

ISSN: 2773-7772

Volumen 14 | Número 1 | Junio 2020

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

Consejo Editorial

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)

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

Jaime Salas Zambrano, 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

José Antepara Basurto, MSc.

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 de Elao, a la dirección que se indica más adelante.

Ilustración de portada: Libélula (*Familia: Aeshinidae*). Dibujo: Katia Ruiz. Estudiante de Biología Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

Incluida en el Directorio de LATINDEX

con el número de Folio 16446,

Vol. 14(1), Se terminó de editar en junio de 2020

Canje, suscripciones y avisos, dirigirse a:

Exchange, subscriptions and publicity, go to:

Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales

Código Postal 090612

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



Descripción morfométrica Trichomycteridae (Siluriformes) de las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche, provincia de Santa Elena, Ecuador

Morphometric description of the Trichomycteridae family of the hydrographic basins of the Chongon - Colonche mountains.

Pedro Guillermo Ramos Montoya^{1*} & Antonio Torres Noboa²

¹Consultor independiente

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

Recibido de abril 2020; recibido en forma revisada 26 de mayo 2020, aceptado 1 de junio 2020
Disponible en línea 26 de junio 2020

Resumen

La presencia de diferentes grupos de peces de agua dulce son el resultado de eventos de especiación en la costa ecuatoriana, esto debido a los factores geomorfológicos y variaciones climáticas. La familia Trichomycteridae es un representante de este proceso evolutivo, sin embargo, existen escasos estudios. Este trabajo describió e identificó a los representantes de dicha familia en dos comunas en la cordillera Chongón - Colonche. Las especies identificadas fueron; 30 individuos para *Trichomycterus taenia* para Dos Mangas y 34 individuos como *Trichomycterus cf. taenia* para Loma Alta, mediante regresiones lineales se determinó que las relaciones entre las variables analizadas evidenciaron una tendencia lineal con un coeficiente de correlación superior a $R = 0.89$. Los valores de las pendientes (b) demostraron un crecimiento alométrico negativo ($b < 1$) en todas las regresiones. Se realizó un análisis de variación morfométrica donde se observó una disminución en longitud y ancho de la cabeza en especímenes de la comuna Loma Alta, lo que se presume es que los especímenes recolectados en Loma Alta podrían ser un morfotipo de *Trichomycterus taenia*.

Palabras claves: Trichomycteridae, relaciones morfométricas, crecimiento alométrico, morfometría geométrica.

Abstract

The presence of different groups of freshwater fish are the result of speciation events in the Ecuadorian coast, this due to geomorphological factors and climatic variations. The Trichomycteridae family is a representative of this evolutionary process, however, there are limited studies. In this work, the representatives of this family in two communes in the Chongón - Colonche mountain were described and identified. The identified species were; 30 individuals for *Trichomycterus taenia* for Dos Mangas and 34 individuals such as *Trichomycterus cf. Taenia* for Loma Alta, through linear regressions, it was determined that the relationships between the analyzed variables evidenced a linear trend with a correlation coefficient greater than $R = 0.89$. Slope values (b) demonstrated negative allometric growth ($b < 1$) in all the regressions. A morphometric variation analysis was performed where a decrease in head length and width was observed in specimens from the Loma Alta commune, so it is presumed that the specimens collected in Loma Alta may be a possible morphotype of *Trichomycterus taenia*.

Keywords: Trichomycteridae, morphometric relationships, allometric growth, geometric morphometry.

Introducción

Los ecosistemas estuarinos y dulceacuicolas de Ecuador se han visto modificados por varios eventos geológicos de distinta magnitud. Ejemplo de ello tenemos el levantamiento de la cordillera de los Andes hace aproximadamente 10 millones de años (Duellman, 1979) y el cierre del "Portal de Guayaquil"

hace 8 millones de años (Katzer, 1903). Estos eventos originaron nuevas vertientes y determinaron la dirección de los drenajes del occidente y oriente del país, además, generaron cambios orográficos e hidrográficos que modificaron los parámetros físicos químicos de las cuencas y subcuencas (Barriga, 2012; Antonelli et al., 2009). Estos sucesos han ocasionado especiación en diferentes grupos taxonómicos, entre

* Correspondencia del autor:
E-mail: antonio.torresn@ug.edu.ec



ellos, en los peces dulceacuícolas (Cadena et al., 2012), restringiéndolos a una cuenca determinada. La presencia de diferentes grupos de peces de agua dulce en la costa ecuatoriana son el resultado de eventos de especiación alopátrica (Cadena et al., 2012), esta ocurre cuando una población se subdivide debido a la presencia de una barrera geográfica que promueve el aislamiento espacial de grupos de individuos de una misma especie, que constituirían parte de una población original (Mayr, 1963). El proceso de especiación se facilita debido a que los peces son incapaces de cruzar un obstáculo y debido a esto no logran unirse con el resto de la población (Fernández y Schaeffer, 2005).

Las variaciones climáticas y los factores geomorfológicos han influenciado en la evolución de varias especies que ahora son consideradas endémicas en el entorno lótico ecuatoriano, situación que presenta la familia Trichomycteridae la que requiere un análisis particular para aclarar el proceso de especiación (Barriga, 2012). Esta familia está conformada por peces siluriformes de tamaños pequeños, entre sus características generales encontramos que poseen cuerpo sin escamas, una espina dorsal, carecen de aleta adiposa, entre otros. Son conocidos como bagres del Neotrópico, su distribución va desde Centroamérica, Costa Rica hasta Chile en Sudamérica (Arratia, 1983; Pinna y Wosiacki, 2003). En Ecuador están presentes 32 especies de la familia objeto de estudio, tanto al Oriente como al Occidente (Barriga, 2012). En la última década se ha descrito un 25% de las 298 especies válidas (Frickle et al., 2021).

La escasez de estudios en esta familia probablemente esté relacionada a la falta de interés comercial, debido a que no son utilizados para la alimentación por ser de tamaños pequeños y de contextura delgada, alcanzando un máximo de 70 mm en adultos (Jiménez-Prado et al., 2015). Por otra parte, la complejidad con el acceso a los ecosistemas habitados por estos individuos es otro factor implicado, debido que se encuentran en ríos alejados de ciudades y muchas veces rodeados por bosques muy densos y de grandes dimensiones. En cuanto a la captura de especímenes es otro limitante debido a que los ríos poseen un grado de inclinación elevado, aumentando la velocidad de la corriente y dificultando los muestreos.

La familia previamente mencionada es un buen representante para evaluar eventos de especiación. Sin embargo, existe escasos estudios que analicen las variaciones morfológicas o genéticas, es importante determinar si se trata de especies diferentes o morfotipos que poseen una distribución más amplia, que podrían existir producto del cambio latitudinal, parámetros físicos químicos y diferentes áreas de drenaje y vertientes. En consecuencia, ante la falta de interés científico es probable que se pierdan especies que aún no han sido descritas.

La relevancia de esta investigación recae en la posibilidad de actualizar rangos de distribución de la familia en estudio o caso contrario el registro de especies endémicas, la información que se generará podrá ser empleada como base para fines científicos en estudios posteriores direccionados a conocer su diversidad, estructuras morfológicas entre otros aspectos que nos faciliten su diferenciación entre individuos de la misma familia o entre familias de otras especies, debido a que las referencias disponibles en el país son insuficientes. En la misma línea, nos dará indicios sobre aquellos factores que significan una amenaza para la diversidad de este grupo y el estado actual de conservación de las especies que conforman la familia en mención. Ecuador posee 32 especies distribuidas tanto al Oriente como al Occidente, no obstante, no se ha encontrado trabajos de línea base enfocados en distribución, proporción sexual, ecología trófica y se desconoce sobre sus aspectos reproductivos (Burgess, 1989), que involucren a la familia Trichomycteridae. Este trabajo se enfocará en describir la morfometría a los representantes de la familia Trichomycteridae de las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche.

Objetivo general

Describir morfométricamente las especies de la familia Trichomycteridae presentes en las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche.

Objetivos específicos

- Identificar las especies de la familia Trichomycteridae presentes en las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche.
- Estimar las relaciones morfométricas de las especies de la familia Trichomycteridae presentes en las diferentes cuencas.
- Determinar si existe variación morfométrica entre las especies de la familia Trichomycteridae presentes en las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche.

Antecedentes

Para la familia Trichomycteridae se encuentran estudios reportados para la zona sur del continente americano, la mayor cantidad de información procede de países como Argentina, Colombia y Chile. No obstante, en Bolivia, Venezuela y Ecuador existe información publicada en menor porcentaje.

Maldonado-Ocampo (2005) describieron a los representantes de la familia Trichomycteridae en su guía de campo de Peces de los Andes colombianos, información que ha sido utilizada como línea base para la descripción de las especies registradas en Ecuador.

Pardo et al. (2005) expresaron que las características ambientales asociadas a las vertientes podrían estar modificando el morfotipo de los peces del género *Trichomycterus* que habitan en estas cuencas, diferenciándolas entre ellas. En la provincia de Titicaca, los ríos se caracterizan por ser cortos y de bajo caudal, todo lo contrario, ocurre en la provincia Chilena donde se presentan caudales de mayor tamaño y extensión.

Ardila-Rodríguez (2007) registró una nueva especie de *Trichomycterus* en la cuenca alta del río Lebrija, *Trichomycterus ruitoqueensis* la cual se diferencia de las otras especies de la zona por poseer tres hileras de manchas en su cuerpo. Además, Ardila en el año 2011, describió a *Trichomycterus maldonadoi*, como nuevo registro para Colombia; que se caracteriza por su pequeño tamaño (32,1 mm).

Barriga (2012) expresó que en el piedemonte ecuatoriano se evidencia un curso de especiación simpátrica en donde se originan nuevas especies en la misma localidad, a pesar de no presentar una barrera geográfica, por lo tanto, recomendó realizar un análisis particular, para aclarar el proceso de especiación de la familia Trichomycteridae.

A manera de complemento, Ecuador posee 32 especies distribuidas tanto al Oriente como al Occidente, no obstante, no se ha encontrado trabajos de línea base enfocados en distribución, proporción sexual, ecología trófica y se desconoce sobre sus aspectos reproductivos (Burgess, 1989), que involucren a la familia Trichomycteridae.

Jiménez-Prado et al. (2015) refirió a *Ituglanis laticeps*, *Trichomycterus taenia*, *Trichomycterus taczanowskii*, *Trichomycterus banneai*. cómo los 4 representantes de la familia Trichomycteridae para la zona occidental de Ecuador,

Materiales y Métodos

Área de estudio

La zona de estudio son las comunas Loma Alta y Dos Mangas ubicadas en la provincia de Santa Elena, en la costa de Ecuador. La comuna Loma Alta se localiza en la cordillera Chongón-Colonche, al sur del Parque Nacional Machalilla, aproximadamente a 10 km de la comuna Valdivia. En la comuna existe la Reserva Ecológica Comunal de Loma Alta, esta fue establecida por la misma comunidad para proteger las fuentes de agua, evitar invasiones y pérdidas de tierras. Posee un río denominado Río California que presenta caudales con ecosistemas lénticos y de poca profundidad, áreas boscosas con abundante neblina o garúa en la zona montañosa y vegetación seca en las partes más bajas de la cordillera.

La comuna Dos Mangas está asentada en las laderas montañosas de la cordillera Chongón-Colonche posee gran cantidad de recursos naturales y se encuentra

localizada a 7 Km del noreste de Manglaralto. El nombre se le da por la unión de los ríos Grande y Colín, que nacen de las montañas y se cruzan a lo largo de los senderos del bosque (Tandazo y Portocarrero, 2014), éstos poseen características similares, caudales con ecosistemas lénticos de poca profundidad y fondos generalmente pedregosos. La frondosa vegetación corresponde al ecosistema de bosque seco tropical, en la parte alta se encuentran los bosques de garúa que se caracterizan por tener precipitaciones entre 1000 y 1500 mm por año y con una temperatura promedio inferior de 23°C.

Las zonas de muestreos (Fig. 1) fueron georeferenciadas con ayuda de un Global Position System (GPS) marca Garmin, a la par se realizó un análisis *in situ* de los parámetros fisicoquímicos del agua, para la determinación del potencial de hidrógeno (pH) se empleó un pH-metro EcoTestr pH 2, la medición de la salinidad se la realizó por medio de un refractómetro portable ATC, por último, para la lectura de la temperatura se utilizó un termómetro digital.

Colecta y preservación de muestras.

En los sitios de estudio se capturó la ictiofauna por medio de uso de artes de pesca como chinchorro o challo en función de las características hidrográficas de la zona de muestreo. Posterior a eso, se identificaron los organismos pertenecientes a la familia Trichomycteridae que fueron colocados en bolsas plásticas con agua del medio donde fueron recolectados, luego se procedió a colocar oxígeno y sellar la bolsa para su traslado a la ciudad de Guayaquil donde se encuentra el Laboratorio de Ictiología e Investigación de Recursos Bioacuáticos (LIIRBA) de la Facultad de Ciencias Naturales donde se fijaron en formol al 10% y se preservaron en alcohol al 70% (Ortega-Lara et al., 1999).

Identificación de especímenes.

Para la identificación de los especímenes colectados se utilizó claves para la determinación de las especies pertenecientes a la Familia Trichomycteridae en la vertiente occidental del Ecuador (modificado de Eigenmann, 1918). Para complementar la identificación se realizó observación directa de las características descriptivas de los especímenes colectados, comparándolos con la información de la familia Trichomycteridae encontrada en la guía de campo de peces de los Andes de Colombia (Maldonado-Ocampo et al., 2005).

Relaciones morfométricas

Para cada espécimen colectado se utilizó un calibrador para a toma de las siguientes medidas: Longitud total (LT), Longitud estándar (LE), Altura del cuerpo (AlCu), Longitud predorsal (LpreD), Longitud preanal (LpreAn), Longitud prepélvica (LprePelv), Altura pedúnculo caudal (AlpedCau), Longitud pedúnculo caudal (LpedCau), Longitud base aleta dorsal (LBasAlDor), Longitud base aleta anal (LBasAlAn), Longitud cabeza (LC), Ancho cabeza

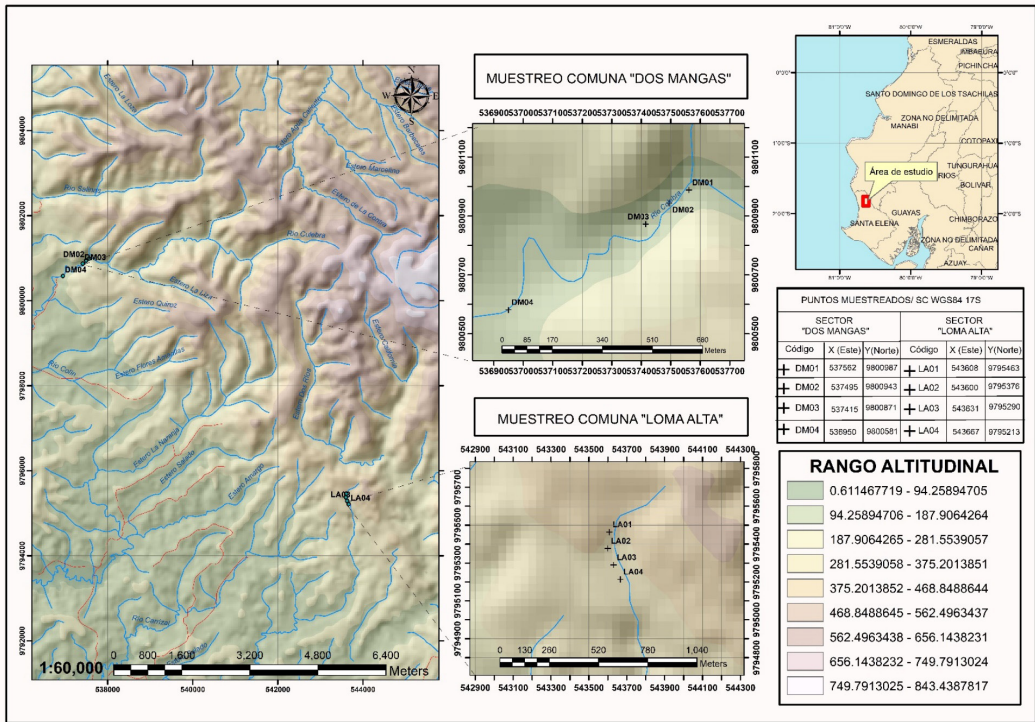


Figura 1. Zonas de muestreo de especímenes de Trichomycteridae en la provincia de Santa Elena.

(AnCa), Altura cabeza (ALCa). Los datos se recopilaron en Excel y en el programa se determinó las relaciones morfométricas de las variables citadas con la LT. Para el análisis de crecimiento se utilizó una fórmula de regresión lineal simple:

$$y = a + bx$$

En la que el parámetro "a" es el intercepto de "y"; "b" es la pendiente del modelo. La interpretación de los datos resultantes se llevará de la siguiente manera: Si los valores resultantes de b es 1 esto significa que su cambio es isométrico, es decir, el crecimiento es relativo entre las dos variables analizadas. Si el valor es superior a 1 se obtendrá un crecimiento alométrico positivo, si el valor de b es inferior a 1, el crecimiento es alométrico negativo. Los datos fueron recopilados en una hoja de cálculo en Excel y se hizo un ajuste de mínimo de cuadrados a los datos mediante la herramienta Solver. Se determinaron coeficientes de correlación lineal (R) donde los valores varían de -1 donde la correlación es inversa, 0 donde no hay correlación y 1 donde la correlación es directa. Todos los análisis se realizaron en la mencionada hoja de cálculo.

Morfometría geométrica

Para determinar diferencias morfológicas se fotografiaron las muestras mediante una cámara profesional Nikon D5300 Profesional, se marcaron 7

puntos o hitos (Fig. 2) de acuerdo con lo establecido para las especies del género *Trichomycterus* (Pardo et al., 2005). Posteriormente, se utilizó los programas Tps Util y Tps Dig2 para la transformación de las imágenes en coordenadas X, Y. (Aguirre y Jiménez-Prado, 2018). Adicionalmente, a las imágenes transformadas en coordenadas se les realizó el análisis de superposición de Procrustes (PS) que utiliza los métodos de mínimos cuadrados para trasladar, rotar y escalar los hitos a una talla promedio, que muestra la forma pura de la especie, con la ayuda del programa Tps Relw (Rohlf, 2015; Rohlf y Slice, 1990). Luego se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA) que utiliza los datos del PS para realizar deformaciones parciales, examinando los cambios en la forma de los organismos de cada población a un organismo promedio (Zelditch et al., 2004). Además, se aplicó un análisis de función discriminante, que correlaciona las poblaciones, permitiendo observar la similitud entre los grupos (González-Acosta, 2005). Finalmente, se efectuó un agrupamiento por distancias euclidianas utilizando el

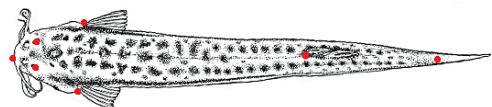


Figura 2. Hitos en espécimen estudiado de la familia Trichomycteridae.

Tabla 1. Datos morfométricos del holotipo y paratipos de *Trichomycterus taenia* (Dos Mangas) y *T. cf. taenia* (Loma Alta).

| Variables | <i>Trichomycterus taenia</i> (holotipo) | | <i>Trichomycterus taenia</i> (Dos Mangas) | | | <i>Trichomycterus cf. taenia</i> (Loma Alta) | | | |
|-----------|--|------|--|-------|------|---|------|-------|------|
| | Media | Min | Max | Media | DS | Min | Max | Media | DS |
| LT | 4,76 | 3,30 | 6,60 | 4,76 | 1,07 | 3,60 | 5,20 | 4,26 | 0,49 |
| LE | 4,21 | 2,80 | 5,90 | 4,21 | 1,02 | 3,10 | 4,60 | 3,79 | 0,45 |
| AlCu | 0,62 | 0,40 | 0,80 | 0,62 | 0,14 | 0,40 | 0,70 | 0,51 | 0,09 |
| Lped | 2,91 | 1,90 | 4,10 | 2,91 | 0,66 | 2,00 | 3,40 | 2,61 | 0,37 |
| LPreAn | 3,04 | 2,00 | 4,00 | 3,04 | 0,62 | 2,40 | 3,50 | 2,84 | 0,35 |
| LPrePelv | 2,48 | 1,60 | 3,40 | 2,48 | 0,51 | 1,80 | 2,90 | 2,29 | 0,30 |
| AlPedCau | 0,49 | 0,40 | 0,70 | 0,49 | 0,11 | 0,30 | 0,60 | 0,42 | 0,08 |
| LPedCau | 0,60 | 0,40 | 0,80 | 0,60 | 0,12 | 0,40 | 0,80 | 0,53 | 0,09 |
| LBasAlDor | 0,45 | 0,20 | 0,40 | 0,45 | 0,08 | 0,20 | 0,30 | 0,24 | 0,05 |
| LBasAlAn | 0,26 | 0,20 | 0,30 | 0,26 | 0,05 | 0,20 | 0,30 | 0,21 | 0,03 |
| LC | 0,66 | 0,50 | 0,90 | 0,66 | 0,13 | 0,40 | 0,80 | 0,56 | 0,10 |
| AnCa | 0,66 | 0,40 | 0,90 | 0,66 | 0,16 | 0,50 | 0,80 | 0,61 | 0,09 |
| AlCa | 0,44 | 0,30 | 0,60 | 0,44 | 0,09 | 0,40 | 0,50 | 0,39 | 0,05 |

algoritmo UPGMA con los datos de los componentes principales. Para los análisis mencionados se usará el programa MorphoJ (Aguirre y Jiménez-Prado, 2018).

Resultados

Identificación

Un total de 64 individuos fueron recolectados en las zonas de muestreos: 30 especímenes identificados como *Trichomycterus taenia* (Fig. 3, Tabla 1) para la Comuna Dos Mangas, donde la temperatura fue 24 °C, pH 7.5 y salinidad 0 ‰; y 34 especímenes identificados como *Trichomycterus cf. taenia* (Fig. 4, Tabla 1) para la Comuna Loma Alta, donde los parámetros fueron: temperatura de 19 °C, pH 7.0, salinidad 0 ‰.

Descripción - *Trichomycterus taenia*

A esta especie se la denomina comúnmente como bagrecito (Barriga, 1991) o madre bagre (Laaz y Torres-Noboa, 2014). Presenta su cuerpo alargado y cilíndrico, boca subterminal, ojos en la mitad de la cabeza, máxima longitud total del cuerpo 64 mm, mínima longitud total del cuerpo 27 mm, su coloración está bien definida, con una banda lateral oscura y ancha que va desde el opérculo hasta el inicio de la aleta caudal (García-Melo, 2005), un par de barbillones nasales alcanzando las espinas operculares; dos pares de barbillones maxilares alcanzando las pectorales (Eigenmann, 1918), el último radio de la aleta dorsal



Figura 3. Especimen de *Trichomycterus taenia* de Dos Mangas.



Figura 4. Especimen de *Trichomycterus cf. taenia* de Loma Alta.

se encuentra por encima del último radio de la aleta anal, característica fundamental para identificación de la especie, aletas dorsales con 7-8 radios, ventrales con 7 radios, pectorales con 7 radios y anales con 5 radios, presenta el pedúnculo caudal delgado y aleta caudal truncada o parcialmente truncada con 15-17 radios para *Trichomycterus taenia* y con 10-13 radios para *Trichomycterus cf. taenia*.

Relaciones morfométricas.

Para las relaciones morfométricas se correlacionó la variable longitud total LT con las variables restantes, obteniendo los valores que se presentan en la Tabla 2 y Fig. 5. Los resultados de las variables analizadas tienen una tendencia lineal con valores de coeficiente

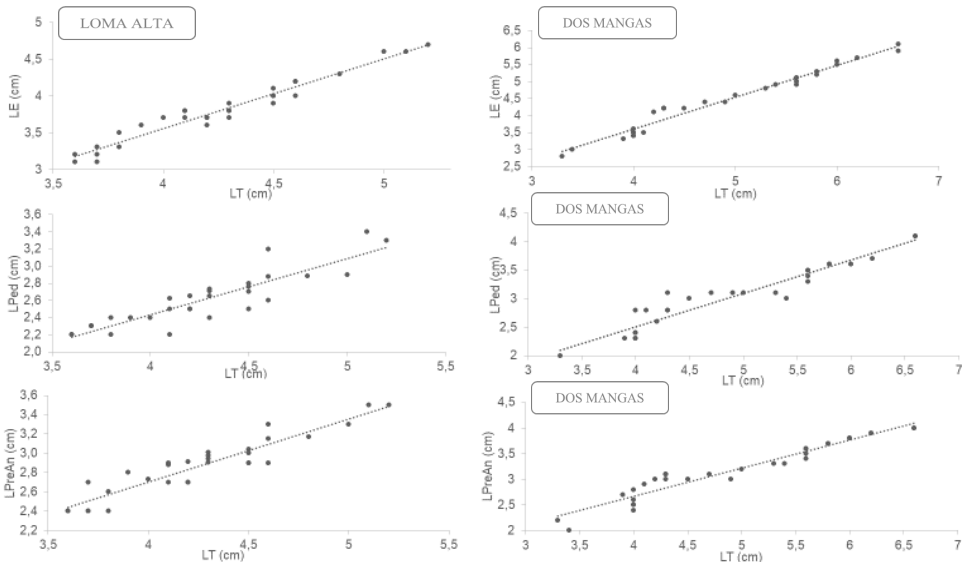


Figura 5. Relaciones morfométricas de las poblaciones de *Trichomycterus taenia* y *T. cf. taenia* colectadas en la provincia de Santa Elena.

Tabla 2. La pendiente (b) en ambas poblaciones estudiadas mostró un crecimiento alométrico negativo ($b > 1$).

| Variables | <i>T. cf. taenia</i> (Loma Alta) | Tipo de crecimiento | <i>T. taenia</i> (Dos Mangas) | Tipo de crecimiento |
|-----------|-------------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| LT-LE | 0,89 | alométrico negativo | 0,90 | alométrico negativo |
| LT-Lped | 0,58 | alométrico negativo | 0,58 | alométrico negativo |
| LT-LPreAn | 0,66 | alométrico negativo | 0,55 | alométrico negativo |

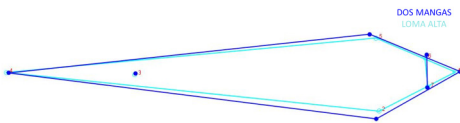


Figura 6. Análisis de función discriminante de las poblaciones de Loma Alta y Dos Mangas.

de correlación (R) por encima a 0.89, como se refleja en la fig. 5. La pendiente (b), en las regresiones lineales, mostraron un crecimiento alométrico negativo ($b > 1$), en cada una de las variables evaluadas (Tabla 3). Se determinó que *Trichomycterus taenia* y *T. cf. taenia* tienen crecimiento de tipo alométrico negativo, esto indica que el crecimiento del pez no va a ser proporcional.

Variación morfométrica

Al realizar un análisis de función discriminante se evidencia una similitud en varias características morfológicas evaluadas, no obstante, se observa la disminución en la longitud y ancho de la cabeza en la especie de Loma Alta (fig. 6), por lo que se presume que los especímenes recolectados en Loma Alta podrían ser un posible morfotipo de *Trichomycterus taenia*.

Discusión

La información utilizada para la descripción de especies representativas de Trichomycteridae que se encuentran registradas para el Ecuador mayormente se basan en la guía de campo de peces de los Andes colombianos (Maldonado-Ocampo, 2005). La mencionada guía sirvió como un aporte significativo para la elaboración de este trabajo, facilitando la identificación de los especímenes colectados, los cuales de acuerdo a sus características expuestas se ajustaron a la especie *Trichomycterus taenia* y *Trichomycterus cf. taenia*.

Durante la realización de este estudio, se presentaron una serie de limitantes que dificultaron el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos. Dentro de estas se destacan: el complejo acceso a las zonas de muestreo, variaciones climáticas, factores económicos entre otros.

Se capturaron 64 especímenes de los cuales 30 fueron identificados como *Trichomycterus taenia* y los 34 restantes como *Trichomycterus cf. taenia*, descritos para la vertiente occidental del Norte (Eigenman, 1918); en la cuenca baja del Guayas y posiblemente

en otras localidades de esta región (Glodek, 1978; Laaz y Torres-Noboa, 2014).

Las relaciones morfométricas en *Trichomycterus taenia* y *Trichomycterus cf. taenia* mostraron una tendencia lineal con valores aceptables de coeficiente de correlación y determinación, revelaron un crecimiento alométrico negativo en las variables analizadas lo que indica que el crecimiento del pez no va a ser proporcional.

Pardo et al. (2005), expresaron que las características ambientales asociadas a las vertientes podrían estar modificando el morfotipo de los peces que habitan en estas cuencas, diferenciándolas entre ellas, de la misma manera se utilizó la metodología empleada por Pardo et al. en este trabajo, donde se observó una reducción en el tamaño de la cabeza de *Trichomycterus cf. taenia* de Loma Alta. Lo que se prevé es que los especímenes podrían ser un posible morfotipo de *T. taenia*.

Barriga (2012), expresó que se evidencia un curso de especiación simpátrica en peces de agua dulce y sugirió que la familia Trichomycteridae requiere un análisis particular. Siendo este el caso de *Trichomycterus cf. taenia*, que fue localizado en las vertientes en la comuna Loma Alta, por lo tanto, se plantea explorar la especie en otras épocas del año y aumentar el tamaño de los datos obtenidos en este estudio.

Conclusión

La descripción morfométrica de las especies de la familia Trichomycteridae presentes en las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche nos permite llegar a las siguientes conclusiones,

Las especies identificadas son *Trichomycterus taenia* para la comuna Dos Mangas y *Trichomycterus cf. taenia* para la comuna Loma Alta.

Las relaciones morfométricas de *T. taenia* y *T. cf. taenia* muestran una tendencia lineal, los valores de correlación y determinación fueron aceptables y su crecimiento es alométrico negativo.

Existe variación morfométrica en *T. cf. taenia* de la comuna Loma Alta, este presentó menor tamaño en el ancho y longitud de la cabeza con relación a *T. taenia* de la comuna Dos Mangas

Los especímenes de *T. cf. taenia* podrían ser un morfotipo de *T. taenia*.

Recomendaciones

- Realizar análisis genéticos que permitan determinar si *Trichomycterus cf. taenia* de

la comuna Loma Alta es un morfotipo de *Trichomycterus taenia*.

- Establecer las variables ambientales que influyen en las variaciones morfométricas de las especies de Trichomycteridae.
- Evaluar la biología reproductiva de Trichomycteridae para la cordillera de Chongón-Colonche.
- Analizar el comportamiento de las especies evaluadas en las diferentes la época del año.
- Actualizar las guías de identificación morfológicas para las especies de Trichomycteridae registradas en Ecuador.

