron solo una especie en cada cuadrante (Tabla 1; Fig. 6).

En el cuadrante A1, el 23,8% de los individuos censados pertenece a Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*), seguido de Caucho (*Castilla elastica*) con 11,2%, Piñuelo (*Duguetia peruviana*) con 10% y Chala (*Erythrina poeppigiana*) con 8,8%; constituyendo el 53,8% de la composición florística del cuadrante A1. Así también, Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Tillo prieto (*Sorocea sarcocarpa*), Fernán Sanchez (*Triplaris cumingiana*), Cedro blanco (*Simarouba amara*), Caracolí (*Anacardium excelsum*), Tillo serrano (*Clarisia biflora*), Matapalo (*Coussapoa villosa*), Sasafráz (*Zanthoxylum panamense*), Coquito (*Adelia triloba*), Pechiche (*Vitex gigantea*), Cabo de hacha (*Machaerium millei*), y Tillo (*Brosimum alicastrum*) representaron el 46,2 % restante (Fig. 7).

En el cuadrante A2 el 24% de los individuos censados pertenece a Chala (*Erythrina poeppigiana*), seguido de Caucho (*Castilla elastica*) con 12%, Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*) y Piñuelo (*Duguetia peruviana*) con 10,7% constituyendo el 57,4 % de la composición florística del cuadrante A2. Así también, Fernán Sanchez (*Triplaris cumingiana*), Pechiche (*Vitex gigantea*), Coquito (*Adelia triloba*), Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Tillo prieto (*Sorocea sarcocarpa*), Cedro blanco (*Simarouba amara*), Tillo (*Brosimum alicastrum*), Matapalo (*Coussapoa villosa*), Guaba de cajón (*Inga sp.*), Palo de ajo (*Gallesia integrifolia*), Tillo serrano (*Clarisia biflora*), Cabo de hacha (*Machaerium millei*), Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Palo de murciélago (*Simira standleyi*) y Caracolí (*Anacardium excelsum*) representaron el 42,6% restante (Fig. 8).

Entre las especies identificadas se registró a Piñuelo (*Duguetia peruviana*) la cual está considerada en Peligro crítico (CR) por el libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador (Muriel, 2017). El 10,3% de

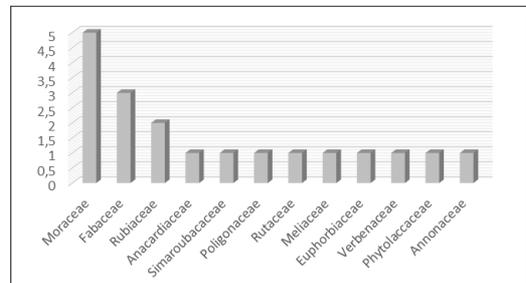


Figura 5. Riqueza de especies de las Familias presentes en los cuadrantes A1 y A2.

Tabla 1. Diversidad de especies de las Familias más representativas del cuadrante A1 y A2 en el bosque húmedo primario Pedro Franco Dávila, Jauneche.

Familia	Nombre científico	Nombre local	Cuadrante A1	Cuadrante A2
Moraceae	<i>Castilla elastica</i>	Caucho	+	+
	<i>Coussapoa villosa</i>	Matapalo	+	+
	<i>Clarisia biflora</i>	Tillo serrano	+	+
	<i>Sorocea sarcocarpa</i>	Tillo prieto	+	+
	<i>Brosimum alicastrum</i>	Tillo	+	+
Fabaceae	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Chala	+	+
	<i>Machaerium millei</i>	Cabo de hacha	+	+
	<i>Inga. Sp</i>	Guaba de cajón		+
Rubiaceae	<i>Simira standleyi</i>			+
	<i>Stenostomum acreanum</i>		+	+

los individuos censados pertenece a esta especie, seguido de Caucho (*Castilla elastica*) con 11,6%, Chala (*E. poeppigiana*) con 16,1% y Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*) con 17,4%; representando así el 55,4% de la composición florística de todos los individuos censados en los dos cuadrantes. Las especies restantes constituyeron el 44,6% (Fig. 9).

5.2. Determinación de la estructura del bosque húmedo primario Pedro Franco Dávila en la provincia de los Ríos, Ecuador.

En el cuadrante A1 la mayor cantidad de individuos juveniles (62,5 %) se encontró en categorías diamétricas entre 10 a 19 cm de DAP, las especies registradas en este rango fueron: Tillo prieto (*Sorocea sarcocarpa*), Fernán Sanchez (*Triplaris cumingiana*), Piñuelo (*Duguetia peruviana*), Caucho (*Castilla elastica*) entre otras, constituyendo un área basal o proyección diamétrica sobre el suelo de 3,40 m². Se registraron pocos individuos en categorías diamétricas entre 100 a 150 cm de DAP, las especies registradas en este rango fueron Caracolí (*Anacardium excelsum*), Cedro rojo (*Cedrela odorata*), y Matapalo (*Coussapoa*

villosa), constituyendo una área basal mayor con 11,43 m². Se registró un área basal total de 21,99 m² en el cuadrante A1 (Tabla 2; Figs. 10, 11).

El 51,25% de individuos del cuadrante A1 se acumuló en categorías de altura entre 10 a 19 m con un volumen de 60,23 m³. Se registraron 4 individuos pertenecientes a Caracolí (*Anacardium excelsum*) y Cedro rojo (*Cedrela odorata*) en categorías de altura entre 40 a 45 m con un volumen de 433,85 m³. El volumen total registrado en el cuadrante A1 corresponde a 701,59 m³, registrando así la cantidad de madera total existente en este cuadrante (Tabla 3; Fig. 12).

En el cuadrante A2 la mayor cantidad de individuos juveniles (56%) se encontró en categorías diamétricas entre 10 a 19,99 cm de DAP, las especies registradas en este rango fueron: Coquito (*A. triloba*), Chala (*Erythrina poeppigiana*), Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*), Piñuelo (*Duguetia peruviana*), Fernan Sanchez (*T. cumingiana*), entre otras, constituyendo un área basal o proyección diamétrica sobre el suelo de 3,17 m². Se registraron pocos individuos en categorías diamétricas entre 100 a

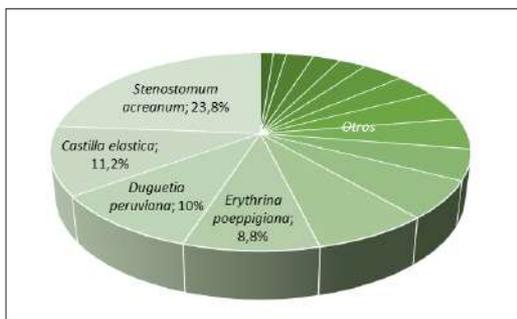


Figura 6. Composición florística del cuadrante A1 en el bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

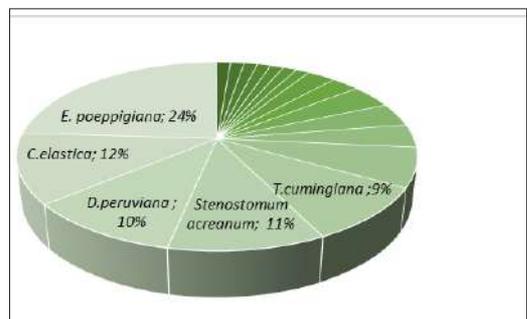


Figura 7. Composición florística del cuadrante A2 en el bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

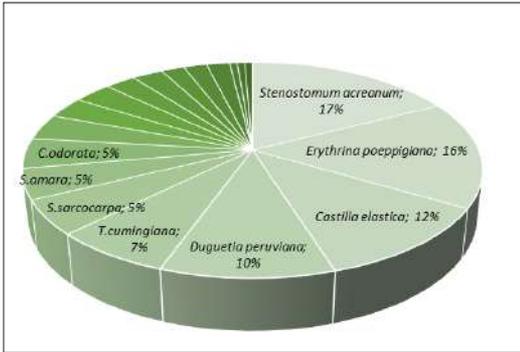


Figura 8. Composición florística del área de muestreo en el bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

Tabla 2. Estructura del bosque primario de la estación biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

Clases diamétricas	N.º Individuos	Area basal (m ²)
10- 19,99	50	3,40
20-39,99	19	3,42
40-69,99	3	1,22
70- 99,99	3	2,52
100 -150,99	5	11,43
Total	80	21,99

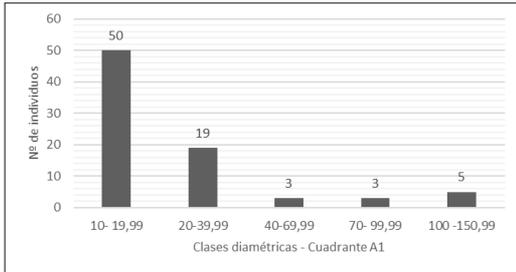


Figura 9. Representación de clases diamétricas del cuadrante A1



Figura 10. Fuste y Gambas de *Anacardium excelsum* registrado en el cuadrante A1.

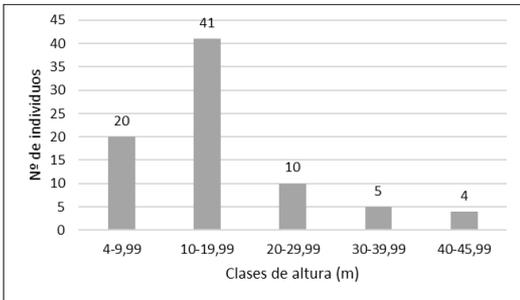


Figura 11. Representación de árboles por clase altura del cuadrante A1.

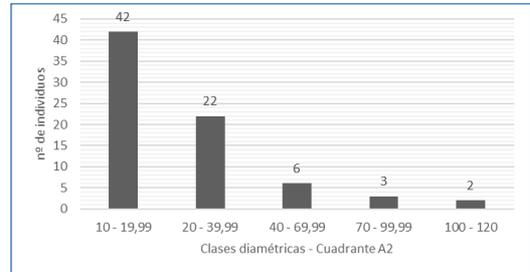


Figura 12. Representación de clases diamétricas del cuadrante A2.

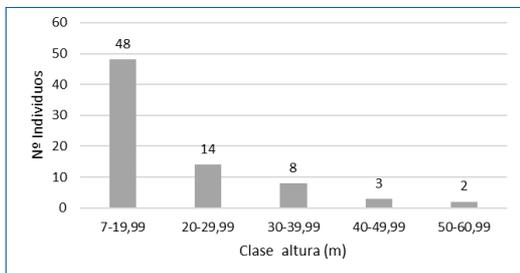


Figura 13. Representación de clases de altura del cuadrante A2.

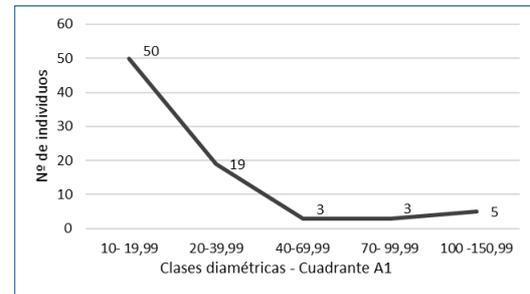


Figura 14. Distribución diamétrica en forma de J invertida del cuadrante A1.

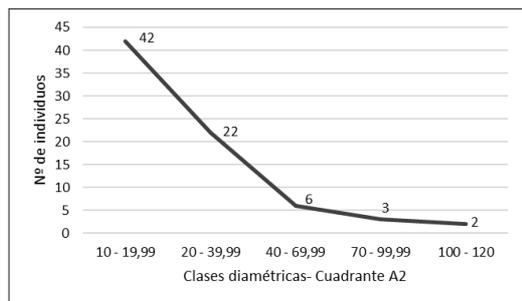


Figura 15. Distribución diamétrica en forma de J invertida del cuadrante A2.

Tabla 4. Estructura del bosque primario de la estación biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

Clase diamétrica	Nº Individuos	Area basal (m ²)
10 - 19,99	42	3,17
20 - 39,99	22	5,44
40 - 69,99	6	4,23
70 - 99,99	3	4,04
100 - 120	2	3,52
Total	75	20,40

120 cm de DAP, las especies registradas en este rango fueron Caracolí (*Anacardium excelsum*) y Matapalo (*Coussapoa villosa*) con un área basal de 3,52 m². En el cuadrante A 2 se registró un área basal total de 20,40 m² (Tabla 4; Fig. 13).

El 64% de individuos del cuadrante A2 se acumuló en categorías de altura entre 7 a 19 m con un volumen de 56,83m³. Se registraron 2 individuos pertenecientes a Caracolí (*Anacardium excelsum*) y Cedro blanco (*Simaouruba amara*) en categorías de altura entre 50 a 60 m con un volumen de 228 m³. El volumen total registrado en el cuadrante A2 corresponde a 692,35 m³ (Tabla 5; Fig. 14).

En el cuadrante A1 y A2 la mayor cantidad de árboles se concentró en las clases diamétricas menores, y disminuye gradualmente a medida que las clases se van incrementando. Es decir, presentan una mayor concentración de individuos juveniles que

Tabla 6. Comparación de los valores obtenidos por los Índices de diversidad.

Índices	Cuadrante A1	Cuadrante A2
Riqueza (S)	16	18
Shannon y Weaver	2,49	2,46
Simpson	0,89	0,88

Tabla 3. Estructura del bosque primario de la estación biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

Clase altura	Nº Individuos	Volumen (m ³)
7-19,99	48	56,83
20-29,99	14	114,91
30-39,99	8	132,17
40-49,99	3	160,43
50-60,99	2	228
TOTAL	75	692,35

Tabla 5. Estructura del bosque primario de la estación biológica Pedro Franco Dávila, Jauneche.

Clases de altura (m)	N.º Individuos	Volumen (m ³)
4-9,99	20	6,84
10-19,99	41	60,23
20-29,99	10	60,72
30-39,99	5	139,95
40-45,99	4	433,85
Total	80	701,59

se encuentran en clases diamétricas menores y una menor concentración de individuos adultos o de mayor tamaño en clases diamétricas mayores. Los individuos se encuentran distribuidos en varias clases de tamaño mostrando un patrón de distribución normal y equilibrada, formando la denominada "J" invertida (Figs. 15, 16).

El cuadrante A1 reportó una riqueza (S) de 16 especies, con una abundancia absoluta de 80 individuos. El cuadrante A2 reportó una riqueza (S) de 18 especies, con una abundancia absoluta de 75 individuos. El índice de diversidad de Shannon muestra un valor de 2,49 para el cuadrante A1 y 2,46 para el cuadrante A2, y el índice de diversidad de Simpson indica un valor de 0,89 para el cuadrante A1 y 0,88 para el cuadrante A2 (Tabla 6).

