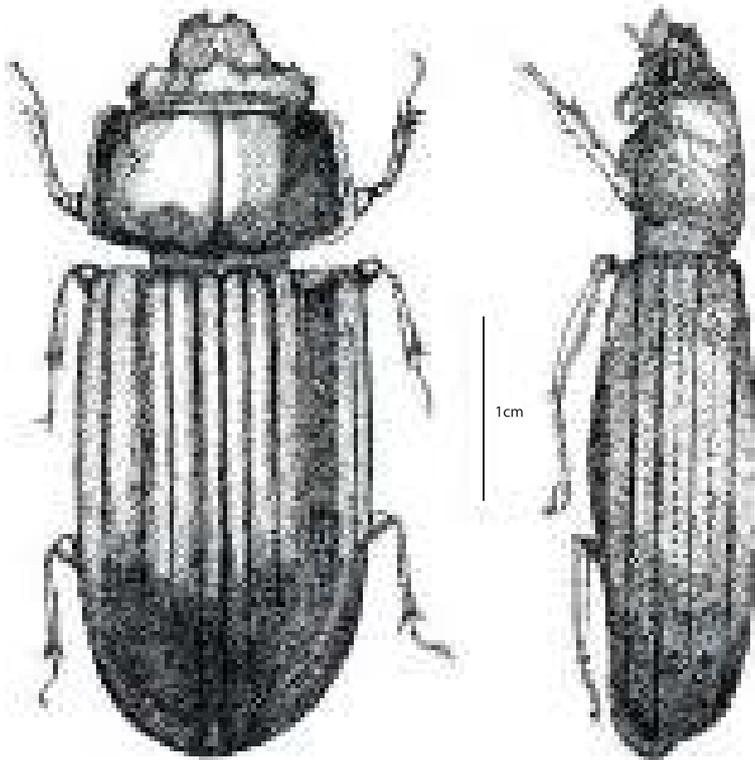


ISSN: 1390-8413

Volumen 13 | Número 1 | Junio 2019

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

### Responsables Editoriales

Editor: Dra. Carmita Bonifaz de Elao, MSc. (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

### Consejo Editorial

PhD. Galo Salcedo Maridueña (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

PhD. Beatriz Pernía Santos (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

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

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

MSc. Jaime Salas Zambrano (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

MSc. José Antepara Basurto, Coordinador editorial (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

### Comité Científico Internacional

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

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

PhD. Eulogio Chacón Moreno (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas -ICAE)

PhD. María Eugenia Rondón (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Química)

PhD. Jaime R. Cantera-Kintz (Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia)

### Traducción

MSc. Carlos Montalvo Patiño

### 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.*

Todos los artículos son revisados por pares calificados, revisores independientes.

*All articles are peer-reviewed by qualified, independent reviewers.*

**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: Escarabajo de charol (*Odontotaenius striatopunctatus*). Ilustración: Oscar Piguave A. 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. 13(1), Se terminó de editar en Junio de 2019.

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/index.php/cna>

[revistacienciasnaturales@ug.edu.ec](mailto:revistacienciasnaturales@ug.edu.ec)

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

Guayaquil, Ecuador



## Aplicación del cardón *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (*Caryophyllales, Cactaceae*) en la clarificación de aguas con alta turbidez

### Application of the cactus *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (*Caryophyllales, Cactaceae*) in the clarification of waters with high turbidity

Lorena Fuentes<sup>1\*</sup>, Iván Mendoza<sup>2</sup>, Alicia González<sup>3</sup>, Zolange Rodríguez<sup>4</sup> & Karen Valera<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago, Laboratorio de Investigaciones Ambientales (Cabimas, Venezuela). Profesora Emérita.

<sup>2</sup>Profesor Emérito. [ivnmendoza@gmail.com](mailto:ivnmendoza@gmail.com).

<sup>3</sup>Tesista. [alix21\\_6@hotmail.com](mailto:alix21_6@hotmail.com).

<sup>4</sup>Tesista. [zolange\\_r@hotmail.com](mailto:zolange_r@hotmail.com).

<sup>5</sup>Tesista. [karen\\_eliza71@hotmail.com](mailto:karen_eliza71@hotmail.com).