Bibliografía

- Aguirre, W., y Jiménez-Prado. 2018. *Guía práctica de Morfometría Geométrica. Aplicaciones en la Ictiología*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Esmeraldas, Ecuador. 104 pp.
- Ardila-Rodríguez, C.A. 2007. *Trichomycterus ruitoquensis* (Siluriformes: Trichomycteridae) una nueva especie de pez de la cuenca alta del Río Lebrija, Departamento de Santander—Colombia. *Peces del Departamento de Santander—Colombia, Santander*, 3:1-18.
- Arratia, G. 1983. *Trichomycterus chungaraensis* n. sp. and *Trichomycterus laucaensis* n. sp. (Pisces, Siluriformes, Trichomycteridae) from the high Andean range. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 18: 65-87.
- Antonelli, A., Nylander, J., Persson, C., y Sanmartín, I. 2009. Tracing the impact of the Andean uplift on Neotropical plant evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 9749-54.
- Barriga, R. 1991. Lista de Vertebrados del Ecuador. Peces de agua dulce. *Politécnica 16 Biología* 3: 5-88.
- Barriga, R. 2012. Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador. 1st ed. [ebook] Quito, pp. 96-97. Disponible en: https://www.researchgate.net/.../278036573_Guia_peces_del_Occidente_de_Ecuador [Acceso 27 Sep. 2018].
- Burgess, A. 1989. *An atlas of freshwater and marine catfishes. A preliminary survey of the Siluriformes*. T.F.H. Publications, Neptune City, New Jersey, U.S.A. 1-784, Pls. 1-285.
- Cadena, D., Kozak, H., Gómez, P., Parra, L., McCain, M., Bowie, K., Carnaval, C., Moritz, C., Rahbek, C., Roberts, E., Sanders, J., Schneider, J., VanDerWal, J., Zamudio, R., y Graham, H. 2012. Latitude, elevational climatic zonation and speciation in New World vertebrates. *Proceedings of The Royal Society B. Biological Sciences* 279: 194-201 pp.
- Duellman, E. 1979. The herpetofauna of the Andes: patterns of distribution, origin, differentiation and present communities. En: Duellman, W. E. (ed.), *The South American Heipetofauna: Its Origin, Evolution, and Dispersal*, pp. 371-459. Monograph of the Museum of Natural History, the University of Kansas, Kansas, USA.
- Eigenmann, H. 1918. The Pygidiidae, a family of South American catfishes. *Memoirs of the Carnegie Museum*, 7: 259-398.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., y Van der Laan, R. (Eds.). 2021. *Eschmeyer's Catalog of Fishes: genera, species, references* <http://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/Fishcatmain.asp> Electronic version accessed 24 Jun 2021.
- Fernández, L., y Schaefer, S. 2005. New *Trichomycterus*

- (Siluriformes: Trichomycteridae) from an offshore island of Colombia. *Copeia*, 2005: 68-76.
- García-Melo, L.J. 2005. *Distribución, diversidad y ecología básica de la familia Trichomycteridae (Ostariophysii: Siluriformes), en la cuenca del río Coello, departamento del Tolima*. Trabajo de Grado. Programa de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 149 pp.
- González-Acosta, A. 2005. *Estudio sistemático y biogeográfico del género Eugerres (Perciformes: Gerreidae)*. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas. CICIMAR-IPN. México. 206 pp.
- Glodek, S. 1978. *The freshwater fishes of western Ecuador*. Master's Thesis, Northern Illinois University. 415 pp.
- Jiménez-Prado, P., Aguirre, W., Laaz-Moncayo, E., Navarrete-Amaya, R., Nugra-Salazar, F., Rebolledo-Monsalve, R., Zárate-Hugo, E., Torres-Noboa, A., y Valdiviezo-Rivera, J. 2015. *Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE); Universidad del Azuay (UDA) y Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) del Instituto Nacional de Biodiversidad. Esmeraldas, Ecuador. 416 pp.
- Katzer, F. 1903. *Grundzüge des Geologie des unteren Amazonas-Gebietes des States Pará in Brasilien*. Leipzig, Verlag von Max Weg, 298 pp.
- Laaz, E. y Torres-Noboa, A. 2014. *Lista de peces continentales de la cuenca del río Guayas*. Disponible en: condor.depaul.edu/waguirre/fishwestec/lista_peces_guayasv2.pdf.
- Maldonado-Ocampo, A., Ortega-Lara, A., Usma O., Galvis V., Villa-Navarro, G., Vásquez, G., Prada-Pedrerros, L., y Ardila, C. 2005. *Peces de los Andes de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander von Humboldt». Bogotá, D.C. Colombia. 346 pp.
- Mayr, E. 1963. *Animal Species and Evolution*. Belknap Press. Cambridge, Mass. USA. 797 pp.
- Ortega-Lara, A., Murillo, O., Pimienta, C., y Sterling, E. 1999. *Los peces del Alto Cauca, Catálogo de especies*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC, Santiago de Cali, Colombia, 122 pp.
- Pinna, M., y Wosiacki, W. 2003. Familia Trichomycteridae. RE-REIS, SO Kullander, CJ Ferraris (eds.). *Lista de verificación de los peces de agua dulce de América del Sur y Central*. Edipucrs, Porto Alegre. 729 pp.
- Pardo, R., Scott, S., y Vila, I. 2005. Análisis de formas en especies chilenas del género *Trichomycterus* (osteichthyes: siluriformes) utilizando morfometría geométrica. *Gayana*, 69:180-183.
- Rohlf, F. 2015. *The tps series of software*. 1st ed. [ebook] New York: Stony Brook University, pp. 10-11. Disponible en: <http://www.italian-journal-of-mammalogy.it/article/view/11264/pdf> [Acceso 18 Abr. 2019].
- Rohlf, F.J., y Slice, D. 1990. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmark. *Systematic Zoology*, 39: 40-59 pp.
- Tandazo, Y., y Portocarrero, M. 2014. *Propuesta para la promoción de la Comuna de Dos Mangas, Provincia de Santa Elena como alternativa de desarrollo turístico local*. Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Zelditch, M., Swiderski, L., Sheets, D., y Finl, L. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. Elsevier Academic Press, New York, USA, 443 pp.

Concentración de cadmio en marcas de cigarrillos de tabaco comercializados en Guayaquil, Ecuador

Concentration of cadmium in tobacco cigarette brands traded in Guayaquil, Ecuador

Connie Jacqueline Durán Barros^{1*} & Rubén Castro²

¹Instituto Nacional de Pesca

²Docente investigador de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanka Marengo, Guayaquil, Ecuador.

Recibido de abril 2020; recibido en forma revisada 26 de mayo 2020, aceptado 1 de junio 2020
Disponible en línea 26 de junio 2020

Resumen

El cadmio es un metal pesado tóxico cuyo tiempo de vida en el organismo es de aproximadamente 30 años, la exposición al mismo ha sido relacionada con distintos tipos de cáncer. El objetivo del presente estudio fue analizar la existencia de contaminación por cadmio en cigarrillos de tabaco que se expenden en Guayaquil. Se recolectaron un total de 22 muestras, éstas fueron clasificadas por marca y país de origen. El contenido de cadmio se determinó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito, encontrándose en efecto, un promedio de $1,89 \pm 1,75$ mg/kg. Existen tres grupos de cigarrillos con diferencias significativas en cuanto a la concentración de cadmio (Anova; $p < 0,005$), siendo la marca "COS", de procedencia china, cuyo expendio es de manera ilícita, la que mayor concentración presentó ($4,73 \pm 1,14$ mg/kg). Los cigarrillos manufacturados en el Ecuador ocupan el segundo lugar en lo que respecta a concentraciones de cadmio ($1,49 \pm 0,58$ mg/kg), llamando la atención los cigarrillos de procedencia india, también de expendio ilícito, los que obtuvieron la menor concentración ($0,418 \pm 0,25$ mg/kg). Se planteó una propuesta para reducir la incidencia de Cd en el proceso de producción de cigarrillos de tabaco de producción nacional.

Palabras Claves: cadmio, cigarrillos, contaminación, cáncer, Ecuador, Guayaquil.

Abstract

Cadmium is a toxic heavy metal whose life in the human body is of approximately 30 years, the exposure to it has been related to different types of cancer. The aim of this study was to analyze the presence and concentration of cadmium in tobacco cigarettes that are sold in Guayaquil. A total of 22 samples were collected and grouped by brand and country of origin. Cadmium content was determined using the graphite furnace atomic absorption spectrophotometry technique, with an average of 1.89 ± 1.75 mg / kg. There are three groups of cigarettes with significant differences in terms of cadmium concentration (Anova; $p < 0.005$), being the brand "COS" made in China, whose sale is illegal, the one with the highest Cd concentration (4.73 ± 1.14 mg / kg). Cigarettes manufactured in Ecuador occupy thesecond place in terms of concentrations of cadmium (1.49 ± 0.58 mg / kg), attracting attention the cigarettes of Indian origin, also of illegal sale, which obtained the lowest concentration (0.418 ± 0.25 mg / kg). A proposal was made to reduce the incidence of cadmium in the production process of tobacco cigarettes production at national level.

Keywords: cancer cadmium, cigarettes, Ecuador, Guayaquil, pollution, tobacco.

Introducción

La contaminación ambiental es uno de los problemas más importantes que enfrenta el planeta, esta surge cuando se produce un desequilibrio debido a la adición de cualquier sustancia ajena al ambiente en una cantidad tal, que cause efectos perjudiciales en los seres vivos y o materiales expuestos a dosis que sobrepasan los niveles aceptables en la naturaleza (Instituto de Salud Pública de Chile, 2019).

La contaminación del suelo es definida como la acumulación de compuestos tóxicos persistentes en los suelos, productos químicos, materiales radiactivos, sales o agentes que causan enfermedades que tienen efectos adversos sobre la salud animal y el crecimiento de las plantas (Okrent, 1999).

Las causas de esta contaminación suelen ser difíciles de identificar, sin embargo, se conoce que casi todas ellas están relacionadas con la actividad antropogénica,

* Correspondencia del autor:
E-mail: ruben.castror@ug.edu.ec



entre estas: filtración de un vertedero, descarga de residuos industriales en el suelo, filtración de agua contaminada en el suelo, ruptura de tanques de almacenamiento subterráneos, filtración de residuos sólidos, y aplicación excesiva de pesticidas, herbicidas o fertilizantes, que por lo general contienen metales pesados (Ashraf et al., 2014).

Los metales pesados son elementos químicos que se encuentran de forma natural en la corteza terrestre, aunque en muy bajas concentraciones, poseen un alto peso molecular, masa y su densidad es alrededor de cinco veces superior en comparación con la del agua. El problema con estos elementos es que llegan a ser tóxicos incluso en concentraciones bajas. Los metales pesados tóxicos más conocidos son el arsénico, cadmio, cobalto, plomo, níquel, cromo, cobre, mercurio, estaño y zinc (Londoño et al., 2016). Una vez liberados al ambiente, mediante innumerables variedades de productos químicos, se introducen en los organismos por medio de la ingesta de alimentos, la inhalación y la capacidad de absorción de la piel y son retenidos más rápido de lo que el cuerpo puede eliminarlos, obteniendo como consecuencia una acumulación gradual en los tejidos del cuerpo (Sardar et al., 2013).

Las fuentes principales de contaminación por Cd son: la metalurgia del acero y del hierro, la minerometalurgia de metales no ferrosos, la combustión de gasolina y aceite, fabricación y aplicación de fertilizantes fosfatados, la incineración de madera, carbón o plástico, y las aplicaciones industriales de cadmio. La persistencia del cadmio en suelos es de hasta trescientos años y el 90% persiste sin transformarse. Este metal llega a los suelos de los terrenos agrícolas por medio de: deposición aérea (41%), fertilizantes fosfatados (54%) y por aplicación de abono de estiércol (5%). Se ha encontrado que, en suelos contaminados, los niveles de cadmio logran alcanzar valores de hasta 1 mg de Cd por gramo y el agua de ríos contaminados podría contener hasta 0,14 mg de Cd/L (Ramírez, 2002).

La población se encuentra expuesta al cadmio por diversas vías como por ejemplo la oral, por medio de la ingesta de agua y de comida contaminada con este metal (granos, frutas, hojas de vegetales, cereales, vísceras animales y pescado) (Nava & Méndez, 2011). En algunos países del continente europeo y Norte América la ingesta diaria de cadmio oscila entre 0,01 y 0,04 mg/día (Reyes et al., 2016).

Otra forma de exposición, muy particular de los seres humanos, es el cigarrillo, el nivel de cadmio está relacionado al suelo donde se cultiva el tabaco. Ha sido probado que las plantas de tabaco poseen la capacidad específica e inusualmente alta de absorber el Cd del suelo y acumularlo en sus raíces y hojas. Esta capacidad es significativamente distinta entre las diferentes variedades de tabaco, siendo la especie *Nicotiana tabacum* la que acumula más Cd en sus hojas y raíces (Petit de Peña et al., 2014). Al fumar, la toxicidad se

produce por inhalación. Los pulmones humanos son capaces de reabsorber entre el 40 y el 60% del cadmio presente en el humo del tabaco y, por consiguiente, los fumadores tienen concentraciones de cadmio en la sangre hasta cuatro veces más altas que las de los no fumadores (Chakraborty et al., 2013).

Al fumar, la inhalación es una vía de ingreso del cadmio al organismo cuya importancia es principalmente local. Las plantas de tabaco tienden a acumular cadmio en las hojas y los cultivos de tabaco son frecuentemente objeto de una abundante fertilización fosfática, que puede producir un incremento en los niveles de cadmio en los suelos (Herrera, 2000).

Los cigarrillos de tabaco, además de ser tóxicos, son potencialmente adictivos, y eso es debido a que producen liberación de dopamina en las regiones del cerebro que controlan las sensaciones de placer y bienestar; cabe recalcar que su componente, la nicotina, crea tolerancia (Leshner, 2001).

En cuanto a la distribución de Cd en plantas se conoce que los niveles de este metal decrecen en el orden: raíces>hojas>fruto>semilla (Davis, 1984); sin embargo, las concentraciones en la planta de tabaco son mayores en sus hojas que en sus demás órganos (Yoshihara et al., 2013). Varios estudios han mostrado que el tabaco posee una gran capacidad de absorción de Cd del suelo y la acumula en grandes volúmenes en las hojas (Wagner & Yeargan, 1986; World Health Organization, 2010). Añadiendo a lo anterior, Wagner (1993) menciona que la distribución de Cd en los diferentes órganos de la planta varía según su tipo y variedad.

Internacionalmente, se han realizado algunos estudios en donde se comparan las concentraciones de Cd entre varias marcas de cigarrillos. Un estudio realizado por Lugon et al. (2006) determinó las concentraciones de Cd presente en cigarrillos de 13 países. Sus hallazgos fueron los siguientes: India (0,33 mg/kg), Filipinas (2,24 mg/kg), Tailandia (1,99 mg/kg); Turquía (0,56 mg/kg); Albania (1,64 mg/kg); Bulgaria (1,06 mg/kg); Francia (1,46 mg/kg); Grecia (0,77 mg/kg); Italia (0,82 mg/kg); Argentina (0,65 mg/kg); Brasil (0,75 mg/kg); Ecuador (1,95 mg/kg); USA (0,51 mg/kg).

En China, el principal país productor de cigarrillos de tabaco, investigadores como Watanabe et al. (1987) reportaron concentraciones de Cd promedio de 0,93 mg/kg para cigarrillos producidos en dicho país. Del mismo modo, reportaron concentraciones de Cd en cigarrillos procedentes de India, con una concentración promedio de 0,35 mg/kg.

Los resultados de un estudio realizado en Venezuela por Petit de Peña et al. (2014) indican que no existe diferencia significativa entre el Cd detectado en cigarrillos de tabaco producidos en Venezuela versus los cigarrillos que entran a dicho país por contrabando.

Un estudio real llevado a cabo por Lugon et al. (2006)

se propuso a comparar concentraciones de Cd en los 3 tipos principales de tabaco cultivado para consumo humano: curado al humo (también conocido como Virginia) (n = 359), Burley (n=216), y Oriental (n = 180). Las concentraciones promedio fueron 0,78, 1,27 y 0,99 mg/kg respectivamente.

Estos resultados indican que la concentración promedio de cadmio para tabaco tipo Burley fue significativamente mayor que para el tabaco Virginia u oriental, demostrando que las concentraciones de Cd varían entre los diferentes tipos de tabaco.

Varios estudios han demostrado que la concentración de cadmio en la sangre para no fumadores varía entre 0,0004 a 0,001 mg/L, mientras que en fumadores los valores se encuentran entre 0,0014 a 0,004 mg/L (Combariza, 2009). Además de los efectos adversos de este metal sobre los seres humanos, el cadmio causa graves desequilibrios en el proceso de nutrición y transporte de agua en las plantas (Singh & Tewari, 2003). Debido a la gran capacidad de acumulación de cadmio de estas plantas se ha llegado a considerarlas como potenciales candidatos para trabajos de fitoremediación de este metal (Reyes et al., 2016).

Estudios de Pernía et al. (2016) afirman que Ecuador muestra evidencias de contaminación por cadmio en suelos agrícolas, los cuales se mencionan con sus respectivas concentraciones: cultivos de palma africana (0,02 - 0,68 mg/kg Cd), banano (0,09 - 0,38 mg/kg Cd), cultivos de café (0,02 - 0,30 mg/kg Cd), entre otros. También se han realizado estudios en arroz, cacao, soya, y fertilizantes encontrando contaminación por cadmio (Chávez et al., 2015; López, 2017; Muñoz, 2017).

La International Agency for Research on Cancer (IARC) ha incluido algunos agentes químicos que proceden del humo del tabaco en el "Grupo I de carcinógenos humanos": benceno, cadmio, arsénico, níquel, cromo, 2-naftilamino, clorovinil, 4 aminobifenil y Be. Cuando se usan los piretroides como insecticidas en el cultivo del tabaco, algunos de los residuos de dichos componentes podrían aparecer en el humo del cigarrillo (Smith et al., 1997; Cai et al., 2002).

En el humano, los efectos causados por la exposición al cadmio están bien documentados: es irritante y tóxico respiratorio, tóxico renal y se le ha asociado con cáncer (Ramírez, 2002). Durante los últimos años, el Ministerio de Salud Pública (MSP) ha reportado un incremento significativo en el deceso por enfermedades de cáncer; en Ecuador, esta enfermedad es la segunda causa de muerte después de las enfermedades cardiovasculares (Ministerio de Salud Pública, 2018).

Además, este mismo organismo cataloga al uso de tabaco como uno de los factores de riesgo para desarrollar distintos tipos de cáncer. Con base en esto, varios estudios enfocados en analizar concentraciones de Cd en alimentos se han llevado a cabo en Ecuador. Por ejemplo, se han encontrado niveles de 0,15 mg/

kg, 0,09 mg/kg y 0,35 mg/kg de Cd en distintas formas de soya como grano, polvo y líquido respectivamente (López, 2017). Otro estudio, por Flores et al. (2018), demostró que de 36 muestras de atún analizadas, el 66% estuvo por encima de los límites máximos permisibles de Cd según las normas NTE INEN 183 y 184.

Por consiguiente, el objetivo de este estudio es estimar la contaminación por Cd, mediante un análisis comparativo entre las concentraciones detectadas en distintas marcas de cigarrillos de tabaco comercializados en la ciudad de Guayaquil que se consumen libremente, y de este modo ampliar la información presente acerca de este metal pesado contaminante.

Metodología

Área de estudio

La presente investigación fue realizada en la ciudad de Guayaquil, en la provincia del Guayas, ubicada en la costa de Ecuador (fig. 1). En el año 2017 el Instituto Nacional De Estadísticas y Censos (INEC), reportó que la cantidad de habitantes en Guayaquil es de 2'644.891.

Las cajetillas de cigarrillos de diferentes marcas producidos y/o comercializados en Guayaquil fueron adquiridas en diferentes puntos de venta de la ciudad, siendo estos: gasolineras, tiendas de abarrotes, vendedores ambulantes y un centro comercial en diferentes sectores de la ciudad, donde es posible comprar este producto, cuya venta es prohibida para menores de edad.

Diseño experimental

Se seleccionaron 5 marcas distintas de cigarrillos tomando como criterio su origen, así se consideraron 4 países distribuidos de la siguiente manera: 2 de Ecuador, 1 de China, 1 de India, y 1 de Argentina. De estas, se obtuvo un total de 22 muestras cuya codificación se detalla en la tabla 1.

Con respecto a los puntos de muestreo, se seleccionaron gasolineras, tiendas de abarrote, vendedores ambulantes y tiendas especializadas de tabaco, los cuales son lugares a los que acude la mayoría de población fumadora en Guayaquil para adquirir tabaco y cigarrillos de tabaco.

Del tabaco de procedencia argentina se obtuvieron únicamente dos muestras debido a que la presentación de este no es la clásica de forma tubular enrollada dentro de un papel especial y con filtro, sino que se expone únicamente el tabaco de manera suelta en presentación de 25 g. Además, se comercializa en puntos de venta especializados de tabaco y productos de tabaco. La recolección de las muestras se realizó al azar y no se aplicó ninguna estrategia de muestreo estándar.

Cigarrillos de producción nacional

Para los cigarrillos de producción nacional se investigaron los tipos de tabaco para cigarrillos que se cultivan

MAPA DE ÁREA DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO
 1:100.000

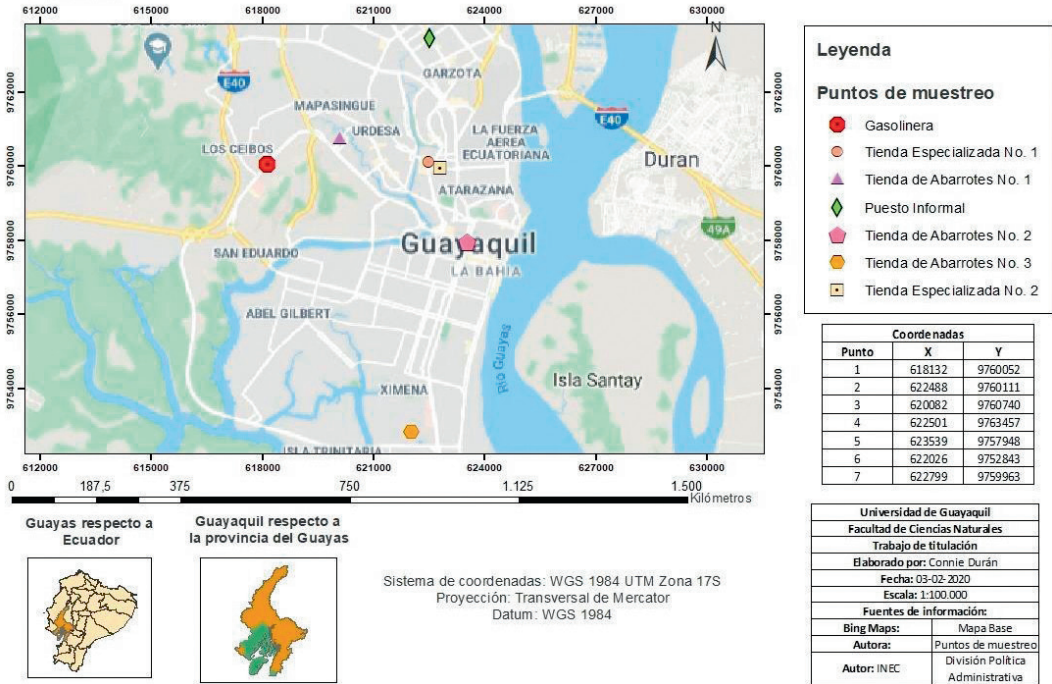


Figura 1. Mapa de Puntos de Muestreo.

Tabla 1. Codificación y tamaño de muestras para las cinco marcas de cigarrillo de tabaco seleccionadas según su procedencia

| Codificación | Origen | n |
|--------------|-----------|---|
| NAM | Ecuador | 5 |
| NAL | Ecuador | 5 |
| COS | China | 5 |
| COU | India | 5 |
| ILS | Argentina | 2 |

Nota. n = número de muestras

y producen en Ecuador. Por su alta aceptación entre la población fumadora, se seleccionaron 2 marcas de cigarrillos de producción nacional.

En el empaque de los cigarrillos de estas marcas se pudo observar su respectivo número de lote y sello del Servicio de Rentas Internas (SRI), indicando que cuentan con los permisos respectivos para su venta, los cuales demuestran que son formalmente comercializados en el país. Al momento de su selección se optó por adquirir 5 muestras de cada marca (n=5); cada muestra comprende una cajetilla de 10 unidades de cigarrillos, de los cuales sólo se tomaron aleatoriamente dos unidades por cajetilla para realizar los análisis.

Cigarrillos de tabaco internacional

Para la selección de los cigarrillos internacionales, se optó por escoger tres marcas de distintos países. Debido a su gran popularidad de consumo la primera a considerar fue una de procedencia china. Su precio de venta al público (PVP) es realmente bajo en comparación con las marcas de producción nacional, además su única presentación comercial es de 20 unidades por cajetilla. Se pudo observar que no contaban con números de lote ni tampoco sellos del SRI por lo que se asume que ingresa al país de manera ilícita. Cabe recalcar que se trata de una marca que ha ganado popularidad actualmente. El número de muestras seleccionadas fue de cinco (n=5).

Otra de las marcas seleccionadas procede de India, este país ocupa el segundo lugar de los mayores productores de tabaco en el continente asiático, y tercero en el mundo luego de Brasil. Este producto, al igual que el anterior, es comercializado de forma ilícita y cuenta con las mismas características de precio, cantidad de unidades por cajetilla, y presentación.

Finalmente, se añadió una tercera marca internacional de origen argentino cuya presentación difiere de las otras marcas siendo este un paquete de 25 gramos de tabaco suelto listo para enrolar. Se encuentra disponible únicamente en tiendas especializadas de tabaco y productos de tabaco, la cual tenía un precio muy elevado en comparación a todas las demás marcas consideradas en este estudio.

Análisis de laboratorio

Las muestras codificadas fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológico de Alimentos de la Subsecretaría de Calidad e Inocuidad (SCI) del Ministerio de Comercio Exterior. Previo al análisis, los matraces estuvieron sumergidos durante 24 horas en solución de ácido nítrico al uno por ciento y posteriormente enjuagados con abundante agua ultra pura (18,3 MΩ.cm). Los vasos de teflón de microondas fueron sometidos a un proceso de limpieza adicionando 10 mL de ácido nítrico concentrado a cada uno de ellos, sometidos al microondas a una rampa de 180 °C durante 10 min manteniendo esta temperatura por 10 min adicionales, posteriormente fueron enjuagados con solución de ácido nítrico al uno por ciento y abundante agua ultra pura.

De cada cajetilla se tomaron aleatoriamente 2 cigarrillos, se descartó el filtro y se procedió a mezclar la porción del tabaco contenida en los dos cigarrillos; en el caso del tabaco de origen argentino, debido a su presentación (tabaco suelto sin papel ni filtro), solo fue necesario homogenizarlo. Posteriormente se pesó 0,30±0,05 g de cada una de las muestras en vasos de teflón (CEM Corporation) y se sometieron a digestión ácida en un microondas (MARSEXPRESS, CEM) empleando 6 mL de ácido nítrico concentrado. Las soluciones obtenidas fueron diluidas a un volumen final de 25 mL con agua ultra pura, trasvasando las aguas de lavado a esta solución.

Método de detección

El contenido de Cd fue determinado mediante espectrofotometría de absorción atómica usando la técnica de horno de grafito (VARIAN modelo SpectrAA 220Z) empleando soluciones de MgNO₃.6H₂O y NH₄H₂PO₄ como modificadores de matriz. El método se fundamenta en que las muestras digeridas son sometidas a un proceso térmico que consiste en las etapas de secado, carbonización, atomización y limpieza en el horno de grafito.

La espectrofotometría de absorción atómica se fundamenta en que la radiación de un elemento excitado pasa a través del vapor que contiene los átomos en estado basal de ese elemento. La intensidad de la radiación transmitida disminuye en proporción a la cantidad del elemento en estado basal en el vapor. Los átomos de metal a medir se colocan en el haz de radiación al aumentar la temperatura del horno, lo que provoca que la muestra inyectada se volatilice. Un monocromador aísla la radiación característica de la lámpara de cátodo hueco, y un dispositivo fotosensible mide la radiación atenuada transmitida (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).

Se empleó la longitud de onda de 228,8 nm y los resultados fueron confirmados mediante la adición de controles de calidad como: soluciones blanco de reactivo, muestras duplicadas, muestras fortificadas y muestra certificada de referencia (IAEA 407, tejido de pescado). El límite de cuantificación (LC) del método empleado fue de 0,014 mg/kg. Los valores obtenidos están expresados en mg/kg en peso seco.

Pruebas estadísticas

Los datos obtenidos fueron tabulados en una hoja de cálculo Excel 2010 y previo al análisis estadístico se comprobaron los supuestos de la ANOVA realizando pruebas de normalidad Anderson Darling y, para identificar igualdad de varianza se empleó la prueba de Levene; seguidamente se determinó un análisis de ANOVA de una vía para comparar las medias de las concentraciones de Cd entre marcas y país de origen de procedencia de los cigarrillos de tabaco, las mismas que fueron representadas en diagramas de cajas siguiendo las recomendaciones de Boyer, (1997). Finalmente, se realizaron comparaciones entre grupos con el test de Tukey cuyos resultados serán expresados como medias ± desviación estándar, empleando el software estadístico Minitab versión 17.

Resultados

Concentraciones de cadmio en cigarrillos de tabaco de acuerdo a su marca

La concentración promedio de cadmio (Fig. 2) en la población calculada a partir de las 22 muestras de tabaco fue de 1,89 mg/kg. Con un intervalo de confianza del 95%. De manera general, el contenido de Cd varió considerablemente en el tabaco de las marcas comerciales analizadas. El 13.64% de las concentraciones sobrepasaron los 3 mg/kg. La marca de cigarrillos denominada como COS obtuvo el promedio más alto (4,73±1,14 mg/kg), en tanto que en el tabaco de la codificación COU se encontró el menor promedio (0,42±0,26 mg/kg), tal como se aprecia en la Tabla 2.

Diferencia de concentraciones de Cd entre las marcas de cigarrillos de tabaco

Existen diferencias significativas en las concentraciones de Cd entre las diferentes marcas, con un valor F= 44,40 y un p-value < 0,00. Por medio de la prueba de comparaciones en pareja de Tukey (Fig. 3), se establece que existen 3 grupos muy diferentes entre ellos, el primer grupo identificado por la marca COS (4,73 ±1,14 mg/kg), quien posee el mayor promedio, el segundo grupo identificado por la marca NAL (2,022±0,23 mg/kg) y un tercer grupo formado por 3 marcas que comparten estadísticamente el mismo promedio, siendo estas NAM, ILS Y COU.

Concentraciones de cadmio en cigarrillos de tabaco de acuerdo a su país de procedencia

Los cigarrillos procedentes de China presentaron una concentración promedio de 4,73±1,14 mg/kg de Cd, por lo cual esperaríamos encontrar valores que van entre 4,09 mg/kg y 5,37 mg/kg.

Los cigarrillos de Ecuador poseen una concentración promedio de 1,49±0,58 mg/kg de Cd con valores entre 1,04 mg/kg y 1,95 mg/kg. Los argentinos poseen una concentración promedio de 0,53±0,09 mg/kg con valores entre -0,49 mg/kg y 1,54. Los cigarrillos de la India poseen una concentración promedio 0,42±0,26 mg/kg con valores entre -0,23 mg/kg y 1,06 mg/kg (Fig. 4, tabla 3).

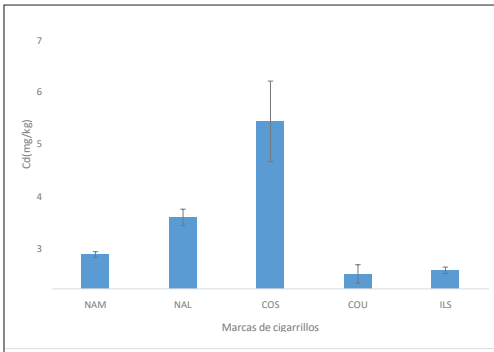


Figura 2. Concentración de Cd en marcas de cigarrillos de tabaco distribuidos en la ciudad de Guayaquil; Los resultados se muestran promedios \pm Desviación estándar.

Tabla 2. Resumen de media e intervalo de confianza de Cd de cadmio en cigarrillos de tabaco de según su marca. Los valores están expresados en mg/kg.

| Marca | Media | Desv. Est. | IC de 95% |
|-------|-------|------------|---------------|
| COS | 4,73 | 1,14 | (4,19; 5,28) |
| COU | 0,42 | 0,29 | (-0,13; 0,96) |
| ILS | 0,53 | 0,09 | (-0,34; 1,39) |
| NAL | 2,02 | 0,23 | (1,48; 2,57) |
| NAM | 0,97 | 0,08 | (0,42; 1,51) |

Diferencia de concentraciones de Cd según su país de procedencia

Existen diferencias significativas en las concentraciones de Cd entre los diferentes países de procedencia, con un valor $F = 40,08$ y un $p\text{-value} < 0,000$. Por medio de la prueba de comparaciones en pareja de Tukey (Fig. 5), se establece que existen 3 grupos muy diferentes entre ellos, el primer grupo identificado por China, cuyos cigarrillos poseen la mayor concentración de Cd con un promedio de $4,73 \text{ mg/kg}$, el segundo grupo está formado por Ecuador y Argentina con una concentración promedio de $1,49 \pm 0,58 \text{ mg/kg}$ y $0,525 \pm 0,09 \text{ mg/kg}$, respectivamente. Y un tercer grupo formado por Argentina e India, con una concentración promedio de $0,53 \pm 0,09 \text{ mg/kg}$ e India $0,42 \pm 0,26 \text{ mg/kg}$, respectivamente.