Discusión

Cedeño (2017), evaluó la estructura y composición del bosque húmedo situado en la estación experimental Pichilingue (INIAP), en la provincia Los Ríos, Ecuador, donde estableció dos parcelas de 500 m² (50 m x 10 m), reportando un total de 52 individuos, comprendidos en 10 familias, 13 géneros, y 14 especies. La composición florística reportada en la presente investigación evidencia la presencia de 155 individuos, 12 familias, 19 géneros y 19 especies, por lo tanto se aprecia

una mayor diversidad y riqueza de especies en el bosque húmedo primario de Jauneche, comparada con la composición florística registrada en el estudio de Cedeño (2017). Los resultados obtenidos pueden diferir debido al tamaño de las parcelas; Matteucci & Colma (1982), indican que cuando incrementa la superficie aumenta el número de especies.

Tirado (2016), determinó la composición y estructura de un bosque muy húmedo en Angostura, Esmeraldas, donde estableció una parcela permanente de 1 ha (25 subparcelas de 400 m²), registrando un total de 447 individuos pertenecientes a 32 familias, 90 géneros y 146 especies. En la presente investigación, se evidencia una menor diversidad y riqueza de especies; esto se debe al tipo de bosque estudiado. De acuerdo con Louman et al. (2001) el número de especies por unidad de área (riqueza) puede ser mayor o menor dependiendo de los distintos perfiles de vegetación o zonas de vida, debido a que presentan diferentes variables ambientales como la precipitación y humedad. Éstas tienen un efecto sobre el número de especies encontradas, donde a mayor precipitación se han registrado más especies. Un ejemplo claro de este planteamiento coincide con los registros de Gentry & Dodson (1987), donde el número de especies registradas en el bosque húmedo de Jauneche y el bosque muy húmedo de Palenque varía, por lo que existe una correlación directa con la precipitación. Jauneche con una precipitación promedio anual de 1855 mm reportó una menor riqueza (169 especies), a diferencia de Palenque con una precipitación de 2980 mm al año, en donde se registró una mayor riqueza (365 especies).

Salazar (2019) y Tirado (2016), registraron a Moraceae y Fabaceae con la mayor riqueza. Por un lado Salazar (2019) reporta una riqueza de 6 especies para Moraceae y 4 para Fabaceae, y Tirado (2016), reporta 11 especies de Moraceae, 17 de Fabaceae y 13 de Rubiaceae. Estos registros son similares a los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde la familia Moraceae presenta la mayor riqueza con 5 especies, Fabaceae con 3 y Rubiaceae con 2, y coinciden con el planteamiento de Gentry (1988), quien afirmó que la dominancia de Moraceae es típica de los bosques siempreverdes de tierras bajas tanto en la región de la Costa como en la región amazónica del Ecuador y varios países de América del sur. Además, señaló que la mayor parte de los bosques húmedos tropicales están dominados por la familia Fabaceae a nivel mundial.

Salazar (2019) evaluó la composición y estructura en tres secciones del bosque húmedo de la Estación biológica Pedro Franco Dávila, estableciendo 4 unidades muestrales de 20 x 20 (400 m²). En el área de bosque primario reportó las mayores abundancias en Fosforillo (*Croton shiideanus*) con 15 individuos (13,64%), Caucho (*Castilla elastica*) con 11 individuos (10%) y Tillo serrano (*Clarisia biflora*) con 10 individuos (9,09%), y registró la mayor frecuencia en

Tillo serrano (*Clarisia biflora*) y Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*) con 8,89%. Por otro lado reportó especies con menor frecuencia como Samán (*Albizia saman*) y Fosforillo (*Croton shiideanus*), ambas especies con 2,22%. Este resultado difiere con los obtenidos en la presente investigación, donde se reportó mayores abundancias en Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*) con 27 individuos (17,4%), seguido de Chala (*Erythrina poeppigiana*) con 25 individuos (16,1%), Caucho (*Castilla elastica*) con 18 individuos (11,6%) y Piñuelo (*Duguetia peruviana*) con 16 individuos (10%), representando el 55,4% de la composición florística. Así también, se registró la mayor frecuencia en Chala (*Erythrina poeppigiana*) con 24%, seguido de Guayabo de monte (*Stenostomum acreanum*) con 23,8%. Es decir, al recorrer el bosque estas especies tienen mayor probabilidad de ser observadas, lo que sugiere que son especies con gran capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ya sean lumínicas o de suelo.

En el área de estudio no se reportó a Samán (*Albizia saman*), se registra a tillo serrano (*Clarisia biflora*) con una frecuencia de 3%, y las especies de menor frecuencia corresponden a Palo de ajo (*Gallesia integrifolia*), Palo de murciélago (*Simira standleyi*), Guaba de cajón (*Inga sp.*), cada una con el 1%.

Salazar (2019), estimó el mayor DAP en Saman (*Albizia saman*) con 64,30 cm y Caracolí (*Anacardium excelsum*), con 51,11 cm y registró la mayor altura en Palma real (*Attalea colenda*) con 35 m, Samán (*Albizia saman*) y Cedro (*Cedrela odorata*), ambas con 32 m. En la presente investigación se evidencia el mayor DAP en Caracolí (*Anacardium excelsum*), Matapalo (*Coussapoa villosa*) y Cedro (*Cedrela odorata*) con diámetros entre 100 a 150 cm, y las especies con mayor altura reportadas corresponden a Caracolí (*Anacardium excelsum*), Cedro blanco (*Simarouba amara*), Cedro rojo (*Cedrela odorata*), con individuos entre 40 a 45 m.

Salazar (2019), Tirado (2016) y Cedeño (2017), registraron mayor cantidad de individuos en clases diamétrica inferiores y una menor concentración de individuos en clases diamétricas mayores. Estos resultados coinciden con la presente investigación; donde la mayoría de individuos se acumulan en las clases inferiores y decrecen en número en las superiores. Las primeras 2 clases diamétricas agrupan el 85,80% del total de los individuos, demostrando así que el bosque está constituido por árboles con diámetros menores, a diferencia de las últimas 3 clases diamétricas que representan solo el 14,19%. En la última clase diamétrica se evidencia árboles emergentes entre ellos: Caracolí (*Anacardium excelsum*), Matapalo (*Coussapoa villosa*) y Cedro (*Cedrela odorata*).

La distribución diamétrica del bosque adopta la característica J invertida en los estudios realizados por Salazar (2019), Tirado (2016) y Cedeño (2017),

este resultado coincide con la presente investigación, y se relaciona con lo manifestado por Louman et al. (2001), quienes indican que el bosque cuenta con gran potencial para regenerarse, mostrando una comunidad vegetal que se encuentra en proceso de desarrollo, la que alcanzará etapas de mayor crecimiento y productividad, con abundantes individuos jóvenes que reemplazarán a los árboles que se encuentran en la fase senil. De acuerdo con Quirós & Quesada (2005), esta distribución también representa la fase de homeostasis del bosque maduro donde existe un equilibrio entre lo que crece y lo que muere. Este fenómeno se da por la gran cantidad de árboles que son capaces de establecerse durante los primeros años de vida. No obstante, esta cantidad de individuos disminuye conforme aumenta la clase diamétrica, y esto se debe a la competencia y exigencia lumínica que necesitan algunas especies para desarrollarse, dando como resultado una gran mortalidad de especies que no logran adaptarse a nuevas condiciones.

Conclusiones

- La composición florística del bosque húmedo primario Pedro Franco Dávila en la provincia de Los Ríos, Ecuador está caracterizado por las familias Moraceae, Fabaceae y Rubiaceae.
- A nivel específico está caracterizada por la presencia de dos especies de bosque maduro *Castilla elastica*, *Erythrina poeppigiana* y dos especies de árboles pequeños de bosque maduro como *Duguetia peruviana* y *Stenostomum acreanum*, representando estas especies el 55,4% de todos los individuos censados en 5000 m².
- Especies de bosque maduro emergentes como *Brosimum alicastrum* y *Coussapoa villosa* se encuentran presentes en el bosque pero no constituyen elementos dominantes.
- A nivel estructural el bosque está determinado por una mayor presencia de individuos arbóreos en clases diamétricas menores entre 10-19 cm con un 59,35% y clases de altura menores entre 10-19 m con un 57,41%; estos individuos van disminuyendo en cantidad mientras aumenta el DAP mostrando la curva de crecimiento en forma de J invertida.
- En la Estación Pedro Franco Dávila los árboles de dosel del bosque primario han ido desapareciendo y quedan pocos individuos demostrando con el índice de Shannon en donde la dominancia es media, es decir no hay árboles dominantes, lo cual se da por la disminución de individuos emergentes de bosque primario.

- La densidad de las especies emergentes como *Coussapoa villosa*, *Anacardium excelsum*, y *Cedrela odorata* con área basal de 14,95 m², representan un 6,33% del área basal total (42.39 m²) del área estudiado, indicando que su densidad tiene baja representación, mostrando con esto que al momento quedan pocos árboles grandes emergentes en el área de estudio.

Referencias

- Asquit, N. (2002). La dinámica del bosque y la diversidad arbórea. Eds. M.R. Guariguata, G.H. Kattan. Libro Universitario Regional (LUR). Cartago, 377 - 406. Obtenido de <https://keneamazon.net/Documents/Publications/VirtualLibrary/Biodiversidad/4.pdf>
- Acosta, V Araujo, P e Iturralde M. (2006). Caracteres estructurales de las masas. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Obtenido de <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-22- Caracteres estructurales-ACOSTA.pdf>
- Aguirre, Z. (2013). Guía para la medición de la biodiversidad. Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Obtenido de <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Armenteras, D., y Rodriguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de Latino américa: *Una revisión desde 1990*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a08.pdf>
- Aguilar, Z., Flores, P., Lara, S., y Tapuy, M. (2020). Los bosques del Ecuador. Universidad Estatal Amazónica. Ecuador. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/344299580_LOS_BOSQUES_DEL_ECUADOR
- Banin, L., Phillips, O., y Lewis, S. (2015). Bosques tropicales. Manual de Ecología forestal.
- Cerna, M. (2010). Representative flora of the western foothills of the mountain range in Cotopaxi Province. *Rev. Ciencias de la Vida*, 12(2): 19-27. Universidad Politécnica Salesiana Cuenca, Ecuador. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047396004.pdf>
- Casias, A. (2015). Caracterización de la estructura y composición florística en islas de bosque menor en las sabanas del Heath La paz, Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/6909>
- Cusack, D., Karpman, J., Ashdown, D., Cao, Q., Ciochina, M., Halterman, S., Lydon, S., y Neupane, A. (2016). Global change effects on humid tropical forests: Evidence for biogeochemical and biodiversity shifts at an ecosystem scale. *Reviews of Geophysic*, 54 (10). Obtenido de <http://cusacklab.geog.ucla.edu/CusackRG2016.pdf>
- Cedeño, D. (2017). Composición florística y estructura del bosque en la estación experimental tropical Pichilingue del INIAP, ubicado en el cantón Mocache, Provincia de Los Ríos. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2010>
- Dodson, C., Gentry, A., y Valverde, F. (1986). *Flora of Jauneche (including the Pedro Franco Dávila biological station*. Los Ríos, Ecuador.

- Europarc (2020). Bosques maduros, características y criterios de gestión en áreas protegidas. Fundación Fernando González Bernáldez. Madrid, España. Obtenido de <https://www.redeuroparc.org/system/files/shared/Publicaciones/manual14.pdf>
- Fernández, F. (2007). Diversidad funcional de bosques muy húmedos tropicales en el noreste de costa rica a partir de rasgos foliares y densidad de la madera. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical Agricultura. Obtenido de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2205/Diversidad_funcional.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FAO. (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. <http://www.fao.org/3/i5588s/i5588s.pdf>
- Gentry, A. (1969). A comparison of some leaf characteristics of tropical dry forest and tropical wet forest in Costa Rica, Turrialba, 19(3): 419-428.
- García, G., Flores, J., y Ortiz, J. (2008). Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. *Rev. Polibotánica*, 26: 19-27. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yuc. <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n26/n26a2.pdf>
- Hartshorn, G. (2016). Biogeografía de los bosques Neotropicales. World Forestry Center, Portland, Oregon, USA. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/305724745_Biogeografia_de_los_Bosques_Neotropicales
- Holl, K. (2016). Restauración de bosques húmedos tropicales. *Handbook of restoration*, 2, pp 539-558. Universidad de California, Santa Cruz. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/260376209_Restoring_tropical_forest
- Jaramillo, C. (2012). Historia geológica del bosque húmedo neotropical. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 36 (138): 57-77. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v36n138/v36n138a06.pdf>
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Obtenido de <http://www.cedaf.org.do/>
- Louman, B., Quirós, D., y Nilsson, M. (2001). Silvicultura de los bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Obtenido de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3971>
- Matteucci, S. y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. https://www.researchgate.net/publication/44553298_Metodologia_para_el_estudio_de_la_vegetacion_por_Silvia_D_Matteucci_y_Aida_Colma
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Mostacedo2000EcologiaVegetal.pdf>
- Magurran, A. (2004). Measuring biological Diversity. <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Magurran2004MeasuringBiological.pdf>
- Morales, M. (2010). Composición florística, estructura, muestreo diagnóstico y estado de conservación de una cronosecuencia de bosques tropicales del corredor biológico Osa, Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5741/COMPOSICION_FLORISTICA_CONSERVACION_OSA_CR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muriel, P. (2017). *Duguetia peruviana*. Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Obtenido de <https://bioweb.bio/floraweb/libro rojo/FichaEspecie/Duguetia%20peruviana>
- Mena, V., Andrade C. y Torres, J. (2020). Composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia. *Entramado*, 16 (1): 204-2015. Obtenido de <https://revistas.unilivre.edu.co/index.php/entramado/article/view/6109>
- Quirós, K., y Quesada, R. (2005). Composición florística y estructura de un bosque primario. <http://www.una.ac.cr/inis/>
- Quintero, N. (2019). Caracterización florística del bosque húmedo tropical de la parroquia de Chontaduro sector lluve, cantón ríoverde, rovincia de Esmeraldas. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2020>
- Rojas, W., Estevez, J., y Roncancio, N. (2008). Estructura y composición florística de remanentes de bosque húmedo tropical en el oriente de Caldas, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 12: 24-37. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50123-30682008000100003
- Salazar, A. (2019). "Diversidad florística y estructura en tres áreas del Bosque Protector Pedro Franco Dávila, recinto Jauneche, cantón Palenque, año 2019" <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3761/1/T-UTEQ-0091.pdf>
- Tirado, M. (2016). Composición florística y estructura de 1 hectárea de bosque en Angostura, Río Santiago, Esmeraldas. PUCE, Quito-Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12238>
- Torres, J., Mena, V., y Alvarez, E. (2016). Composición y diversidad florística de tres bosques húmedos tropicales de edades diferentes, en el Jardín Botánico del Pacífico, Municipio de Bahía Solano, Chocó, Colombia. *Rev. Biodivers. Neotropics*, 6(1): 12-21. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5377881>
- Vasquez, M., Freire, J., y Suarez, L. (2005). Biodiversidad en el suroccidente de la provincia de Esmeraldas: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas. *EcoCiencia y MAE*, Quito. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51454.pdf>
- Wadsworth, F. (2001). Producción forestal para América Tropical. Cap 3. Los bosques primarios y su productividad. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Washington, DC. Obtenido de <https://fddocuments.ec/document/capitulo-3-los-bosques-primarios-y-su-productividad-multiple-uses-haya-habido.html>

Neotipificación, descripción del nido y plantas que visita *Myrmia Micrura* (Gould, 1854)

Neotypification, description of nest and plants visited by short-tailed woodstar *Myrmia micrura* (Gould, 1854)

José Alcívar ^{1*} & Xavier Cornejo ²

¹Guía naturalista-Reserva Ecológica Manglares Churute. km 49, vía Guayaquil-Machala, sector Churute, provincia del Guayas, Guayaquil, Ecuador.