Recibido 2 de mayo 2019; recibido en forma revisada 26 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponible en línea 26 de junio 2019

#### Resumen

*Stenocereus griseus* es una cactácea que ha resultado efectiva como coagulante en la clarificación de aguas con turbiedades bajas (20 UNT-100 UNT) y muy altas (200 UNT-300 UNT). El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad del mucilago crudo extraído de *S. griseus* en la clarificación de aguas con alta turbidez (100 UNT-200 UNT). Los ensayos se realizaron a escala laboratorio. Se prepararon aguas sintéticas ajustadas a turbiedades entre 100 UNT y 200 UNT, las cuales fueron tratadas con diferentes dosis de *S. griseus* y caracterizadas fisicoquímicamente (turbidez, pH, color y alcalinidad). La simulación del proceso de clarificación arrojó remociones de turbidez que oscilaron entre 83,77 % y 91,78 % antes de filtrar y entre 94,68 % y 97,94 % luego de ello. Posterior a la etapa de filtración, el pH se ubicó en el rango de 6,23-6,98, la alcalinidad presentó valores inferiores a 40 mg CaCO<sub>3</sub>/L y el color varió desde 13,33 UC Pt/Co hasta 26,67 UC Pt/Co. Estos resultados demuestran la efectividad del coagulante extraído de *S. griseus* para la remoción de turbidez y color en aguas con alta turbidez, pudiéndose utilizar como coagulante primario.

**Palabras clave:** coagulación-floculación, coagulante natural, clarificación del agua, *Stenocereus griseus*.

#### Abstract

*Stenocereus griseus* is a cactus that has been effective as a coagulant in the clarification of waters with low turbidity (20 UNT-100 UNT) and very high (200 UNT-300 UNT). The objective of this investigation was to evaluate the effectiveness of the crude mucilage extracted from *S. griseus* in the clarification of waters with high turbidity (100 UNT-200 UNT). The tests were performed on a laboratory scale. Synthetic waters adjusted to turbidity between 100 NTU and 200 NTU were prepared, which were treated with different doses of *S. griseus* and characterized physicochemically (turbidity, pH, color and alkalinity). The simulation of the clarification process showed turbidity removals that oscillated between 83.77% and 91.78% before filtering and between 94.68% and 97.94% afterwards. After the filtration stage, the pH was in the range of 6.23-6.98, the alkalinity presented values lower than 40 mg CaCO<sub>3</sub> / L and the color varied from 13.33 UC Pt / Co to 26.67 UC Pt / Co. These results demonstrate the effectiveness of the coagulant extracted from *S. griseus* for the removal of turbidity and color in waters with high turbidity, being able to use as a primary coagulant.

**Key words:** coagulation-flocculation, natural coagulant, water clarification, *Stenocereus griseus*.

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: [lfuentesp89@gmail.com](mailto:lfuentesp89@gmail.com)



## Introducción

El tratamiento del agua puede subdividirse en cuatro etapas: clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y acondicionamiento organoléptico. En este estudio se aborda la clarificación, la cual consiste en la eliminación de partículas finas que confieren al agua turbidez y color; a su vez, ésta comprende las fases de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. La coagulación contempla la desestabilización eléctrica de las partículas en suspensión (coloides) mediante la adición de sustancias químicas o agentes coagulantes que neutralizan la carga eléctrica de los coloides, los cuales después de una rápida agitación se aglomeran y floculan; esta operación se favorece con una agitación lenta a fin de provocar la aglomeración de las partículas en coágulos de mayor tamaño que posteriormente sedimentan y son fáciles de remover (Arancibia, 2011).

Convencionalmente, el agua destinada al consumo humano se trata con coagulantes de origen químico como  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  (Romero, 2005),  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  y  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$  (Barrenechea *et al.*, 2004), entre otros productos. No obstante, existe una diatriba científica sobre las posibles implicaciones que tendrían para la salud el uso de sales de aluminio para potabilizar el agua, pues en algunas investigaciones se refiere que existe una relación entre el aluminio y el mal de Alzheimer. De hecho, el aluminio es una neurotoxina que inhibe más de 200 funciones biológicas, puede inducir la formación de estructuras neurofibrilares y sus niveles están elevados en cerebros con mal de Alzheimer (Campdelacru, 2012). De allí que su concentración debe ser controlada cuando se utiliza para el tratamiento del agua.

En función de lo expuesto, se hace necesario hallar alternativas factibles para la clarificación del agua que permitan reducir la turbidez y el color a niveles permisibles, tal y como lo establece la normativa venezolana (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998), sin dejar un residual de aluminio u ocasionar algún efecto negativo en la salud humana.