Propuesta para reducir la incidencia de Cd en el proceso de producción de cigarrillos de tabaco de producción nacional

Realizar análisis de los parámetros más importantes que pueden afectar a la concentración de Cd en suelo

Los parámetros más importantes son: el pH, la deposición atmosférica, el contenido de Cd en fertilizantes fosfatados y en precipitaciones.

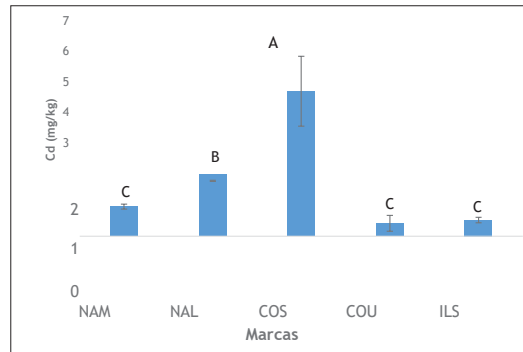


Figura 3. Niveles de cadmio en cigarrillos de tabaco por marca que se comercializan en la ciudad de Guayaquil; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ($p < 0,05$). Los resultados están expresados como media \pm desviación estándar.

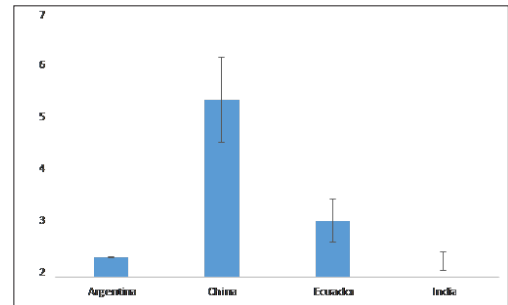


Figura 4. Concentración de Cd en cigarrillos de tabaco según su país de procedencia; Los resultados están expresados como media \pm Desviación estándar.

Tabla 3. Resumen de media e intervalo de confianza de cadmio en cigarrillos de tabaco de según su país de procedencia, los valores están expresados en mg/kg.

| País | Media | Desv. Est. | IC de 95% |
|-----------|-------|------------|---------------|
| ARGENTINA | 0.53 | 0.09 | (-0.49; 1.54) |
| CHINA | 4.73 | 1.136 | (4.09; 5.37) |
| ECUADOR | 1.49 | 0.578 | (1.04; 1.95) |
| INDIA | 0.42 | 0.258 | (-0.23; 1.06) |

Estos parámetros deberán medirse y reportarse antes de trasladar las plantas del semillero hacia su siguiente etapa en el campo.

Medios de control: Reportes, informes, auditorías.

Capacitar a los agricultores acerca de las medidas *in situ* para disminuir las concentraciones iniciales de Cd en suelo Según Wagner (1993) los factores más importantes que regulan la absorción de Cd son las

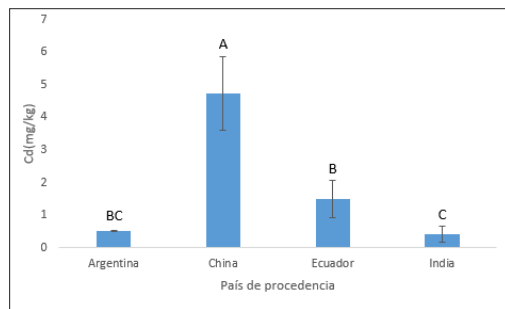


Figura 5. Niveles de cadmio en cigarrillos de tabaco que se comercializan en la ciudad de Guayaquil según país de procedencia; letras diferentes indican que hay diferencias significativas según Tukey ($p < 0.05$). Los resultados están expresados como media \pm desviación estándar.

concentraciones iniciales de Cd presente en el suelo y el pH, se proponen las siguientes medidas:

Se propone utilizar las plantas de tabaco que quedaron fuera de la selección para su cultivo, aprovechando su característica hiperacumuladora para reducir los niveles de Cd presentes en el suelo a cultivar.

Puesto que la solubilidad y por consiguiente biodisponibilidad de los metales pesados es mayor cuando el pH es ácido, se propone realizar correcciones de suelos ácidos (enmiendas calizas o encalado). Se sugiere utilizar cal agrícola (caliza), debido a su bajo coste si comparamos con otras enmiendas y porque su efecto es el más duradero en el suelo. Dicha enmienda es la más utilizada para suelos de uso agrícola.

Medios de control: Acta de reuniones de capacitación, supervisión en el campo.

1. Restringir el uso de fertilizantes y pesticidas con niveles elevados de metales pesados

Investigadores como Alloway y Steinnes (1999) concuerdan en que el factor antropogénico más importante de la contaminación por Cd son los “depósitos directos”; es decir, el uso de fertilizantes fosfatados, por ende, si prohibimos su uso se reducirá de manera importante la incidencia de Cd en el producto final.

Una alternativa al uso de estos fertilizantes fosfatados que ha dado buenos resultados es la aplicación de cenizas de lodos, se puede explicar mediante informes que defienden que el fósforo en cenizas de lodos de aguas residuales puede ser más accesible por las plantas, especialmente en suelos más ácidos (Rodríguez, 2015).

Medios de control: normativas, políticas internas, reportes, informes, auditorías.

2. Implementar controles más exhaustivos acerca de los aditivos químicos empleados en el proceso.

En primer lugar, se debería sincerar todos los aditivos químicos que se empleen en el proceso, actualmente

estos no se encuentran enlistados en la información acerca del proceso de producción de tabaco que se encuentra disponible en el sitio web oficial de Philip Morris International. Posterior a esto, la empresa debería elaborar informes de toxicidad de cada producto químico utilizado y con base en eso tomar las decisiones acerca del aditivo químico a utilizar.

Medios de control: Disponibilidad de información, informes, reportes.

Discusión

Independientemente de la marca y su país de procedencia, todas las muestras de tabaco presentaron niveles de Cd, siendo la marca COS de origen chino la que obtuvo las concentraciones más elevadas (5,92 mg/kg). El nivel promedio de Cd en las 22 muestras de cigarrillos de las marcas analizadas que se expenden en Guayaquil es de $1,89 \pm 1,758$ mg/kg. Las variaciones en las concentraciones tóxicas de metales pesados en los cigarrillos de tabaco pueden depender además de los niveles de Cd en los hábitats del suelo, del uso de fertilizantes y tratamientos con pesticidas, además de las condiciones de crecimiento (Cabrera et al., 1995) y la contaminación industrial (Saarenen et al., 1989).

Watanabe et al. (1987), reportó en cigarrillos de origen chino resultados con una media de 0,93 mg/kg, mientras que en el presente estudio el promedio de concentraciones de Cd fue 5 veces mayor, lo cual es preocupante debido a la evidencia del incremento de la presencia de este metal en suelos agrícolas probablemente ubicados donde también se cultivan productos utilizados en la alimentación humana. Otros datos más recientes, reportados por O'Connor et al. (2009) también indican que los cigarrillos de tabaco de varias marcas producidas en China presentan concentraciones similares (3,21 mg Cd/kg), en comparación con los resultados que se presentan en este estudio. Sin embargo, por la evidencia obtenida no se debe asumir que todos los cigarrillos de procedencia China sean los más contaminados con Cd, ya que siendo este país el principal productor de cigarrillos en el mundo con una extensión destinada para la agricultura de $5'277,330$ km² (Worldbank, 2019) posee muchos tipos de cultivos, cada uno con características distintas.

Cabe destacar que los cigarrillos procedentes de la India, aunque también ingresan de manera ilícita presentaron los menores niveles de Cd, también perjudicial para el estado, pero esta vez de manera tributaria, ya que siendo cigarrillos de mejor calidad (refiriéndose únicamente a niveles de Cd) deberían pagar mayores impuestos.

En estudios realizados al tabaco procedente de India, Watanabe et al. (1987) se reportó una concentración promedio de 0,35 mg/kg, similares a los hallados en este estudio ($0,41 \pm 0,26$ mg/kg). Estos datos sugieren que los suelos agrícolas de la India presentan bajas concentraciones iniciales de Cd, debido entre otros

factores a leyes y políticas agroecológicas estrictas. Esto último, se respalda con el caso de Sikkim; estado agrícola de India que se convirtió en el primer estado orgánico del mundo, lo cual lo hizo acreedor del premio de oro en el Future Policy Award (FPA) celebrado en 2018 (FAO, 2018).

Por otra parte, autores como Lugon et al. (2006) quienes analizaron las concentraciones promedio de Cd en cigarrillos de tabaco provenientes de 13 países, entre estos Ecuador, reportaron para dicho país, una concentración promedio de 1,95mg/kg. Este resultado es similar al del presente estudio, donde se obtuvo una media de 1,495 mg/kg. Dado a que existen 14 años de diferencia entre ambos estudios, se podría asumir que los niveles de Cd en el tabaco de los cigarrillos manufacturados en el Ecuador han experimentado una aparente disminución, sin embargo, se requiere un estudio más profundo para conocer si este resultado es significativo.

Algo que llama la atención en las concentraciones promedio de Cd en las dos marcas de cigarrillos de tabaco de origen ecuatoriano, es que pese a ser producidas por la misma compañía reportaron concentraciones diferentes. Esta diferencia evidencia que los suelos agrícolas de donde provienen las hojas de tabaco para cadamarca tienen características diferentes; debido a que los cultivares se encuentran ubicados principalmente en las provincias de Guayas y Los Ríos.

Dado que la mayor fuente de contaminación por Cd se debe las condiciones iniciales del suelo (Wagner, 1993), es conveniente realizar análisis de Cd en el mismo previo a su uso agrícola. En Ecuador, se ha demostrado la presencia de Cd en suelos agrícolas donde se cultiva cacao en las provincias de Guayas y El Oro (Chávez et al., 2015), a distintas profundidades, se obtuvieron medias de 1,54 mg/kg (0-5 cm), 1,39 mg/kg (5-15 cm), 0,77 mg/kg (15-30 cm), 0,85 mg/kg (30-50 cm). Esto nos indica la probabilidad de que los suelos agrícolas de la provincia del Guayas donde se cultiva el tabaco nacional presenten contaminación por Cd.

En el tabaco proveniente de Argentina se han reportado concentraciones, promedio de 0,65 mg/kg de Cd (Lugon et al., 2006), superando a la obtenida en el presente estudio (0,53±0,09 mg/kg) con la marca argentina importada legalmente (ILS), evidenciando en ambos casos una baja concentración de Cd. Estos resultados no presentan mucha variación, lo cual podría deberse a que las concentraciones iniciales de Cd en sus cultivos son bajas.

Curiosamente, las medias de los niveles de Cd, tanto las más altas como las más bajas, se reportaron en las muestras de tabaco más económicas y de comercio ilícito correspondientes a los países de China e India, respectivamente. De igual manera ambas marcas gozan de una gran popularidad que podría atribuirse a su PVP.

Los resultados del presente trabajo indican que existe una amplia diferencia entre concentraciones de Cd de

cigarrillos de tabaco producidos en Ecuador frente a los que entran de manera ilícita, este resultado se encuentra en desacuerdo con los de Petit de Peña et al. (2014), quienes reportaron que no existe diferencia significativa entre el Cd detectado en cigarrillos de tabaco producidos en Venezuela versus los cigarrillos que entran a dicho país por contrabando, a diferencia de este estudio el tabaco ilegal que ingresa al mercado venezolano son de diferente origen.

Es evidente que las plantas de tabaco cultivadas en ambientes de suelo contaminados acumulan esos metales pesados en sus hojas. De hecho, los cultivares de tabaco han sido reportados como grandes acumuladores de metales, especialmente metales tóxicos (Miner et al., 1997; Pinto & Ferreira, 2015). La acumulación de metales pesados tóxicos en el cultivo de tabaco dependen de los órganos de las plantas, con la peculiaridad de que la planta de tabaco acumula mayor concentración de metales pesados en sus hojas a diferencia de la mayoría de las plantas cuyo órgano acumulador suele ser las raíces en primer lugar (Adamu et al., 1989). En este caso, dicha peculiaridad resulta negativa al ser las hojas de la planta de tabaco el órgano usado para la elaboración de los cigarrillos.

Por otro lado, estadísticas muestran cómo el consumo de tabaco ha disminuido en los últimos años, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Ritchie & Roser, 2020). Sin embargo, estos datos no deberían considerarse reales debido a que no consideran la data de los cigarrillos que entran de manera ilícita a países como Ecuador. Se especula que la población fumadora con bajo poder adquisitivo se inclina hacia estas marcas al momento de comprarlas, por su bajo precio y mayor contenido de cigarrillos por cajetilla, volviéndolos los más populares y por consiguiente exponiendo a la población fumadora a cigarrillos de tabaco con mayores niveles de Cd.

Ahora bien, tomando en cuenta los resultados de la encuesta realizada por el INEC en el año 2017, la que indica que en Guayaquil se consumen en promedio 49 cigarrillos semanales concluimos que la población fumadora promedio y más aún las personas que consumen el cigarrillo COS se encuentran en peligro debido a las elevadas concentraciones de Cd que contienen los cigarrillos comercializados en la ciudad de Guayaquil. La población fumadora está comprometiendo su salud y se enfrentan a padecer enfermedades asociadas al Cd, como cánceres de pulmón, de esófago, de boca, garganta, laringe, riñón, entre otros, así como también enfermedades del corazón y apoplejía (U.S. Department of Health and Human Services, 2010).

Cabe señalar que no hay datos suficientes sobre las concentraciones de cadmio en las marcas de cigarrillos comercializadas en Ecuador por parte de organismos estatales de regulación y control, y tampoco por parte de los propios fabricantes. Este estudio proporciona nuevos datos que pueden ser de utilidad para las autoridades sanitarias nacionales e internacionales. Además, los resultados obtenidos brindan información

muy importante para el conocimiento de la población fumadora del Ecuador.

De igual manera, los resultados presentados en este estudio se pueden considerar como un argumento más para el no consumo de cigarrillos de tabaco, debido a que demuestra el contenido de un contaminante altamente tóxico incluso a bajas concentraciones como el Cd y su repercusión en la salud humana.

Conclusiones

Los análisis realizados comprobaron la presencia de cadmio en los cigarrillos de tabaco de producción nacional e internacional comercializados en la ciudad de Guayaquil., Existiendo diferencias significativas entre los cigarrillos producidos en el país ($1,49 \pm 0,578$) frente a los que ingresan de manera ilícita ($4,73 \pm 1,14$ mg/kg).

Los cigarrillos provenientes del comercio ilícito, cuya procedencia es de China ($4,73 \pm 1,14$ mg/kg), presentaron las concentraciones más altas, mientras que los cigarrillos provenientes del comercio ilícito cuya procedencia fue de India presentaron promedios de concentraciones de Cd bajas ($0,42 \pm 0,26$ mg/kg).

La marca proveniente de Argentina (ILS) de tabaco listo para enrollar, a pesar de ser la más costosa y exclusiva no fue la que menor concentraciones de Cd presentó, compartiendo casi las mismas características con los cigarrillos de tabaco producidos en Ecuador.

Los cigarrillos de producción nacional ($1,49 \pm 0,58$ mg/kg) ocupan el segundo lugar en lo que respecta a mayores niveles de Cd. Además, existen diferencias significativas entre las 2 marcas de cigarrillos de producción nacional, identificadas por NAL y NAM, (por cuestiones éticas no podemos indicar los nombres comerciales de las mismas), aun perteneciendo a la misma compañía.

No existen normativas acerca de los límites máximos permisibles para Cd en cigarrillos de tabaco, ni en Ecuador ni en ningún otro país.

Finalmente, se determina la concentración de Cd en los cigarrillos de tabaco que son comercializados en la ciudad de Guayaquil difiere en función a la marca y país de origen.

Recomendaciones

- En vista de la incidencia y toxicidad del Cd en los cigarrillos analizados en el presente estudio se recomienda la creación de límites máximos permisibles para Cd en cigarrillos de tabaco.
- Se recomienda analizar al proveedor de la marca de cigarrillos chinos cuyas concentraciones de Cd fueron extremadamente elevadas, comparándolos con otros cigarrillos de tabaco de la misma procedencia, pero con distintos proveedores y marcas.
- Se recomienda a los organismos de regulación y control que tomen acción para detener el ingreso al país de productos de contrabando.

- A partir del presente estudio, se debería realizar una campaña publicitaria que concientice a la población fumadora de los peligros que corren al exponerse a una fuente tan importante de Cd como lo es el cigarrillo de tabaco, así como la gran diferencia de concentraciones de dicho contaminante detectadas en una marca de cigarrillos de contrabando.

Bibliografía

- Adamu, C. A., Bell, P. F., Mulchi, C., & Chaney, R. 1989. Residual metal concentrations in soils and leaf accumulations in tobacco a decade following farmland application of municipal sludge. *Environmental Pollution*, 56(2): 113-126.
- Alloway, B. J., y Steinnes, E. 1999. Anthropogenic Additions of Cadmium to Soils. *Cadmium in Soils and Plants*, 97-123. Springer Dordrecht. doi:10.1007/978-94-011-4473-5_5
- Ashraf, M.A., Maah, M. J. y Yusoff, I. 2014. Soil Contamination, Risk Assessment and Remediation. *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination* 1:3-56. doi:10.5772/57287
- Boyer, J., J. Fouquereau, y R. Jones. 1997. Spatial characterization of water quality in Florida Bay and Whitewater Bay by multivariate analyses: Zones of similar influence. *Estuaries*, 20(4): 743-758.
- Cabrera, C., Lorenzo, M. L., y Lopez, M. C. 1995. Lead and cadmium contamination in dairy products and its repercussion on total dietary intake. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(6): 1605-1609.
- Cai, J., Liu, B., Zhu, X., y Su, Q. 2002. Determination of pyrethroid residues in tobacco and cigarette smoke by capillary gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 964(1-2): 205-211.
- Chakraborty, S., Dutta, A., Sural, S., Gupta, D., y Sen, S. 2013. Ailing bones and failing kidneys: a case of chronic cadmium toxicity. *Annals of Clinical Biochemistry*, 50 (5): 492-495.
- Chavez, E., He, Z., Stoffella, P., Mylavarapu, R., Li, Y., Moyano, B., y Baligar, V. 2015. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533: 205-214.
- Combariza, D. 2009. Contaminación por metales pesados en el embalse de Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca). Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Davis, R. D. 1984. Cadmium – A complex environmental problem Part II. *Experientia*, 40(2): 117-126.
- FAO. 2018. El "Estado 100% orgánico" Sikkim en India gana el oro. Políticas de Brasil, Dinamarca y Ecuador galardonadas con la plata. Recuperado 28 enero, 2020, de <http://www.fao.org/agroecology/slideshow/news-article/es/c/1157017/>
- Flores, E., Pozo, W., Pernía, B., y Sánchez, W. 2018. Niveles de cadmio en atún fresco y enlatado para consumo humano en Ecuador. *Maskana*, 9(2): 35-40.
- Herrera, T. 2000. La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venezuelas*, 8 (1,2): 42-47.
- Instituto de Salud Pública de Chile. 2019. *Sección Química Ambiental: Contaminación Ambiental*. Recuperado de http://www.ispch.cl/saludambiental/ambiente/quimica_ambiental/contaminacion
- Leshner, Al. 2001. Nicotine Addiction (No. 01-4342). Research Report Series. National Institute on Drug Abuse.
- Londoño, L., Londoño, P., y Muñoz, F. 2016. Los riesgos de los

- metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2): 145-153.
- López, J.D. 2017. *Determinación de cadmio y plomo en soya (Glycine max L.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil Ecuador*. Tesis de grado previa a la obtención de título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Guayaquil.
- Lugon-Moulin, N., Martin, F., Krauss, M. R., Ramey, P. B., y Rossi, L. 2006. Cadmium concentration in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) from different countries and its relationship with other elements. *Chemosphere*, 63(7): 1074-1086.
- Miner, G. S., Gutierrez, R., y King, L. D. 1997. Soil factors affecting plant concentrations of cadmium, copper, and zinc on sludge-amended soils. *Journal of Environmental Quality*, 26(4): 989-994.
- Ministerio de Salud Pública. 2018. Ministerio de Salud garantiza acceso a la salud de pacientes con cáncer. Recuperado de <https://www.salud.gob.ec/ministerio-de-salud-garantiza-acceso-a-la-salud-de-pacientes-con-cancer-2/>
- Muñoz, J. 2017. *Determinación de Cadmio en fertilizantes, plantas de Oryza sativa L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento*. Tesis de grado previa a la obtención de título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Guayaquil.
- Nava, C. & Méndez, M. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias* 16(3): 140-147.
- O'Connor, R. J., Li, Q., Stephens, W.E., Hammond, D., Elton-Marshall, T., Cummings, K.M., y Fong, G.T. 2010. Cigarettes sold in China: design, emissions and metals. *Tobacco Control*, 19(Supplement 2), i47-i53.
- Okrent D. 1999. On intergenerational equity and its clash with intragenerational equity and on the need for policies to guide the regulation of disposal of wastes and other activities posing very long-term risks. *Risk Analysis*, 19(5): 877-901.
- Pernía, B., Mero, M., Muñoz, J., Bravo, K., Morán, N., Zambrano, J., y Cornejo, X. 2016. Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del Cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*, 10(2): 37-51.
- Petit de Peña, Y., Guillén, J., Vicuña, N., Briceño, L., Carrero P., y Peñaloza, H. 2014. Determinación del contenido de cadmio en muestras de tabaco de cigarrillos comercializados en Venezuela. *Revista de la Facultad de Farmacia* 56(1): Jan. 2014, pp. 26+. Gale OneFile: Informe Académico, link.gale.com/apps/doc/A466166097/IFME?u=anon-1855546d&sid=googleScholar&id=b3b3f2a9. Accessed 7 Oct. 2021.
- Pinto, E. y Ferreira, I. 2015. Cation transporters/channels in plants: tools for nutrient biofortification. *Journal of Plant Physiology*, 179: 64-82.
- Ramírez, A. 2002. *Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos*. Anales de la Facultad de Medicina. 63: 51-64.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. 2016. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2): 66-77.
- Ritchie, H. y Roser, M. 2020. Smoking. Published online at Our World in Data. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/smoking> [Online Resource]
- Rodríguez, C. 2015. Effects of alternative phosphorus fertilizers on phosphorus mobilization by two different cover crops in two soils. Memoria, Department for Sustainable Agricultural Systems, Division of Organic Farming. Universität für Bodenkulture Wien.
- Saarenen, M., Kantola, M., Saarikoski, S., y Vanha-Perttula, T. 1989. Human Seminal Plasma Cadmium: Comparison with Fertility and Smoking Habits/Cadmium in menschlichem Seminalplasma: *Vergleich zwischen Fertilität und Rauchgewohnheiten*. *Andrologia*, 21(2): 140-145.
- Sardar, K., Ali, S., Hameed, S., Afzal, S., Fatima, S., Shakoar, M., Bharwana, S., y Tauqueer, H. 2013. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*, 2(4): 172-179.
- Singh, P., y Tewari, R. 2003. Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal of Environmental Biology*, 24: 107-112.
- Smith, J., Livingston, D., y Doolittle, D. 1997. An international literature survey of "IARC Group I carcinogens" reported in mainstream cigarette smoke. *Food. Chem. Toxicol.* 35(10-11): 1107-1130.
- U.S. Department of Health and Human Services. 2010. How Tobacco Smoke Causes Disease: The Biology and Behavioral Basis for Smoking-Attributable Disease: A Report of the Surgeon General. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health, 2010. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK53017/>
- U.S. Environmental Protection Agency. 2007. Method 7010. Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7010.pdf>
- Wagner, G.J. y Yeargan, R. 1986. Variation in Cadmium Accumulation Potential and Tissue Distribution of Cadmium in Tobacco. *Plant Physiology*, 82(1): 274-279.
- Wagner, G.J. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health, *Advances in Agronomy*, 51: 173-212.
- Watanabe, T., Kasahara, M., Nakatsuka, H., y Ikeda, M. 1987. Cadmium and lead contents of cigarettes produced in various areas of the world. *The Science of The Total Environment*, 66: 29-37.
- World Bank. 2019. World Development Indicators [Conjunto de datos]. Recuperado 7 febrero, 2020, de <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARBL.ZS?view=chart>
- Yoshihara, T., Suzui, N., Ishii, S., Kitazaki, M., Yamazaki, H., Kitazaki, K., y Fujimaki, S. 2013. A kinetic analysis of cadmium accumulation in a Cd hyper-accumulator fern *Athyrium yokoscense* and tobacco plants. *Plant, Cell & Environment*, 37(5): 1086-1096.

Desarrollo larval de *Entomofauna* de importancia forense en un bosque seco de la costa ecuatoriana

Entomofauna larval development of forensic importance in a dry forest of the Ecuadorian coast

Andrea Lilibeth Merino Mosquera

*Egresada de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
Telf. 0969814581.*

Recibido de abril 2020; recibido en forma revisada 26 de mayo 2020, aceptado 1 de junio 2020
Disponible en línea 26 de junio 2020

Resumen

La provincia del Guayas tiene una deficiencia en claves de desarrollo larval para la identificación de Dípteros con fines forenses. Para la identificación de los insectos en estadios preimaginales se requiere esperar que el espécimen sea adulto, lo que limita su uso en entomología forense. El presente trabajo describe la ontogenia de entomofauna de importancia forense asociadas a vísceras en descomposición. Las familias registradas fueron Sarcophagidae, Calliphoridae y Muscidae. Las primeras moscas en colonizar el cebo pertenecen Caliphoridae seguidos de Sarcophagidae y Muscidae. Se detectó tres características morfológicas relevantes para identificación y diferenciación entre estadios y entre familias: cápsula cefálica, espiráculo anterior, branquias del espiráculo anterior y tubérculos dorsales internos. Los tiempos de desarrollo larval varía entre familias, siendo Sarcophagidae quien exhibe mayor tiempo. La información presentada en este trabajo facilitará la identificación taxonómica de muestras de insectos obtenidas de cuerpos en descomposición, con posibilidad de estimación de intervalos post-mortem (IPM).

Palabras clave: Sarcosaprófagos, Bosque seco decíduo, Guayaquil, Holometábolos, Estadios preimaginales.

Abstracts

The province of Guayas has very few available keys for Diptera larvae development identification with forensic purposes. To identify insects in preimaginal stages, it is required to wait for the specimen to become adult to determine its identification, which limits its use in forensic science. The present work focuses on describing the ontogeny of entomofauna of forensic relevance associated with decomposing viscera. The families registered during the sampling were Sarcophagidae, Calliphoridae and Muscidae. The first flies to colonize the bait belong to the. Three morphometric characteristics relevant for identification and differentiation between stages and families were detected: cephalic capsule, anterior spiracle, gills of the anterior spiracle and internal dorsal tubers. On the other hand, larval development period vary between families, with Sarcophagidae being the group with the longest period. The information presented in this work will facilitate the taxonomic identification of insect samples obtained from decomposing bodies, with the possibility of estimating post-mortem intervals (PMI).

Keywords: Sarcosaprófagos, Dry Deciduous Forest, Guayaquil, Holometábolos, Preimaginal Stages.

Introducción

La criminalística es una disciplina que utiliza los conocimientos científicos para reconstruir un hecho delictivo (López, 2017) no solo en el establecimiento del intervalo postmortem (IPM). Tradicionalmente, la importancia de las ciencias forenses reside en su capacidad de aportar información acerca de quién y cómo se ha cometido un delito (Houck, 2006). Por otra parte, la entomología es una rama de la Biología

que tiene por objetivo el estudio de los insectos y la relación de éstos con el medio; y se encarga del estudio de la morfología, biología, fisiología, bioquímica y todo lo relacionado con insectos. Específicamente, la entomología forense trabaja con las muestras de larvas, pupas y adultos de insectos presentes en cadáveres (Hau, 2015).

El cadáver es un recurso trófico para varios organismos, el cual induce una sucesión de colonizaciones con diferente composición faunística. La fauna

* Correspondencia del autor:
E-mail: andreamerinosmosquera@yahoo.com



cadavérica está compuesta de aproximadamente unas veinte especies de insectos que forman ocho grupos en asociación a materia en descomposición post mortem. Este proceso de llegada es dependiente casi en su totalidad de variables ambientales como la temperatura, la humedad relativa, el tipo de vegetación, el pH del suelo, la temporada estacional, así como también de las circunstancias de la muerte (Mavárez-Cardozo et al., 2005).

En este contexto, la entomología es una de las especialidades más relevantes dentro de las ciencias forenses, debido a que es posible estimar el tiempo de muerte en función de la biología de los insectos encontrados en un cadáver. El intervalo postmortem (IPM) equivale al tiempo transcurrido entre la muerte y el descubrimiento de un cadáver; por lo tanto, su estudio permite la estimación de estos procesos. Por otro lado, la entomología forense puede proporcionar detalles como el lugar de la muerte, la identificación de los posibles eventos de traslados de cuerpos, así como las características de las zonas de origen del cadáver y toxicología (envenenamiento y uso de drogas) (Mavárez-Cardozo et al., 2005). Esta rama ha sido clasificada en tres divisiones: urbana, médico-legal y de productos almacenados. El presente trabajo se enfoca en la división médico-legal, la cual se centra en el estudio de los insectos como evidencia para la resolución de casos de muertes.

El primer documento escrito de un caso resuelto por la entomología forense se remonta al siglo XIII, en un manual de Medicina Legal chino, referente a un caso de homicidio en el que apareció un labrador degollado por una hoz. A partir del presente, un sin número de estudios han evaluado la asociación entre insectos de distintos grupos, con los periodos de descomposición. Por ejemplo, Peceros (2011) realizó un estudio en carcasas de cerdos donde analizó los aspectos ecológicos y sucesión entomológica de diferentes poblaciones de insectos utilizando dos modelos diferentes de cerdo doméstico, uno con prendas de vestir y otro sin ellas, expuestos a un ambiente natural. Por otro lado, Camacho (2005) realizó el primer estudio de fauna cadavérica en Bogotá; el autor utilizó un cerdo blanco y determinó la sucesión de entomofauna y la aproximación al cálculo del IPM en un ambiente natural como la sabana colombiana.

Los países del Neotrópico tienen una composición entomofaunística y ambiental diversa y extensa, respecto a otras regiones (Mavárez-Cardozo et al., 2005) Ecuador, en particular por su diversidad climática, se convierte en una zona ideal para llevar a cabo investigaciones sobre entomofauna cadavérica. Además, la variación ambiental que lo caracteriza permite evaluar, por ejemplo, la influencia de cambios térmicos sobre el desarrollo larval de la entomofauna, y también la duración de los estadios de putrefacción de los cadáveres, y por tanto, del tiempo transcurrido desde el fallecimiento hasta el hallazgo de cadáveres (Guamangallo y Ibijes, 2012).

Una de las investigaciones más completas en el Neotrópico sobre los diferentes estadios inmaduros de insectos necrófagos es el trabajo publicado por Florez & Wolff (2009); el cual describe los estadios inmaduros de las principales especies de Calliphoridae (Diptera) de importancia forense en Colombia. El mencionado trabajo presenta una clave dicotómica con ilustraciones para separar 13 especies de larvas de Calliphoridae en todos sus estadios inmaduros.