²Herbario GUAY, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. P.O. Box 09-01-10634, Guayaquil, Ecuador

Recibido 10/02/2022; recibido en forma revisada 10 abril 2022; aceptado 30 de mayo 2022; disponible en línea 04/06/2022

Resumen

En el presente trabajo se presenta la neotipificación, el detalle de la estructura de los nidos, partes de las plantas que utiliza en su construcción y una lista de las especies de plantas que visita el colibrí colicorto *Myrmia micrura* (Gould, 1854).

Palabras clave: Bosque seco, colibrí, endémico, neotipo, Pacífico.

Abstract

This paper presents the neotypification, details of the structure of nests, plant parts used in their construction, and a list of plant species visited by the short-tailed hummingbird *Myrmia micrura* (Gould, 1854).

Key words: Dry forest, endemic, hummingbird, neotype, Pacific.

Introducción

Myrmia micrura (Gould, 1854) es uno de los colibríes más pequeños del Ecuador que habita en los bosques secos deciduos del Pacífico Ecuatorial (BSDPE; Gould, 1861; Zimmer, 1953; Pennington, 2000; Ridgely & Greenfield, 2001; Cornejo, 2015; McMullan & Letis Navarrete, 2017). Esta especie inicialmente fue publicada como *Calothorax micrurus* Gould (1854:109) conocida desde Perú y posteriormente transferida a *Myrmia* (Mulsant, 1876), este último es un género monoespecífico que fue generado para posicionar a esta especie. Etimológicamente, *Myrmia* se deriva del griego *myron* que significa encantador, gracioso, dulce; el epíteto *micrura*, es una palabra compuesta que proviene del griego *mikron* que significa pequeño y *oura* que es cola (Jobling, 2010), este se refiere a la corta cola que presenta, esta es una característica distintiva de esta especie, por lo que es conocida con el nombre vernáculo de estrellita colicorta (Ridgely & Greenfield, 2001).

Pertenece a un clado conocido como los colibrí abeja, un grupo cuya aparición registrada durante los últimos 5 millones de años, ha sido estimada como la más

reciente entre los colibríes en la escala evolutiva (McGuire, 2014). Por su pequeño tamaño en relación con el específico patrón de distribución restringido al BSDPE, se considera que *Myrmia micrura* podría haber coevolucionado con el apogeo de los bosques secos durante el Pleistoceno, un evento que se produjo hace unos 2,58 millones de años hasta ± 10.000 AC (Dillehay, 1999; Prates & Pérez, 2021).

Myrmia micrura ha sido observada desde Pedernales, alrededor de la latitud 0, y también en la Isla de la Plata en la provincia de Manabí, su rango de distribución latitudinalmente se extiende hasta el sur en la provincia de Barranca perteneciente al Departamento de Lima, localizado en la zona Pacífico-central de Perú, este el registro sur más alejado de su patrón de distribución (E-Bird, 2022).

Habita en ecosistemas abiertos con una cobertura vegetal de maleza desértica, matorrales, bosques muy secos y bosques secos, usualmente intervenidos, dentro de un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta 1300 msnm (Ridgely & Greenfield, 2001; Cisneros-Heredia, 2006; Schulenberg et al., 2010).

* Correspondencia del autor:

E-mail: xavier.cornejos@ug.edu.ec; alcivarj939@gmail.com



El conocimiento de la historia natural, ecología y etología de esta especie es insuficiente, siendo pocas las investigaciones realizadas, con excepción de su biología reproductiva (Marchant, 1960). En el presente trabajo se presenta una neotipificación de esta especie, se detallan por primera vez los adornos y materiales empleados en la construcción de los nidos, se registra las especies de plantas sobre las que *Myrmia micrura* los establece, y se presenta la selección de especies de plantas cuyas flores son visitadas para alimentación en la costa continental de Ecuador.

Metodología

Para la neotipificación se revisó la publicación original (Gould, 1854), la monografía de Trochilidae del mismo autor (Gould, 1861), y trabajos posteriores en los que se trata a *Myrmia micrura* (Zimmer, 1953). Se consultó vía digital las colecciones en las que John Gould se basó para la descripción original de esta especie que reposan en el Museo de Historia Natural de Londres y se consultó el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN, por sus siglas en inglés), disponible en línea.

Un total de 14 nidos han sido estudiados durante los años 2012 y 2019, mayormente en la provincia del Guayas. Los puntos de recolección de información se detallan en la Tabla 1. Las observaciones de huevos, pichones-volantones y madre adulta se realizaron en tres localidades, en el Área Nacional de Recreación Parque Samanes, en Puerto Engabao y en Posorja durante los años 2012, 2016 y 2018, respectivamente.

Dos nidos fueron colectados en el campus Mapasingue de la Facultad de Ciencias Naturales considerando el abandono total de los mismos, estos han sido depositados en el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil (MZUG), con el código MUGT-A05006.

La identificación de los adornos florales y demás elementos utilizados en la elaboración de los nidos, así como de las especies de plantas soporte sobre los que *Myrmia micrura* los construye y de las plantas que visita para alimentación fue realizada por el segundo autor en el Herbario GUAY de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil; Cristian Loaiza realizó la identificación de *Melocactus bellavistensis* (Cactaceae). Se consideró también la información que se encuentra disponible en la plataforma web de E-bird de las preferencias florales utilizadas por *Myrmia micrura* para su alimentación.

Resultados

Neotipificación

La publicación original de *Calothorax micrurus* Gould (1854:109) describe a la especie en base a sus características morfológicas y localiza su hábitat en Perú, pero no cita colección tipo ni menciona colector alguno. Posteriormente, en la monografía de los

Trochilidae (Gould, 1861), indica que M. Warszewicz le entregó ejemplares de ambos sexos y le comentó que eran voladores rápidos y ruidosos. Las colecciones realizadas por Warszewicz en las que se basó Gould (1854:109) para la descripción original de la especie se encuentran informalmente registradas como tipo (escrito a mano), y sintipos en las etiquetas de tres especímenes que reposan en el Museo de Historia Natural de Londres (1888.7.25.202, 1888.7.25.290, y 1888.7.25.291; Mark Adams, com. pers.; (Fig. 1).

Sin embargo, de acuerdo con los Arts. 72.3, 73, 73.2 del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN, por sus siglas en inglés), para el reconocimiento oficial de estas colecciones como sintipos se requiere que hayan sido mencionadas en la publicación original para un taxón del grupo de las especies formalmente publicadas antes del año 2000. Se estima que por esta razón no hay cita de la colección tipo de *Myrmia micrura* (por ej.: Zimmer, 1953). Con este antecedente, y con base en el Arts. 75.1, 75.3.3, 75.3.5 del ICZN que faculta a la neotipificación en casos como este, en el que el nombre de la especie está relacionado con la referencia explícita mencionada por Gould posterior a la publicación original de *Calothorax micrurus* (op. cit.), uno de los especímenes de Warszewicz de la colección de Gould que reposa en el Museo de Historia Natural de Londres es explícitamente aquí designada como neotipo.

La lámina 148 publicada en la monografía de los Trochilidae (Gould, 1861) presenta una hembra y dos machos de (*Calothorax micrurus*=) *Myrmia micrura* Gould, visitando un arbusto florecido de *Zapoteca caracasana* (Fabaceae) en Perú (Fig. 2).



Figura 1. Especímenes de (*Calothorax micrurus*=) *Myrmia micrura* Gould colectados por Warszewicz en Perú. Neotipo 1888.7.25.202, macho adulto (superior). Los dos restantes 1888.7.25.290 (medio) y 1888.7.25.291 (inferior), son machos inmaduros. Cortesía del Museo de Historia Natural de Londres.

Tabla 1. Detalle de los nidos de colibrí colicorto *Myrmia micrura* según las respectivas localidades, las medidas de largo y ancho han sido tomadas desde el borde exterior.

Nido No.	largo (cm)	ancho (cm)	forma	alto (m)	localidad
1	2,92	3,11	cupuliforme	0,32	Campus Mapasingue, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil
2	2,65	2,87	cupuliforme	0,45	Campus Mapasingue, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil
3	---	---	cupuliforme	0,80	Parque Samanes
4	---	---	cupuliforme	2,00	Parque Samanes
5	2,97	2,84	cupuliforme	1,35	Jardines del Río
6	2,11	2,66	cupuliforme	0,94	Jardines del Río
7	3,13	3,25	cupuliforme	0,94	Jardines del Río
8	2,83	3,00	cupuliforme	1,26	Jardines del Río
9	3,71	3,22	cupuliforme	1,10	Jardines del Río
10	---	---	cupuliforme	2,30	Parque Samanes
11	---	---	cupuliforme	---	Isla de la Plata (registro fotográfico)
12	---	---	cupuliforme	1,10	Puerto Engabao, playas
13	---	---	cupuliforme	0,94	Puerto Engabao, playas (foto obtenida de E.bird) registro personal JA
14	---	---	cupuliforme	2,00	Posorja, playas



Figura 2. Ilustración que presenta una hembra (superior) y dos machos (medio e inferior) de (*Calothorax micrurus*=) *Myrmia micrura* Gould, visitando un arbusto florecido de *Zapoteca caracasana* (Fabaceae) en Perú. Elaborada por J. Gould y H.C. Richter (en Gould, 1861). Dominio Público.

Myrmia micrura Gould (1854)

Calothorax micrurus Gould in Proc. Zool. Soc. Lond. 1854: 109.

Neotipo: PERU. Trujillo?, sin localidad, sin fecha, *M. Warszewicz*, 1888.7.25.202 (♂) (NHMUK), aquí designado (Fig. 1, adulto, individuo superior).

Distribución: En bosques secos de la costa de Ecuador y noroccidente de Perú (Zimmer, 1953).

Los nidos de *Myrmia micrura*

Catorce nidos del colibrí colicorto *Myrmia micrura* han sido observados en 6 localidades distribuidas en ecosistemas predominantemente de tierra firme y ocasionalmente en manglar, en las zonas de vida de bosque seco y muy seco tropical deciduo estacional que poseen una precipitación promedio anual inferior a 1.000 mm (Tabla 1). Todas las localidades visitadas se encuentran en áreas bajas con vegetación nativa abierta, degradada por una intensa deforestación, pastoreo o en un parque (Samanes), cuya vegetación y suelos originales han sido fuertemente modificados y que en la actualidad posee una cobertura vegetal mayormente compuesta por especies introducidas. Todos los 14 nidos observados han sido encontrados

Tabla 2. Especies de plantas seleccionadas por el colibrí colicorto *Myrmia micrura* para establecer sus nidos.

familia	especie	rango de distribución	hábito	ecosistema
BIGNONIACEAE	<i>Tecoma castaneifolia</i>	BSDPE	arbusto o árbol bajo	tierra firme
CAPPARACEAE	<i>Beautempsia avicenniifolia</i>	BSDPE	arbusto o árbol bajo	tierra firme
COMBRETACEAE	<i>Bucida buceras</i>	introducida	árbol	tierra firme
FABACEAE	<i>Aeschynomene</i> sp.	amplio	subarbusto	tierra firme
HYDROLEACEAE	<i>Hydrolea spinosa</i>	amplio	subarbusto	tierra firme
ONAGRACEAE	<i>Ludwigia</i> sp.	amplio	subarbusto	tierra firme
COMBRETACEAE	<i>Laguncularia racemosa</i>	amplio	arbusto o árbol bajo	manglar

durante la época seca, de éstos, apenas 2 estaban en actividad reproductiva: Uno en el Parque Samanes en la provincia del Guayas (Fig. 3) y el segundo en la Isla de la Plata, en la provincia de Manabí; en ambos casos los nidos poseían 2 huevos cada uno.

En cuanto al material de construcción, los nidos estudiados de *Myrmia micrura* se encuentran predominantemente elaborados con abundantes flores marchitas de *Mimosa debilis* var. *aequatoriana* (Fabaceae), esta es una variedad de rápido crecimiento y flores efímeras que está ampliamente distribuida en áreas abiertas y degradadas del BSDPE. Elementos secundarios encontrados esporádicamente son semillas de Asteraceae, finos pelos blancos que asemejan a los de las semillas de *Cochlospermum vitifolium* (Bixaceae), espiguillas de *Melinis repens* (Poaceae) plumas de viviñas *Forpus coelestis* y pequeños fragmentos de angostas tiras cortas de plástico delgado y muy flexible, procedentes de tejido de sacos sintéticos.

Las flores de *Mimosa debilis* var. *aequatoriana* poseen una corola gamopétala, angosta, de unos 2 mm de longitud, en la que se encuentran fusionados numerosos estambres cuyos filamentos extendidos miden aproximadamente entre 6-8 mm de longitud. Al marchitarse la flor, la corola se mantiene unida a los estambres y los filamentos al deshidratarse se tornan rizados, un poco más cortos y su coloración se vuelve oscura, de color café o café-anaranjado. Esta forma un tanto alargada y rizada de los estambres es seleccionada por *Myrmia micrura* que aprovecha los elementos vegetales con estas características para entretejer sus nidos, quedando abundantes corolas de diminuto tamaño como un ornamento visible desde el exterior.

Las plantas soporte de los nidos

Los nidos de *Myrmia micrura* fueron construidos principalmente sobre plantas vasculares leñosas y subleñosas, pero también en algunas herbáceas, todas pertenecientes a diversas familias que taxonómicamente no se encuentran relacionadas entre sí, como: *Beautempsia avicenniifolia* (Capparaceae),

Tecoma castaneifolia (Bignoniaceae), *Bucida buceras* (Combretaceae); subarborescentes como: *Aeschynomene* sp. (Fabaceae), *Hydrolea spinosa* (Hydroleaceae); y aún herbáceas como *Ludwigia* sp. (Onagraceae) (Tabla 2). Todas estas especies de plantas soporte en donde han sido encontrados los nidos de *Myrmia micrura* tienen en común las siguientes características: Son dicotiledóneas de talla baja, en las que los nidos han sido construidos entre 0.3 a 2.3 m de alto; y, poseen ramas más o menos horizontales con bifurcaciones, cuyas ramitas laterales, en donde reposa el nido, poseen entre 0,4 a 0,8 mm de diámetro.