En los últimos años se han evaluado algunos productos naturales con propiedades coagulantes que resultan eficientes, seguros, económicos y generan menor cantidad de lodos (Fuentes *et al.*, 2016). El origen de estos productos naturales puede ser vegetal o animal. Entre los coagulantes de origen vegetal se encuentran los cotiledones de semillas de *Moringa oleifera* (Fuentes *et al.*, 2016; Ali *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2017; Meza-Leones *et al.*, 2018), *Tamarindus indica* (Hernández *et al.*, 2013), *Linum usitatissimum* (López *et al.*, 2014); cactáceas como *Opuntia ficus indica* (González *et al.*, 2009; Fuentes *et al.*, 2016; Olivero *et al.*, 2013), *Opuntia cochinellifera* (Fuentes *et al.*, 2012), *Opuntia wentiana* (Parra *et al.*, 2011), *Hylocereus lemairei* (Mendoza *et al.*, 2008), *Stenocereus griseus* (Fuentes *et al.*, 2011; González *et al.*, 2016), exudados gomosos de *Samanea saman* (González *et al.*, 2006) y de *Cedrela odorata* (Mejías

*et al.*, 2010), algas marinas (Fuentes *et al.*, 2016). Entre los coagulantes de origen animal se han evaluado las gelatinas de huesos bovinos (Fuentes *et al.*, 2014; Briceño *et al.*, 2014), el quitosano (Arancibia, 2011; Fuentes *et al.*, 2008; Caldera *et al.*, 2017) y la quitina (Fuentes *et al.*, 2017).

Las plantas pertenecientes a la familia cactaceae se caracterizan por sintetizar mucilagos, los cuales son polisacáridos tipo pectina, altamente viscosos y con una elevada capacidad para retener el agua, esta propiedad parece estar relacionada con la presencia de ácidos galacturónicos como componente de su esqueleto o cadena principal. Específicamente, el género *Stenocereus* comprende un grupo heterogéneo de cactus distribuidos desde el sur de Arizona hasta el norte de Colombia y Venezuela, se agrupa casi exclusivamente en una sola familia (*Cactaceae*), es un cactus columnar que puede alcanzar los 11 metros de altura y tiene diversas aplicaciones, entre las que figura su utilización como floculante para el cieno del agua de lluvia que llena los jagüeyes (Villalobos *et al.*, 2007).

La estructura del mucilago extraído de *Stenocereus griseus* es propia de polímeros con al menos dos cadenas de polisacáridos que presentan interacciones de puentes de hidrógeno, entre grupos carboxílicos, o entre grupos alcohólicos o con enlaces cruzados entre un catión polivalente como el  $Ca^{2+}$ , el cual actúa como grupo central y los grupos carboxílicos del ligando de polisacáridos (Keller, 1983 y Muzarelli, 1973 citado en Henríquez-Rodríguez *et al.*, 2009). Desde el punto de vista bioquímico, los mucilagos de *S. griseus* están compuestos principalmente por ramnosa, arabinosa, galactosa y ácidos urónicos. El análisis de los tipos de enlace predominantes en la fracción soluble de *S. griseus* ha confirmado la presencia de unidades de galactopiranosas y ácidos urónicos (Henríquez-Rodríguez *et al.*, 2009).

Investigaciones previas han demostrado la efectividad de una mezcla mucilaginosas cruda de *S. griseus* como coagulante en la potabilización de aguas con turbiedades bajas (20 UNT-100 UNT) (Fuentes *et al.*, 2011) y muy altas a un intervalo de turbidez inicial desde 200 UNT hasta 300 UNT (González *et al.*, 2016). También se ha estudiado la eficiencia del mucilago desecado de *S. griseus* para el tratamiento de aguas con turbiedades iniciales entre 50 y 100 UNT (Fuentes *et al.*, 2014), por lo cual constituye una alternativa natural en contraste con los productos de origen químico que comúnmente se utilizan y es pertinente continuar estudiando su efectividad en otros rangos de turbidez.

## Materiales y Métodos

### Recolección de muestras de *Stenocereus griseus*

La cactácea *Stenocereus griseus* utilizada en esta investigación se recolectó en el sector Monte Pío del municipio Cabimas, estado Zulia (Venezuela); y el material vegetal fue trasladado al laboratorio para la realización de los ensayos correspondientes.