Una investigación realizada por Salazar y Donoso (2015) reúne los grupos relevantes de insectos de importancia forense de 21 provincias del Ecuador: Coleóptera (siete familias relevantes: Cleridae, Dermestidae, Histeridae, Scarabaeidae, Silphidae, Staphylinidae, y Trogidae); Díptera (ocho familias relevantes: Calliphoridae, Fanniidae, Muscidae, Phoridae, Piophilidae, Sarcophagidae, Sepsidae, y Stratiomyidae); e Himenóptera principalmente miembros de la familia Formicidae. Dada la alta diversidad de fauna en el país, los esfuerzos de la región en el área de entomología forense están dirigidos aún a caracterizar la diversidad de entomofauna. Por ejemplo, en trabajos recientes realizados en la provincia del Guayas, Arbeláez y Narváez (2019) y Palomeque (2019) evaluaron la entomofauna relacionada a cadáveres de cobayos y su asociación con los estados de descomposición de la muestra en dípteros y coleópteros, respectivamente. Sin embargo, poco es conocido sobre la morfología y desarrollo de las larvas de estos grupos de especies en Ecuador. Estos organismos, en estadios tempranos del desarrollo tienen un papel relevante en la descomposición de organismos vivos, en especial de las partes blandas de cadáveres como músculos, piel y vísceras (Núñez y Liria, 2014).

En la actualidad, no existe una clave para la identificación de los estadios preimaginales de los dípteros que generalmente son hallados en los cadáveres en Ecuador, a pesar de que estos son en el grupo más influyente dentro de la entomofauna de sarcosaprófagos y son principalmente quienes colonizan un cuerpo en descomposición durante todas sus etapas (Lannacone, 2003).

La provincia del Guayas tiene una deficiencia en claves de desarrollo larval para la identificación de Dípteros relacionados a fauna cadavérica local. Es importante recalcar que las claves del Neotrópico, Europa y Norteamérica, son de utilidad, pero es necesario realizar una clave para cada zona geográfica debido a la diferencia de especies características de cada región. Además, en algunos casos para la identificación de los insectos en estadios preimaginales se requiere esperar a que el espécimen sea adulto para determinar su identificación. Por esto surge la necesidad de estudiar los estadios inmaduros de los dípteros, el orden de insecto más relevante en estudios forenses asociados a carroña. El conocer la ontogenia de los insectos presentes en cadáveres facilita identificar y describir cada uno de los cambios de estructuras y tiempo de desarrollo en función de cambios de

coloración y medidas morfométricas que caracterizan a las diferentes especies de entomofauna, y se facilita estimar con rapidez el tiempo de muerte.

Antecedentes

La evidencia de conocimiento ancestral sobre la biología de los dípteros y su relación con el hombre data desde el siglo XIII. En civilizaciones antiguas, las moscas aparecen como amuletos (Babilonia, Egipto), como deidades (Baalzebub, El Señor de las Moscas), y fueron consideradas plagas en la historia bíblica del Éxodo (Hau, 2015). Además, indicios sobre el conocimiento de la metamorfosis de las moscas ya era conocida en el antiguo Egipto. Por ejemplo, un papel encontrado en el interior de la boca de una momia contiene la siguiente inscripción: “Los gusanos no se volverán moscas dentro de ti” (Papiro Gized nº 18026: 4: 14) (Castner, 2008). En realidad, la mayoría de los insectos entomizados en los embalsamamientos por antiguas civilizaciones son los que ahora nos ayudan en la resolución de los casos de muerte, y son el objeto de estudio de la entomología forense (Greenberg, 2005).

La entomología forense, se remonta al año 1235 D.C. cuando el investigador chino Sung Tz'ú escribió un libro titulado “The Washing Away of Wrongs”, este fue traducido en 1981 por McKnight, de la Universidad de Michigan (USA). Se presume que ese texto muestra el primer caso de Entomología Médico-criminal reportado. En el mismo, el autor describe que, tras un asesinato por acuchillamiento, el líder político de una comunidad mandó llamar a los habitantes de su pueblo y les pidió colocar sus hoces en el suelo, notando que una de ellas se rodeó de moscas, debido posiblemente a que conservaba trazas de sangre ya descompuesta. Así, se determinó que su propietario había sido el responsable del crimen (Castner, 2008; Catts, 1992).

Durante muchos años se pensaba que al morir una persona las larvas aparecían en el cadáver por generación espontánea, o bien salían del propio cadáver. Estas creencias perduraron hasta que Francisco Redi, un naturalista del Renacimiento se propuso demostrar de una forma científica que estas larvas procedían de insectos, que depositaban sus huevos para que se desarrollasen sobre el cadáver (Hau, 2015). Para ello Redi, realizó el siguiente experimento: expuso al aire libre un gran número de cajas descubiertas y en cada una de ellas depositó un trozo de carne, unas veces cruda y otras cocida, para que las moscas atraídas por el olor vinieran a desovar sobre ellas. A las diversas carnes acudieron las moscas y desovaron ante la presencia de Redi, que observó cómo estos huevos depositados por los insectos se transformaban primero en larvas, después en pupas y por último vio cómo salían los individuos adultos (Hau, 2015). Pero como es lógico todo experimento tiene su contraprueba. Para ello, las mismas carnes se colocaron en cajas, pero esta vez cubiertas con una gasa, a fin de que también se produjese en ellas

la putrefacción, pero las moscas no tuviesen acceso a ellas. Redi vio que evidentemente las carnes se corrompían, pero que no aparecía sobre ellas ninguna larva. También observó que las hembras de las moscas intentaban introducir la extremidad del abdomen por las mallas tratando de hacer pasar a través de ésta sus huevos y que algunas moscas no depositaban huevos, sino larvas vivas, dos de las cuales pudieron introducirse a través del tejido (Hau, 2015).

En 1668, mediante el experimento que permitió refutar la hipótesis de la “Generación Espontánea de la vida”, Redi evidenció procesos de ovoposición (deposición de huevos y de larvas vivas) de cuatro tipos de moscas: Moscas azules (*Calliphora vomitoria*), moscas negras con franjas grises (*Sarcophaga carnaria*), moscas análogas a las de las casas (*Musca domestica*) o (*Curtonevra stabulans*), y moscas de color verde dorado (*Lucilia caesar*) (Hau, 2015). Estas especies corresponden a aquellas actualmente utilizadas en entomología forense.

Más tarde en 1855, Bergeret en París fue el primer occidental en utilizar los insectos como indicadores forenses. Reportó el caso del cuerpo de un bebé encontrado oculto en una casa, detrás de un manto de yeso. Se determinó que la asociación de insectos y el cuerpo puntualizaba el estado de descomposición (Jason & Castner, 2001). Casi treinta años más tarde, el Dr Brouardel, de la Facultad de Medicina de París, se puso en contacto con Pierre Mégnin (veterinario, experto entomólogo y parasitólogo) para estudiar en forma metódica la fauna cadavérica.

Mégnin es considerado el verdadero fundador de la entomología forense moderna. En 1887 publicó La Faune des Tombeaux (La Fauna de las Tumbas) y en 1894, La Faune des cadavres (La fauna de los cadáveres). Sus conclusiones siguieron aplicándose hasta inicios del siglo XX. En 1957, el australiano Bornemisza hizo por primera vez experimentos metódicos exponiendo cobayos muertos para estudiar la sucesión de insectos necrófagos. Sin embargo, los cuerpos pequeños obligan a extrapolar las inferencias respecto a humanos, ya que se secan más rápido que un cuerpo humano y representan menos recurso alimenticio para los insectos (Torres et al., 2006). El Dr Marcel Leclercq, de la Universidad de Lieja (Bélgica), publicó en 1978 el primer tratado sobre el tema para el siglo XX, “Entomologie et Médecine Légale: Datation de la Mort” (Entomología y Medicina legal: datación de la muerte). A raíz de estos avances, en las últimas décadas este campo específico de la entomología ha tenido un desarrollo muy importante (Torres et al., 2006).

Como resultado de estos esfuerzos, la Entomología Forense ha adquirido una gran importancia dentro del campo de la Medicina Legal en países como Estados Unidos, Canadá, Tailandia, Italia, España y Alemania, los cuales tienen en común su localización por encima de los 23° N de latitud. Estos trabajos han estado sujetos a las condiciones ambientales características

de zonas templadas, donde hay cuatro estaciones marcadas, estaciones anuales bien definidas, con especies y actividad artrópoda propias (Arnaldos et al., 2011).

Para mencionar otras regiones, los bosques tropicales de América Latina y el Caribe son considerados de alta importancia, tanto por su extensión geográfica como por su riqueza biológica y complejidad ecológica. De los diez países con los bosques tropicales más extensos, seis se encuentran en el Neotrópico, estos son: Brasil, Perú, Colombia, Bolivia, México y Venezuela, y abarcando casi la mitad de los bosques de esta categoría. Sin embargo, los trabajos referentes a la diversidad de dípteros asociados a entomología forense son limitados. El clima neotropical se caracteriza por presentar temperaturas predecibles y relativamente constantes entre una estación y otra. Por otro lado, los regímenes lluviosos son más variables y por consiguiente la diferencia entre las estaciones puede estar regida por la presencia de lluvias. A estas condiciones climáticas se agrega un paisaje caracterizado por altas montañas, páramos de altura, zonas húmedas, bosques, extensas planicies, desiertos, estepas y manglares. Es así como la combinación de climas y accidentes geográficos proporciona diferentes hábitats, por lo que el rasgo predominante de la región neotropical es su impresionante diversidad, tal vez la mayor de todos los continentes (Barreto et al., 2002).

Las claves completas realizadas sobre dípteros durante todo su ciclo de vida son de las zonas templadas, de Europa y Norte América (Yusseff, 2006). En las zonas tropicales existen claves completas de Colombia, Perú y Brasil (Yusseff, 2006), por lo que Ecuador en sus investigaciones utiliza las claves desarrolladas en estos países.

Es así que, desde los años cincuenta se realizan en todo el mundo trabajos con el fin de conocer la entomofauna cadavérica, mediante cebos y exponiendo los cadáveres a diferentes ambientes (Guamangallo & Ibijes, 2012). En América Latina, por ejemplo: Buenaventura et al. (2009) trabajó en la identificación de larvas en 16 géneros de Sarcophagidae. Además, Cano (2017) estudió el ciclo de vida de *Phaenicia eximia* en medios controlados. También, Florez & Wolff (2009) elaboró una clave dicotómica de 13 especies de Calliphoridae y describió sus estadios inmaduros.

Al referirnos al Ecuador, es conocido que alberga a una gran diversidad de insectos, pero es muy poco lo que se sabe de ellos (Barragán et al., 2009). Existe aún la necesidad de crear catálogos de la mayoría de los grupos de insectos y de otros invertebrados. Por otro lado, es muy poco lo que se conoce sobre la distribución, ecología y conducta de los pocos insectos conocidos (descritos formalmente y/o registrados formalmente en catálogos regionales) (Barragán et al., 2009).

También podemos citar a Guamangallo & Ibijes (2012) que evaluaron los factores relacionados con la sucesión de entomofauna cadavérica y los estado de descomposición en un biomodelo de cerdo blanco. Así también Aguirre (2014) presentó una lista de especies de interés forense las cuales podían servir como indicadores de intervalos post mortem, traslados, negligencias y uso de estupefacientes.

Los mencionados trabajos están enfocados en el estadio adultos, mas no larvales por lo que se tiene que seguir realizando estudios, para así obtener una clave completa con la identificación de larvas en función de su morfología.

Metodología

Área de estudio

Este trabajo se realizó en la Reserva Forestal Senderos Parque Samanes, ubicado en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador (Fig. 1). Esta es un área que abarca una extensión de 137 hectáreas, posee una formación vegetal de arbustal seco deciduo frecuentemente espinoso, con una vegetación de 4 a 6 m de alto y pocos árboles dispersos que pueden alcanzar entre 8 a 10 m (Josse et al., 2013). Al menos el 75% de las especies de árboles pierde sus hojas durante la estación seca. Esta formación anteriormente dominaba la planicie cálida de la costa, desde el nivel del mar hasta unos 700 m de altitud (Aguirre et al., 1986).

Trabajo de campo

Para realizar los muestreos se escogieron cuatro sitios dentro de la Reserva, durante el mes de septiembre de 2019 (Tabla 1). Se establecieron dos trampas pitfall por zona, los cuales fueron monitoreadas diariamente durante una semana. Se colocó un total de ocho trampas pitfall, utilizando como cebo 250 gr. de vísceras de pollo (Fig. 2).

Las trampas pitfall se ubicaron a 30 cm de profundidad en el suelo. Durante la primera semana se colocó cebo diariamente, debido a que el mismo fue removido por vertebrados carroñeros. A partir de la segunda semana, cada trampa fue cubierta con una malla de hierro para protección del cebo y se realizaron los huecos 15 cm más profundos, como se indica en la descripción grafica de uno de los sitios de muestreo (Fig. 2a). Las colectas de larvas se realizaron diariamente durante todo el proceso de descomposición de las vísceras, se recolectó los individuos que se encontraban dentro de las trampas sobre las vísceras de pollo. Las larvas fueron colectadas para su posterior mantenimiento en cautiverio.

Cada tarrina fue colocada dentro de una caja térmica (hielera) para su traslado, y fueron asignadas un código: S - Localidad Samanes, E_# - Número de Ensayo, S_# - Número de Sitio, T_# - Número de trampa, Día y Mes (Fig. 2b).

Posteriormente, las larvas fueron colocadas en una canasta con malla expuesta al ambiente durante 30 minutos (Fig. 3f). Pasado este tiempo, se contaron

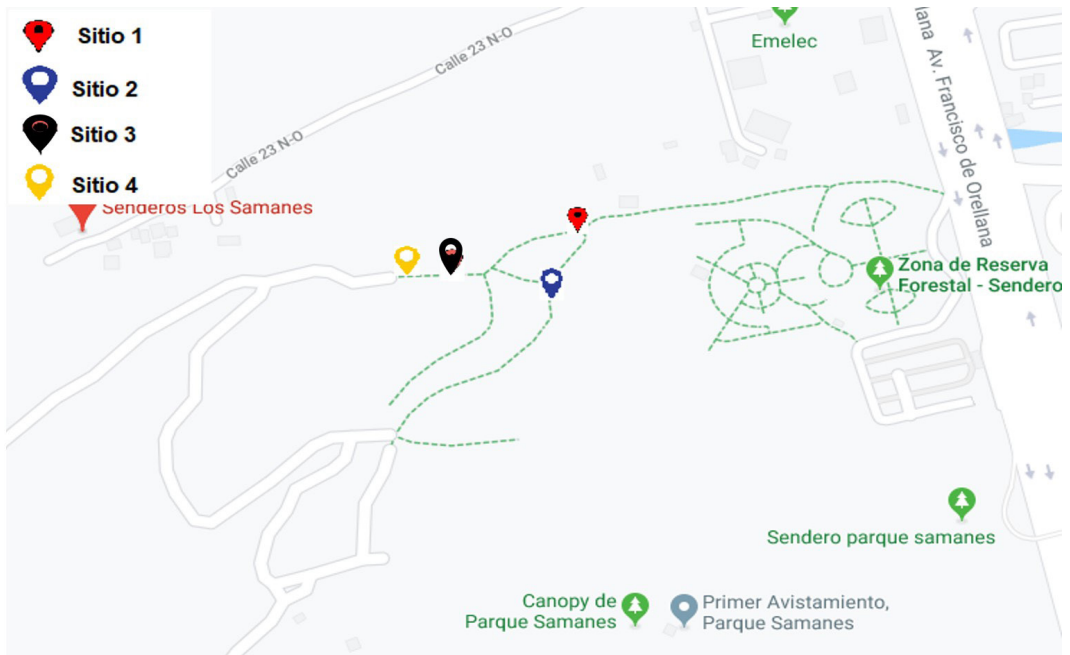


Figura 1. Área de muestreo. Se indican cuatro sitios de muestreo en la Reserva Forestal Senderos Parque Samanes.

Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo.

| Lugar | Coordenadas | Distancia del sendero | Descripción del Lugar |
|---------|----------------------------------|-----------------------|--|
| Sitio 1 | 2° 6' 9.45"S - 79° 54' 48.26"O | 8.69 m | Zona de tierra firme con vegetación herbácea, cerca del sendero peatonal |
| Sitio 2 | 2° 6' 11.254"S - 79° 54' 48.15"O | 15.82 m | Zona de tierra firme con vegetación herbácea, cerca de un canal de agua y de la ciclovia |
| Sitio 3 | 2° 6' 10.721"S - 79° 54' 50.86"O | 8.75 m | Zona de tierra firme con vegetación herbácea, cerca de la ciclovia |
| Sitio 4 | 2° 6' 10.73"S - 79° 54' 51.25"O | 10.50 m | Zona de tierra firme con vegetación herbácea, cerca de la ciclovia |

las larvas de cada una de las tarrinas (Fig. 3d) y se clasificaron en las posibles fases de desarrollo; se separaron dos a tres individuos de diferentes tamaños, los cuales fueron fijados y preservados. Para la preservación, las larvas fueron colocadas en agua caliente a 70 °C para que conserve su forma y fueron colocadas en etanol al 70% en tubos Eppendorf, siguiendo las recomendaciones de Núñez y Liria (2014). La preservación de larvas fue realizada cada cuatro horas tomando como base el grupo de larvas inicialmente colectado. Las larvas fueron mantenidas a una temperatura promedio de 25 ° y preservadas a una temperatura promedio de 28 °C.

Las larvas restantes fueron mantenidas y se permitió su desarrollo en las tarrinas. Para esto, el hígado fue cambiado cada cuatro horas y rociado con agua para mantener la humedad (Fig. 3d). Se realizó conteos diarios registrando la temperatura ambiental y observaciones generales. A partir del cuarto o quinto día las larvas fueron separadas de acuerdo con diferencias físicas, visiblemente significativas como la coloración y el tamaño. Al alcanzar el estadio de pupa, estas fueron trasladadas a tarrinas con un sustrato de aserrín (Álvarez 2016). De igual manera, se tomaron registros diarios para detectar cambios de coloración; adicionalmente se tomó la temperatura

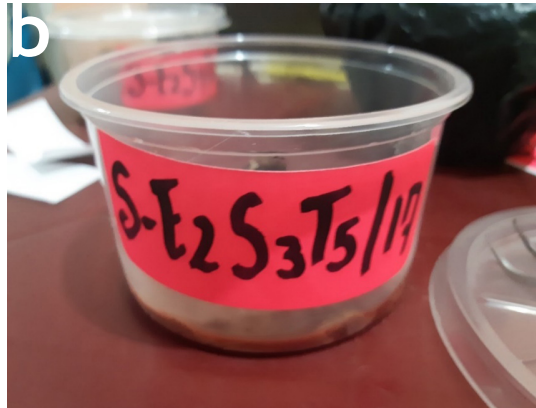


Figura 2. Descripción gráfica de uno de los sitios de muestreo: 2a) Trampa pitfall con su respectiva malla de protección; 2b) tarrina codificada de larvas recién llegada del campo.

del medio de mantenimiento y se contabilizó las horas que tardaron las larvas en alcanzar el estado adulto. Los adultos fueron sacrificados y montados para su posterior identificación.

Medición de larvas

Las larvas sacrificadas fueron fotografiadas en un microscopio estereoscópico Nikon, este instrumento cuenta con un zoom de 7.5x que incorpora el sistema óptico Greenough. El rango de zoom de 0.67x a 5x proporciona un amplio rango de observación (Nikon, 2018). Se midió el largo y ancho de cada larva con un calibrador 1 mm de uso comercial, tomando como referencia el punto más largo y más ancho de la larva. Posteriormente, se registró 19 medidas listadas en la Tabla 2.

Descripción general de referencia de estadios larvales

Los insectos holometábolos comprenden aquellos organismos que sufren una metamorfosis completa, indirecta; los cuales en el transcurso de su vida pasan por los estadios de huevo, larva, pupa y adulto (Schuster, 1989). El desarrollo larval corresponde al periodo comprendido entre el huevo y la pupa. Esta fase se caracteriza porque las formas larvales son similares entre sí a lo largo de los distintos estadios. Difieren considerablemente de los adultos en su forma y en su estructura, pues el aparato bucal y algunos apéndices cambian de forma y función. La pupa es un estadio de quietud, su movilidad es casi nula por el cual pasan las larvas para convertirse más tarde en adulto. La pupa no come, y durante este periodo se produce una serie de fenómenos de histólisis o histogénesis que dan lugar a un animal completamente diferente. El insecto adulto una vez completa su metamorfosis, emerge a través del extremo anterior de la envoltura o cápsula pupal. A este grupo pertenecen la mayoría de insectos del orden Coleóptera, Himenóptera, Díptera y Siphonaptera (Schuster, 1989). A continuación, se describe una clave para identificar los diferentes estadios de Dípteros, siguiendo las recomendaciones de Arnaldos et al. (2011).

Etapas larval de primer instar o "L1"; "larva de primer estadio"

Dura aproximadamente 25 horas desde de la eclosión del huevo, aún no cuenta con los espiráculos anteriores, los espiráculos posteriores solo tienen dos aberturas, las glándulas salivales son muy pequeñas y los ganchos bucales pueden tener un solo diente.

Etapas larval de segundo instar o "L2"; "larva de segundo estadio"

Dura aproximadamente 23 horas después del primer instar larval, los espiráculos aún no se abren al exterior, pero si están presentes los espiráculos posteriores poseen las tres aberturas, las glándulas salivales están extendidas hasta el primer segmento abdominal y los ganchos bucales poseen dos o tres dientes.

Etapas larval del tercer instar o "L3"

Dura aproximadamente 48 horas después del segundo instar larval, las larvas dejan de alimentarse y algunas pierden su movilidad. Los espiráculos anteriores ya están abiertos al exterior, los espiráculos posteriores poseen tres aberturas cada uno, las glándulas salivales están extendidas hasta el segundo segmento abdominal y los ganchos bucales poseen entre 9 y 12 dientes. Termina en la formación de la pupa. Se identificó dos etapas.



Figura 3. Diagrama del procedimiento seguido para el mantenimiento de larvas.

Tabla 2. Estructuras de las larvas y pupas medidas con fines comparativos. Se lista la fuente bibliográfica que sugiere la utilización de las mencionadas estructuras para diferenciación taxonómica.

| ESTRUCTURA LARVAL | | DESCRIPCION | FUENTE |
|-------------------------|-----------------------------------|---|------------------------|
| Tórax | Espiráculo anterior | Longitud y número de abertura respiratoria ubicada en el tórax (mm) | (López, 2017) |
| Tórax | Branquias del Espiráculo anterior | Longitud y número de estructura membranosa ubicada en el espiráculo anterior (mm) | (Florez & Wolff, 2009) |
| Zonal anal | Tubérculo dorsal medio | Longitud de la pequeña elevación ubicada en la zona anal (mm) | (Trigo, 2006) |
| Zonal anal | Tubérculo dorsal externo | Longitud de la pequeña elevación ubicada en la zona anal (mm) | (Trigo, 2006) |
| Zonal anal | Tubérculo ventral interno | Longitud de la pequeña elevación ubicada en la zona anal (mm) | (Trigo, 2006) |
| Zonal anal | Tubérculo ventral medio | Longitud de la pequeña elevación ubicada en la zona anal (mm) | (Trigo, 2006) |
| Zonal anal | Tubérculo ventral externo | Longitud de la pequeña elevación ubicada en la zona anal (mm) | (Trigo, 2006) |
| Zona espiracular | Espiráculo posterior | Longitud y número de abertura respiratoria ubicada en la zona espiracular (mm) | (Florez & Wolff, 2009) |
| Zona espiracular | Banda de espinas | Longitud de la banda ubicada dentro de la zona anal (mm) | (López, 2017) |
| ESTRUCTURA LARVAL | | DESCRIPCIÓN | FUENTE |
| Zona espiracular | Peritrema | Longitud del esclerito ubicado en la zona espiracular (mm) | (López, 2017) |
| Zona espiracular | Hendidura respiratoria | Longitud del segmento ubicado dentro del peritrema (mm) | (López, 2017) |
| Zona espiracular | Hendidura no funcional | Longitud del segmento ubicado junto a la hendidura respiratoria (mm) | (López, 2017) |
| Zona espiracular | Penacho pelos peristigmáticos | Número de pelos ubicado en los espiráculos (mm) | (López, 2017) |
| Zona espiracular | Botón o cicatriz eodisial | Longitud del segmento ubicado dentro del peritrema (mm) | (López, 2017) |
| ESTRUCTURA DEL PUPARIO | | DESCRIPCIÓN | FUENTE |
| Espiráculo anterior | | Longitud y número de abertura respiratoria ubicada en el tórax (mm) | (López, 2017) |
| Pseudocefalón colapsado | | Longitud de la cápsula cefálica atrofiada (mm) | (López, 2017) |
| Bandas espinosas | | Longitud y número de cada segmento del pupario (mm) | (López, 2017) |
| Segmentos del pupario | | Longitud y número de cada segmento del pupario (mm) | (López, 2017) |
| Cuerno respiratorio | | Número y ubicación del cuerno respiratorio (mm) | (López, 2017) |

Etapa larval temprana del tercer instar

Dura aproximadamente 24 horas desde el inicio del tercer instar larval, las larvas ya no se alimentan y pierden su movilidad. La larva empieza a cambiar su coloración, tiende a ser más oscura.

Etapa larval tardía del tercer instar

Larva del tercer estadio temprano en esta etapa es visible la formación de la cápsula pupal desde la zona anal.

Etapa Pupa

Esta etapa comienza en la formación de la pupa y finaliza cuando se rompe la armadura oral de la pupa y emerge el saco imaginal de la cabeza. Este proceso dura entre 120 a 170 horas.

Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos durante el muestreo se utilizó estadística descriptiva para calcular el promedio y la desviación estándar del tiempo de duración de estados de descomposición y de estadios larvales y pupas.

Se realizó la Prueba de Levene para observar si los datos son homogéneos y se exploró normalidad de los datos. Dado que los datos no están normalmente distribuidos, se realizó una transformación a Logaritmo en base 10 previo a la ejecución de análisis estadísticos.

Se llevó a cabo un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos niveles para ver la diferencia en tiempo de duración de estadios entre las familias identificadas; se realizó la Prueba de Tuckey para comparar los valores de la media.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA), con 14 medidas morfométricas para visualizar la similitud morfológica entre estadios y familias. Se llevó a cabo un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos niveles para comparar la morfometría entre las larvas de las familias identificadas entre estadios y se utilizó tres variables que más contribuyen en la solución del PCA (cápsula cefálica, espiráculo anterior y branquias del espiráculo anterior).

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con la ayuda del Programa IBM SPSS Statistics 25 (2017).

Resultados

Descripción de las familias encontradas

Se encontraron individuos que pertenecen a tres familias: Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae. A continuación se presenta una descripción morfológica de estas familias, esta coincide con las descripciones propuestas por: Vockeroth (1972), Greenberg y Szyska (1984), Shewell (1987), Carvalho (1997) y Zumbado (2006).

Calliphoridae

Las larvas son vermiformes, con 0.3-1.9 mm de longitud y 0.05-0.5 mm de ancho, sin cápsula cefálica

visible, con el extremo anterior subcónico; el extremo posterior es contraído y tiene forma semi-circular, alrededor tiene seis pares de tubérculos posteriores. Durante el tercer estadio larval en cada segmento hay una banda de espinas cuticulares, la cual se prolonga desde el tórax hasta la zona espiracular, formando una banda completa o incompleta. Los adultos son de tamaño mediano, 8-10 mm de longitud. La coloración varía entre verde o azul metálico (Zumbado, 2006).

Sarcophagidae

Las larvas son grandes, tienen 0.4 a 2.4 mm de longitud y 0.1 a 1 mm de ancho, son vermiformes con una coloración crema amarillento. En el primer instar larval la cápsula cefálica es semi-visible, el extremo posterior es contraído y tiene forma semi-circular, alrededor tiene seis pares de tubérculos posteriores. Durante el tercer estadio larval en cada segmento hay una banda de espinas cuticulares, la cual se prolonga desde el tórax hasta la zona espiracular, formando una banda completa o incompleta. Los adultos son de tamaño grande, 11-16 mm de longitud. La coloración es gris pardo con tres bandas negras con fondo gris en el tórax.

Muscidae

Las larvas son pequeñas tienen 0.2 a 1 mm de longitud y 0.02 a 1 mm de ancho, son vermiformes con una coloración rosada. En el primer instar larval la cápsula cefálica no es visible, el extremo posterior es contraído y tiene forma semi-circular, alrededor tiene seis pares de tubérculos posteriores. Durante el tercer estadio larval en cada segmento hay una banda de espinas cuticulares, la cual se prolonga desde el tórax hasta la zona espiracular, formando una banda completa. Los adultos pueden ser pequeñas o medianas, 5-7 mm de longitud. La coloración es gris o negra con tres bandas negras con fondo gris en el tórax.

Descripción de número de muestras y familias

Se encontró un total de 240 individuos. Se preservaron individuos en diferentes estados de descomposición de las vísceras: Estado fresco, período cromático y período enfisematoso (Tabla 3, Fig. 4). La categoría de cebo nuevo fue cambiada diariamente y se lo consideró de esa manera debido a que en las primeras semanas la fauna del lugar removió el cebo.

El cebo en estado fresco duró las primeras 26 horas colocadas en la trampa, no se percibía mal olor y la temperatura fue menor a la ambiental ($T^{\circ}_{\text{ambiental}} = 24^{\circ}\text{C}$, $T^{\circ}_{\text{muestra}} = 22^{\circ}\text{C}$) (Fig. 4a). Se pudo observar que la mayor cantidad de individuos pertenecientes a la familia Calliphoridae y Sarcophagidae llegaron en este estado fresco (Tabla 3).

El período cromático inició entre 24 - 48 horas desde la puesta del cebo, se comienza a percibir mal olor, la temperatura es menor a la ambiental ($T^{\circ}_{\text{ambiental}} = 26^{\circ}\text{C}$, $T^{\circ}_{\text{muestra}} = 21^{\circ}\text{C}$), tiene una apariencia acartonada, se visualiza la coloración rosado-grisáceo con flictenas, que son ampollas que se forman en la

Tabla 3. Número de individuos colectados de las familias Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae, en los diferentes estados de descomposición.

| Estados de descomposición | Calliphoridae | Muscidae | Sarcophagidae | Total general |
|---------------------------|---------------|----------|---------------|---------------|
| Nuevo Cebo | 13 | | | 13 |
| Estado fresco | 56 | 2 | 63 | 128 |
| Periodo cromático | 17 | | 15 | 34 |
| Periodo enfisematoso | 35 | 7 | 22 | 65 |
| Total general | 121 | 9 | 100 | 240 |



Figura 4. Aspecto físico del estado de descomposición de las vísceras de pollo a) Estado fresco, b) período cromático, c) período enfisematoso.

superficie y se empieza a percibir un mal olor (Fig. 4b). Dentro de este período las familias Calliphoridae y Sarcophagidae fueron encontradas en mayor cantidad (Tabla 3).

El período enfisematoso inició entre 48 - 96 horas desde la puesta del cebo, se empezó a apreciar el hinchamiento de las vísceras, el mal olor a putrefacción es muy fuerte originado por la emanación de gases, la temperatura es menor a la ambiental ($T^{\circ}_{\text{ambiental}} = 26^{\circ}\text{C}$, $T^{\circ}_{\text{muestra}} = 21^{\circ}\text{C}$), tiene una apariencia acartonada y su coloración es grisáceo-morada (Fig. 4c). Durante este período la familia Muscidae fue la menos frecuente (Tabla 3). La familia Calliphoridae fue el grupo más abundante en comparación a Sarcophagidae y Muscidae con un total de 121 individuos (Tabla 3).

Descripción morfológica de estadios larvales

El PCA (Fig. 5) permite visualizar la separación de los grupos Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae. La separación morfológica entre las familias Calliphoridae y Sarcophagidae se debe a que las larvas de Muscidae son más pequeñas que las de Calliphoridae y Sarcophagidae que son las más grandes. En el estadio L2 Sarcophagidae tiene mayor tamaño que Calliphoridae. Todos los estadios de Muscidae están agrupados porque esta familia solo tiene tres estadios, con medidas similares, a diferencia de las otras dos familias que tienen cinco estadios antes de llegar a pupa, y en comparación a las otras estas larvas son las más pequeñas.