De estas especies de plantas soporte, la naturalizada *Hydrolea spinosa* y la introducida como ornamental, *Bucida buceras*, poseen ramas con espinas entre 0.5 a 1.5 cm de longitud, las especies restantes son inermes.

Las flores que visita *Myrmia micrura*

En cuanto a sus hábitos alimenticios, se ha observado que *Myrmia micrura* visita las flores de especies de plantas endémicas del BSDPE, nativas o naturalizadas de distribución amplia y también de especies introducidas, que exhiben corolas de diversa estructura, predominando el tipo de corolas tubulares, con tubos corolinos más o menos desarrollados o campanuladas. La lista aquí presentada es preliminar y no pretende ser una lista completa (Tabla 3).

Observaciones en el desarrollo de los polluelos

Según el seguimiento observado en el nido del parque Samanes (Cornejo, obs. pers., 2012), *Myrmia micrura* alcanza la talla de adulto a partir del primer mes. Dentro de este período inicial de tiempo, la talla y el plumaje sufren cambios rápidos y significativos que están correlacionados con la edad (Fig. 3: A--E). Al comenzar el segundo mes, aunque *Myrmia micrura* ya posee una talla y plumaje de adulto, aún parece conservar el hábito alimenticio dependiente de la madre (Fig. 3: E), la dependencia total se desarrollará en las semanas subsiguientes. Un video de madre de *Myrmia micrura* alimentando a dos pichones en el nido del Parque Samanes se encuentra disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9ptP-BcY3do>



Figura 3. El colibrí colicorto *Myrmia micrura*: A, nido con dos huevos. B, polluelos, dos días de edad. C, pichones, dos semanas de edad. D, pichones, tres semanas de edad. E, madre alimentando a hijo de cuatro semanas de edad. F, macho adulto visitando flores de *Lantana camara* (Verbenaceae). Todas las fotos tomadas en el parque Samanes de Guayaquil, Ecuador: A-E, año 2012; F, año 2015; por Xavier Cornejo.

Conclusiones

Los nidos del colibrí colicorto *Myrmia micrura* presentan forma cupuliforme de 2.1-3.7 cm de largo x 2.6-3.2 cm de ancho y 2-4 cm de profundidad. Estas características de forma y tamaño concuerdan bien con la morfología de los nidos previamente reportada para la familia Trochilidae (Hansell, 2000; Simón & Pacheco, 2005).

El bajo rango de altura entre 0.3 a 2.3 m de los nidos de *Myrmia micrura* registrados, en correlación con el diámetro de las delgadas ramas en donde éstos se encuentran construidos, esto es, 0,4 a 0,8 mm, en ambientes de cobertura vegetal baja, además de su rápido ritmo de crecimiento observado, alcanzando una talla de adulto a finales del primer mes, y su adaptación a construir nidos y alimentarse tanto de especies nativas como de algunas especies introducidas, indican que *Myrmia micrura* es una especie que posee tolerancia para residir y visitar ecosistemas intervenidos y aún ciertos ambientes antropizados. Estas características explican su presencia en entornos urbanos que poseen o que están cerca de sitios con una vegetación nativa remanente, entre las que destaca *Mimosa debilis* var. *aequatoriana*, cuyas flores son el material fundamental para la elaboración de nidos de *Myrmia micrura* en la costa de Ecuador.

Recomendaciones

Debido a la rápida tasa de crecimiento observada, se recomienda estudiar el tipo de alimentación de *Myrmia micrura*, al menos durante el primer mes de vida.

Agradecimientos

Mark Adams, curador de Aves del Museo de Historia Natural de Londres, facilitó al primer autor las imágenes de las colecciones obtenidas por *Warszewicz* en Perú, en las que J. Gould se basó para la descripción original de *M. micrura* (Fig. 1). Christian Loaiza realizó la identificación de *Melocactus bellavistensis* (Cactaceae).

Referencias

Anchundia, D. 2017. Visitantes florales, polinización y biología floral de *Tecoma castanifolia* (D. Don) Melch. (Bignoniaceae), en dos sitios de la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Biólogo. Universidad de Guayaquil.

Astudillo, E. 2019. Patrones ecológicos del ensamble de la familia Trochilidae asociados a gradientes altitudinales en dos localidades de la cordillera Chongón Colonche, Santa Elena-Ecuador. Tesis para optar al grado académico de Doctora en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Cisneros-Heredia, D.F. 2006. Notes on breeding, behaviour and distribution of some birds in Ecuador. *Bulletin-British*

Ornithologists Club 126: 153.

Cornejo, X. 2015. Las especies emblemáticas de flora y fauna de la ciudad de Guayaquil y la provincia de Guayas, Ecuador. *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien.* 9:56-71.

Dillehay, T.D. 1999. The Late Pleistocene cultures of South America. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews: Issues, News, and Reviews* 7: 206-216.

Gould, J., 1854. Description of two new species of Humming Birds, from Peru. *Proceedings of the Zoological Society London, Part XXI*, 109 p. Disponible en línea: <http://www.biodiversitylibrary.org/item/96679#page/145/mode/1up>

Gould, J., 1861. *A monograph of the Trochilidae or family of Huming-birds*, 3. London.

Hansell, M., 2000. *Bird nests and construction behaviour*. Cambridge University Press.

ICZN. International Code of Zoological Nomenclature, 4th ed.; Ride, W.D.L., Cogger, H.G., Dupuis, C., Kraus, O., Minelli, A., Thompson, F.C., Tubbs, P.K., Eds.; The International Trust for Zoological Nomenclature 1999; The Natural History Museum: London, UK, 2000.

Jobling, J.A. 2010. *The Helm Dictionary of Scientific bird names, from Aalge to Zusii*. Christopher Helm, London, UK.

Marchant, S. 1960. The breeding of some SW Ecuadorian birds. *Ibis*, 102: 584-599.

Pennington, T., Prado, D.E. y Pendry, C.A. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes." *Journal of Biogeography* 27: 261-273.

Prates, L. y Perez, S.I. 2021. Late Pleistocene South American megafaunal extinctions associated with rise of Fishtail points and human population. *Nature communications*, 12: 1-11.

Ridgely, R.S. y Greenfield, P.J., 2001. *The birds of Ecuador: status, distribution, and taxonomy*. Vol. 1. Cornell University Press.

Schulenberg, T.S., Stotz, D.F., Lane, D.F., O'Neill, J.P. y Parker, T.A. 2010. *Birds of Peru*. Princeton University Press.

Simon, J.E. y Pacheco, S. 2005. On the standardization of nest descriptions of Neotropical birds. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 13: 143-154.

Zimmer, J.T. 1953. Studies of Peruvian birds N°. 63. The hummingbird genera: *Oreonympha*, *Schistes*, *Heliotryx*, *Loddigesia*, *Heliomaster*, *Rhodopis*, *Thaumastura*, *Calliphlox*, *Myrtis*, *Myrmia*, and *Acestrura*. *American Museum Novitates* 1604: 1-26.

Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador

Physicochemical characteristics of soils for agricultural and forestry use. Case: San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador

Laura Gema Mendoza^{1*}, Verónica Vera², José Miguel Giler³ & Katherine Simbaña⁴

¹⁻²⁻³ Docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, campus politécnico El Limón, Calceta-Ecuador

⁴Estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, campus politécnico El Limón, Calceta-Ecuador

Recibido 10/02/2022; recibido en forma revisada 10 abril 2022; aceptado 30 de mayo 2022; disponible en línea 04/06/2022

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar las características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal en San Pablo de Tarugo, Chone, provincia de Manabí, Ecuador. Se empleó el método analítico descriptivo y técnicas como la entrevista y la observación directa. Se realizaron análisis de multielementos (nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, calcio y magnesio), textura, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y color en muestras en suelos agrícola (cultivo de yuca) y forestal. La textura del suelo agrícola es arcillo-arenosa, mientras que el suelo forestal es franco; la densidad aparente fue de 0.44 g/cm³ y 0.76 g/cm³ en suelo forestal, respectivamente; el suelo agrícola es ácido (5.50) y el suelo forestal es neutro (7.25); los multielementos reflejaron valores similares en ambos suelos; y, en ambos suelos predominan las tonalidades oscuras. La conductividad eléctrica es menor en suelo agrícola (216.67 uS/cm), pues el suelo forestal alcanzó los 400.00 uS/cm; asimismo, el suelo forestal contiene más del doble de materia orgánica (30.00 %), evidenciándose diferentes características fisicoquímicas en los suelos analizados.

Palabras clave: análisis, características fisicoquímicas, suelo agrícola, suelo forestal.

Abstract

The aim of this research was determine the physicochemical characteristics of soils of agricultural and forestry use in San Pablo de Tarugo, Chone, province of Manabí, Ecuador. The descriptive analytical method and techniques such as interview and direct observation were used. Analysis of multielements (ammoniacal nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium), texture, apparent density, pH, electrical conductivity, organic matter and color in samples of agricultural (cassava) and forest soil was performed. The texture of the agricultural soil is sandy clay, while the forest soil is loam; bulk density was 0.44 g/cm³ and 0.76 g/cm³ on forest floor, respectively; agricultural soil is acid (5.50) and forest soil is neutral (7.25); the multielements reflected similar values in both soils; and, in both soils, dark tones predominate. The electrical conductivity is lower in agricultural soil (216.67 uS/cm) since the forest soil reached 400.00 uS/cm; observing, the forest soil contains more than double the organic matter (30.00 %), evidencing different physicochemical characteristics in the analyzed soils.

Keywords: analysis, physicochemical characteristics, agricultural soil, forest soil.

Introducción

La salud del suelo está relacionada con su uso, el cual determina los procesos biogeoquímicos y disminuye la capacidad de los sistemas biológicos para sustentar y satisfacer las necesidades humanas; los principales

impactos del uso de suelo son la reducción de la recarga de los acuíferos, lo que produce un desequilibrio de la escorrentía superficial y provoca la pérdida de nutrientes, también afecta la estructura y la densidad aparente, altera las concentraciones de materia orgánica, mientras que los contenidos de nitrógeno,

* Correspondencia del autor:
E-mail: laura.mendoza@espm.edu.ec



fósforo y las poblaciones de microorganismos del suelo pueden disminuir o aumentar (Valarezo et al., 2021).

Las características fisicoquímicas revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo al medio ambiente e indican la idoneidad del uso del suelo; por lo que, es fundamental determinar dichas características; así, la calidad del suelo incluye la evaluación de sus propiedades y los procesos del suelo en relación con su capacidad para funcionar de manera efectiva como componente de un ecosistema saludable; y, sustentar la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la producción de plantas y salud animal, incluyéndose la salud humana (Bai et al., 2018; Bünemann et al., 2018).

La llanura costera del Ecuador, con excepción de la parte norte extremadamente húmeda, es una región con alto potencial agrícola, caracterizada por un suelo muy fértil que permite el desarrollo de una agricultura altamente rentable, el 43% de las tierras de la planicie costera (2,8 millones de ha) son aptas para uso agrícola; esta zona está ubicada en áreas planas a ligeramente montañosas, con condiciones favorables para una amplia gama de cultivos tropicales como cacao, café, banano, palma aceitera, caña de azúcar, arroz, maíz, soya, yuca y numerosas frutas tropicales (Espinosa et al., 2018).

La parroquia Canuto, ubicada en el cantón Chone de la provincia de Manabí, se caracteriza por la producción de una amplia gama de alimentos de primera necesidad; sin embargo, se ha determinado que el recurso suelo se empobrece paulatinamente por sobreexplotación del mismo, debido a prácticas como los monocultivos (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Canuto, 2015). Bajo



Figura 1. Esquema del proceso de la investigación.

tales antecedentes, el objetivo de esta investigación fue determinar las características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal en San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador.

Materiales y métodos

Se empleó el método analítico descriptivo para cumplir con el objetivo planteado, empleándose como técnicas la entrevista y la observación directa. En la figura 1 se detalla el proceso empleado para llevar a cabo la investigación.

Área de estudio

Las muestras de suelo analizadas provienen de San Pablo de Tarugo, ubicado en la parroquia Canuto, cantón Chone, provincia de Manabí; específicamente en las coordenadas 604197.3 9913091.7 (Zona 17S), a una altura aproximada de 62 msnm, en la figura 2 se detalla la ubicación geográfica. Acorde al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2019), el clima de esta zona es de tipo tropical, con una precipitación media de 121.9 mm; presentando 26°C de temperatura media y 83.5% de humedad relativa.

Toma de muestras

Se realizó la toma de muestras en suelo agrícola (cultivo de yuca) y suelo forestal según lineamientos establecidos por Agrocalidad (2020); en el suelo

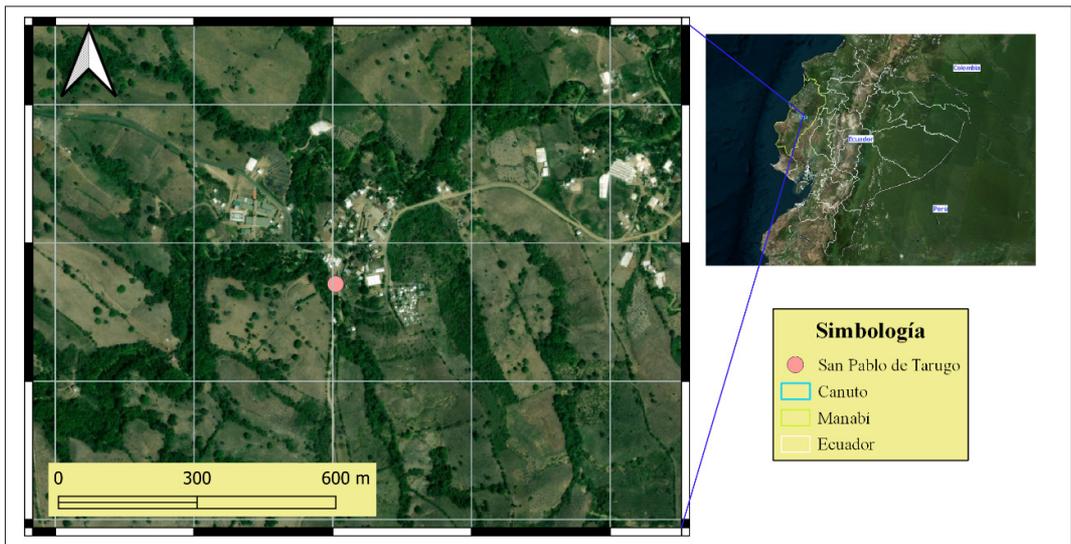


Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de muestreo.

agrícola, dadas las condiciones geológicas, edáficas, hidrogeológicas y meteorológicas se dividió el área de muestreo (pendiente mayor al 5%) en tres zonas: alta, media y baja (Mendoza y Espinoza, 2017). Las tres muestras de 1 kg fueron resultados de la homogenización de 10 submuestras tomadas en zigzag a una profundidad de 20 cm en un cuadrante de aproximadamente 1 metro (Cuello, 2015), donde se evidenció mayor presencia de raíces secundarias (Lizcano et al., 2017).