### Preparación de la mezcla coagulante

Se utilizó una metodología reportada previamente (Fuentes *et al.*, 2011). Para ello se recolectó una cantidad moderada de fragmentos de tallos de la cactácea *S. griseus*, a los cuales se les retiró la epidermis separando el tejido parenquimatoso, ubicado entre el cilindro sólido o prostostela y la epidermis. Este parénquima se licuó durante 48 segundos en un procesador doméstico, se separó la fase sólida de la acuosa con ayuda de un lienzo de gasa y mediante gravimetría se determinó la cantidad de mucilago. Posteriormente, se agregó agua destilada hasta obtener una mezcla heterogénea mucilaginososa con una concentración de 48,38 % m/v (Figura 1). Se emplearon dosis de 2 mL (968 ppm), 3 mL (1451 ppm), 4 mL (1935 ppm), 5 mL (2419 ppm) y 6 mL (2903 ppm).

### Recolección de las muestras de agua del grifo

Las muestras de agua se recolectaron del grifo en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago (LIANCOL), estado Zulia (Venezuela) y se caracterizaron en cuanto a los parámetros fisicoquímicos turbidez, color, pH y alcalinidad.

### Preparación del agua sintética

El agua sintética se preparó agregando una mezcla arcillosa al agua proveniente del grifo. Esto con la finalidad de llevarla a los valores de turbidez inicial requeridos para este estudio (100, 120, 140, 160, 180 y 200 UNT). La mezcla de arcilla fue preparada con 26 gramos de la misma, adicionando agua del grifo hasta completar 100 mL, posteriormente se agitó durante 5 minutos para obtener una mezcla lo más uniforme posible y se sedimentó durante 24 horas antes de su utilización para garantizar la hidratación de las partículas.

### Prueba de jarras: simulación del proceso de clarificación del agua

Se simularon las fases de coagulación, floculación y sedimentación en un equipo de Jarras, Modelo JLTG (Leaching Test Digital). Las pruebas de jarras fueron utilizadas para medir la efectividad del coagulante obtenido de *S. griseus* (se hicieron por triplicado) en muestras de agua cruda sintética con valores de turbidez entre 100 y 200 UNT, con el fin de encontrar la dosis óptima de *S. griseus*.

Se agregó agua sintética en cada uno de los seis vasos de precipitado con capacidad de un litro utilizados en el equipo de jarras. Inmediatamente se adicionaron en cinco vasos las dosis correspondientes de la mezcla coagulante para realizar la mezcla rápida (un minuto a 100 rpm) y la mezcla lenta (veinte minutos a 30 rpm). Además, se dejó un vaso sin tratamiento (control).

Al finalizar la agitación lenta, se aplicó la fase de sedimentación durante 30 minutos. Luego, se determinaron los parámetros fisicoquímicos (turbidez, color, pH y alcalinidad) antes y después de la filtración en las muestras de agua tratadas con el coagulante *S. griseus*, así como en el control. Para la fase de filtración de estas aguas se utilizaron seis embudos cada uno con un papel de filtro, con el fin de simular el procedimiento que se lleva a cabo en las plantas potabilizadoras.

### Determinación de los parámetros fisicoquímicos en aguas tratadas con la mezcla mucilaginososa de *S. griseus*

Los parámetros fisicoquímicos se evaluaron tomando en consideración los procedimientos establecidos por APHA-AWWA-WEF (1998). Se aplicó el método potenciométrico para determinar el pH, el método



Figura 1. Proceso de obtención de una mezcla mucilaginososa de *S. griseus*.

colorimétrico para medir el color, el método nefelométrico para caracterizar la turbidez y el método volumétrico para establecer los valores de alcalinidad.

## Resultados y Discusión

### Caracterización del agua de grifo

En las muestras de agua de grifo recolectadas, los valores de pH variaron entre 6,52 y 7,58 unidades, ajustándose a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (6,5 y 8,5). La turbidez osciló entre 7,67 UNT y 8,36 UNT, intervalo que no se ubicó dentro de los valores permisibles. La alcalinidad fluctuó entre 30 mg CaCO<sub>3</sub>/L y 34 mg CaCO<sub>3</sub>/L y el color se ubicó dentro de la norma, ya que varió hasta 15 UC Pt/Co, siendo éste el valor máximo permitido.

### Caracterización del agua sintética

Las muestras de agua sintética presentaron los valores que se reflejan en la Tabla 1.

### Evaluación del parámetro turbidez

Los valores de turbidez en muestras de agua con turbiedades iniciales comprendidas en un intervalo entre 100 UNT y 200 UNT tratadas con una mezcla mucilaginoso de *Stenocereus griseus* se presentan gráficamente, reflejándose los valores de turbidez antes de la fase de filtración (Figura 2) y después de la misma (Figura 3).