Tabla 4. Tamaño de las pupas de Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae. Se reporta la media y la desviación estándar de cada medida.

| Familias | N° | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Volumen de pupa (mm ³) |
|----------------------|------------|------------------|------------------|------------------------------------|
| Calliphoridae | 43 | 0.76±0.11 | 0.27±0.082 | 0.034±0.054 |
| Muscidae | 59 | 0.54±0.061 | 0.22±0.12 | 0.016±0.028 |
| Sarcophagidae | 39 | 1.130±0.15 | 0.42±0.090 | 0.027±0.050 |
| Total general | 141 | 0.77±0.26 | 0.29±0.13 | 0.024±0.044 |

Tabla 5. Se indica la media y la desviación estándar de todas las medidas.

| | CC (mm) | T_EA (mm) | T_BEА (mm) | ZA_TDI (mm) | ZA_TDM (mm) | ZA_TDE (mm) | ZA_TVI (mm) |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| L1 | | | | | | | |
| Calliphoridae | 0.27±0.068 | | | | | | |
| Muscidae | 0.055±0.063 | | | | | | |
| Sarcophagidae | 0.19±0.087 | | | | | | |
| L2 | | | | | | | |
| Calliphoridae | 0.37±0.063 | 0.12±0.025 | 0.024±0.0051 | | | | |
| Muscidae | 0.075±0.0070 | | | | | | |
| Sarcophagidae | 0.64±0.35 | 0.92±0.20 | 0.36±0.20 | 1.18±0.26 | 1.18±0.26 | 1.18±0.26 | 1.18±0.26 |
| L3 | | | | | | | |
| Calliphoridae | 2.18±0.24 | 1.26±0.25 | 0.045±0.0050 | 0.02±0 | 0.02±0 | 0.02±0 | 0.02±0 |
| Muscidae | 0.054±0.0054 | | | | | | |
| Sarcophagidae | 3.38±0.49 | 1.38±0.49 | 0.51±0.031 | 0.58±0.56 | 0.58±0.56 | 0.58±0.56 | 0.58±0.56 |
| L3ta | | | | | | | |
| Calliphoridae | 2±0 | 1.5±0 | 0.05±0 | 0.02±0 | 0.02±0 | 0.02±0 | 0.02±0 |
| Sarcophagidae | 4±0 | 2±0 | 0.6±0 | 1.5±0 | 1.5±0 | 1.5±0 | 1.5±0 |
| L3te | | | | | | | |
| Calliphoridae | 2±0 | 1.5±0 | 0.05±0 | 0.02±0 | 0.02±0 | 0.02±0 | 0.02±0 |
| Sarcophagidae | 4±0 | 2±0 | 0.6±0 | 1.5±0 | 1.5±0 | 1.5±0 | 1.5±0 |
| Total general | 1.63±1.35 | 1.23±0.54 | 0.25±0.23 | 0.53 ± 0.61 | 0.53±0.61 | 0.53±0.61 | 0.53±0.61 |

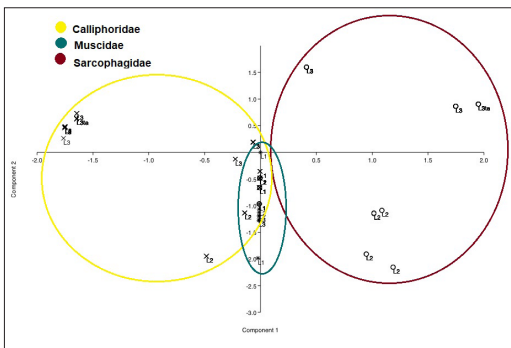


Figura 5. PCA de las variables morfométricas de las familias Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae.

Las variables que más contribuyen a la diferenciación fueron CC: Cápsula cefálica (50.07%), T_EA: Espiráculo anterior (41.32%) y T_BEА: Branquias del espiráculo anterior (8.38%), estas variables se usaron para comparar estadios y familias. Existe una fuerte correlación entre las variables morfométricas CC, T_EA, T_BEА y ZA_TDI.

Se encontró una diferencia altamente significativa del tamaño de las larvas entre las familias y entre estadios ($F_{(2,4)} = 37.022$, $p < 0,001$, $N = 225$). Eso se

debe a que Calliphoridae es más grande que Muscidae en el primer estadio larval (Fig. 5). Durante el segundo instar larval las familias Calliphoridae y Sarcophagidae tienen un tamaño poco parecido, a diferencia de la familia Muscidae que difiere en tamaño debido a que es más pequeña (Tabla 5). En el tercer instar larval se observa que Sarcophagidae es de mayor tamaño a comparación de Calliphoridae y Muscidae, pero durante el tercer instar larval temprano y el tercer instar larval tardío Sarcophagidae tienen diferencia en tamaño con Calliphoridae, a diferencia con Muscidae que no cuenta con estos estadios (Tabla 5). Durante el estadio pupa podemos observar que Sarcophagidae cuenta con el mayor tamaño a diferencia de Muscidae que son las más pequeñas después de Calliphoridae (Tabla 4).

Tiempos de desarrollo

Se encontraron diferencias significativas en los tiempos de desarrollo larval entre estadios y entre las familias ($F_{(2,5)} = 4.14$, $p < 0,001$, $N = 340$). Esto se debe a que en el primer estadio larval Muscidae tiene menor tiempo de desarrollo en comparación a individuos de Calliphoridae y Sarcophagidae (Tabla 6, Fig. 6). En el segundo estadio larval Sarcophagidae muestra mayor tiempo de desarrollo que Calliphoridae

Tabla 6. Tiempo promedio y desviación estándar entre los estadios larvales de las familias registradas: Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae.

| Familias | Estadios larvales | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | L1 | L2 | L3 | L3ta | L3te |
| Calliphoridae | 20.54±15.46 | 42.24±54.77 | 51.33±50.07 | 18.25±18.45 | 44.41±26.51 |
| Muscidae | 9.07±5.55 | 8.65±11.69 | 21.54±11.69 | | |
| Sarcophagidae | 22.81±16.93 | 45.86±32.18 | 60.73±39.04 | 53.2±0 | 57.24±20.55 |
| Total general | 20.64±15.90 | 41.88±45.03 | 53.90±45.26 | 35.72±22.81 | 51.53±22.81 |

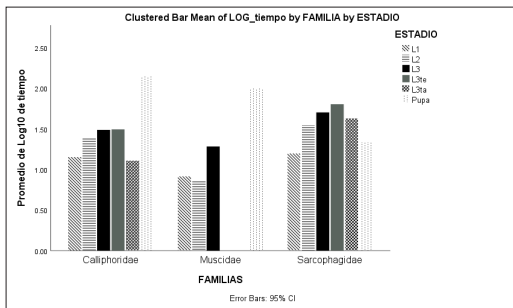


Figura 6. Diagrama de comparación del tiempo de desarrollo de los diferentes estadios larvales de las tres familias registradas: Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae.

y Muscidae tiene el menor tiempo de desarrollo (Tabla 6, Fig. 6).

Durante el tercer estadio larval Calliphoridae y Muscidae no son similares en el tiempo de desarrollo larval en comparación con Sarcophagidae que tiene un mayor tiempo de desarrollo larval (Tabla 6, Fig. 6). Este estadio, es el último para Muscidae antes de llegar a pupa.

En el tercer estadio larval temprano de Calliphoridae tiene el menor tiempo de desarrollo en comparación con Sarcophagidae (Tabla 6, Fig. 6). En el tercer estadio larval tardío Sarcophagidae exhibe el mayor tiempo de desarrollo a diferencia de Calliphoridae (Tabla 6, Fig. 6). En el estadio final de pupas, Calliphoridae tiene un mayor tiempo de desarrollo, seguido por Muscidae, y por Sarcophagidae que tiene un menor tiempo de desarrollo (Tabla 6, Fig. 6).

Discusión

Este es el primer estudio que brinda información sobre la morfometría, tiempo de desarrollo y la sucesión de entomofauna cadavérica en vísceras de pollo, el cual permite inventario rápido de insectos de relevancia forense. Además, es uno de los primeros estudios en la provincia del Guayas que ofrece información sobre el ciclo de vida de estas tres familias de dípteros: Calliphoridae, Sarcophagidae y Muscidae.

Según Yusseff (2003) las moscas son consideradas como relojes biológicos bastante precisos, debido a que son las primeras en llegar a un cadáver. Además, su ciclo de vida permite determinar el IPM, si se considera el tiempo que tardan en pasar de un estado a otro, lo que las hace objeto de estudio en entomología forense. Durante el período de muestreo, la colonización de las vísceras de pollo por parte de la fauna sarcosaprófaga fue inmediata, inició desde el primer momento en el que cebo fue colocado en las trampas. Hall (1948) considera que las especies de dípteros más importantes en la comunidad sarcosaprófaga son los Calliphoridae. En ese estudio los primeros en colonizar fueron los Califóridos, seguido de Múscidos y Sarcófágidos. Esto se confirma también en el trabajo que realizado por Torres et al. (2006), donde concluyó que los Califóridos son los primeros en colonizar, debido a que perciben las sustancias químicas que emane el cadáver antes o después que haya iniciado su proceso de descomposición.

Además, es importante recalcar que durante este estudio la familia más frecuente fue Calliphoridae, este resultado concuerda con el obtenido por Amat et al. (2013); pero el resultado de esta investigación y la de Amat difieren con lo presentado por Camacho (2005), donde Muscidae resultó ser la familia más abundante. En relación con los estados de descomposición de las vísceras y la sucesión cadavérica, en esta investigación las larvas de Muscidae llegaron en el período enfisematoso que es el estado de descomposición más elevado obtenido en este trabajo. Estos resultados son similares a los obtenidos en el trabajo realizado por Ramírez (2012), donde esta familia llegó en el estado de putrefacción activa. Cabe recalcar que fue la familia menos frecuente, lo que es un resultado diferente al obtenido por Amat et al. (2013); en su investigación esta familia fue la segunda más frecuente.

La familia Sarcophagidae, en este trabajo, fue la segunda familia más abundante, estos resultados son diferentes a los obtenidos por Núñez y Liria (2014), quienes sugieren que esta familia es la más abundante. Por otro lado, Begoña (2015) concluyó que Sarcophagidae estaba presente en todos sus estados

de descomposición, resultado que concuerda con el presente trabajo.

López (2017) no solo en el establecimiento del intervalo postmortem (IPM) realizó una investigación en Micromorfología en larvas de Calliphoridae; durante su estudio concluyó que las medidas más características en su desarrollo son las medidas de la cápsula cefálica, los espiráculos anteriores, espiráculos posteriores y del esqueleto cefalofaríngeo. En este trabajo, las cuatro variables explican mayormente la diferencia entre familia y estadios y fueron: cápsula cefálica, espiráculos anteriores, espiráculos posteriores y los tubérculos dorsales interno. Tres de ellas reportadas en los estadios mencionados. Los tubérculos dorsales internos son importantes y se pueden considerar estructuras de identificación, ya que en algunas especies varía la cantidad y la longitud del mismo. Trigo (2006) describió el segundo y tercer instar larval de una especie de Calliphoridae, donde sus medidas promedio fueron L2: 7.5-8.0 mm; y en L3: 8.0-12.0 mm, teniendo este estadio un mayor tamaño; estos datos son similares a los obtenidos en el presente trabajo, donde se observó que las medidas promedio de L3 son mayores (9.0-19.0 mm).

Para Muscidae, Pujol y Pujol (2001) realizó una descripción del último instar larval donde las medidas tenían un promedio de L3: 10.0-13.0 mm, estas medidas son diferentes a los obtenidos en la presente investigación, donde la medida máxima registrada fue de L3: 8.0 mm, esta diferencia puede deberse a la disímil composición de especies en los distintos ecosistemas en Brasil.

Respecto a tiempos de descomposición, Defilippo et al. (2016) realizó su trabajo en el Norte Italia y lo realizó en cinco cebos diferentes (perro, emú, cabra, oveja, y cerdo doméstico). El objetivo del trabajo fue determinar el tiempo de muerte partiendo de las larvas de Calliphoridae encontradas en el segundo instar larva; explica que el desarrollo larval está influenciado por variables ambientales como las temperaturas bajas, y alta humedad relativa, los cuales estimulan el crecimiento y acelera el tiempo de desarrollo para la salida del adulto (27 días). El autor comparó su trabajo con el de Lord y Pujol (2016), quien obtuvo larvas de similar tamaño en tiempos similares (31 días), con una temperatura promedio de 27.8°C. Estos trabajos difieren a los resultados aquí obtenidos, debido a que las larvas de Calliphoridae tuvieron tiempos menores de desarrollo. Desde el segundo instar larval hasta llegar a adulto, estas larvas tenían un tamaño más pequeño a los registrados por los autores con una temperatura promedio de 28°C, y con un menor tiempo de desarrollo de 14 días. De la totalidad de los especímenes estudiados el 10% presentó un arrugado en la cutícula, posiblemente producido por la combinación de las técnicas empleadas para la preservación; sin embargo, fue posible el estudio correcto de la morfología de las larvas. Los especímenes fueron fijados siguiendo la metodología de Núñez y Liria (2014) y se visualizó

en su mayoría un buen estado de conservación que permitió realizar las medidas morfológicas, aunque algunos autores indicaron que la metodología de conservación elaborado por Szpila et al. (2015) The Author(s) es la más adecuada para la preservación de larvas, debido a que usa etanol y desecación al aire con tratamiento previo de HDMS; con el método aquí empleado todos los especímenes estaban en buen estado.

En resumen, los resultados de este trabajo proveen información relevante sobre la descripción morfología, tiempo de desarrollo de los estadios larvales y pupa de tres familias de dípteros de importancia forense de la provincia del Guayas. Esta información facilita el poder estimar el intervalo post-mortem en muestras obtenidas de cuerpos en descomposición. Lo importante de este trabajo es que, al ser pionero, deja las puertas abiertas para posteriores investigaciones, por lo tanto, es posible realizar una clave completa de todos los cambios morfológicos de los instar larvales de los insectos asociados a descomposición en la provincia del Guayas.

Conclusiones

Este trabajo es el primer estudio sobre el desarrollo larval de tres familias de Dípteros en la Provincia del Guayas.

El proceso de descomposición de vísceras de pollo presentó tres estados: fresco, cromático, y enfisematoso, dentro de las cuales las familias Calliphoridae, Sarcophagidae, y Muscidae estuvieron presentes, considerándose como indicadores de la sucesión cadavérica en los diferentes periodos de descomposición.

Se registró un total de 240 individuos de dípteros. La familia que presentó mayor dominio en el proceso de descomposición fue Calliphoridae con 121 larvas, seguido de Muscidae con 9 larvas y Sarcophagidae con 100 larvas.

Calliphoridae es la familia más abundante, fue la primera en colonizar el ceco; se registró su desarrollo larval completo hasta pupa siendo este el tiempo más largo de las tres familias registradas.

Sarcophagidae fue la segunda familia en colonizar el ceco; se registraron seis estadios larvales, siendo esta la que presentó el mayor tiempo de desarrollo larval. Sin embargo, las pupas tuvieron menor tiempo de desarrollo en comparación a Calliphoridae.

La morfometría de las larvas es relevante en estudios de entomología forense. Morfométricamente, Sarcophagidae es la larva de mayor tamaño, seguido por Calliphoridae y Muscidae.

Las moscas de Muscidae fueron las terceras larvas en colonizar el ceco; en medidas morfométricas estas son las más pequeñas de las tres familias y presentan

sólo cuatro estadios larvales que además son los más cortos.

Calliphoridae tiene casi el mismo tiempo de desarrollo larval que Sarcophagidae que tiene el mayor tiempo. Durante la etapa de pupa Calliphoridae necesita más tiempo para su desarrollo.

Recomendaciones

- Realizar la identificación a nivel de especie de los adultos obtenidos en el desarrollo larval, debido que en este trabajo solo se identificó hasta familia.
- Se puede realizar el mismo estudio en diferentes zonas del país en época seca y época lluviosa, para identificar y ver la variación de la composición de especies.
- Se debe estudiar a profundidad a la familia Sarcophagidae, debido a que no se cuenta con una clave completa de sus estadios larvales.
- Es necesario que para todas las especies de dípteros se estudie el esqueleto cefalofaríngeo, para la identificación de las mismas, porque su tamaño y estructuras varían entre los estadios larvales de los diferentes grupos taxonómicos.
- Se recomienda determinar el IPM de distintos biomodelos que no han sido utilizados, en esta investigación, teniendo en consideración las condiciones climáticas, tipo de vegetación, temperatura, humedad relativa dado que estos factores alteran el tiempo de desarrollo larval
- Se sugiere usar biomodelos que contengan algún tóxico en su cuerpo debido a que se considera importante el análisis toxicológico de las larvas obtenidas para determinar si el desarrollo larval tiene alguna alteración.

Bibliografía

- Aguirre, Z., Kvist, L.P., y Sánchez T., O. 2006. Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 2006: 162-187.
- Alvarez García, D. 2016. *Diversidad de Calliphoridae (Diptera: Calyptratae) y tabla de vida de Cochliomyia macellaria (Fabricius, 1755) en el área urbana del Municipio de Sincelejo* (Tesis de maestría). Universidad de Sucre, Sucre, Colombia.
- Amat, E., Ramírez-Mora, M., Buenaventura, E. y Gómez-Piñerez, L. 2013. Variación temporal de la abundancia en familias de moscas carroñeras (Diptera, Calyptratae) en un valle andino antropizado de Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 29: 463-472.
- Arbeláez, J., y Narváez, A.E. 2019. Lista preliminar de dípteros de importancia forense en Guayaquil. *Ciencia*

- Digital*, 3(1.1): 108-117.
- Arnaldos, M.I., García, M.D., y Presa, J.J. 2011. *Sucesión faunística sarcosaprófaga* (Tesis de maestría). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Begoña Gaminde, I. 2015. *Sucesión de la entomofauna cadavérica en un medio montañoso del Sureste de la Península Ibérica* (Tesis de doctorado). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Camacho, G. 2005. Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. *Revista Colombiana de Entomología*, 31: 189-197.
- Carvalho, C. 1997. *Las Familias de insectos de Costa Rica*. INBio, 36.
- Defilippo, F., Rubini, S., Dottori, M., y Bonilauri, P. 2016. The use of forensic entomology in legal veterinary medicine: A case study in the north of Italy. *Journal of Forensic Science & Criminology*, 4: 4-8.
- Florez, E., y Wolff, M. 2009. Descripción y clave de los estadios inmaduros de las principales especies de Calliphoridae (Diptera) de importancia forense en Colombia. *Neotropical Entomology*, 38: 418-429.
- Greenberg, B., y Szyska, M.L. 1984. Immature stages and biology of fifteen species of Peruvian Calliphoridae (Diptera). *Annals of the Entomological Society of America*, 77: 458-517.
- Guamangallo, M., y Ibijes, W. 2012. *Tanatocronodiagnóstico en Quito y el Valle de Tumbaco de acuerdo a la fase evolutiva de la entomofauna en cerdos Sus scrofa en el periodo julio-agosto del 2011* (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Hall, D. 1948. The blowflies of North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 477: 689-725.
- Hau Camoretti, J. 2015. *Biología Forense* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Houck, M.M. 2006. Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques. *Journal of Forensic Sciences*, 51: 205-205.
- Lannacone, J. 2003. Artrópoda de importancia forense en un cerdo cadáver en el Callao, Perú. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20: 85-90.
- Josse, C., Miguel, C., Iglesias, J., y Santiana, J. 2013. Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *Ministerio de Ambiente del Ecuador 2012*.
- López Esclapez, R. 2017. *Micromorfología comparada de estadios inmaduros de Calliphoridae (Insecta: Diptera) de interés forense* (Tesis de doctorado). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Lord, W. y Pujol Luz, J. 2016. The black soldier fly Calliphoridae as a potential measure of human postmortem interval: observations and case histories. *Journal of Forensic Sciences*, 39: 215-222.
- Mavárez-Cardozo, M., Espina de Ferreira, A., Barrios-Ferrer, F., y Ferreira-Paz, J. 2005. La Entomología Forense y el Neotrópico. *Entomology*, 11: 23-33.
- Nikon. 2018. Microscopio estéreo tipo Greenough SMZ745/745T. *Nikon Instruments*, 12.
- Núñez Rodríguez, J., y Liria Salazar, J. 2014. Sucesión de la entomofauna cadavérica a partir de un biomodelo con vísceras de res. *Salus*, 18: 35-39.
- Peceros Peláez, F. 2011. *Sucesión entomológica asociada a procesos de descomposición de carcasas de cerdo (Sus scrofa L., 1758) en la provincia de Huarochirí* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Pujol Luz, J., y Pujol Luz, C. 2001. Descrição do Último Instar Larval e do Pupário de Calliphoridae. *Neotropical Entomology*, 30: 587-591.
- Salazar, F., y Donoso, D. 2015. Catálogo de insectos con valor forense en el Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 36: 49-59.

- Schuster, J. 1989. Claves para identificar insectos inmaduros Holometabolos. *Manejo Integrado de Plagas*, 11: 61-74.
- Shewell, G. 1987. Manual of Nearctic Díptera. *Research Branch, Agriculture Canada*, 28, 1332.
- Szpila, K., Richet, R., y Pape, T. 2015. Third instar larvae of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) of forensic importance—critical review of characters and key for European species. *Parasitology Research*, 114: 2279-2289.
- Torres, J., Zimman, S., Rinaldi, C., y Cohen, R. 2006. Entomología Forense. *Revista Del Hospital J. M. Ramos Mejía*, 11: 22.
- Trigo, V. 2006. Descripción de las larvas II, III y el pupario de *Compsomyiops fulvicrura* (Diptera: Calliphoridae). *Revista de La Sociedad Entomológica Argentina*, 65: 87-99.
- Vockeroth, J. 1972. Un nuevo género Neártico de Mycetophilidae (Diptera) con una hembra estenoptera, *Entomology*, 104: 12-15.
- Yusseff Vanegas, S., y Daza Montoya, M. 2003. *Caracterización de la entomofauna asociada a la descomposición cadavérica empleando como biomodelo cerdo (Sus scrofa) en el municipio de tunja* (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, Colombia.
- Zumbado, M.A. 2006. *Dípteros de Costa Rica y América Tropical*. Instituto Nacional de Biodiversidad. Santo Domingo, Costa Rica, 267 p.

Determinación de cadmio en suelos agrícolas del cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, Ecuador

Determination of cadmium in agricultural soils of Pallatanga canton,
province of Chimborazo, Ecuador

Julio César Pilco Yungan^{1*} & David Eloy García Asencio²

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

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

Recibido de abril 2020; recibido en forma revisada 26 de mayo 2020, aceptado 1 de junio 2020
Disponible en línea 26 de junio 2020

Resumen

Esta investigación tuvo la finalidad de determinar la presencia de cadmio en suelos agrícolas, para lo cual se seleccionaron 6 estaciones de muestreo en dos sistemas de cultivo que se encontraron ubicados en tres pisos altitudinales. Aplicando el método de espectrofotometría de absorción atómica a llama se realizó la cuantificación de cadmio, y para la caracterización del suelo se utilizó los siguientes métodos: tablas de Munsell, Feel, AS-05, gravimetría de volatilización indirecta; y adicionalmente se emplearon dos multiparamétricos para determinar el pH y la conductividad eléctrica. Se demostró que la variabilidad del Cd difiere con los sistemas de cultivo y los pisos altitudinales con valores entre 0,5 mg/kg a 1,0 mg/kg. Siendo el 94% de las muestras quienes superaron el límite máximo permisible nacional, en donde además la correlación del cadmio con las propiedades fisicoquímicas del suelo presentó una afinidad con el pH y la materia orgánica.

Palabras clave: Suelo, cadmio, agricultura, piso altitudinal.

Abstract

This investigation had the purpose of determining the presence of cadmium in agricultural soils, for which 6 sampling stations were selected in two cultivation systems that were found located in three altitudinal floors. Cadmium quantification was performed using the atomic absorption spectrophotometry to flame method, and the following methods were used to characterize the soil: Munsell tables, Feel, AS-05, indirect volatilization gravimetry; and additionally, two multiparametric were used to determine pH and electrical conductivity. Cd variability was shown to differ with culture systems and altitudinal floors with values between 0,5 mg/kg to 1,0 mg/kg. Being 94% of the samples who exceeded the national maximum permissible limit, where in addition the correlation of cadmium with the physicochemical properties of the soil had an affinity with pH and organic matter.

Keywords: Soil, cadmium, agriculture, altitudinal floor.

Introducción

Los metales pesados son contaminantes ambientalmente importantes por tener un orden cíclico: industria, atmósfera, suelo, agua, alimentos y humano (Rodríguez, Reis, & Lupino, 2016). Se

incorporan en el cuerpo humano a través de la dieta diaria u otra forma de adición, acumulándose principalmente en los riñones, las glándulas suprarrenales, el hígado, los pulmones, el cabello y la piel, causando presión arterial alta, cáncer y daño cerebral, esto sucede cuando se supera la

* Correspondencia del autor:
E-mail: hulio02@hotmail.es



ingesta diaria recomendada, por ejemplo, para el contaminante cadmio se considera una ingesta segura de 15 a 50 µg/día para adultos, y de 2 a 25 µg/día para niños (Neelam, Vinita, & Sibi, 2018).

Alloway & Steinnes (1999) indicaron que el aporte de cadmio en la agricultura se da a través del agua de riego e insumos agrícolas como abonos, fertilizantes y enmiendas del suelo. Es así, que gran parte del Cd presente en el suelo se libera al ambiente a través de los cultivos, sin embargo, otras vías potenciales de pérdida de este metal incluyen la erosión, bioturbación y lixiviación. La entrada y salida de Cd es generalmente pequeña en comparación con la cantidad total que se encuentra en el sustrato y cuyas concentraciones aumentan con el tiempo siempre y cuando las adiciones sean mayores que las pérdidas (Sheppard, Grant, Sheppard, de Jong, & Long, 2009) including soil, but agriculture uses some materials that have increased TE concentrations. Some TEs (e.g., Cu, Se, and Zn).

El incremento de cadmio en los suelos agrícolas se debe a las malas prácticas como el uso excesivo de fertilizantes químicos, ya que estos a menudo contienen un porcentaje muy elevado del contaminante por su origen de roca fosfatada (Qian et al., 2016). Además, no es común que se realicen análisis de los suelos para determinar la deficiencia exacta de nutrientes que poseen, la cual es suplida por los fertilizantes químicos provocando un excesivo uso de estos por parte de los agricultores (Kabata-Pendias, 2010).

Gran parte del Cd absorbido por la planta se retiene en la raíz, pero una parte se transfiere a la porción aérea, también se transportan cantidades variables a la semilla. El porcentaje de este metal en los cultivos depende del genotipo de la planta, que difieren entre especies, como consecuencia de las prácticas de manejo del suelo y la manipulación genética (Singh & McLaughlin, 1999).

Una vez que el cadmio ingresa al cuerpo humano, se acumula principalmente en los órganos diana, en donde puede permanecer de 15 a 20 años y cuyos efectos se manifiestan principalmente en las personas mayores a 50 años (Alloway, 2013). Esto podría conllevar a algún tipo de cáncer o enfermedades afines como la erosión del tracto gastrointestinal, daño pulmonar, hepático o renal. La exposición crónica, además, genera un efecto depresivo sobre los niveles de noradrenalina, serotonina y acetilcolina (Danielyan & Chailyan, 2019; Singhal, Merali, & Hrdina, 1976).

Schroeder & Balassa (1963), realizaron las primeras investigaciones acerca de la incorporación del Cd en la cadena alimentaria humana, a través de impurezas de este contaminante en fertilizantes y enmiendas aplicadas a los suelos agrícolas. El interés por el ciclo del Cd se incrementó a causa de la contaminación industrial de las tierras agrícolas en Japón, lo cual fue provocado por aguas residuales de la minería contaminadas con este metal, lo que

condujo a grandes pérdidas humanas causadas por la enfermedad denominada "itai-itai", documentada en los años setenta (Kobayashi, 1978).

Grant, Buckley, Bailey, & Selles (1998), determinaron que la concentración de Cd en los suelos de Canadá había aumentado con el tiempo debido a las adiciones de fertilizantes de N, P y KCl, así como la incorporación de enmiendas del suelo. Además, se estimó que gran parte del Cd absorbido por la planta se retiene en la raíz, pero una parte se transfiere a la parte aérea.

Mientras tanto, en Chile, ensayos realizados por Bonomelli, Bonilla, & Valenzuela (2003), acerca del efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro tipos de suelo; alfisol, inceptisol, ultisol y andisol, dieron como resultado después de 90 días de incubación los siguientes valores; para el suelo de orden alfisol, el testigo dio un valor de; $0,021 \pm 0,002a$ mg/kg de Cd, con la fertilización fosforada $0,041 \pm 0,005b$ mg/kg de Cd, para el tipo inceptisol; testigo $0,110 \pm 0,008a$ mg/kg de Cd, con la fertilización fosforada $0,128 \pm 0,007b$, para ultisol; testigo $0,010 \pm 0,0009a$ mg/kg de Cd, con la fertilización fosforada $0,033 \pm 0,006b$ y andisol; testigo $0,029 \pm 0,001a$ mg/kg de Cd, con fertilización fosforada $0,081 \pm 0,005b$ mg/kg de Cd.

Con estos resultados los autores determinaron que el Cd liberado en el primer día incubación por parte del fertilizante, permaneció disponible hasta culminar las mediciones, concluyendo que los suelos necesitados de nutrientes presentan una capacidad de retención de fósforo muy alta, al mismo tiempo se incorpora Cd al sustrato, sin embargo la disponibilidad del Cd puede o no disminuir a través del tiempo, dependiendo de las características del suelo como pH, materia orgánica y cantidad de fertilizante aplicado (Bonomelli et al., 2003).

En Ecuador se han realizado estudios sobre cadmio en hojas y pulpa de tomate, evidenciando que la mayor concentración se encuentra en la pulpa, con $0,0349 \pm 0,0155$ mg/kg de Cd, valor que sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la Unión Europea de $0,02$ mg/kg de Cd (Escobar, 2016; UE, 2019). Por otra parte, una investigación hecha sobre toxicidad en la germinación del fréjol a diferentes concentraciones de Cd, concluyó que la presencia de este metal afecta la productividad de este cultivo, en donde se recomienda que el suelo agrícola sea adecuado de tal manera que la concentración de Cd sea inexistente (Añazco, 2019).

Chicón (2006), estableció que los metales pesados tienden a tener mayor movilidad en un pH ácido, provocando el incremento de toxicidad para el cultivo. También afirma que los suelos que presentan un porcentaje mayor al 5 % de materia orgánica, ostentan un nivel relativamente bajo de retención de metales por el cultivo, a consecuencia del aumento de las reacciones complejas por parte de las moléculas orgánicas.

En cuando a la biodisponibilidad de este contaminante y sus formas en el suelo, Cargua (2010), examinó el Cd fácilmente extraíble, reducible, oxidable y residual, de 40 fincas del litoral ecuatoriano, en donde el valor medio de las formas disponibles examinadas fue el siguiente: para la provincia de El Oro 1,2 mg/kg, Esmeraldas 2,0 mg/kg, Guayas 1,3 mg/kg, Santa Elena 1,9 mg/kg, Los Ríos 0,8 mg/kg y para Azuay 1,2 mg/kg. Según el autor, estos resultados no presentan problemas con el contenido de Cd de la fracción fácilmente extraíble del sustrato.

Además, las características fisicoquímicas de las muestras presentaron un pH promedio de 6,7, siendo este un valor neutro que predomina en suelos de tipo franco arcilloso y franco limoso, con rangos de materia orgánica que variaron de 0,6% a 10,7%. Los suelos de tipo arcilloso capturan el Cd en el suelo, lo que contribuye a una menor acumulación de metales pesados en la planta. A su vez, la materia orgánica reacciona con este metal formando quelatos con complejos de cambio (Cargua, 2010).