Las muestras de suelo fueron analizadas en los laboratorios de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), según lo descrito a continuación:

Multielementos: Los multielementos como nitrógeno amoniacal (NH₄), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), y magnesio (Mg), se determinaron mediante absorción atómica.

Textura: La textura del suelo se determinó mediante el método de sedimentación; colocándose 100 g de muestra en 500 mL de agua; esta mezcla se llevó a la estufa a 350°C, se añadieron 25 ml de peróxido de hidrógeno y se agitó hasta quemar la materia orgánica (30 minutos aproximadamente); esta muestra se trasvasó a una probeta de 500 ml (sin tocar la pared) y se dejó reposar por 24 horas (tiempo de sedimentación) para determinar el porcentaje de limo, arena y arcilla; y, finalmente aplicar el triángulo de textura de Munsell.

Densidad aparente: La densidad aparente se determinó *in situ* mediante el método del cilindro, primero se determinaron los puntos estratégicos para la extracción de las muestras de suelo, después se introdujo a presión un cilindro de 5 cm de diámetro por 10 cm de altura en cada punto de muestreo, enseguida se extrajo el cilindro colocándolo en una funda, la cual fue llevada a laboratorio y se procedió a pesar en estado fresco, luego se ingresó la muestra en la estufa a 105°C por 1 hora, una vez secado se pesó nuevamente la muestra para obtener los datos necesarios para realizar el cálculo respectivo aplicando la ecuación 1.

$$\text{Densidad aparente del suelo} = \frac{\text{peso del suelo seco}}{\text{volumen de suelo}} \text{ Ec 1}$$

pH: En 3 vasos precipitados de 100 ml se diluyeron 3 muestras de 10 g de suelo y 100 ml de agua; se procedió a colocar un vaso precipitado con su respectiva disolución en un termo agitador durante 10 minutos; se esperó a que la lectura se estabilizara y se tomó la lectura respectiva.

Conductividad eléctrica: En un vaso precipitado se colocó 10 g de muestra de suelo, se agregó 100 ml de agua destilada y se añadió una bala magnética

colocando la disolución por 10 minutos en el termo agitador, posteriormente se sumergió el conductímetro en la solución antes preparada. Con el resultado de la conductividad eléctrica, se determinó la salinidad aplicando la ecuación 2.

$$ST = 0.64 * CE \text{ Ec 2}$$

Donde:

ST= Contenido total de sales

CE= Conductividad Eléctrica

Materia orgánica: Se pesó 50 g de suelo tamizado, y se colocó en la estufa a 105° C por 10 minutos, se pesó las muestras nuevamente, adicionalmente se tomaron 10 g del suelo en un crisol y se ingresaron las muestras en la mufla a una temperatura de 450° C por 4 horas, revolviendo la mezcla cada cierto tiempo, posteriormente se puso en el desecador por 40 minutos y se pesó la muestra; determinándose el contenido de materia orgánica mediante la ecuación 3. Los resultados obtenidos fueron comparados con los criterios detallados en la tabla 1.

$$\%MO = \frac{A-B}{B-C} * 100 \text{ Ec 3}$$

Donde:

A= Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al horno antes de la ignición

B= Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición

C= Peso del crisol o plato de evaporación con aproximación a 0.01 g

Color: El color se determinó en base seca: se ubicó una porción de 3 g de suelo en la placa, comparando y estableciendo el valor vertical y horizontal según la tabla Munsell para obtener el color establecido; y, en base húmeda: se ubicó una porción de 3 g de suelo en la placa, se agregó un poco de agua al suelo hasta humedecer completamente y comparar el color del suelo con el valor expresado en la tabla Munsell.

Resultados y discusión

En el suelo agrícola analizado, se siembran aproximadamente 4.000 plantas de yuca (variedades

Tabla 1. Categoría según el porcentaje de materia orgánica.

Descripción	Rango (%)
Muy bajo	<2
Bajo	2 - 5
Medio	5 - 15
Alto	15 - 40
Muy alto	> 40

Fuente: INIAP (2015)

mejoradas por el INIAP 650 y 651) por hectárea, siendo las condiciones de plantación óptimas las que brinda la época lluviosa. Es de indicar que no se realiza preparación del suelo antes de la plantación ni tampoco análisis de suelo después de la cosecha. Aunque, para considerar una buena nutrición de un cultivo de la yuca se debe tener en cuenta la relación suelo, planta y agua. Este terreno se ha mantenido siete años en constante producción, lo que indica que no existen problemas para un buen cultivo. Vera (2014), menciona que la yuca prospera en suelos fértiles, su ventaja comparativa con otros cultivos más rentables es su capacidad para crecer en suelos ácidos, sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas del suelo, existe una gran parte de la producción de yuca que se obtiene a partir de suelos pobres, con poca fertilización y en sistemas de cultivos múltiples. En cuanto a los resultados de los análisis, en la tabla 2 se muestra en detalle los niveles cuantitativos de los parámetros evaluados.

En el suelo agrícola, la textura de la zona alta es arcillo arenosa, pues posee de 35 a 55% de arcilla y 45 a 65% arenoso, siendo apto para el cultivo de yuca. Los suelos arenosos se denominan suelos sueltos por tener una elevada permeabilidad al agua y por tanto una escasa retención de agua y de nutrientes, una de las ventajas que se puede destacar es que son fáciles de trabajar y no presentan problemas de aireación. En las zonas media y baja se obtuvo que la textura es arcillosa, con más de 30% de arcilla en el suelo lo cual es poco deseable, Pérez (2013) basado en la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) de las partículas según su tamaño, indica que el rango para el suelo arcilloso es de 40-100 µm. Los suelos arcillosos almacenan dos veces más agua que un suelo arenoso, se puede regar con menos frecuencia; sufre menos pérdida de nutrientes por lixiviación; es más difícil de labrar y es mucho más susceptible a la compactación; por lo tanto, se recomienda agregar materia orgánica como el compost, estiércol, abono verde, lombrihumus para mejorar la condición física del suelo (Schoonover y Crim, 2015). Por otro lado, los resultados de textura para los suelos forestales

develaron que este suelo es de tipo franco. Un suelo franco se considera una textura ideal, porque presenta una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua, retención de agua y nutrientes (Herrera, 2016). Por lo tanto, si el suelo forestal tiene una baja compacidad del suelo, favorece el laboreo, disminuye la densidad aparente y favorece el crecimiento de las raíces.

El suelo agrícola presentó una densidad aparente en la zona alta de 0.46 g/cm³, la parte media obtuvo 0.43 g/cm³ y la zona baja presentó un 0.42 g/cm³, con un promedio de 0.44 g/cm³; para los suelos arcillosos arenosos el rango de <1.1 es ideal para el crecimiento del cultivo al beneficiar a las raíces, la densidad aparente es la característica que en mayor grado influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo; este comportamiento está asociado con las condiciones de disponibilidad y la tasa de difusión de los nutrientes en el suelo, cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces, esta también dependerá a la vez de la temperatura, ya que, al aumentar la temperatura, la densidad disminuye (Bünemann et al., 2018).

Dado que, la densidad aparente, es afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, presenta una relación inversamente proporcional al contenido de materia orgánica y al espacio poroso. Por otro lado, el suelo con vegetación tiene características propias, que inciden en los procesos formativos del suelo a través de la actividad biológica, este tipo de residuo vegetal es muy importante en la velocidad de humificación. Un tipo de suelo con valores bajos de densidad aparente implica suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje; por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene poca porosidad en su composición y que la infiltración del agua es más lenta, lo cual puede provocar anegamientos (Schoonover y Crim, 2015).

Tabla 2. Resumen de los resultados de los parámetros cuantitativos evaluados.

Parámetro	Suelo agrícola (zonas)			Promedio	Suelo forestal
	Alta	Media	Baja		
Densidad aparente (g/cm ³)	0.46	0.43	0.42	0.44	0.76
pH	5.70	5.50	5.30	5.50	7.25
Conductividad eléctrica (µS/cm)	230.00	220.00	200.00	216.67	400.00
Materia orgánica (%)	11.00	16.00	14.00	13.67	30.00
P (ppm)	42.00	24.00	25.00	30.33	47.00
NH ₄ (ppm)	14.00	20.00	14.00	16.00	17.00
K (meq/100mL)	0.55	0.56	0.37	0.49	0.85
Ca (meq/100mL)	16.00	17.00	16.00	16.33	16.00
Mg (meq/100mL)	4.40	4.40	5.40	4.73	8.50

Mientras que para los suelos forestales la densidad aparente fue de 0.76 g/cm^3 , siendo para un suelo franco un valor en este parámetro menor a 1.4 ideal para crecimiento de raíces y mayor a 1.8 una afectación para el crecimiento de las raíces. Los suelos forestales absorben 4 veces más agua de lluvia que los suelos cubiertos por pastos, y 18 veces más que el suelo desnudo (Medrano, 2017). Estos suelos no sometidos al uso productivo, presentan un equilibrio entre la formación del suelo y los procesos erosivos, evitan los cambios climáticos e impiden la pérdida de la cubierta vegetal. El aumento de la densidad en suelos forestales reduce la porosidad del suelo, especialmente los poros mayores que juegan un importante rol para el crecimiento de las raíces y desarrollo de la flora en el suelo (Schoonover y Crim, 2015).

En cuanto al pH, en suelo agrícola, la zona alta alcanzó un valor de 5.70, la zona media obtuvo 5.50 y la zona baja presentó 5.30, con un promedio total de 5.50. Este parámetro, es determina un suelo ácido cuando se obtienen valores inferiores a 5.50 y puede provocar que la absorción de fósforo se reduzca, lo que puede conducir a la aparición de síntomas carenciales. Por tal motivo, en un suelo con pH muy ácido existe una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable, entonces en el complejo de cambio del suelo abundan los hidrogeniones y el aluminio, impidiendo que otros elementos necesarios tales como el calcio, magnesio, sodio o potasio permanezcan en él, pasando a la fracción soluble y siendo fácilmente eliminados con el agua de lluvia o de riego lo que puede provocar que no se obtenga un buen cultivo en este suelo (Andrade, 2017).

No obstante, un suelo puede ser ácido, pero si existe abundancia de materia orgánica, puede responder satisfactoriamente al cultivo, esto se da debido a que la materia orgánica de un suelo contiene cerca del 5% de N total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes; por otro lado, las actividades microbianas que se dan en el proceso de descomposición de la materia orgánica, contribuyen a la fertilidad del suelo y un suelo fértil permitirá que exista un buen rendimiento del cultivo (Arequipa, 2017). En suelos forestales el pH fue de 7.25 lo que indica que son neutros debido a que existe alto contenido de nutrientes puesto que las hojas que caen de los árboles se descomponen y contribuyen a que exista un elevado contenido de materia orgánica. Respecto a la conductividad eléctrica, el suelo agrícola obtuvo en la zona alta 230 uS/cm , en la zona media 220 uS/cm y la zona baja 200 uS/cm , con un promedio de 216.67 uS/cm ; mientras que para los suelos forestales alcanzaron un resultado de 400 uS/cm . La absorción de agua de lluvia en suelos forestales es mucho mayor (hasta 4 veces más) que en suelos cubiertos por pastos; pudiendo absorber hasta 18 veces más líquido el suelo desnudo (Andrade, 2017). La materia orgánica en suelo agrícola presenta una calidad media según los criterios detallados en la tabla 1, pues en la zona alta se obtuvo un 11.00% y en

la zona baja el contenido fue de 14.00%, exceptuando la zona media que presentó un contenido alto de materia orgánica (16.00%); obteniéndose 13.67% en promedio. Sin embargo, en el suelo forestal la materia orgánica es de 30.00%, catalogándose con un alto contenido de esta característica, evidenciándose una notable diferencia entre ambos usos de suelo. En el manejo orgánico del suelo (forestal y agrícola) se recomienda un sistema combinado que consiste en ayudarle al suelo a restablecer el equilibrio natural (Moreira, 2016). El abonado de los suelos es una opción atinada sobre todo cuando el contenido de materia orgánica es bajo y el efecto de la erosión evidente, debido a los beneficios directos e indirectos derivados del mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Así, su aplicación puede optimizar la calidad de la producción de los cultivos en cualquier tipo de suelo y restablecer en forma gradual sus cualidades naturales (Flores, 2016).

Los resultados obtenidos para fósforo en el suelo forestal fueron de 47.00 ppm mientras que realizando un promedio de los segmentos del suelo agrícola dio un valor de 30.33 ppm (42.00 ppm en la zona alta, 24.00 ppm en la zona media y 25.00 ppm en la zona baja), ambos valores indican un alto contenido de fósforo. En suelos agrícolas esto se debe a la aplicación de fósforo al suelo en cantidades superiores a las necesidades de las cosechas, lo que conduce a un incremento progresivo de la concentración de fósforo en el suelo. Mientras, en suelos forestales, el incremento de este nutriente se debe a que la mayoría de los árboles forman asociaciones micorrizas con los hongos y estos pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes liberando ácidos orgánicos que aceleran la meteorización, enzimas que aceleran la descomposición de la materia orgánica, y fosfatasas para mineralizar el fósforo orgánico (Schoonover y Crim, 2015).