Del mismo modo, en Nueva Zelanda se registró una acumulación de Cd, en tres tipos de suelo con características distintas (alofánico ortico, ortico gley, y alofánico impedido) con el mismo historial de fertilizantes fosfatados, en donde la concentración de Cd en el horizonte A de cada suelo fue de 7 a 8 veces mayor que los horizontes más profundos. Mientras, que la concentración media de Cd en las muestras de la capa superior del suelo (0-7.5 cm) fue de 0.77 mg/kg, en donde no se encontró diferencias significativas en la concentración de Cd entre los tres tipos de suelo (Salmanzadeh, Balks, Hartland, & Schipper, 2016).

Mientras tanto, en China se modificaron los estándares de contaminación del suelo a otros más rigurosos (GB15618-2018, efectivo el 1 de agosto de 2018) a consecuencia de la severa contaminación del centro y suroeste del país. Se estimó que el 19,4% de las muestras de suelo excedieron los límites permisibles establecidos por el gobierno chino en 1995, de todas las muestras contaminadas los metales pesados y los metaloides representaron la mayoría de los contaminantes (82,4%), y el resto (17,6%) son contaminantes orgánicos. El contaminante Cd clasificó con el porcentaje más alto presente en los suelos agrícolas con un 7% a comparación de los demás contaminantes estudiados (Wang, Chen, Kopitke, & Zhao, 2019).

Así mismo, en Bangladesh se realizó una cuantificación de metales pesados, en donde a partir de los resultados se determinó que la concentración de metales en el suelo era inferior a los estándares internacionales por cual se rigió el estudio, excepto para el Cd y Cu. En donde el Cd presentó valores entre 0,19 mg/kg y 9,04 mg/kg, registrándose por encima del límite permitido establecido por el estándar holandés (0,80 mg/kg), las pautas canadienses (1,4 mg/kg) y las pautas australianas (3,0 mg/kg) (Proshad et al., 2019).

Por otra parte, según Tóth, Hermann, Da Silva, & Montanarella (2016), la mayoría de las tierras de cultivo de la Unión Europea se pueden considerar seguras para la producción de alimento ya que se encontró un porcentaje muy bajo de metales pesados que sobrepasaron el umbral de evaluación (6.24 %). Para el caso del Cd la mayor parte de las muestras (72,6%) no mostraron concentraciones detectables de Cd y sólo el 5,5% de las muestras tienen concentraciones superiores al valor umbral de 1.0 mg/kg establecido por el ministerio del ambiente de Finlandia, además, se estableció que las regiones con mayores concentraciones medias de cadmio se pueden encontrar en Irlanda y Grecia.

Algo parecido sucedió con los resultados encontrados de 83 muestras de suelo cultivable (0-20 cm) de las áreas agrícolas y de pastoreo de la cuenca del río Sinú en Colombia, cuyo valor medio de Cd fue de 0.040 mg/kg, lo cual es inferior a la media de la corteza (0,1 mg/kg) y el promedio mundial (0,41 mg/kg). Sin embargo, los demás metales pesados estudiados (Cu, Ni, Pb, Hg) sobrepasaron los valores de referencia (Marrugo, Pinedo, & Díez, 2017).

En los suelos de cultivo de cacao del sur del país según Chavez et al. (2015) las concentraciones de Cd y las propiedades del suelo difirieron para distintas profundidades, es decir que este metal se acumula sustancialmente en los suelos superficiales (0-15 cm) en donde se encontró que la provincia del Guayas las concentraciones variaron entre 0,66 a 2,59 mg/kg de Cd, probablemente debido a actividades antropogénicas (por ejemplo, riego de agua rica en Cd). Además, el contenido de Cd total recuperable y extraíble, según lo estimado por M3 Método HCl, disminuye con la profundidad del suelo.

De igual manera, Muñoz (2017) determinó la concentración total y biodisponible del Cd en dos cantones de la provincia del Guayas, encontrando concentraciones inferiores al límite máximo permisible de 0,5 mg/kg hasta 2,59±0,30 mg/Kg. Mientras, que para la biodisponibilidad del Cd de las estaciones de muestreo presentaron porcentajes mayores al 50% e incluso en una estación se llegó al 100%.

Escobar (2016), indicó la presencia de cadmio en los suelos de la parroquia El Quinche, ubicada en la provincia de Pichincha a 2600 m.s.n.m., para el cultivo de tomate, cuyo valor medio fue de 0,56 mg/kg, lo cual no sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la normativa ecuatoriana para el criterio de remediación de suelo de 2,0 mg/kg. Sin embargo, el valor encontrado (0,56 mg/kg) supera el valor ambiental representativo para el criterio de calidad de suelo de 0,50 mg/kg establecido por el MAE (2015).

En la provincia de Chimborazo se han registrado estudios de Cd en tubérculos, hojas, bulbos, frutos de hortalizas e incluso en leguminosas, entre ellas el fréjol, que presentó valores mayores a 0,2 mg/kg, duplicando el límite máximo permitido por el Codex

Alimentarius de la UE (FAO y WHO, 2019) vigente en la actualidad. En Guano se identificó Cd en papa, cebolla y brócoli con valores que oscilaron entre 0,16 y 0,21 mg/kg, estos resultados no sobrepasan los valores máximos establecidos por la misma normativa (Felicita, 2018).

En el cantón Pallatanga, se ha determinado que el factor antrópico representa un 55% del deterioro del suelo; debido al manejo indiscriminado de agroquímicos y fertilizantes, los cuales afectan la calidad y propiedades de éste. Además, el uso de agua contaminada expresa un 35% de pérdida de suelo y cultivos (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pallatanga, 2018).

Por lo expuesto anteriormente, se consideró determinar la presencia y concentración de Cd en suelos agrícolas del cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo. Dicho cantón abastece al mercado nacional con una amplia variedad de cultivos como: pimiento, pepino dulce, papas, maíz, mora, frutilla, etc., y destaca por su mayor producción de tomate y fréjol, estos dos cultivos se localizan en los primeros tres pisos altitudinales del cantón.

Metodología

Área de estudio

la presente investigación se llevó a cabo en el cantón Pallatanga, ubicado al suroeste de la Provincia de Chimborazo, a 75 Km de Riobamba y 140 km de la

ciudad de Guayaquil, en el occidente de Ecuador. Su superficie es de 377 km² y se caracteriza por ser una zona montañosa con amplios valles, cuyas peculiaridades climáticas favorecen a la producción agrícola como la principal fuente económica para la localidad.

Dentro del área de estudio se seleccionaron 6 estaciones de muestreo ubicadas dentro de los tres primeros pisos altitudinales del cantón; de esas estaciones se extrajeron muestras de suelo de dos tipos de cultivo: tomate y fréjol. Según el MAE (2012), para la cordillera occidental el piso altitudinal pie montano se encuentra entre los 300 a 1300 ms.n.m., el montano bajo entre 1300 a 1900 ms.n.m., y el montano de 1900 a 2800 ms.n.m. (Tabla 1; fig. 1).

Metodología de campo

Se realizó un muestreo probabilista del tipo aleatorio simple con una periodicidad mensual, entre los meses de noviembre y diciembre del 2019, en dos sistemas de cultivos (tomate y fréjol), en tres pisos altitudinales, con un total de 36 muestras.

Una vez seleccionado las estaciones de muestreo, dos para cada piso altitudinal (Fig. 1), se prosiguió con un muestreo simple el cual consistió en extraer 3 réplicas por cada punto, con una profundidad de 0-15 cm según la guía técnica para el muestreo de suelo (Mendoza & Espinoza, 2017).

El diseño experimental que se aplicó para la colecta de muestras de suelo agrícola fue el de transeptos lineales, tomando como referencia el centro del

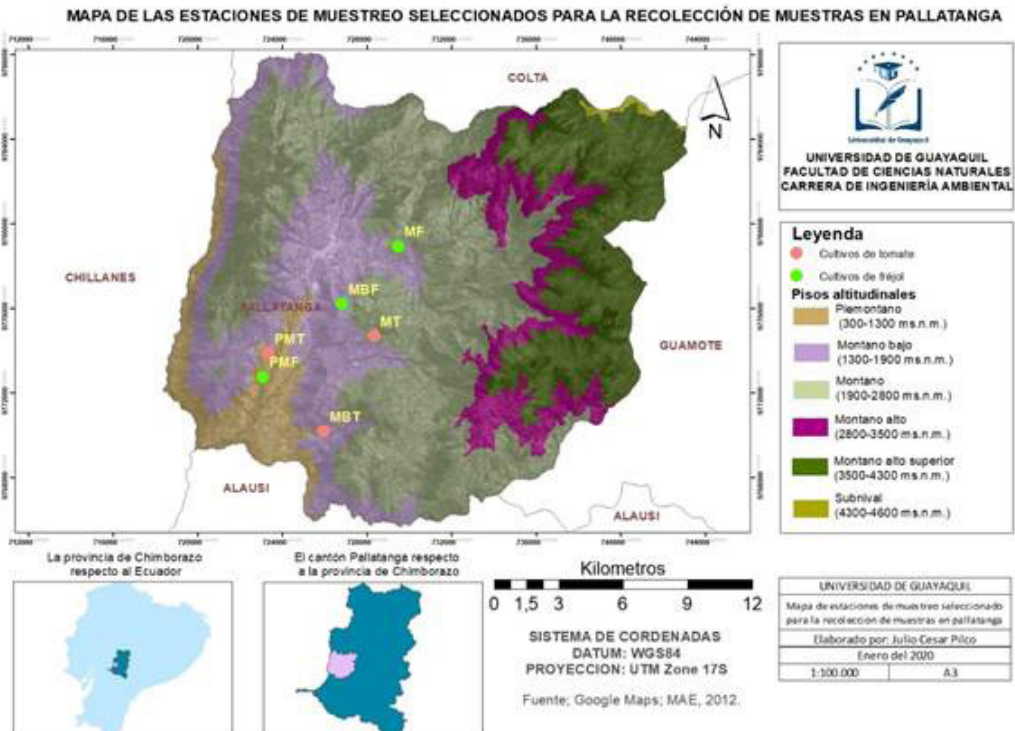


Figura 1. Área de estudio. Estaciones de muestreo seleccionadas.

Tabla 1. Datos generales de las estaciones de muestreo.

| Piso altitudinal | Cultivo | Abreviatura | Altitud ms.n.m. | Coordenadas UTM WGS84 | |
|------------------|---------|-------------|-----------------|-----------------------|------------|
| | | | | Latitud | Longitud |
| Pie montano | Tomate | PMT | 1289 | 723328,81 | 9773876,73 |
| | Fréjol | PMF | 1259 | 723084,71 | 9772756,79 |
| Montano bajo | Tomate | MBT | 1454 | 725957,87 | 9770201,56 |
| | Fréjol | MBF | 1793 | 726833,56 | 9776216,54 |
| Montano | Tomate | MT | 2179 | 728332,63 | 9774702,88 |
| | Fréjol | MF | 2188 | 729481,25 | 9778941,51 |



Figura 2. Diseño experimental para obtención de muestras agrícolas en cultivos de tomate y fréjol en tres pisos altitudinales del cantón Pallatanga.

cultivo como la primera réplica, y los extremos representaban la segunda y tercera réplica con la finalidad de cubrir la totalidad del cultivo (Fig. 2; anexo 1).

Para la recolección de las muestras de suelo se empleó una pala, la misma que fue esterilizada con agua destilada para evitar cualquier tipo de alteración de las muestras. Se colectaron aproximadamente 500 g de suelo en fundas ziploc, las mismas que fueron rotuladas *in situ* para su posterior análisis en laboratorio (Fig. 3).

Metodología de laboratorio

Análisis de cadmio

Los análisis de Cd en muestras de suelo agrícola se realizaron bajo el método AAA-PE-S011 (ANAVANLAB, 2019) (Anexos 4, 5), en el laboratorio Analítica Avanzada - Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB CIA. LTDA., el mismo que está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) bajo la Norma NTE INEM ISO /IEC 17025:2006.

Preparación de muestras

Previo al análisis de las muestras en el laboratorio, estas se mantuvieron a temperatura ambiente entre (15 a 30) °C. Posteriormente se ubicó el código de



Figura 3. Metodología de campo utilizado para la extracción de muestras de suelo agrícola: a) Esterilización de utensilios b) Colecta de muestras c) Rotulado.

cada muestra proveniente del empaque de estos a cada material volumétrico, de vidrio o auxiliar, en donde la muestra, sus diluciones o sus preparaciones fueron colocadas, de tal forma que se mantuvo reconocido en el transcurso del análisis.

Se homogeneizó cada muestra en una superficie plana retirando todo el material extraño al suelo como: rocas, hojas, insectos, etc. Continuando con el mezclado de la muestra, se procedió a dividir en cuatro porciones similares, tomando dos porciones opuestas y volviendo a realizar un cuarteo hasta llegar a una porción de aproximadamente 10 g.

Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 horas. Para el análisis por espectrofotometría de absorción atómica de llama en suelos, las muestras se trataron previamente con una digestión ácida asistida por microondas.

Digestión ácida asistida por microondas

Realizado bajo la referencia del método EPA 3051: Digestión Ácida asistida por Microondas de sedimentos, lodos, suelos y aceites, consistiendo básicamente en los siguientes parámetros:

Se pesó 0,50 g de muestra en un vial de digestión, y de la misma forma para duplicados y fortificaciones. Se añadió 10 ml de ácido nítrico concentrado a cada vial y para el blanco con ácido nítrico solamente. Posteriormente, se ubicó el disco de liberación de presión sobre los viales. Una vez realizado esto se encendió el microondas y con el computador se ingresó al software "Transform 800" escogiendo en el menú principal el método EPA 3051_1.

Una vez terminado el programa, se dejó enfriar el equipo hasta $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, prosiguiendo con la extracción de los viales que se terminaron de enfriar completamente al ambiente. Los viales fueron llevados a una campana de extracción, fueron abiertos con mucho cuidado y transferidos a un embudo de vidrio con papel filtro. El filtrado se recogió en un balón aforado de 25 ml clase A, y finalmente se realizó un lavado con agua desionizada.

Espectrofotometría de absorción atómica a llama

Basado en el método estándar de la EPA 7000 A: Métodos de Absorción Atómica, una vez que se realizó la preparación del equipo de espectrometría de absorción atómica modelo AA-EL-501 bajo el método antes mencionado se prosiguió con el encendido del computador del equipo ingresando al software "Winlab 32 for AA".

Al inicio el software se activó la función de auto chequeo para comprobar que no exista ningún tipo de error en el equipo. Una vez realizadas las pruebas iniciales, se puso al equipo en modo llama, prosiguiendo con la introducción del mechero a base de aire y acetileno.

Se prosiguió con el ajuste del quemador del equipo, para ello se encendió la lámpara de cobre y con un papel blanco se observó el haz de luz de la lámpara de Cu en el centro de la línea de la llama del mechero. Se apagó la lámpara de cobre y a la vez se encendió la lámpara para la determinación de Cd, dejando encendida 10 minutos para su estabilización.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a la digestión ácida asistida por microondas. Se colocaron en el equipo siendo atomizadas y a su vez dirigidas a través de la llama pasando por el monocromático, llegando al detector que midió la cantidad de luz absorbida por el Cd atomizado y finalmente obteniendo la concentración de Cd en mg/kg.

Análisis físico

El análisis físico se realizó en el Laboratorio de Química General de la facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, tomando como referencia las metodologías estándares para cada parámetro:

Color del suelo

Se realizó a través del método de las tablas de Munsell (Castro, 2018). El cual se fundamentó en la colorimetría del sustrato. Para emplear esta técnica se tomó un puñado de suelo previamente secado al ambiente por 24 horas y se lo ubicó sobre una superficie de color blanca para tener una mayor refracción del color (Fig. 4).

Textura

Se realizó la determinación de la textura mediante el método "Feel" (Ritchey, Mcgrath, & Gehring, 2015). Antes de realizar el procedimiento se retiró cualquier tipo de impureza que pudiera afectar los resultados, como rocas, raíces, insectos, etc. Posteriormente se situó una porción de suelo sobre la palma de una mano, se agregó una pequeña porción de agua lo suficiente para que la muestra esté húmeda, pero a su vez no muy espesa. Finalmente, se frotó la muestra húmeda entre el pulgar y los dedos sintiendo la adherencia, la arenilla, la suavidad y otras características (Fig. 5).

Temperatura del suelo

La medición de este parámetro se realizó in situ,

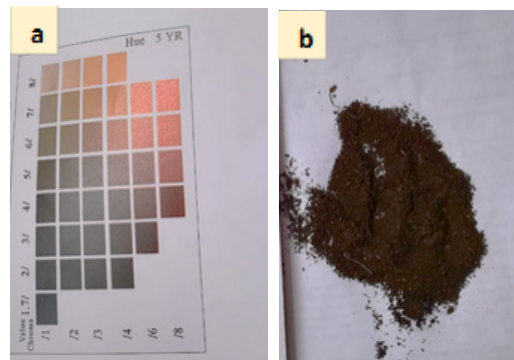


Figura 4. Determinación del color del suelo: a) tablas de Munsell b) muestra preparada para la determinación de su color.

consistió en introducir el multiparamétrica de la marca “WANGCA” modelo 12541 en el suelo por aproximadamente un minuto para evitar cualquier tipo de error de medición (Fig. 7).

Porcentaje de humedad

Realizado por gravimetría a través del método AS-05 (SEMARNAT, 2002). Se colocó una porción de suelo sobre un recipiente resistente al calor previamente tarado, con la utilización de una balanza de presión de 0,01 se pesó 50 g de muestra húmeda y con mucho cuidado se introdujo la muestra dentro del horno de secado durante 24 horas, a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$. una vez transcurrido este tiempo se volvió a pesar la muestra más el peso del recipiente (Fig. 6). El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente fórmula que fue desarrollada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2002):

$$\theta_g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$$

En donde:

PB = Peso del bote con tapa (g).

Psh = Peso del suelo húmedo (g).

PB + Psh = Peso del bote más peso del suelo húmedo (g).

PB + Pss = Peso del bote más peso del suelo seco (g).

Los resultados del contenido de humedad fueron interpretados considerando las constantes hídricas y de humedad establecidos por Sierra (2019) (Tabla 2).

Tabla 2. Constantes hídricas y humedad aprovechable según la textura del suelo (Sierra, 2019).

| Textura | Capacidad campo | Punto marchitez permanente | Saturación | Agua disponible | Rango humedad aprovechable con 50% de humedad agotada |
|-----------|-----------------|----------------------------|------------|-----------------|---|
| | % | % | % | Cm/cm | % |
| Arcilloso | 42 | 29,9 | 49 | 0,12 | 42-36 |
| Franco | 27 | 12,6 | 46 | 0,14 | 27-20 |
| Arenoso | 9 | 5 | 46 | 0,04 | 9-7 |



Figura 5. Determinación de la textura del suelo: a) Suelo franco arenoso b) Suelo franco limoso c) Suelo franco arcilloso limoso.

Análisis químico

pH

Consistió en introducir el sensor del multiparamétrico “WANGCA” modelo 12541 en el sustrato por alrededor de un minuto, hasta que el resultado se quedara estable. Determinado en el mismo lugar de la toma de muestras para mayor confiabilidad de los datos (Fig. 7).

Los resultados obtenidos de pH del suelo fueron interpretados utilizando el criterio de la norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Tabla 3).

Porcentaje de materia orgánica

Este porcentaje fue determinado con el método gravímetro de volatilización indirecta adaptado



Figura 6. Determinación del porcentaje de humedad: a) pesado de muestras b) introducción de las muestras al horno de secado c) muestras post secado.

por Wildlands School (2010), está basado en el método experimental de Miyazawa, Pavan, Oliveira, Ionashiro, & Silva (2000) using several brazilian soils with variable chemical and physical properties. Gravimetric method was positively correlated with Walkley-Black method with the following linear regression equation: $y = 3.72x + 0.29$, $r = 0.94$. The angular coefficient 3.72 for tropical soils was greater than those reported in the literature for temperate soils (from 1.68 to 2.13). El primer procedimiento realizado fue el secado de las muestras en un horno durante 24 horas, a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} C$.

Una vez realizado esto se prosiguió a pesar 10 g de suelo en recipientes resistentes al calor previamente tarados y rotulados. Posteriormente, se prosiguió a someter las muestras a fuego directo por 30 minutos. Para evitar que la humedad del ambiente interfiera en el procedimiento de calcinación los recipientes permanecieron tapados e inmediatamente terminado el proceso, fueron pesadas (Fig. 8). Para el cálculo del porcentaje de materia orgánica se utilizó la siguiente formula que fue desarrollada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2002):

En donde:

$$\% MO = \frac{P1 - P2}{P2 - C} \times 100$$

P1 = Peso de la muestra antes de la calcinación.
 P2 = Peso de la muestra después de la calcinación.
 C = Peso del recipiente.

Los resultados de porcentaje de materia orgánica del suelo fueron interpretados utilizando el criterio de la norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Tabla 4).

Conductividad eléctrica

Para el análisis de este parámetro se utilizó el metodología diseñada por Sonmez, Buyuktas, Okturen Asri, & Citak (2008). Se prosiguió a pesar 50 g de suelo y 50 ml de agua destilada que posteriormente se homogenizó con la utilización de una barrilla de vidrio. Una vez realizado la disolución de extracto suelo/agua 1:1 se prosiguió a sumergir el sensor del multiparamétrico de la marca “APERA INSTRUMENTS” modelo PC60 para realizar las respectivas mediciones. Los resultados de la conductividad eléctrica fueron interpretados utilizando el criterio de la norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Tabla 5).

Tratamiento de los datos

Los datos fueron ordenados y tabulados en una hoja de cálculo de Excel, del sistema operativo Microsoft Windows Office 365 del 2019, para posteriormente realizar el procesamiento numérico con ayuda del software Statgraphics Centurión XVI.I.

Se realizó la comprobación de los supuestos de ANOVA a cada una de las variables a estudiar y se

Tabla 3. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH (SEMARNAT, 2002).

| Clasificación | pH |
|-----------------------|-----------|
| fuertemente ácido | < 5,0 |
| moderadamente ácido | 5,1 - 6,5 |
| neutro | 6,6 - 7,3 |
| medianamente alcalino | 7,4 - 8,5 |
| fuertemente alcalino | > 8,5 |

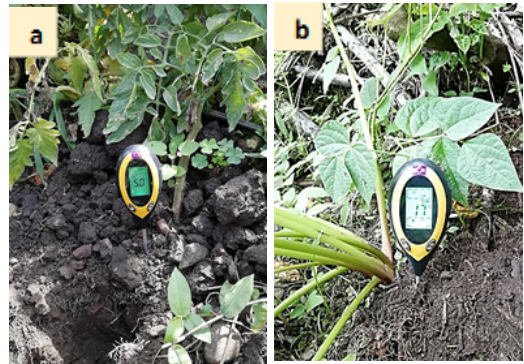


Figura 7. Medición de los parámetros fisicoquímicos del suelo con el uso del multiparamétrico “WANGCA” modelo 12541: a) medición del pH b) medición de la temperatura.

Tabla 4. Criterio de interpretación del porcentaje de materia orgánica del suelo (SEMARNAT, 2002).

| Clase | Materia orgánica (%) | |
|----------|----------------------|----------------------|
| | suelos volcánicos | suelos no volcánicos |
| Muy bajo | < 4,0 | < 0,5 |
| Bajo | 4,1 - 6,0 | 0,6 - 1,5 |
| Medio | 6,1 - 10,9 | 1,6 - 3,5 |
| Alto | 11,0 - 16,0 | 3,6 - 6,0 |
| Muy alto | > 16,1 | > 6,0 |



Fig. 8. Determinación de materia orgánica del suelo: a) pesado de la muestra b) calcinación de la muestra

Tabla 5. Criterio de interpretación de la conductividad eléctrica del suelo (SEMARNAT, 2002).

| CE dS/m | Efectos |
|------------|---------------------------------------|
| □ 1,0 | Efectos despreciables de la salinidad |
| 1,1 - 2,0 | Muy ligeramente salino |
| 2,1 - 4,0 | Moderadamente salino |
| 4,1 - 8,0 | Suelo salino |
| 8,1 - 16,0 | Fuertemente salino |
| > 16,0 | Muy fuertemente salino |

comprobó que no poseen una distribución normal con la prueba estadística de Anderson Darling según Zar (1996; Anexo 3). Para comparar los resultados obtenidos de Cd y del análisis fisicoquímico, para dos variables independientes (meses y cultivos) se aplicó la prueba no paramétrica de Mann Whitney (W) según Sokal & Rohlf (2002), y para tres o más variables independientes (pisos altitudinales) se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (KW), tomando el valor de $p < 0,05$ para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas, las mismas que fueron representadas por una ilustración de caja de bigote según las recomendaciones (Boyer, Fourqurean, & Jones, 1997).

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para evaluar qué variable ambiental incide en la concentración de Cd (Cuadras, 1983), se tomó como referencia las correlaciones entre un conjunto de datos, y finalmente se comparó los rangos absolutos de Spearman de una proyección ortogonal (Evans, 1996; Tabla 6).

Resultados

Concentración de cadmio del mes de noviembre y diciembre

Los valores promedios de cadmio durante noviembre y diciembre de 2019 no muestran una variación marcada con respecto a la concentración del metal,

Tabla 6. Rangos absolutos de la correlación de Spearman (Evans, 1986).

| Rangos | | Interpretación |
|--------|------|----------------|
| 0 | 0,19 | Muy débil |
| 0,20 | 0,39 | Débil |
| 0,40 | 0,59 | Moderado |
| 0,60 | 0,79 | Fuerte |
| 0,80 | 1 | Muy fuerte |

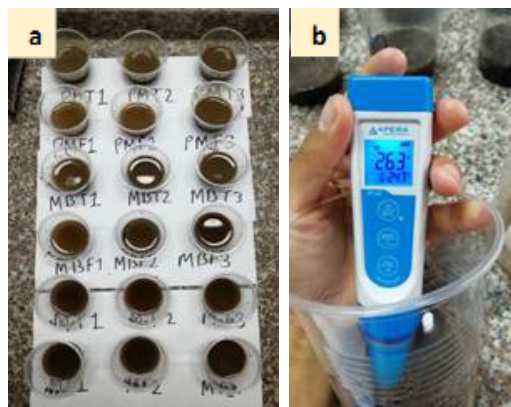


Fig. 9. Determinación de la conductividad eléctrica: a) disoluciones de extracto de suelo/agua 1:1 b) medición de la conductividad eléctrica.

registrándose en diciembre un valor de $0,80 \pm 0,11$ mg/kg; seguido de noviembre con $0,77 \pm 0,13$ mg/kg. De acuerdo con el criterio de calidad del suelo de uso agrícola del TULSMA Libro VI anexo 2, estos valores promedios sobrepasan el límite máximo permisible de 0,5 mg/kg, pero se encuentran bajo los lineamientos según la normativa internacional de Holanda de 0,8 mg/kg, que están representadas con una línea entrecortada roja (Fig. 10); mientras el valor máximo de concentración de Cd en el suelo se registró en diciembre 2019 con 1 mg/kg.

Estos valores no representan diferencias estadísticamente significativas ($W=178,5$; $p=0,599429$) entre las concentraciones de Cd durante noviembre y diciembre de 2019 (Fig. 11).

Concentración de cadmio de los pisos altitudinales

Los valores promedio del Cd con los pisos altitudinal piemontano, montano bajo y montano se encontraron entre rangos de $0,71 \pm 0,12$ mg/kg, $0,85 \pm 0,08$ mg/kg y $0,80 \pm 0,12$ mg/kg respectivamente. Sobrepasando el límite máximo permitido a nivel nacional de 0,5 mg/kg para calidad de suelo de uso agrícola, pero con la normativa internacional (LMP de 0,8 mg/kg), únicamente el piso altitudinal montano bajo se encuentra fuera de los límites, siendo estos representados con una línea entrecortada roja (Fig. 12).

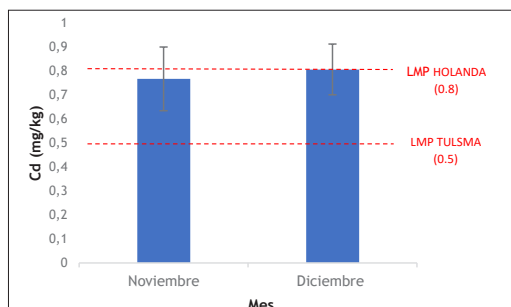


Figura 10. Concentración del cadmio registrada durante los meses noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

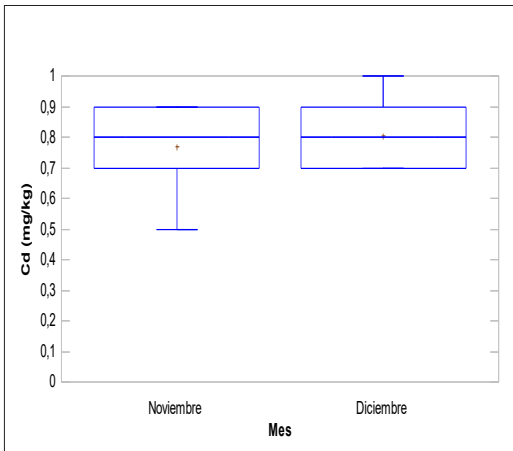


Figura 11. Diferencias significativas de la concentración de Cd durante los meses noviembre y diciembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

El mayor valor promedio de Cd en suelos agrícolas se obtuvo en el piso altitudinal montano bajo, sin embargo, el piso montano registró la máxima concentración individual de 1 mg/kg Cd, este resultado reflejó diferencias estadísticamente significativas ($KW=8,26$; $p=0,02$) entre la concentración de cadmio en relación con los pisos altitudinales estudiados (Fig. 13).

Concentración de cadmio de los cultivos

La concentración promedio de Cd para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) se estableció en $0,81 \pm 0,08$ mg/kg; mientras que en el cultivo del fréjol (*Phaseolus vulgaris*) fue $0,76 \pm 0,15$ mg/kg. De igual manera, estos resultados sobrepasan el límite de tolerancia del reglamento nacional, pero con respecto a la norma internacional se encuentra dentro del límite establecido, los cuales están representados con una línea roja entrecortada (Fig. 14).

Cabe indicar que el fréjol registró una máxima concentración de 1 mg/kg, y el tomate registró una máxima de 0,9 mg/kg, en donde no se presentó

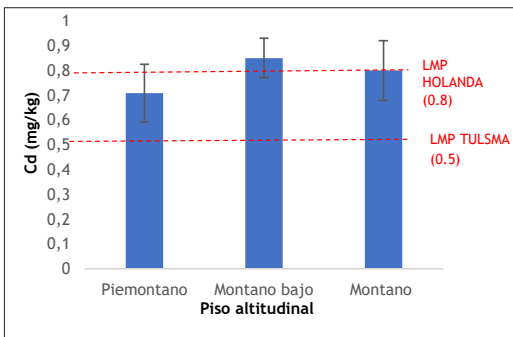


Figura 12. Concentración del cadmio de los pisos altitudinales estudiados en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

diferencias estadísticamente significativas ($W=123,0$; $p=0,204598$) entre la concentración de cadmio con los cultivos (Fig. 15).

4.1.3. Valor del pH del mes de noviembre y diciembre

El valor promedio del pH obtenido de los suelos agrícolas de los cultivos estudiados muestran que los suelos son moderadamente ácidos. En noviembre de 2019 se registró un promedio de $6,08 \pm 0,90$; mientras que en diciembre fue de $5,83 \pm 0,57$ (Fig. 16). Cabe indicar que estos valores no presentan diferencias estadísticamente significativas ($W=121,0$; $p=0,190225$) del pH durante los meses de estudio (Fig. 17).

Valor del pH de los pisos altitudinales

El valor promedio del pH obtenido entre los pisos altitudinales tiene su máxima representación en el piso montano con $6,5 \pm 0,56$, mientras que el piso piemontano obtuvo el menor valor con $5,29 \pm 0,66$; estos rangos son considerados moderadamente ácidos. Los resultados obtenidos indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($KW=16,21$; $p=0,0003$) entre los pisos altitudinales muestreados.