El suelo agrícola presentó un nivel promedio de 16.00 ppm de NH_4 (14.00 ppm en la zona alta, 20.00 ppm en la zona media y 14.00 ppm en la zona baja), por otra parte, en el suelo forestal existe un valor de 17.00 ppm, reflejando un contenido de nitrógeno bajo en ambos suelos. En los suelos forestales esta deficiencia se asocia a factores como el clima pues sin una temperatura y humedad adecuada no se dará la descomposición de materia orgánica, por otra parte, la composición química de los restos vegetales ser desfavorable para la producción de este compuesto y por último los microorganismos que se encuentren en el suelo, pueden ser inadecuados o son insuficientes para tener un alto contenido de nitrógeno. En contraste, la falta de este nutriente en los suelos agrícolas se puede deber a las precipitaciones, que provocan la salida de nutrientes como lixiviados entre los que predominan los nitratos y el nitrógeno orgánico disuelto (Bünemann et al., 2018). Las pérdidas de nitrógeno pueden acentuarse cuando el nitrógeno en fertilizantes y/o deposición atmosférica excede las necesidades de plantas, bacterias y hongos. El agua de escorrentía puede

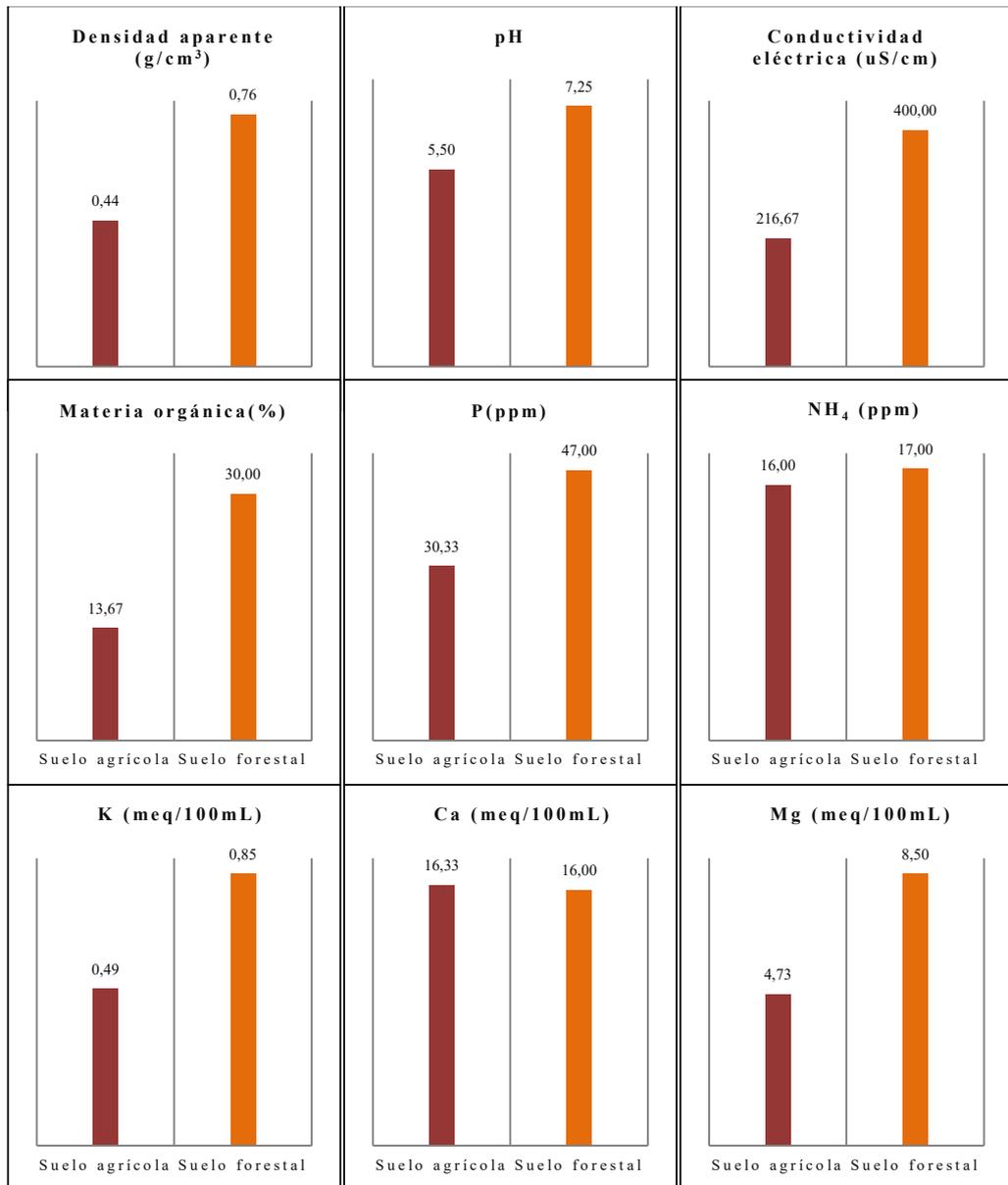


Figura 3. Representación gráfica de los resultados obtenidos.

llevarse una gran parte de los materiales resultantes de la erosión causada por las actividades forestales (construcción de pistas, preparación del suelo, talas, etc.) o cenizas producidas durante una quema de restos de corta, particularmente en laderas de fuerte pendiente (Flores, 2016). Otra de las razones según Donoso (2014) es que, durante los primeros años de la agricultura en suelos pobres, el nitrógeno de los residuos es insuficiente y los microorganismos usan el nitrógeno almacenado en el suelo. Este proceso es denominado inmovilización del nitrógeno y puede llevar a una deficiencia de nitrógeno en los cultivos que se manifiesta por una apariencia clorótica de las hojas.

En el suelo agrícola se determinó la existencia de un color entre marrón y negro (muestras secas - HUE 2.5 Y BROWISH BLACK 3/2) y entre negro y blanco - negro (muestras húmedas - HUE 2.5 Y BROWISH BLACK 3/1); en contrapartida, en suelos forestales el color determinado fue marrón en seco (HUE 2.5 Y BROWISH BLACK 3/2) y negro en húmedo (HUE 2.5 Y BLACK 2/1), lo que indica que en ambos suelos, predominan las tonalidades oscuras, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2016) un suelo con colores oscuros es indicativo de abundante materia orgánica, de acuerdo a ello Bünemann et al. (2018) manifiestan que el color

que presentan los suelos agrícolas es atribuible a las actividades humanas, en tanto, que el color obtenido en los suelos forestales, son considerados naturales con una sucesión bien definida de horizontes debido a la influencia que ejerce la cubierta forestal sobre este suelo.

En cuanto al K, en suelos agrícolas se obtuvo 0.55 meq/100mL en la zona alta, 0.56 meq/100mL en la zona media y 0.37 meq/100mL en la zona baja; resultando un promedio de 0.49 meq/100mL. Para el Ca se encontraron 16.00 meq/100mL en la zona alta, 17.00 meq/100mL en la zona media y 16.00 meq/100mL en la zona baja, con un promedio de 16.33 meq/100mL. Referente al Mg, se determinaron 4.40 meq/100mL en la zona alta, 4.40 meq/100mL en la zona media y 5.40 meq/100mL en la zona baja (4.73 meq/100mL en promedio). El suelo forestal mostró un contenido de 0.85 meq/100mL de K, 16.00 meq/100mL de Ca y 8.50 meq/100mL de Mg, reflejando una disponibilidad media. Los requerimientos nutricionales de suelos forestales se obtienen macronutrientes (K, Ca y Mg), desempeñando funciones muy importantes en el crecimiento de los árboles (Pilco y García, 2020). Por lo tanto, si se encuentran en condiciones medias ocasionarían deficiencias, disminuyendo el crecimiento de la planta. La relación de K, Ca y Mg en los suelos brindan condiciones estructurales adecuadas para la protección y crecimiento de los cultivos, por ello, el exceso de concentración en los suelos agrícolas es debido a la gran cantidad de fertilizantes químicos necesarios para una mayor producción. El potasio se encuentra en los suelos en cantidades variables y es absorbido por las plantas en forma de ion K⁺, mientras que el magnesio es esencial en el proceso de fotosíntesis. Por lo general, los suelos contienen más potasio que cualquiera de los otros nutrientes.

La figura 3, sintetiza de manera gráfica los resultados obtenidos, es de destacar que de todos los parámetros analizados el suelo forestal presenta mayores niveles, exceptuando el Ca. Se ha determinado que el contenido de materia orgánica afecta favorablemente el pH de los suelos ácidos, y que suelos sin cultivarse generalmente presentan mayor estabilidad de los agregados y un mayor contenido de materia orgánica en los horizontes superiores; no obstante, la magnitud de estos efectos es variable (Bai et al., 2018). Así, las diferencias entre las características del suelo forestal y el suelo agrícola, se atribuyen a las intervenciones antrópicas que dan en este último.

Conclusiones

Se determinó que la textura arcillo-arenosa del suelo agrícola cultivado con yuca es ideal para este tipo de cultivo; para el suelo forestal es franco, con un equilibrio ideal entre arenas, limo y arcilla. Entre los parámetros cuantitativos, la conductividad eléctrica en el suelo agrícola fue de 216.67 uS/cm, mientras que en el suelo forestal alcanzó los 400.00 uS/cm,

evidenciándose una notable diferencia; de manera semejante, el contenido de materia orgánica en el suelo agrícola fue de 13.67% y, en el suelo forestal se obtuvo 30.00%; de este modo, las características fisicoquímicas del suelo forestal difieren del suelo agrícola; sin embargo, la disposición final del uso de suelo debe responder a los intereses de los agricultores por lo que los resultados de esta investigación constituyen una línea base sobre las condiciones del suelo en la comunidad San Pablo de Tarugo y los efectos de su uso.

Referencias

- Agrocalidad. 2020. *Muestreo para análisis de suelos*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>. Consulta Marzo 2021.
- Andrade, F. 2017. *Los desafíos de la agricultura. La nutrición de los cultivos*. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/929CA0CDECC641000325811E00569D0A/\\$FILE/Actas%202017%20-%20FINAL.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/929CA0CDECC641000325811E00569D0A/$FILE/Actas%202017%20-%20FINAL.pdf). Consulta Abril 2021.
- Arequipa, A. 2017. *Calidad del suelo*. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26630/1/Tesis181%2020Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20536.pdf>. Consulta Agosto 2021.
- Bai, Z., Caspari, T., Ruiperez, M., Batjes, N., Mäder, P., Bünemann, E., Goede, R., Brussaard, L., Xu, M., Santos, C., Reintam, E., Fan, H., Mihelič, R., Glavan, M., y Tóth Z. 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 265. 1-7. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S016788091830224X?token=6E2056BB9FD5EF773116A331B07664232C256C7AAE462AD1E550F0498FAE8F7256AADF220E3F3845BF5761A14ADF373&originRegion=us-east-1&originCreation=20220402215618>
- Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukke, W., Groenigen, J., y Brussaard, L. 2018. Soil quality - A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120: 105-125.
- Cuello, L. 2015. *Actividades de aprendizaje-producción agrícola*. <http://analuisacuello.blogspot.com/2015/03/>. Consulta Julio 2021.
- Donoso, C. 2014. *Ecología Forestal*. https://www.researchgate.net/publication/277131964_SUELOS_EN_ECOSISTEMAS_FORESTALES. Consulta Noviembre 2021.
- Espinosa, J., Bernal, G., y Moreno, J. 2018. *The Soils of Ecuador*. Springer International Publishing, Suiza.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). Consulta 2016. *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ai5126s.pdf> FAO, Roma.
- Flores, M. 2016. *Estudio comparativo de indicadores físicos químicos y biológicos de la calidad del suelo*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3077/1/UNACH-ING-AMB-2016-014.pdf>. Consulta Junio 2021.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia de Canuto. 2015. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360044680001_PDYOT%20CANUTO%20CHONE_04-07-2016_11-47-38.pdf. Consulta Mayo 2020.
- Herrera, J. 2016. Erosión del suelo por fertilizantes de la agricultura convencional, efecto en el cultivo de maíz versus bosque primario en Jaeneche. (Tesis de pregrado Ing. Ambiental) *Dspace*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11539/1/TESIS%20Danilo%20Herrera.%20CORRECCION%20FINAL.pdf>

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 2019. *Series mensuales de datos meteorológicos Chone-U. Católica Código: M0162*. Quito, INAMHI.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2015. *Valores de ponderación de materia orgánica*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4092/1/120700.pdf>- Consulta Abril 2021.
- Lizcano, R., Dilier Olivera, V., y Saavedra, D. 2017. *Muestreo de Suelos, Técnicas de Laboratorio e Interpretación de Análisis de Suelos*. https://www.researchgate.net/publication/323823646_Muestreo_de_Suelos_Tecnicas_de_Laboratorio_e_Interpretacion_de_Analisis_de_Suelos. Consulta Agosto 2021.
- Medrano, W. 2017. Análisis de cambio de uso de suelo al sur del cantón Samborondón mediante sistemas de información geográfica y teledetección. (Tesis de pregrado Ing. Ambiental). *Dspace*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29491/1/TESIS%20MAR%20MEDRANO.pdf>
- Mendoza, R., y Espinoza, A. 2017. *Guía de muestreo del suelo*. <http://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>. Consulta Noviembre 2020.
- Moreira, E. 2016. *El uso de abonos y sus efectos*. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/2938/1/45011_1.pdf. Consulta Octubre 2021.
- Pérez, L. 2013. *Edafología. Ciencias Ambientales*. <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL5PFPorosidad.htm>. Consulta Enero 2022.
- Pilco, J., y García, D. 2020. Determinación de cadmio en suelos agrícolas del cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* 14(1): 151-172. <https://www.revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1288/1323>
- Schoonover, J., y Crim, J. 2015. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education* 154(1): 21-17. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>
- Valarezo, G., Carrión, V., Capa, D., y Jiménez, L. 2021. Soil quality/health indicators in a disturbed ecosystem in southern Ecuador. *Soil Science Annual* 72(2). http://www.soilsa.com/pdf-135991-67511?filename=Soil%20quality_health.pdf
- Vera, V. 2014. *Factores limitantes en el cultivo de yuca (Nutrición Vegetal)*. <https://es.slideshare.net/sextobtres/factores-limitantes-en-elcultivo-de-yuca-nutricion-vegetal>. Consulta Mayo 2021.

Estudio bibliométrico de la producción científica Ecuatoriana sobre el sars cov 2 en Web of Science

Bibliometric study of the Ecuadorian scientific production on sars cov 2 in Web of Science

Manuel Andrés Llerena Paz^{1*} & Manuel Esteban Arévalo Vecillas²

¹ *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Av. Carlos Julio Arosemena, km 1^{1/2}, Guayaquil, Ecuador.*

² *Tecnológico Universitario Espíritu Santo. Carrera de Sistemas. Av. Juan Tanga Marengo y Av. Las Aguas, Guayaquil, Ecuador.*

Resumen

Recibido 10/02/2022; recibido en forma revisada 10 abril 2022; aceptado 30 de mayo 2022; disponible en línea 04/06/2022

El virus del sars cov 2 fue detectado el 31 de diciembre de 2019 por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), este fue el primer y único brote de neumonía en la ciudad de Wuhan, China. A finales de enero 2020, este brote epidémico se transformó en pandemia y, por lo tanto, en una emergencia de salud pública de interés internacional. El objetivo fundamental fue investigar la red colaborativa de producción científica en el caso covid-19, con el fin de identificar, mapear, y explorar las interconexiones entre publicaciones, autores más relevantes, países de procedencia, filiación institucional y palabras claves. Metodológicamente el estudio posee como diseño de investigación un análisis bibliométrico exploratorio y descriptivo con enfoque cuantitativo, el periodo de recopilación de la información se llevó a cabo en marzo del 2022, teniendo en consideración la información disponible en Web of Science de los años 2020-2021. Finalmente, los investigadores ecuatorianos también se posicionaron con sus contribuciones académicas sobre covid-19 aproximadamente en 150 publicaciones de alto impacto y de acceso abierto en el mundo. **Palabras clave:** Web of science, covid-19, Ecuador, bibliometría.

Abstract

The sars cov 2 virus was detected on December 31th 2019 by the World Health Organization (OMS, 2019), this was the first and only outbreak of pneumonia in the city of Wuhan, China. At the end of January 2020, the epidemic outbreak became pandemic and, therefore, a public health emergency of international concern. The main objective was to investigate the collaborative network of scientific production on the case of covid-19, in order to identify, map, and explore the interconnections between publications, most relevant authors, countries of origin, institutional affiliation and keywords. Methodologically, the study has an exploratory and descriptive bibliometric analysis with a quantitative approach as a research design, gathering of information was carried out in March 2022, taking into account the information available in Web of Science for 2020-2021. Finally, Ecuadorian researchers also positioned themselves with their academic contributions on covid-19 in approximately 150 high-impact and open access publications in the world.