Valor del pH de los cultivos

El valor promedio de pH fue de $5,94 \pm 0,84$ para el suelo del cultivo de tomate, y $5,97 \pm 0,67$ para el cultivo de fréjol, siendo estos catalogados como suelos moderadamente ácidos (Fig. 20). Con la realización de la prueba no paramétrica de Mann Whitney se comprobó que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($W=160,5$; $p=0,974192$) entre el pH con relación a los cultivos estudiados (Fig. 21).

Porcentaje de materia orgánica del mes de noviembre y diciembre

Para el mes de noviembre el porcentaje de materia orgánica mostró un promedio de $6,96 \pm 1,66$, y para diciembre $6,66 \pm 1,68$. Los porcentajes encontrados se catalogaron como clase media en materia orgánica, es decir, estuvieron dentro del rango de 6,1 y 10,9 para los suelos de tipo volcánico durante los dos meses de estudio (Fig. 22). No existe una diferencia estadísticamente significativa ($W=133,0$; $p=0,367184$)

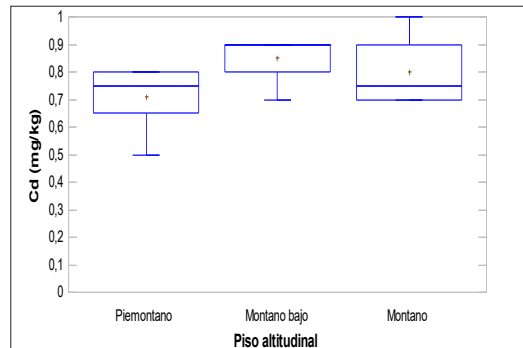


Figura 13. Diferencias significativas de los pisos altitudinales con la concentración de Cd, tomando como referencia $p < 0,05$ según Kruskal Wallis

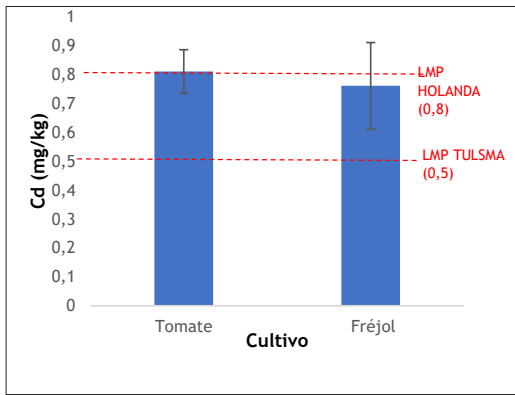


Figura 14. Concentración de cadmio de los cultivos de tomate y fréjol estudiados en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio ± error estándar.

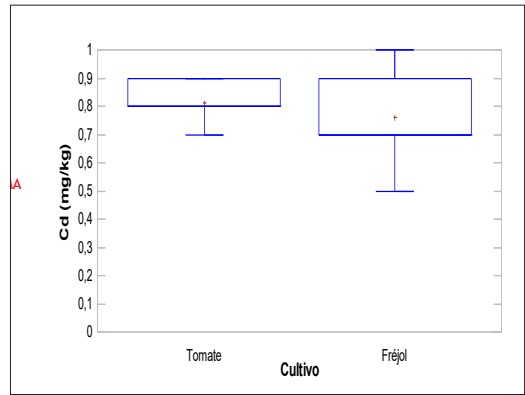


Figura 15. Diferencias significativas de la concentración de Cd en cultivos de tomate y fréjol, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

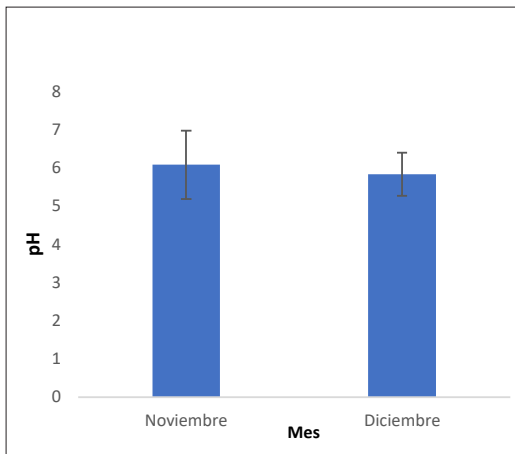


Figura 16. Valor del pH durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio ± error estándar.

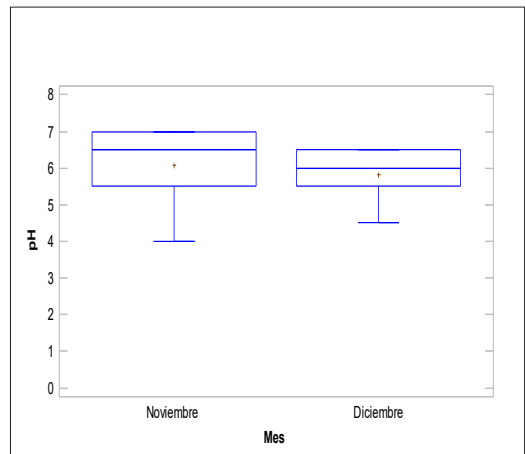


Figura 17. Diferencias significativas del valor del pH durante noviembre y diciembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

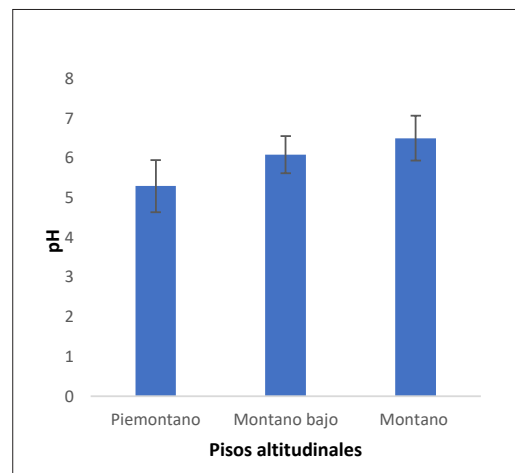


Figura 18. Valor del pH de los pisos altitudinales en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio ± error estándar.

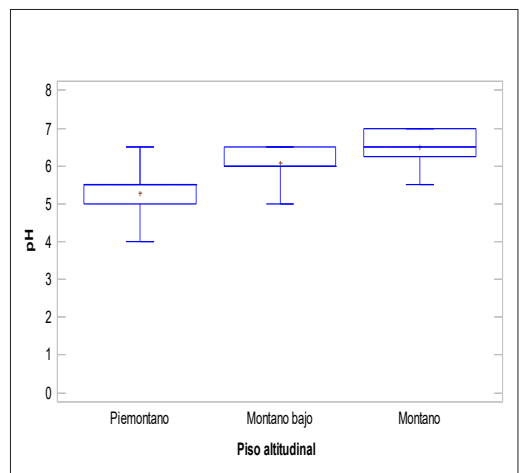


Figura 19. Diferencias significativas del pH según los pisos altitudinales, tomando como referencia $p < 0,05$ según Kruskal Wallis.

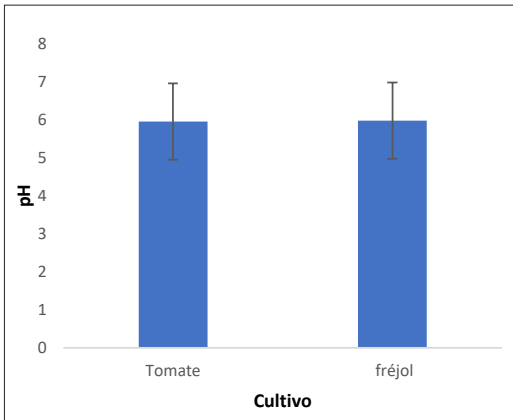


Figura 20. Valor del pH con relación al suelo de los cultivos de tomate y fréjol en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

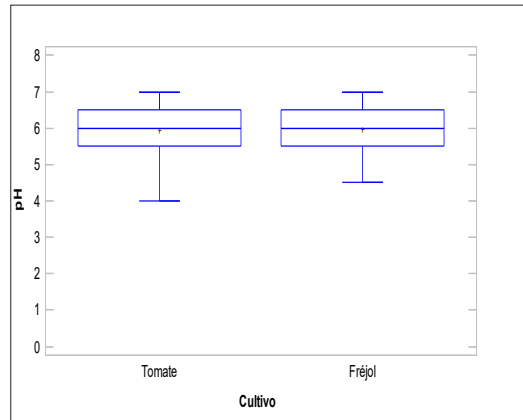


Figura 21. Diferencias significativas del valor del pH en suelos de cultivos de tomate y fréjol, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

entre las medianas del porcentaje de materia orgánica con relación a los meses estudiados (Fig. 23).

Porcentaje de materia orgánica de los pisos altitudinales

Para los pisos altitudinales el porcentaje promedio fue $5,88 \pm 0,42$ en piemontano; $7,93 \pm 2,45$ en montano bajo; y $6,60 \pm 0,40$ en montano. Con estos porcentajes el piso piemontano se cataloga como de clase baja en materia orgánica y los pisos altitudinales restantes se encuentran en clasificación media (Fig. 24). Con la realización de la prueba de Kruskal Wallis se constató que existen diferencias estadísticamente significativas ($KW=10,82$; $p=0,004$) para el porcentaje de materia orgánica con relación a los pisos altitudinales (Fig. 25).

Porcentaje de materia orgánica de los cultivos

El porcentaje promedio de la materia orgánica del suelo para el cultivo de tomate fue de $6,19 \pm 0,45$ mientras para el cultivo de fréjol fue de $7,42 \pm 2,15$. Siendo estos cultivos de clase media según el contenido de materia orgánica para suelos de origen volcánicos (Fig. 26). No existen diferencias estadísticamente significativas ($W=214,0$; $p=0,103208$) para el porcentaje de materia orgánica con relación al suelo de los cultivos (Fig. 27).

Conductividad eléctrica durante los meses noviembre y diciembre

La conductividad eléctrica durante noviembre registró un promedio de $0,43 \pm 0,22$ dS/m, en diciembre fue de $0,56 \pm 0,48$ dS/m, lo cual corresponde a suelos con efectos despreciables de salinidad para ambos casos (Fig. 28). Una vez realizado la prueba de Mann Whitney, se comprobó que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($W=162,0$; $p=0,987359$) para la conductividad eléctrica con los meses estudiados (Fig. 29).

Conductividad eléctrica de los pisos altitudinales

Para los pisos altitudinales los valores promedios de la conductividad eléctrica fueron de $0,84 \pm 0,49$ dS/m para piemontano; $0,30 \pm 0,09$ para montano

bajo; y $0,33 \pm 0,08$ para montano, estos resultados corresponden a suelos con efectos despreciables de salinidad (Fig. 30). Sí existe una diferencia estadísticamente significativa ($KW=13,73$; $p=0,001$) según la prueba de Kruskal Wallis para la conductividad eléctrica con los pisos altitudinales (Fig. 31).

Conductividad eléctrica de los cultivos

La conductividad eléctrica de los cultivos estudiados mostró un efecto despreciable de salinidad puesto que el valor promedio del suelo del tomate fue de $0,59 \pm 0,48$ dS/m y para el fréjol $0,40 \pm 0,21$ dS/m (Fig. 32). No existe una diferencia estadísticamente significativa ($W=131,5$; $p=0,34201$) de la conductividad eléctrica con los cultivos estudiados (Fig. 33).

Temperatura del suelo durante los meses noviembre y diciembre

La temperatura del suelo para el mes de noviembre mostró un promedio de $21,16 \pm 2,54$ °C y para diciembre $20,6 \pm 2,32$ °C (Fig. 34). Con la realización de la prueba de Mann Whitney se evidenció que los resultados no presentan diferencias estadísticamente significativas ($W=162,0$; $p=0,987232$) en relación con los meses de control (Fig. 35).

Temperatura del suelo de los pisos altitudinales

La temperatura promedio del suelo para el piso piemontano estuvo en $23,67 \pm 1,44$ °C; para montano bajo fue de $19,08 \pm 1,78$ °C y en el piso montano $19,92 \pm 0,66$ °C, estos resultados son característicos de los suelos subtropicales en Ecuador (Fig. 36). Se realizó la prueba de Kruskal Wallis en donde se demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($KW=24,24$; $p=0,000005$) para la temperatura del suelo con los pisos altitudinales (Fig. 37).

Temperatura del suelo de los cultivos

La temperatura promedio del suelo en cultivo de tomate mostró un valor de $21,50 \pm 2,31$ °C y para el fréjol $20,28 \pm 2,44$ °C (Fig. 38), la prueba de Mann Whitney

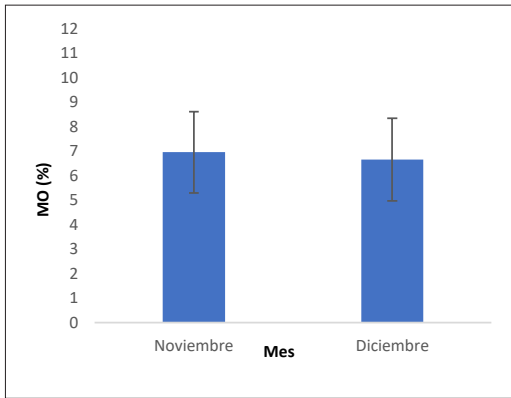


Figura 22. Porcentaje de materia orgánica durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

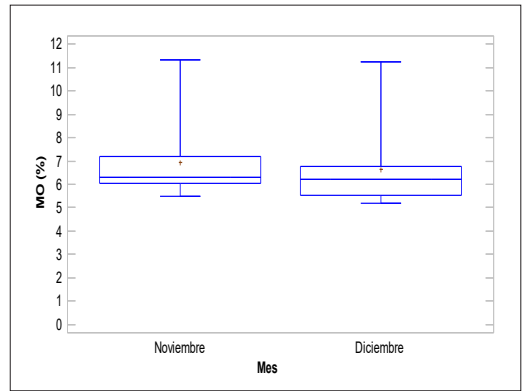


Figura 23. Diferencias significativas del porcentaje de materia orgánica durante noviembre y diciembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

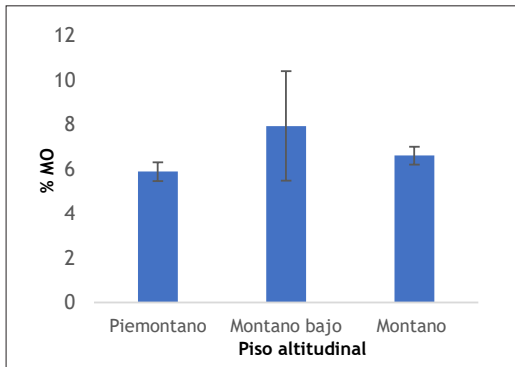


Figura 24. Porcentaje de materia orgánica por pisos altitudinales en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

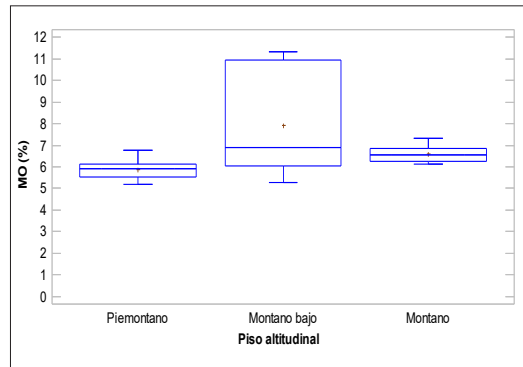


Figura 25. Diferencias significativas entre la materia orgánica y los pisos altitudinales tomando como referencia $p < 0,05$ según Kruskal Wallis.

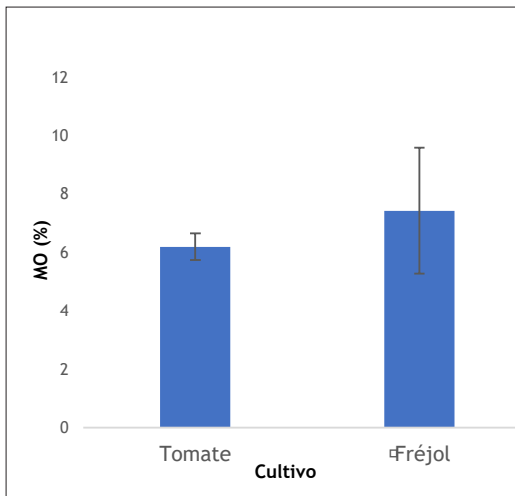


Figura 26. Porcentaje de materia orgánica en suelos de cultivo de tomate y fréjol en el cantón Pallatanga. Las barras representan las medianas \pm error estándar.

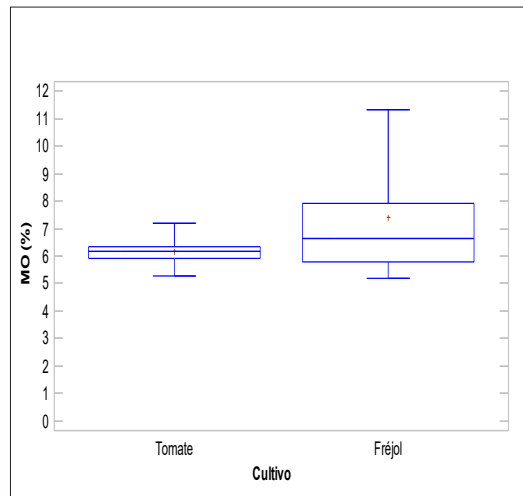


Figura 27. Diferencias significativas del porcentaje de materia orgánica en los suelos de los cultivos de tomate y fréjol, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

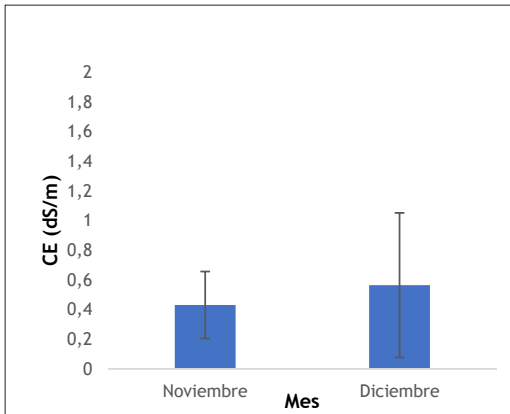


Figura 28. Conductividad eléctrica durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio ± error estándar.

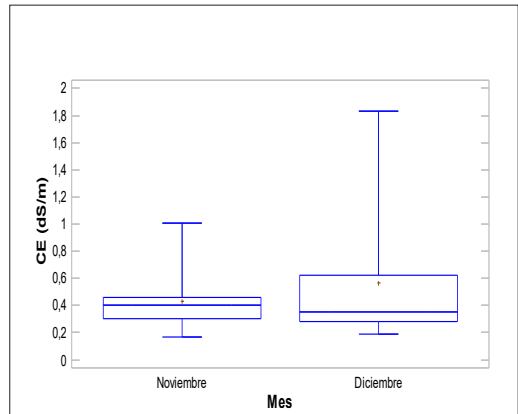


Figura 29. Diferencias en la conductividad eléctrica durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

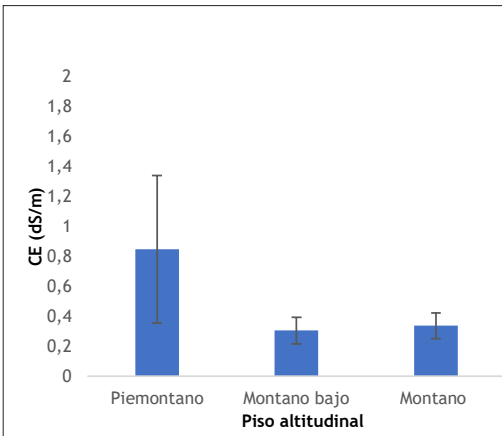


Figura 30. Conductividad eléctrica de los pisos altitudinales en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio ± error estándar.

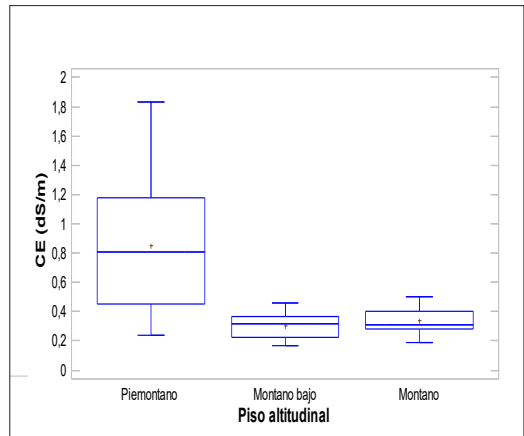


Figura 31. Diferencias significativas de los pisos altitudinales con la conductividad eléctrica tomando como referencia $p < 0,05$ según Kruskal Wallis.

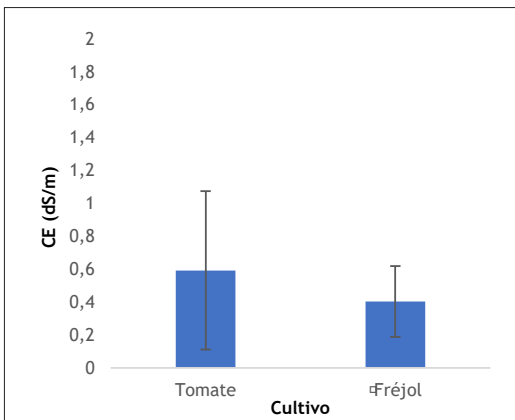


Figura 32. Conductividad eléctrica del suelo de los cultivos de tomate y fréjol en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio ± error estándar.

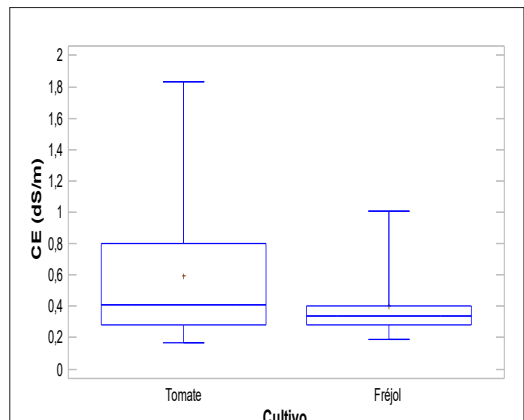


Figura 33. Diferencias significativas de los cultivos de tomate y fréjol en relación a la conductividad eléctrica, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

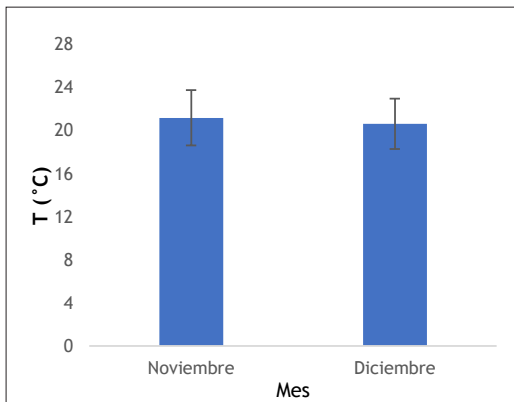


Figura 34. Temperatura del suelo en los pisos altitudinales en el cantón Pallatanga durante noviembre y diciembre de 2019. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

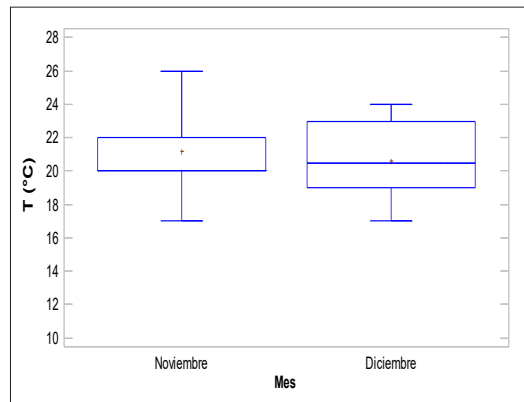


Figura 35. Diferencias significativas de la temperatura del suelo durante noviembre y diciembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

no presentó diferencias estadísticamente significativas ($W=124,5$; $p=0,231795$) para la temperatura del suelo con los cultivos (Fig. 39).

Humedad del suelo durante noviembre y diciembre de 2019

La humedad promedio del suelo durante noviembre fue $18,78 \pm 3,33\%$ y para diciembre $21,52 \pm 7,01\%$ (Fig. 40). Con la prueba de Mann Whitney no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($W=p192,0$; $p=0,350613$) para la humedad del suelo con los meses estudiados (Fig. 41).

Humedad del suelo de los pisos altitudinales

La humedad promedio para el piso altitudinal piemontano estuvo en $19,42 \pm 7,55\%$; para montano bajo $21,30 \pm 3,30\%$; y para montano en $19,73 \pm 5,40\%$. Según la tabla de contantes hídricas (Sierra, 2019), el piso altitudinal montano se encuentra dentro del rango de humedad aprovechaba para los suelos de tipo franco (Fig. 42). Con la realización de la prueba Kruskal Wallis se pudo conocer que no existen diferencias estadísticamente significativas ($KW=5,77$; $p=0,05$) para la humedad del suelo en comparación a los pisos altitudinales (Fig. 43).

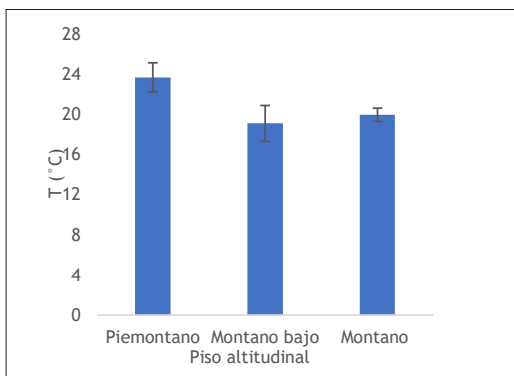


Figura 36. Temperatura del suelo por pisos altitudinales en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

Humedad del suelo en relación con los cultivos

La humedad promedio del suelo para el cultivo de tomate estuvo en $17 \pm 1,99\%$ y para el suelo del fréjol en $22,62 \pm 6,88\%$ (Fig. 44). Sí existe una diferencia estadísticamente significativa ($W=237,0$; $p=0,0184119$) en comparación de la humedad del suelo con los cultivos (Fig. 45).

Resultados de la textura y color del suelo

La textura del suelo en los sitios de muestreo presentó características de tipo franco, es decir que poseen proporciones idóneas de arcilla, arena y limo para la producción de cultivos; en cuanto al color del suelo, este presentó tonalidades similares desde suelos oscuros hasta el negro parduzco (Tabla 7).

Comparación de cadmio entre los cultivos de tomate y fréjol durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga

La concentración promedio de Cd presente en los suelos agrícolas de tomate y fréjol del cantón Pallatanga varían en función a los sistemas de cultivo, siendo durante noviembre de 2019 donde se registró $0,83 \pm 0,07$ mg/kg para el cultivo de tomate; mientras

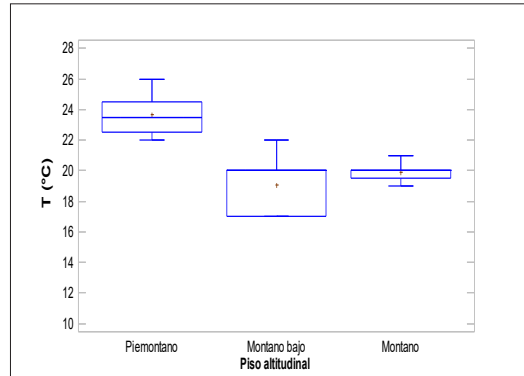


Figura 37. Diferencias significativas entre los pisos altitudinales y temperatura del suelo, tomando como referencia $p < 0,05$ según Kruskal Wallis.

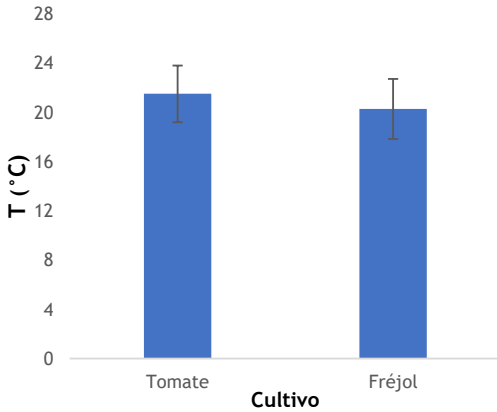


Figura 38. Temperatura del suelo de los cultivos de tomate y fréjol en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

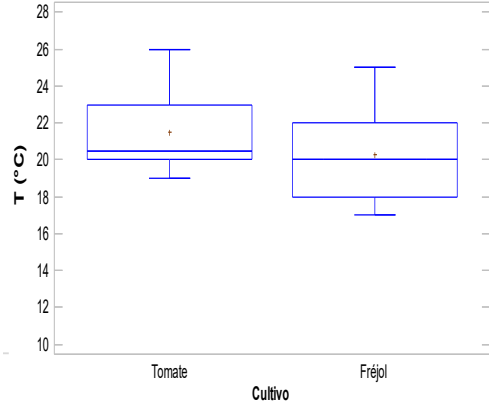


Figura 39. Diferencias significativas de la temperatura del suelo de los cultivos de tomate y fréjol, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

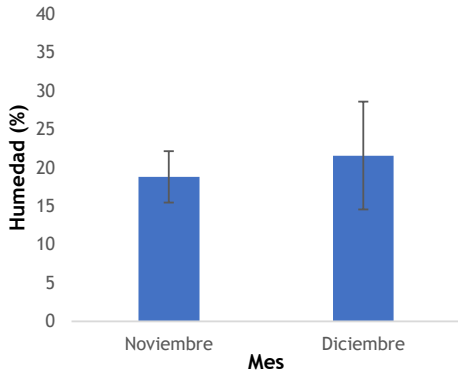


Figura 40. Humedad del suelo durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

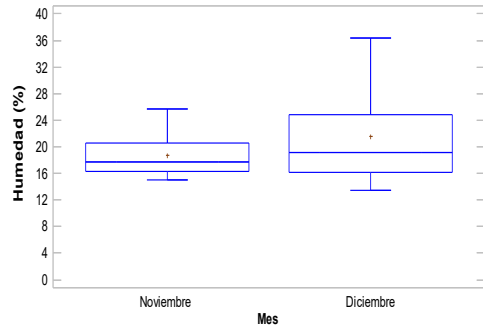


Figura 41. Diferencias significativas de la humedad del suelo durante noviembre y diciembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

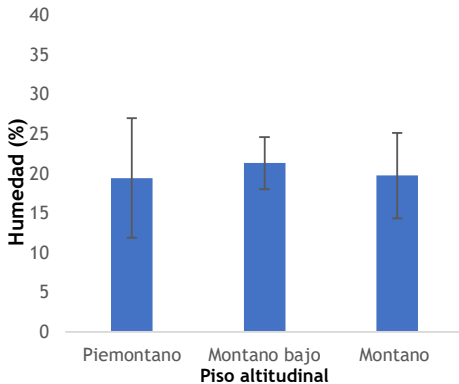


Figura 42. Humedad del suelo en los diferentes pisos altitudinales en el cantón Pallatanga. Las barras representan las medianas \pm error estándar.

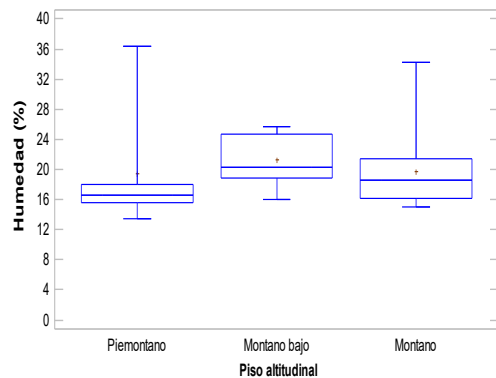


Figura 43. Diferencias significativas entre los pisos altitudinales y humedad del suelo, tomando como referencia $p < 0,05$ según Kruskal Wallis.

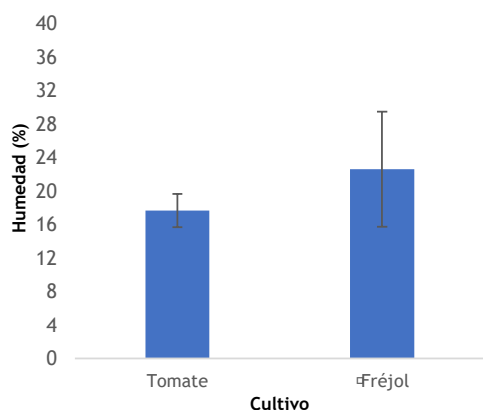


Figura 44. Humedad del suelo de los cultivos de tomate y fréjol en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar.

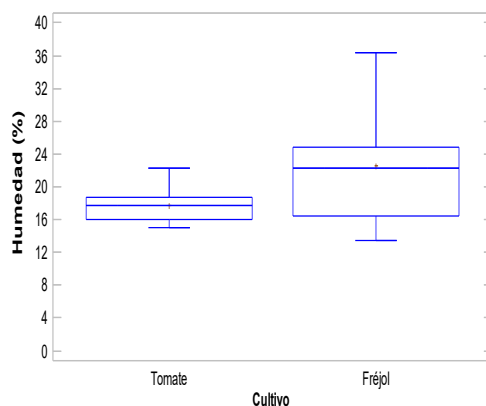


Figura 45. Diferencias significativas de la humedad del suelo de los cultivos de tomate y fréjol, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

que en el cultivo del fréjol fue $0,70 \pm 0,15$ mg/kg (Fig. 46). Cabe destacar que para ambos cultivos el valor máximo de concentración fue 0.9 mg/kg Cd; sin embargo, existe una diferencia estadísticamente significativa ($W=18,5$; $p=0,0492229$) entre la concentración de Cd con los cultivos estudiados durante noviembre de 2019 (Fig. 47).

En tanto, para diciembre la concentración promedio de Cd en los suelos agrícolas de fréjol fue superior con respecto a noviembre. El cultivo de tomate mostró un valor de $0,79 \pm 0,08$ mg/kg; mientras que en el de fréjol fue de $0,82 \pm 0,13$ mg/kg (Fig. 46). Sin embargo, el valor máximo de Cd se registró en los suelos del cultivo de fréjol de 1 mg/kg. A diferencia de noviembre, no se registró una diferencia estadísticamente significativa ($W=44,0$; $p=0,78017$) entre la concentración de Cd con los cultivos de tomate y fréjol (Fig. 48).

Comparación de cadmio entre los cultivos de tomate y fréjol que se localizan dentro de tres pisos altitudinales del cantón Pallatanga

La concentración promedio de Cd en los suelos agrícolas entre los pisos altitudinales mostró varia-

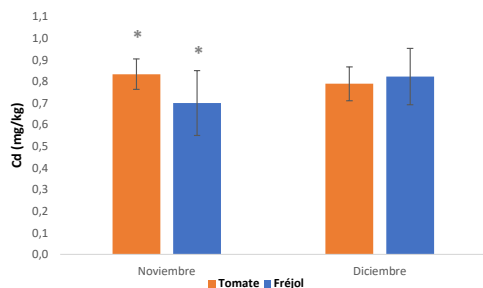


Figura 46. Comparación de la concentración promedio de Cd en los suelos entre el cultivo de tomate y fréjol durante noviembre y diciembre de 2019 en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar: * muestra la existencia de diferencias significativas.

ciones entre los cultivos de tomate y fréjol. En el primer piso altitudinal se cuantificó un promedio de $0,78 \pm 0,04$ mg/kg Cd para el cultivo de tomate y de $0,63 \pm 0,12$ mg/kg Cd para el fréjol (Fig. 49). Hay que destacar el valor máximo de Cd para ambos cultivos el cual fue de 0,8 mg/kg; valores que presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($W=4,5$; $p=0,0247978$) entre la concentración de Cd y los suelos de los cultivos localizados en el primer piso altitudinal (Fig. 50).

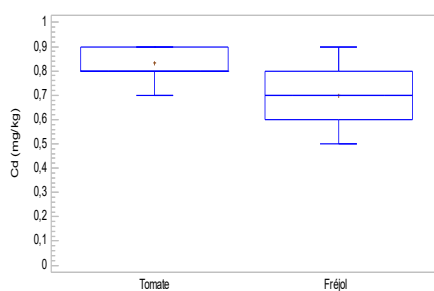


Figura 47. Diferencias significativas de los cultivos con la concentración de Cd para el mes de noviembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

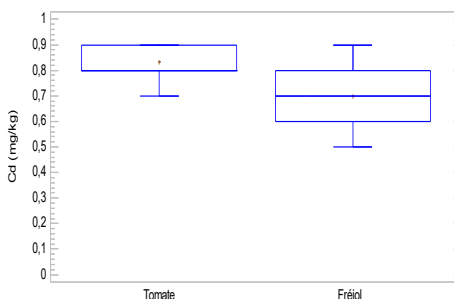


Figura 48. Diferencias significativas de los cultivos con la concentración de Cd para el mes de diciembre de 2019, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

Tabla 7. Resultados de la textura y color de los suelos agrícolas.

| Piso altitudinal | Cultivo | Abreviatura | Textura | Color |
|------------------|---------|-------------|-------------------------|-----------------|
| Piemontano | Tomate | PMT | Franco arcilloso limoso | Oscuro |
| | Fréjol | PMF | Franco limoso | Marrón grisáceo |
| Montano bajo | Tomate | MBT | Franco arcilloso limoso | Negro parduzco |
| | Fréjol | MBF | Franco arenoso | Oscuro |
| Montano | Tomate | MT | Franco arenoso | Marrón grisáceo |
| | Fréjol | MF | Franco limoso | Negro parduzco |

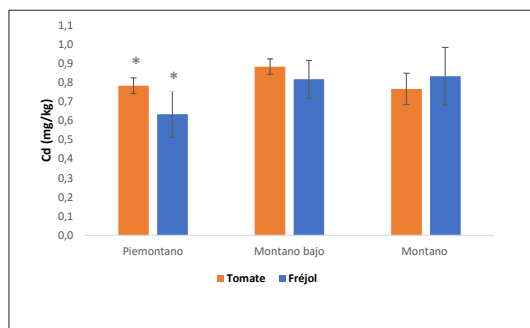


Figura 49. Comparación de la concentración promedio de Cd en los suelos entre los cultivos de tomate y fréjol localizados en tres pisos altitudinales en el cantón Pallatanga. Las barras representan el promedio \pm error estándar; * muestra la existencia de diferencias significativas.

Para el piso altitudinal montano bajo al igual que en el primer piso, se registró la mayor concentración de Cd en el cultivo de tomate con $0,88 \pm 0,04$ mg/kg; mientras que en el fréjol fue de $0,62 \pm 0,05$ mg/kg (Fig. 49). Mientras que la concentración máxima fue de $0,9$ mg/kg para ambos cultivos, valores que no generaron diferencias estadísticamente significativas ($W=11,0$; $p=0,213258$) para la concentración de Cd y los suelos agrícolas localizados en el piso altitudinal montano bajo (Fig. 51).

Por otra parte, en el piso altitudinal montano se presentó promedios de Cd diferentes a los pisos piemontano y montano bajo, debido a que el cultivo de fréjol registró concentraciones de $0,83 \pm 0,15$ mg/kg Cd, y en menor presencia en el cultivo de tomate con $0,77 \pm 0,08$ mg/kg (Fig. 49). En donde la máxima concentración del metal en los suelos fue en el cultivo de fréjol con 1 mg/kg, y no se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($W=22,0$; $p=0,547267$) entre la concentración de Cd y los cultivos localizados en el piso altitudinal montano (Fig. 52).

Correlación de la concentración de cadmio presente en el suelo del cultivo de tomate con las características fisicoquímicas

La varianza acumulada de valores de las variables en

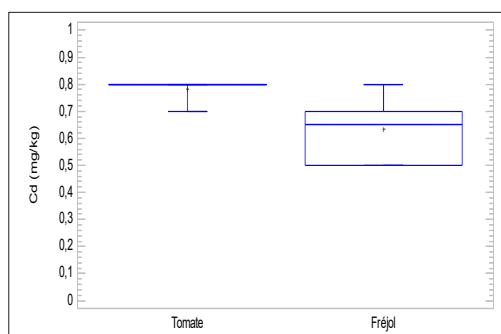


Figura 50. Diferencias significativas de la concentración de Cd en cultivos de tomate y fréjol localizados en el piso Piemontano, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

los tres primeros componentes del ACP en los suelos agrícolas del cultivo de tomate mostró un 84% del total (Tabla 8). En el primer componente se demostró la existencia de una correlación positiva y moderada ($=0,45$) con el pH, débil ($=0,27$) con la Humedad y muy débil ($=0,08$) con la materia orgánica; mientras que la temperatura y la conductividad eléctrica obtuvieron una correlación negativa y moderada con rangos de entre ($=-0,53$) y ($=-0,44$), respectivamente. En tanto en el segundo componente la variable de interés (Cd) presentó una correlación negativa con todas las variables ambientales en el cultivo de tomate (Fig. 48).

Correlación de la concentración de cadmio presente en el suelo del cultivo de fréjol con las características fisicoquímicas

La varianza acumulada de valores de las variables en los tres primeros componentes del ACP en los suelos agrícolas del cultivo de fréjol mostró un 81% del total (Tabla 9). En el primer componente se demostró la existencia de una correlación positiva y moderada ($=0,52$) con la materia orgánica, débil ($=0,35$) con el pH y muy débil ($=0,08$) con la humedad; mientras que la temperatura y la conductividad eléctrica tienen una relación inversa con intensidades entre moderada ($=-$

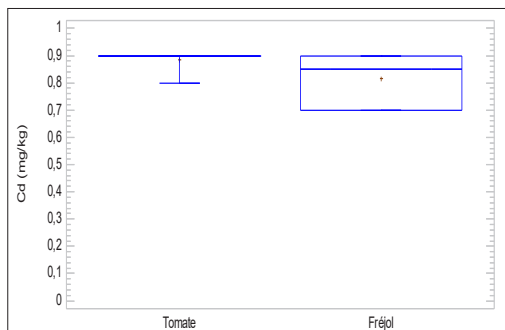


Figura 51. Diferencias significativas de la concentración de Cd en los cultivos de tomate y fréjol localizados en el piso montano bajo, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

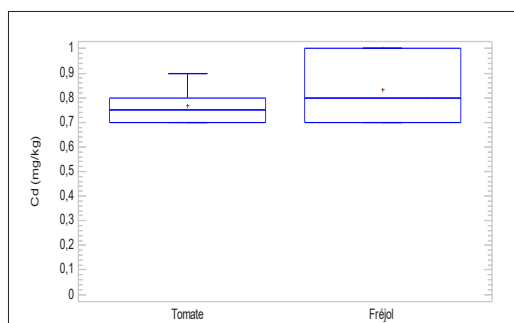


Figura 52. Diferencias significativas de la concentración de Cd en los cultivos de tomate y fréjol localizados en el piso montano, tomando como referencia $p < 0,05$ según Mann Whitney.

Tabla 8. Porcentaje de varianza explicada por los tres primeros componentes del ACP aplicados a las variables medidas en los suelos del cultivo de tomate en el cantón Pallatanga.

| Componente | Valor | Porcentaje de varianza | Porcentaje acumulado |
|------------|-------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2,77 | 46,14 | 46,14 |
| 2 | 1,55 | 25,91 | 72,05 |
| 3 | 0,75 | 12,43 | 84,48 |

Tabla 9. Porcentaje de varianza explicada por los tres primeros componentes del ACP aplicados a las variables medidas en los suelos del cultivo de fréjol en el cantón Pallatanga.

| Componente | Valor | Porcentaje de varianza | Porcentaje acumulado |
|------------|-------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2,66 | 44,27 | 44,27 |
| 2 | 1,22 | 20,28 | 64,55 |
| 3 | 0,97 | 16,09 | 80,64 |

0,55) y débil ($= -0,33$), respectivamente en el primer componente. En tanto en el segundo componente sólo la variable temperatura mostró una correlación negativa y muy débil ($= -0,04$), con la concentración de cadmio en el cultivo de fréjol (Fig. 49).

Discusión

El cadmio (Cd) es un metal tóxico que se incorpora en la dieta humana a través de los alimentos, y estos a su vez de los suelos al encontrarse biodisponible; de forma general el cadmio encontrado en los suelos agrícolas del cantón Pallatanga, sobrepasaron el límite máximo permisible nacional para los tres pisos altitudinales, y del mismo modo para los cultivos de tomate y fréjol estudiados. Además, las características fisicoquímicas

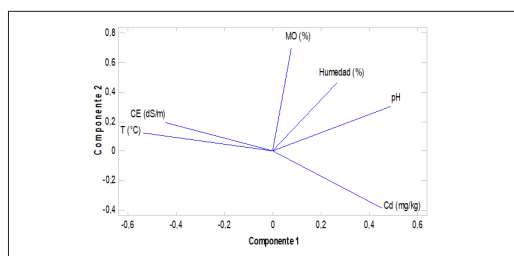


Figura 53. Análisis de componentes principales entre las variables estudiadas del cultivo de tomate: concentración de Cd, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, humedad y temperatura del suelo.

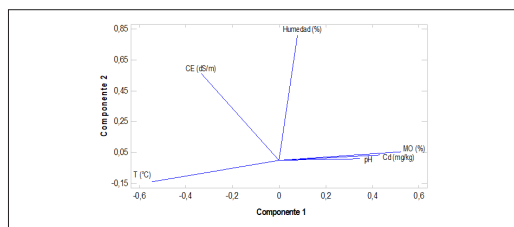


Figura 54. Análisis de componentes principales entre las variables estudiadas del cultivo de fréjol: concentración de Cd, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, humedad y temperatura del suelo.

de los suelos en cuestión resultaron ser propicias para la retención del metal cadmio.

En este estudio se demuestra que la variabilidad del Cd en los suelos agrícolas entre los meses de noviembre y diciembre de 2019 difiere con los tipos de cultivo y pisos altitudinales, con valores entre 0,5 mg/kg y 1,0 mg/kg. El 94% de las muestras superan el LMP nacional (TULSMA), el cual establece como valor límite 0,5 mg/kg de Cd, mientras que el 33% de los mismos superaron las directrices holandesas (0,80 mg/kg).

Estos datos se asemejan a los reportados por Chavez et al. (2015), cuyas muestras fueron tomadas a la misma profundidad (0-15 cm), en donde obtuvo valores que fluctuaron entre 0,66 mg/kg y 2,59 mg/kg de cadmio. Es muy probable que los valores elevados de

cadmio encontrados en los suelos agrícolas del cantón Pallatanga se deban principalmente al inadecuado uso de fertilizantes químicos, siendo menos posible que este metal ingrese a los suelos a través de la irrigación debido a que no se encontraron fuentes de contaminación que pudieran afectar el agua de riego (Sheppard et al., 2009; Alloway & Steinnes, 1999) including soil, but agriculture uses some materials that have increased TE concentrations. Some TEs (e.g., Cu, Se, and Zn, esto es respaldado por estudios previos realizados (Qian et al., 2016; Muñoz et al., 2017), este último realizado en la provincia del Guayas, quienes identificaron a los fertilizantes químicos como fuentes de contaminación de cadmio en los suelos agrícolas, debido a que encontraron valores de 56 mg/kg y 41,30 mg/kg, respectivamente.

La concentración de Cd en los pisos altitudinales presentó mayor acumulación del metal en el montano bajo ($0,85 \pm 0,08$ mg/kg), seguido de los pisos montano ($0,80 \pm 0,12$ mg/kg) y piemontano ($0,71 \pm 0,12$), respectivamente. Estos valores difieren a un estudio previo (Felicita, 2018), que registró concentraciones por debajo de 0,2 mg/kg en suelos de la cuenca baja del río Guano. Probablemente esta diferencia se debe a que en esta zona no se evidenció una actividad agrícola extensiva. Cabe indicar que las concentraciones de Cd halladas en los pisos altitudinales sugieren que la movilidad de este metal está relacionada con las actividades antropogénicas y las características fisicoquímicas de los suelos al no inferir la altitud del terreno en la concentración del metal, dato que ha sido afirmado (Alloway, 2013).

Respecto a los cultivos, se determinó una mayor acumulación del metal en el cultivo de tomate ($0,81 \pm 0,08$), a diferencia del fréjol ($0,76 \pm 0,15$ mg/kg). Estos resultados son comparables con otros estudios realizados (Escobar, 2016), cuyo valor medio para los suelos de tomate fue de 0,56 mg/kg; por el contrario, la investigación realizada por Meers et al. (2006) awareness has risen that the total soil content of pollutants by itself does not suffice to fully assess the potential ecotoxicological risks involved. Chemical analysis will require to be complemented with biological assays in a multidisciplinary approach towards site specific ecological risk assessment (SS-ERA en suelos de fréjol, determinó un valor de 7,61 mg/kg de cadmio. La mayor concentración del cadmio en los suelos de tomate podría deberse a una menor biodisponibilidad de este metal, lo que provocaría una mayor acumulación en el suelo y no en la planta del tomate (Singh & McLaughlin, 1999).

Con respecto a las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas del cantón Pallatanga, la variable ambiental pH obtuvo valores que fluctuaron entre 4,0 y 7,0, en donde el 69% de los suelos estudiados resultaron ser moderadamente ácidos según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002), detectando un mayor grado de acidez en el piso piemontano, mientras que para los sistemas de cultivo el pH no mostró diferencias significativas

($p > 0,05$). La materia orgánica (MO) por su parte presentó variaciones del 5,20% y 11,35%, siendo en un 64% de los suelos considerados como medios en MO, en donde se presentó una mayor acumulación de MO en el piso montano bajo, y en el cultivo de fréjol. Según Bernardo et al. (2019), las condiciones ácidas aumentan la fracción de Cd soluble () a consecuencia de la disolución de los carbonatos y sulfatos lo que incrementa su solubilidad; y los porcentajes mayores al 5% de MO presentan un nivel relativamente bajo de captura de Cd por las plantas, a consecuencia de la alta capacidad de las moléculas orgánicas para formar complejos (Chicón, 2006). Una forma de aumentar el pH del suelo es a través del encalado, lo que disminuye la disponibilidad del cadmio para las plantas (Puschenreiter, Horak, Friesl-Hanl, & Hartl, 2005). Otra alternativa para mejorar las condiciones de los suelos es la incorporación de enmiendas orgánicas como el compost, estiércol de granja, y los biosólidos, debido a su alto contenido de materia orgánica, fósforo, y hierro. Según Krishnamurti, Huang, & Kozak (1999), la biodisponibilidad del cadmio en suelos con pH de 6,1 y 7,8, con contenidos de materia orgánica de 3,9% y 3%, disminuye al incrementar la cantidad de fósforo en el suelo.

Hay que recalcar que todos los suelos de esta investigación presentaron texturas francas según las tablas de Munsell (2009), es decir, presentaron proporciones idóneas de arcilla, arena y limo, con efectos despreciables de salinidad ($< 1,0$ dS/m). Por lo que es conocido, este tipo de suelos que contienen arcilla tienden a adsorber al metal Cd (Bernardo et al., 2019); pero a su vez el aumento de la salinidad puede incrementar su movilidad (Galán & Romero, 2008) hidrosfera y biosfera sobre la superficie de la geosfera. Ocupa la interfase entre la geosfera y los demás sistemas, en la llamada Zona Crítica (National Research Council, 2001; Brantley et al. 2007).

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que las concentraciones de Cd no dependen de la altitud del terreno; sino más bien de la intensidad de actividades agrícolas que se presentan en la zona. Por lo antes expuesto, se asume que los suelos agrícolas del piso altitudinal piemontano no presentan características fisicoquímicas adecuadas para la retención del Cd, especialmente con la variable pH y MO, posiblemente este metal se encuentre con una alta movilidad y biodisponibilidad en el suelo independientemente de los sistemas de cultivo, lo que podría explicarse en parte porque existe una menor acumulación de Cd, a pesar de que existe una alta actividad agrícola en este piso altitudinal; mientras que en el montano bajo y montano presentaron condiciones idóneas para la retención del metal, debido a que ahí se encontraron las concentraciones más elevadas de Cd específicamente en el piso montano bajo, así como en los suelos del cultivo de tomate.

Finalmente, en la correlación de las variables ambientales con la concentración de Cd que se

encontraron en los sistemas de cultivo, se observó claramente que la variable pH y MO, estuvieron asociados positivamente a la presencia del metal, lo que corrobora lo antes planteado especialmente esto se pudo observar en el cultivo de fréjol.

Conclusiones

De acuerdo con las observaciones de campo y la caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas del cantón Pallatanga, se puede afirmar que estos son moderadamente ácidos, con tonalidades oscuras debido a su naturaleza volcánica y principalmente a la presencia considerable de materia orgánica, presentando texturas francas propicias para la producción de cultivos y la retención del cadmio.

Las concentraciones medias de cadmio registradas entre noviembre y diciembre del 2019 sobrepasaron la normativa nacional (TULSMA) en los tres pisos altitudinales, y de igual forma para los dos sistemas de cultivos estudiados; mientras que para las directrices holandesas solamente el piso altitudinal montano bajo y el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) estuvieron fuera de normativa.

El análisis de componentes principales mostró una correlación moderada para la materia orgánica, y débil para el pH para ambos cultivos, siendo más significativos en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*).

Recomendaciones

- Preparar los terrenos antes de cada siembra, siendo fundamental la estabilización química del suelo ya sea con el encalado o la incorporación de enmiendas orgánicas, de tal forma que el cadmio no se encuentre biodisponible para los cultivos.
- Realizar análisis fisicoquímicos del terreno antes de la aplicación de fertilizantes químicos, para determinar la cantidad exacta que se debe emplear, ya que además de representar un desperdicio del producto que a su vez aumenta el costo de producción, genera un impacto adverso en el suelo.
- Para aplicar medidas más efectivas en el control de los suelos del cantón Pallatanga, se recomienda ampliar el campo de análisis de los metales pesados en los cultivos, determinar su origen y el impacto que generan en los suelos agrícolas.
- Capacitar a las comunidades locales sobre el uso adecuado de los agroquímicos y fertilizantes debido a que estos generan toxicidad en los ecosistemas.

Bibliografía

- Alloway, B.J. 2013. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: B. Alloway, *Heavy Metals in Soils, Trace metals and Metalloids in soils and their Bioavailability*. Springer, Dordrecht (2013), pp. 11-50.
- Alloway, B.J., y Steinnes, E. 1999. Anthropogenic Additions of Cadmium to Soils. In *Cadmium in Soils and Plants*. 85: 97-123.
- Añazco, K. 2019. *Efectos del cadmio sobre la germinación y crecimiento de Lens culinaris Medik.* (Lenteja), *Oryza Sativa L.* (Arroz) y *Phaseolus vulgaris L.* (Fréjol). Tesis de grado previo a la obtención de Ingeniero Ambiental, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39572>
- Bernardo, A., Fernández, C., Rocha, D., Chepen, K., & Rivas, N. 2019. *Procesos químicos y bioquímicos del cromo y del cadmio en el suelo*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31087.18080>
- Bonomelli, C., Bonilla, C., y Valenzuela, A. 2003. Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 38(10): 1179-1186.
- Boyer, J., Fourqurean, J., y Jones, R. 1997. Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater Bay by Multivariate Analyses: Zones of Similar Influence. *Estuaries and Coasts*, 20: 743-758.
- Cargua, J.E. 2010. *Determinación de las Formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su disponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano*. Tesis de grado previo a la obtención de título de Ingeniera Agropecuaria: Mención en Producción Pecuaria, Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Castro, C. 2018. *Tabla Munsell Teoría y Práctica y Manejo de Tabla de colores Munsell y régimen de Humedad*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19472.05125>
- Chavez, E., He, Z.L., Stoffella, P.J., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., Moyano, B., y Baligar, V.C. 2015. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533: 205-214.
- Chicón, L. 2006. *Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos* Trabajo de Investigación del Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental, Universidad de Málaga. Recuperado de https://www.pilcomayo.net/media/uploads/biblioteca/libro_902_MA-271.pdf
- Cuadras C. 1983. *Análisis de la varianza y covarianza en problemas de probabilidad y estadística*. Edit. Reverte, S. A. Barcelona, España. 22 pp.
- Danielyan, K.E., y Chailyan, S.G. 2019. Heavy Metals. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 21(5): 16165-16169.
- Escobar, S. 2016. *Determinación de la presencia de plomo y cadmio en frutilla (Fragaria ananassa) y tomate (Solanum lycopersicum) en el Quinche*. Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10068>
- Evans, J. 1996. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
- FAO y WHO. 2019. *Codex Alimentarius Commission - Procedural Manual twenty-seventh edition*. Rome. 254 pp.
- Felicita, O.M. 2018. *Estudio de presencia de contaminantes (metales pesados y agrotóxicos) en agua, suelo y alimentos en los cantones Riobamba y Guano de la provincia de Chimborazo y su posible relación con el espectro Autista*. Informe final de Investigación, Universidad Andina Simón Bolívar, sede Ecuador, 56 p. <https://repositorio.uasb.edu>

- ec/bitstream/10644/6711/1/PI-2018-15-Felicita-Estudio.pdf
- Galán, E., y Romero, A. 2008. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla* 10: 48-60. Recuperado de http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pallatanga. 2018. *Plan de ordenamiento territorial del gobierno autónomo descentralizado del cantón Pallatanga reforma 2018*. Recuperado de <https://pallatanga.gob.ec/index.php/gad/planes-de-gobierno>
- Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D., y Selles, F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 78: 1-17. <https://doi.org/10.4141/P96-100>
- Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants: Fourth edition. CRC press, Boca Ratón, Fl. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kobayashi, J. 1978. Pollution by cadmium and the itai-itai disease in Japan. In: Oehme F.W. ed. *Toxicity of Heavy Metals in the Environment*, New York, Marcel Dekker, pp. 199-260.
- Krishnamurti, G., Huang, P., & Kozak, L. 1999. Sorption and Desorption Kinetics of Cadmium From Soils: Influence of Phosphate. *Soil Science*, 164: 888-898.
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., y Díez, S. 2017. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environmental Research*, 154: 380-388.
- Meers, E., Ruttens, A., Gebelen, W., Vangronsveld, J., Samson, R., Vanbroekhoven, K., Vandegheuchte, M., Diels, L., y Tack, F.M.G. 2006. Potential use of the plant antioxidant network for environmental exposure assessment of heavy metals in soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 120(1-3): 243-267.
- Mendoza, R. B., y Espinoza, A. 2017. *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. 2012. *Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Recuperado de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/Documento_Metodolog+ja_28_05_2012_v2_1.pdf
- Ministerio del Ambiente. 2015. *Acuerdo no. 061 reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Recuperado de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108?version=1.0>
- Miyazawa, M., Pavan, M.A., Oliveira, E.L. de, Ionashiro, M., y Silva, A.K. 2000. Gravimetric determination of soil organic matter. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 43(5): 475-478.
- Muñoz, J. D. 2017. *Determinación de Cadmio en fertilizantes, plantas de Oriza sativa L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento*. Universidad de Guayaquil.
- Munsell Color. 2009. *Munsell Soil Color Charts: With Genuine Munsell Color Chips* (2009th ed.). Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=X8GQxgEACAAJ&dq=MUNSELL+SOIL+COLOR+CHARTS+2009&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjMLZ-smdPoAhUESN8KHQIXAzczQ6AEIKJAA>
- Neelam, K., Vinita, R., y Sibi, J. 2018. Human Health and effects of heavy metals. *International Journal of Applied Chemistry*, 5(1): 4-5.
- Proshad, R., Islam, M., Kormoker, T., Bhuyan, M., Hanif, M., Hossain, N., Roy, R. y Sharma, A. 2019. Contamination of Heavy Metals in Agricultural Soils: Ecological and Health Risk Assessment. *SF Journal of Nanochemistry and Nanotechnology*, 2(1): 1-13.
- Puschenreiter, M., Horak, O., Friesl, W., y Hartl, W. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain - A review. *Plant, Soil and Environment*, 51: 1-11.
- Qian, M., Wu, H., Wang, J., Zhang, H., Zhang, Z., Zhang, Y., Lin, H., y Ma, J. 2016. Occurrence of trace elements and antibiotics in manure-based fertilizers from the Zhejiang Province of China. *Science of The Total Environment*, 559: 174-181.
- Ritchey, E.L., Mcgrath, J.M., y Gehring, D. 2015. Determining Soil Texture by Feel. *Agriculture and Natural Resources Publications*. 139. Recuperado de https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/139
- Rodrigues, L., Reis, A., y Lupino, P. 2016. *Heavy metals in agricultural soils: From plants to our daily life*. *Cientifica, Jaboticabal*, 44(3): 346-361.
- Salmanzadeh, M., Balks, M.R., Hartland, A., y Schipper, L.A. 2016. Cadmium accumulation in three contrasting New Zealand soils with the same phosphate fertilizer history. *Geoderma Regional*, 7(3): 271-278.
- Sánchez, G. 2016. *Ecotoxicología del cadmio riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio*. Trabajo de fin de grado, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense. Recuperado de http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA_SANCHEZ_BARRON.pdf
- Schroeder, H.A., y Balassa, J.J. 1963. Cadmium: Uptake by vegetables from superphosphate in soil. *Science*, 140(3568): 819-820.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial, Segunda Sección. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documents/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Sheppard, S.C., Grant, C. A., Sheppard, M.I., de Jong, R., y Long, J. 2009. Risk Indicator for Agricultural Inputs of Trace Elements to Canadian Soils. *Journal of Environmental Quality*, 38(3): 919-932.
- Sierra, C. 2019. La relación entre contenido de arcilla y la CIC y su influencia en la fertilización. Recuperado del sitio web de El Mercurio: Campo: <https://digital.elmercurio.com/2020/03/03/A>
- Singh, B.R., y McLaughlin, M.J. 1999. Cadmium in Soils and Plants. In: *Developments in Plant and Soil Sciences*, pp. 257-267. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_10
- Singhal, R.L., Merali, Z., y Hrdina, P.D. 1976. Aspects of the biochemical toxicology of cadmium. *Federation Proceedings*, 35: 75-80.
- Sokal, R.R., y Rohlf, F.J. 2002. *Introducción a la bioestadística*. Ed. Reverté. Barcelona, 380 p.
- Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen Asri, F., y Citak, S. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma*, 144: 361-369.
- Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M.R., y Montanarella, L. 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 88: 299-309.
- Unión Europea. 2019. *Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios*. Recuperado de <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- Wang, P., Chen, H., Kopittke, P.M., y Zhao, F.J. 2019. Cadmium contamination in agricultural soils of China and the impact on food safety. *Environmental Pollution*, 249: 1038-1048.
- Wildlands School. 2010. *Soil Science 3. Measuring Soil Moisture and Organic Content*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=XmprDMqu4zc>
- Zar, J. 1996. *Biostatistical Analysis*. 3era Ed. Edit. Prentice Hall. Upper Saddle River New Jersey, USA. 662 pp.

Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 14(1)

| | |
|---|-----|
| Descripción morfométrica Trichomycteridae (Siluriformes) de las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón - Colonche, provincia de Sant Elena, Ecuador / Morphometric description of the Trichomycteridae family of the hydrographic basins of the Chongon - Colonche mountains..... | |
|Pedro Guillermo Ramos Montoya, Antonio Torres Noboa..... | 119 |
| Concentración de cadmio en marcas de cigarrillos de tabaco comercializados en Guayaquil, Ecuador / Concentration of cadmium in tobacco cigarette brands traded in Guayaquil, Ecuador..... | |
|Connie Jacqueline Durán Barros, Rubén Castro..... | 127 |
| Desarrollo larval de Entomofauna de importancia forense en un bosque seco de la costa ecuatoriana / Entomofauna larval development of forensic importance in a dry forest of the Ecuadorian coast..... | |
|Andrea Lilibeth Merino Mosquera..... | 137 |
| Determinación de cadmio en suelos agrícolas del cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, Ecuador / Determination of cadmium in agricultural soils of Pallatanga canton, province of Chimborazo, Ecuador..... | |
|Julio César Pilco Yungan, David Eloy García Asencio..... | 151 |
| Normas para la publicación de artículos, “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” | |