Key words: Web of science, covid-19, Ecuadorian, Ecuador, bibliometrics.

Introducción

El virus del SARS COV 2 fue detectado el 31 de diciembre de 2019 por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019; Rahim et al., 2021), teniendo en consideración que fue el primer y único brote de neumonía en la ciudad de Wuhan, específicamente en la provincia de Hubei, China (Ezhila et al., 2021). Poco después se descubrió que esta neumonía se debía a

un nuevo coronavirus, con características genéticas, modo de infección y huéspedes distintos a los otros coronavirus que ya se conocían (Postigo et al., 2021). Se le dio el nombre científico de síndrome respiratorio agudo severo y la infección que provoca se denominó COVID-19 (Llerena & Arévalo, 2021). A finales de enero 2020, este brote epidémico se transformó en pandemia y, por lo tanto, en una emergencia de salud pública de interés internacional, modificando a su vez múltiples

* Correspondencia del autor:

E-mail: manuel.llerena@cu.ucsg.edu.ec; eareval@tes.edu.ec



sectores como: (a) económico, (b) social, (c) político, (d) educativo y (e) cultural (Kanakan et al., 2020).

Según información del portal Systems Science and Engineering at Johns Hopkins University (<https://n9.cl/da0wy>), la pandemia ha afectado a 466'401.019 personas de casos positivos detectados y alrededor de 250 países del mundo al 18 de marzo del 2022 y con un total de fallecidos aproximadamente de 6'068.037 individuos (Panchal et al., 2021). Desde la detección del virus, gobiernos, universidades y organismos privados han estado trabajando en soluciones para evitar la propagación de otras nuevas variantes (por ejemplo: Omicrón, Delta, Mu, Lambda y otras); sin embargo, a pesar de las investigaciones realizadas, aún no se conocen por completo los mecanismos de transmisión y el espectro clínico de la enfermedad, y aún faltan tratamientos y vacunas para controlar el COVID-19 (Torres, 2020; Mayta, 2022).

A nivel nacional es de importancia que se ejecute un análisis de la producción científica ecuatoriana, enfocado en el estudio sobre el SARS COV 2 (Ganash et al., 2021) y teniendo en consideración que los artículos de índole bibliométrico tienen como objetivo estructural investigar la red colaborativa de producción científica sobre un tema en particular, que en este caso es el COVID-19. Este conocimiento facilita el reconocimiento de los investigadores que más producen y publican sobre la temática antes mencionada. Según Arlindo et al. (2021), los estudios de carácter bibliométrico permiten identificar, mapear, explorar las interconexiones entre publicaciones, autores más relevantes, países de procedencia, género de los autores, filiación institucional, palabras claves, idiomas de publicación, etc... (Casado et al., 2021), por ende existen estudios bibliométricos sobre la COVID-19 en contextos globales y latinoamericanos pero no específicamente enfocado en el Ecuador. A partir de esa premisa se identificaron las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué fuentes de información son de valor sobre el SARS COV 2, a través de las métricas de autores principales y filiación institucional?, ¿Qué estudios se han abordado sobre la evolución de la producción científica sobre el SARS COV 2?. Considerando este contexto, el objetivo de este estudio es desarrollar un análisis bibliométrico sobre la producción científica ecuatoriana del COVID-19, dentro de la base de datos Web of Science (WOS) (Felice y Polimeni, 2020; Zyoud y Al-Jabi, 2020; Koirala et al., 2021).

Metodología

El presente estudio posee como diseño de investigación un análisis bibliométrico exploratorio y descriptivo con enfoque cuantitativo. El periodo de recopilación de la información se llevó a cabo en marzo del 2022, teniendo en consideración la información disponible en Web of Science de los años 2020 - 2021 (Hernández et al., 2014). Se utilizó el tesoro de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2022) para identificar palabras claves y proceder mediante la siguiente terminología

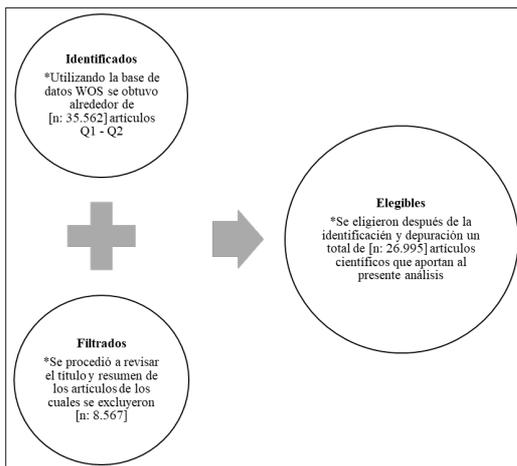


Figura 1. Esquema metodológico de la exploración, recuperación y recopilación de la data sobre covid-19.

algorítmica [bibliometric - 2019 - sars cov 2] o [production - ecuadorian - web of science], a través de la opción de búsqueda avanzada especificando artículos de cuartil 1 - 2 en diferentes idiomas y con autores ecuatorianos a nivel nacional e internacional (Lizardo, 2017; Naupas et al., 2014).

Cabe mencionar que Madé (2015) señaló la necesidad de regularizar las variables de autores relevantes, filiación institucional, palabras claves, etc..., con el fin de obtener la mayor data posible. En la búsqueda dentro de WOS se encontraron 35.562 artículos científicos, los cuales se sometieron a un proceso de normalización de metadatos para eliminar documentos réplicas. A continuación se esquematiza el proceso de exploración, recuperación y recopilación de los artículos más relevantes sobre el Sars Cov 2 (Navas, 2017; Nel, 2020) (Fig.1).

Luego de recopilar los datos se analizaron a través de la exportación al software denominado Vosviewer versión 1.6.18, este es una herramienta para construir y visualizar redes bibliométricas las cuales pueden contener: (a) autores más relevantes, (b) palabras claves, (c) filiación institucional etc..., con el fin de crear mapas de datos basados en data-red (Jan y Waltman, 2022; Shan et al., 2020).

Resultados

Se evidenciaron 26.995 artículos verificados y depurados que hacen referencia al tema de estudio, los aportes científicos fueron publicados en 1.200 revistas indexadas en WOS, por aproximadamente 8.542 autores vinculados a 2.456 instituciones públicas y privadas ubicadas en 70 países con al menos una filiación correspondiente a instituciones de educación superior de Ecuador (Gorkhali et al., 2021; Huh et al., 2021). Enfocándonos específicamente en el caso de Ecuador, la producción académica es aproximadamente de 150 artículos de los 26.995

Tabla 1. Filiaciones institucionales.

Unidades de Educación Superior	Documentos publicados	Citaciones	Fuerza de enlace entre investigadores
Universidad Central del Ecuador	44	366	29
Escuela Superior Politécnica Nacional	35	245	27
Universidad San Francisco de Quito	23	152	25
Universidad Espíritu Santo	18	90	20
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	12	63	17
Universidad Estatal Amazónica	9	22	12
Universidad Regional Amazónica	6	15	10
Universidad Estatal de Guayaquil	3	9	5
Total de documentos publicados	150 artículos científicos		

identificados, cabe recalcar que en su gran mayoría son publicaciones de libre acceso (Ruiz et al., 2022). Los principales resultados sobre el caso ecuatoriano estarán estructurados de la siguiente manera: a) filiaciones institucionales, b) autores más productivos, c) países de procedencia y d) palabras claves (Rodrigues et al., 2020; Fonkou et al., 2021).

a) Filiaciones institucionales

Para el análisis de la filiación institucional se debe tener en consideración los documentos publicados, las citaciones de mencionados documentos y la fuerza de enlace entre investigadores que se observa en la tabla 1.

La Universidad Central del Ecuador fue la principal institución con mayor número de artículos publicados presentando 44 investigaciones, le siguen la Escuela Superior Politécnica Nacional, la Universidad San Francisco de Quito y la Universidad Espíritu Santo con 35, 23 y 18 registros, respectivamente (Abramo y D'Angelo, 2021; Lopez et al., 2021).

b) Autores más productivos

La figura 2 muestra 16 clusters agrupados por autores de origen ecuatoriano, nos vamos a enfocar específicamente en el clúster "2" de izquierda a derecha comprendido por Cruz, Fabiano y Costa; en el clúster "8" compuesto por Cruz, Lanás; el clúster "16" estructurado por López, Moreno.

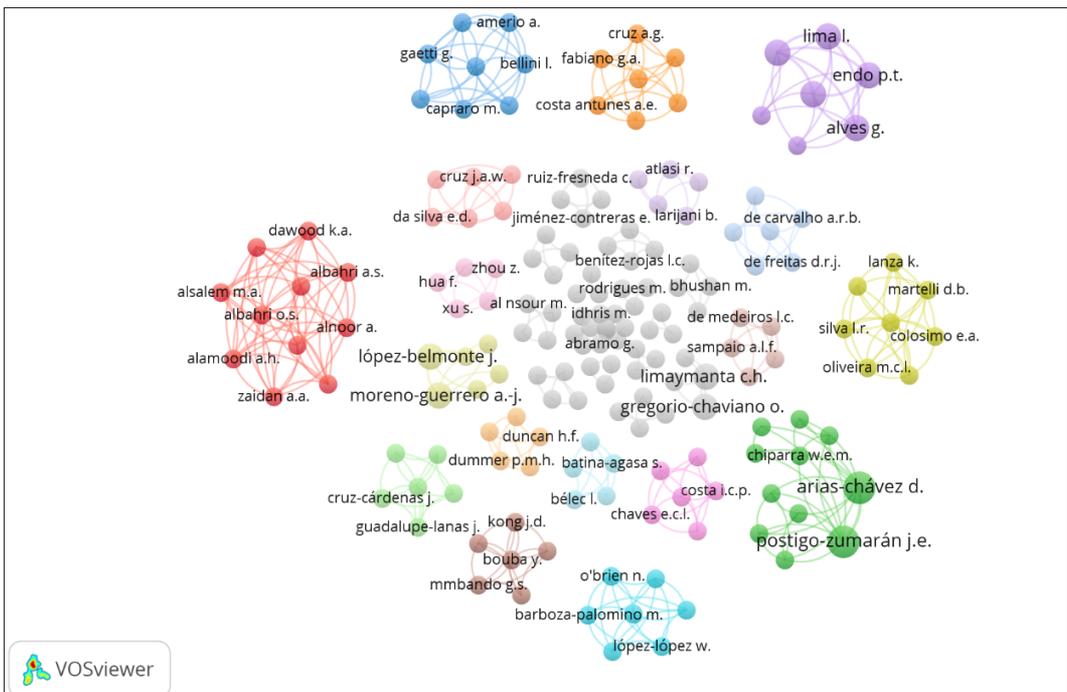


Figura 2. Principales autores sobre covid-19.

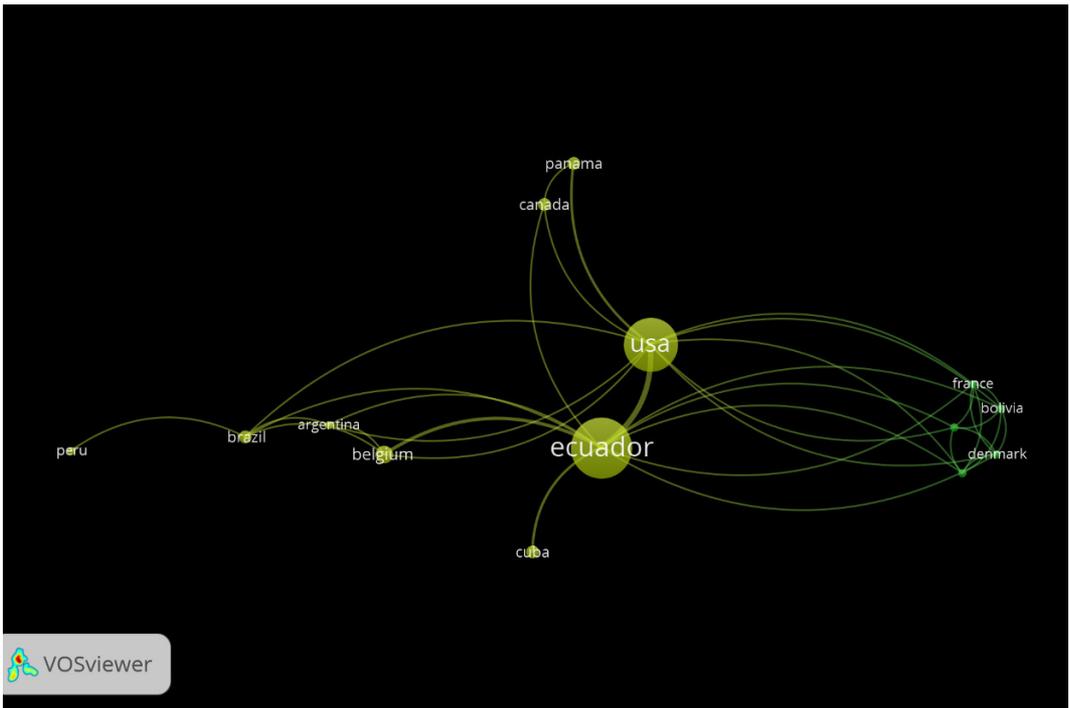


Figura 3. Principales países de investigaciones científicas.

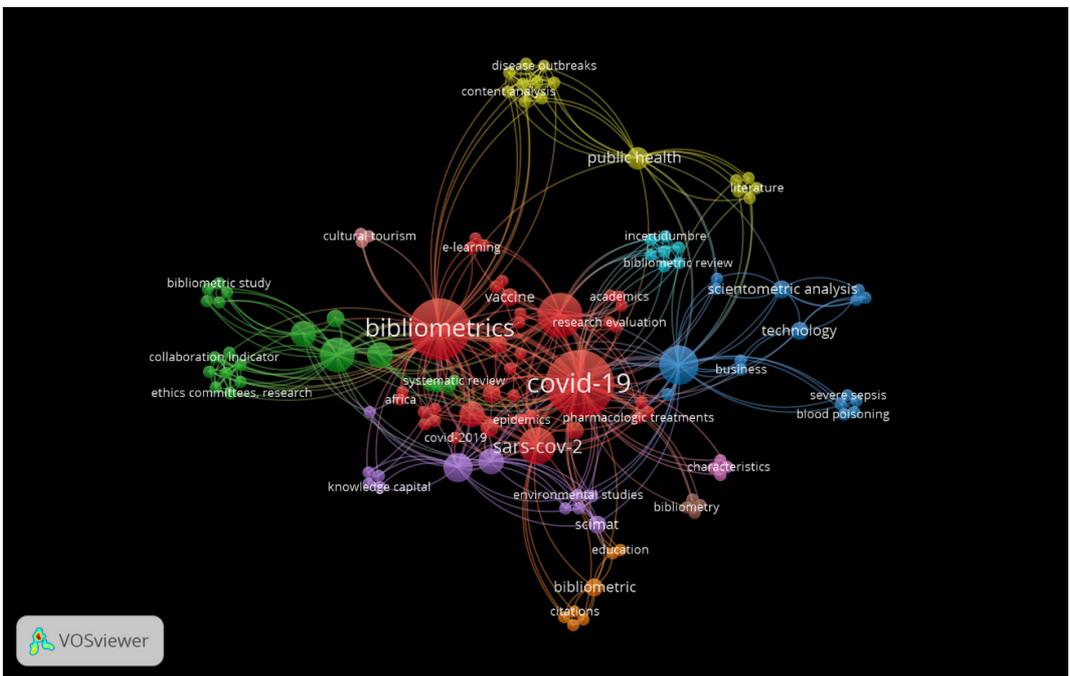


Figura 4. Co-ocurrencias de las principales palabras claves sobre covid-19 registradas en investigaciones realizadas por científicos ecuatorianos.

Tabla 2. Colaboraciones internacionales de Ecuador con el resto del mundo.

Países colaboradores	Documentos publicados
Ecuador - Estados Unidos	35
Ecuador - Cuba	13
Ecuador - Panamá	9
Ecuador - Canadá	9
Ecuador - Francia	7
Ecuador - Bolivia	6
Ecuador - Dinamarca	4
Ecuador - Bélgica	3
Ecuador - Argentina	3
Ecuador - Brasil	2
Ecuador - Perú	2

c) Países de procedencia

La figura 3 evidencia 4 clusters donde su mayor representante en investigaciones sobre covid-19 es el Ecuador, seguido de Estados Unidos y otros países como Francia, Bolivia, Perú, etc... También es necesario mencionar que la colaboración internacional ha desempeñado un papel fundamental dentro del campo de estudio. Las vías estructurales de participación entre científicos se las puede observar detalladamente en la tabla 2.

d) Palabras claves

Con la finalidad de identificar las principales palabras claves del presente estudio se realizó un análisis de co-ocurrencias para determinar las palabras que han sido buscadas en Google durante la pandemia del Covid-19. Cabe recalcar que se identificaron 3 clusters conformados de la siguiente manera: cluster 1 (Covid-19, sars cov 2, bibliometrics, epidemics, covid-2019), cluster 2 (vaccine, research evaluation, education, business, scimat), cluster 3 (incertidumbre, academics, pharmacologic, collaboration indicator). La figura 4 ilustra la relación de cada uno de los clusters antes mencionados y la dimensión de cada clúster es equivalente en relación dentro de la red.

Discusión

Los investigadores ecuatorianos han contribuido con 150 artículos de alto impacto sobre covid-19, teniendo en consideración que se efectuó un cambio de 360 grados en las modalidades de trabajo (virtual, híbrida, semipresencial) en las diferentes instituciones

educativas de educación superior (Lorusso et al., 2020). Es cierto que no todas las organizaciones educativas pasaron al 100% a esta modalidad debido a la falta de recursos tecnológicos o carencia de presupuesto para su personal académico, no obstante, esto no fue impedimento para realizar investigaciones de carácter científico (Chen et al., 2021). Es de suma relevancia mencionar que durante la pandemia del sars cov 2 las bases de datos con mayor prestigio como por ejemplo: a) Web of Science, b) Scopus y c) Pubmed contribuyeron durante la crisis a mantener sus accesos de manera abierta al sinnúmero de publicaciones de alto impacto que posee cada una de ellas con el fin de generar la mayor contribución acerca del virus que puso en jaque al mundo (Gregorio et al., 2020). Además, un gran número de autores han aprovechado la oportunidad que presenta la pandemia y la importancia de este tema para aumentar su número de estudios publicados mediante la presentación de estudios en forma de cartas al editor y comunicaciones breves que han llenado una necesidad urgente de construir evidencia para la práctica clínica y para la organización de los servicios y sistemas de salud y acciones de enfrentamiento intersectoriales (Pasin y Pasin, 2021).

Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación muestran que los estudios bibliométricos tienen la importante función de caracterizar las investigaciones realizadas sobre el tema en Ecuador y en el mundo. A través de este diseño de investigación se anotan los orígenes, institucionales, investigadores y palabras claves. Además, los segmentos más estudiados dentro del tema de Covid-19. Las fuentes de valor sobre Covid-19, que fueron reconocidas por medio de métricas de autoría y citas, comprendieron 26.995 estudios, entre 150 artículos identificados para el análisis indexadas en Web of Science, escritos por 8.542 autores (Roussel et al., 2020).

No obstante, el presente estudio presenta limitaciones debido a que se empleó una única base de datos, es decir, Web of Science. Si bien esta es una plataforma referencial de citas que fue diseñada para apoyar investigaciones científicas y académicas con amplia cobertura en los campos de las ciencias y las ciencias sociales, puede ser necesario profundizar la búsqueda utilizando otras bases de datos científicas (Oliveira et al., 2021). Finalmente, la mayor institución de educación superior con 44 documentos publicados a nivel nacional fue la Universidad Central del Ecuador. Los autores más representativos fueron: Cruz, Fabiano y Costa.

La mayor fuerza de colaboración internacional se evidenció entre Ecuador-Estados Unidos, con 35 documentos publicados y las palabras claves más googleadas respecto al tema de estudio fueron: Covid-19, sars cov 2, bibliometrics, epidemics, Covid-2019 (Rafael y Pires, 2021; Zhou y Chen, 2020).

Referencias

- Abramo, G., & D'Angelo, C. (2021). A bibliometric methodology to unveil territorial inequities in the scientific wealth to combat COVID-19. *Scientometrics*, 126(8), 6601-6624. doi:10.1007/s11192-021-04017-7
- Arlindo, V., Nunes, L., Aires, C., & Pimenta, H. (2021). Bibliometric analysis of the literature on how firms cope with covid-19. *Journal Information*, 37(1), 45-50. doi:10.15628/holos.2021.11735
- Casado, A., Sánchez, F., & Viedma, M. (2021). Analysis of the scientific production of the effect of COVID-19 on the environment: A bibliometric study. *Environment Research*, 193(23), 45 - 67. doi:10.1016/j.envres.2020.110416
- Chen, Y., Lian, R., Canción, Z., & Tian, J. (2021). COVID-19 vaccine research focusses on safety, efficacy, immunoinformatics, and vaccine production and delivery: a bibliometric analysis based on VOSviewer. *Bioscience trends*, 15(2), 64-73. doi:10.5582/bst.2021.01061
- Ezhila, M., Suresh, I., & Nesakumar, N. (2021). SARS-CoV, MERS-CoV and SARS-CoV-2: A Diagnostic Challenge. *Measurement*, 34(2), 168-175. doi:10.1016/j.measurement.2020.108335
- Felice, F., & Polimeni, A. (2020). Coronavirus disease: a machine learning bibliometric analysis. *In vivo*, 34(3), 1613-1617. doi:10.21873/invivo.11951
- Fonkou, M., Bragazzi, N., Tsinda, E., Bouba, Y., Mbandi, G., & Kong, J. (2021). COVID-19 Pandemic Related Research in Africa: Bibliometric Analysis of Scholarly Output, Collaborations and Scientific Leadership. *International Journal of Environmental research and Public Health*, 18(14), 56-60. doi:10.3390/ijerph18147273
- Ganash, M., Bakri, M., Qanash, H., & Elhussueny, N. (2021). SARS-CoV-2, the other face to SARS-CoV and MERS-CoV: Future predictions. *Biomedical Journal*, 44(1), 86-93. doi:10.1016/j.bj.2020.10.008
- Gorkhali, R., Koirala, P., Rijal, S., Mainali, A., Baral, A., & Bhattarai, H. (2021). Structure and Function of Major SARS-CoV-2 and SARS-CoV Proteins. *Bioinformatics and Biology Insights*, 15(7), 56-69. doi:10.1177/11779322211025876
- Gregorio, C., Limaymanta, C., & Lopez, M. (2020). Bibliometric evaluation of Latin American contributions on COVID-19. *Biomedica*, 40, 104-115. doi:10.7705/biomedica.5571
- Huh, J., Han, S., & Yoon, T. (2021). Data mining of coronavirus: SARS-CoV-2, SARS-CoV and MERS-CoV. *Bmc Research Notes*, 14(1), 34-45. doi:10.1186/s13104-021-05561-4
- Kanakan, A., Mishra, N., Vasudevan, J., Sahni, S., Khan, A., Sharma, S., & Pandey, R. (2020). Threading the Pieces Together: Integrative Perspective on SARS-CoV-2. *Pathogens*, 9(11), 345-352. doi:10.3390/pathogens9110912
- Koirala, R., Thapa, B., Khanal, S., Powerl, J., Adhikari, R., & Adhikari, N. (2021). Binding of SARS-CoV-2/SARS-CoV spike protein with human ACE2 receptor. *Journal of Physics Communications*, 5(3), 45-50. doi:10.1088/2399-6528/abea27
- Llerena, M., & Arévalo, M. (2021). Sars-Cov-2 Un Análisis Bibliométrico en La Actualidad. *Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 15(2), 56-69. doi:https://doi.org/10.53591/cna.v15i2.1398
- Lopez, B., Segura, R., Moreno, A., & Parra, M. (2021). Projection of E-Learning in Higher Education: A Study of Its Scientific Production in Web of Science. *European journal of investigation in health psychology and education*, 11(1), 20-32. doi:10.3390/ejihpe11010003
- Lorusso, F., Inchingolo, F., & Scarano, A. (2020). The impact of covid-19 on the scientific production spread: a five month bibliometric report of the worldwide research community. *Acta Médica Mediterránea*, 36(6), 3357-3360. doi:10.19193/10393-6384_2020_6_515
- Mayta, T. (2022). Bibliometric analyses of global scholarly output in dentistry related to COVID-19. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 12(1), 100-108. doi:10.4103/jispcd.JISPCD_294_21
- Oliveira, E., Carvalho, A., Silva, J., Sousa, N., Moura, M., & Freitas, D. (2021). Analysis of scientific production on the new coronavirus (COVID-19): a bibliometric analysis. *Sao Paulo Medical Journal*, 139(1), 3-9. doi:10.1590/1516-3180.2020.0449.R1.01102020
- Panchal, D., Kataria, J., Patel, K., Crowe, K., & Pai, V. (2021). Peptide-Based Inhibitors for SARS-CoV-2 and SARS-CoV. *Advanced Therapeutics*, 4(10), 45-55. doi:10.1002/adtp.202100104
- Pasin, O., & Pasin, T. (2021). A bibliometric analysis of rheumatology and COVID-19 researches. *Clinical rheumatology*, 40(11), 4735-4740. doi:10.1007/s10067-021-05844-y
- Postigo, Z., Pajuelo, M., Chiparra, W., Tataje, F., & Arias, C. (2021). Global Scientific Output on Medical Education during the COVID-19 Pandemic. *International journal of early childhood special education*, 13(2), 661-669. doi:10.9756/INT-JECSE/V13I2.211105
- Rafael, C., & Pires, A. (2021). Analysis of scientific production on Technological Innovation in Tourism. *European journal of tourism hospitality and recreation*, 11(1), 22-33. doi:10.2478/ejthr-2021-0003
- Rahim, F., Ebrahimi, A., Zolotarev, O., Nasab, F., & Khakimova, A. (2021). Global Scientific Research on SARS-CoV-2 Vaccines: A Bibliometric Analysis. *Cell Journal*, 23(5), 523-531. doi:10.22074/cellj.2021.7794
- Rodrigues, M., Franco, M., & Silva, R. (2020). COVID-19 and Disruption in Management and Education Academics: Bibliometric Mapping and Analysis. *Sustainability*, 12(18), 56-66. doi:10.3390/su12187362
- Roussel, Y., Giraud, A., Jimeno, M., Rolaine, J., Zandotti, C., Colson, P., & Raoult, D. (2020). SARS-CoV-2: fear versus data. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55(5), 56-67. doi:10.1016/j.ijantimicag.2020.105947
- Ruiz-Fresneda, M., Jimenez-Correa, E., Ruiz-Fresneda, C., & Ruiz-Pérez, R. (2022). Bibliometric Analysis of International Scientific Production on Pharmacologic Treatments for SARS-CoV-2/COVID-19 During 2020. *Frontiers in Public Health*, 9(2), 45-56. doi:10.3389/fpubh.2021.778203
- Shang, J., Wan, Y., Luo, C., Ye, G., Geng, Q., Auerbach, A., & Li, F. (2020). Cell entry mechanisms of SARS-CoV-2. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(21), 727-734. doi:10.1073/pnas.2003138117
- Torres-Salinas, D. (2020). Ritmo de crecimiento diario de la producción científica sobre Covid-19. Análisis en bases de datos y repositorios en acceso abierto. *Profesional de la información*, 29(2), 47-50. doi:10.3145/epi.2020.mar.15
- Zhou, Y., & Chen, L. (2020). Twenty-Year Span of Global Coronavirus Research Trends: A Bibliometric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 78-82. doi:10.3390/ijerph17093082
- Zyoud, S., & Al-Jabi, S. (2020). Mapping the situation of research on coronavirus disease-19 (COVID-19): a preliminary bibliometric analysis during the early stage of the outbreak. *Bmc Infectious Diseases*, 20(1), 45-55. doi:10.1186/s12879-020-05293-z

Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 16(1)

Cuantificación de cadmio en suelos de cultivo de cacao en el cantón Arenillas, provincia de el Oro, Ecuador / Quantification of cadmium in cocoa crop soils in the arenillas canton, el Oro province, Ecuador.....	303
.....Karina Arias Miranda, Olga Arévalo Castro & Mariuxi Mero Valarezo.....	
Caracterización del bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Provincia Los Ríos, Ecuador / Characterization of the primary moist forest of the Pedro Franco Davila Biological Station, Los Ríos Province, Ecuador.....	316
.....Jacqueline Pesantes Baragan & Carmita Bonifaz Balseca.....	
Neotipificación, descripción del nido y plantas que visita Myrmia Micrura (Gould, 1854) / Neotypification, description of nest and plants visited by short-tailed woodstar Myrmia micrura (Gould, 1854)	327
.....José Alcívar & Xavier Cornejo.....	
Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador / Physicochemical characteristics of soils for agricultural and forestry use. Case: San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador	334
.....Laura Gema Mendoza, Verónica Vera, José Miguel Giler & Katherine Simbaña.....	
Estudio bibliométrico de la producción científica Ecuatoriana sobre el sars cov 2 en Web of Science / Bibliometric study of the Ecuadorian scientific production on sars cov 2 in Web of Science	342
.....Manuel Andrés Llerena Paz & Manuel Esteban Arévalo Avecillas.....	
Normas para la publicación de artículos, “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”	