Para una turbidez inicial de 100 UNT, antes de filtrar se observa en la figura 2 que la turbidez residual se ubica entre 16,23 UNT y 28,27 UNT con porcentajes de remoción que varían desde 71,73 % hasta 83,77 % y una dosis óptima de 1935 ppm. Después de filtrar, en la figura 3 se muestra que la turbidez residual fluctúa entre 5,32 UNT y 8,25 UNT, por tanto no se ajusta a la normativa de calidad de agua potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998) que establece un valor máximo permisible de 5 UNT, pero los porcentajes de remoción son superiores a 91,00 %.

Tabla 1. Valores de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua sintética antes de la adición del coagulante.

| Turbidez (UNT) | Color (UC Pt-Co) | pH   | Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L) |
|----------------|------------------|------|---------------------------------------|
| 100            | 100              | 7,18 | 24,00                                 |
| 120            | 140              | 7,05 | 26,00                                 |
| 140            | 200              | 6,67 | 28,00                                 |
| 160            | 250              | 6,58 | 27,33                                 |
| 180            | 330              | 7,25 | 40,00                                 |
| 200            | 360              | 6,90 | 32,67                                 |

Al evaluar la turbidez inicial correspondiente a 120 UNT, en la figura 2 se observan valores de turbidez residual que fluctúan entre 14,87 UNT y 22,93 UNT con porcentajes de remoción que oscilan entre 80,89 % y 87,61 % y una dosis óptima de 1451 ppm. Después de filtrar, se logra remover la turbidez con la mezcla mucilaginoso de *S. griseus* a valores que fluctúan entre 3,07 UNT y 4,62 UNT, tal y como se representa en la figura 3, con porcentajes de remoción de turbidez que oscilan entre 96,15 % y 97,44%. A este nivel de turbiedad y para todas las dosis en estudio se obtienen valores inferiores al máximo permisible (5 UNT), según las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Como se muestra en la figura 2, para una turbidez inicial de 140 UNT, los valores de turbidez residual se encuentran entre 17,73 UNT y 23,90 UNT antes de filtrar, con porcentajes de remoción que varían desde 82,93 % hasta 87,34 % y con una dosis óptima de 1935 ppm. En la figura 3 se presentan los valores de turbidez residual al culminar la fase de filtración, los cuales oscilan entre 5,78 UNT y 6,35 UNT; y se alcanzan porcentajes de remoción entre 95,46 % y 95,87 % después de filtrar, lo que demuestra que el coagulante fue efectivo, y aun cuando no se ajustaron

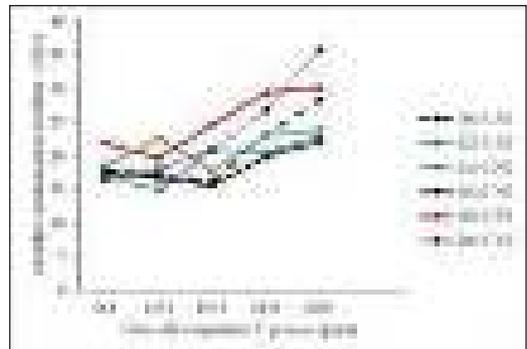


Figura 2. Comportamiento de la turbidez residual (antes de filtrar) en aguas tratadas con una mezcla mucilaginoso de *S. griseus*.



Figura 3. Comportamiento de la turbidez residual (después de filtrar) en aguas tratadas con una mezcla mucilaginoso de *S. griseus*.

a la normativa vigente en Venezuela, son muy cercanos al valor máximo establecido (5 UNT).

En relación a la turbidez inicial de 160 UNT, se registra un rango de turbidez residual en un intervalo de 15,57 UNT - 22,10 UNT, tal y como se visualiza en la figura 2, con porcentajes de remoción de turbidez que varían desde 86,19 % hasta 90,27 % y una dosis óptima de 1935 ppm. Después de filtrar, en la figura 3 se observan valores que reflejan turbiedades residuales desde 4,59 UNT hasta 6,13 UNT, con porcentajes de remoción entre 96,17 % y 97,13 %, donde la mayoría de éstos se ajusta al límite máximo permisible (5 UNT), tal y como se establece en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Con respecto a la turbidez inicial de 180 UNT, el coagulante se comportó de manera similar a las muestras anteriores. Sin embargo, en la figura 2 se presentan valores de turbidez residual antes de filtrar, que en general son superiores (19,67 UNT - 30,13 UNT) a los descritos para las turbiedades iniciales previas, con porcentajes de remoción entre 83,26 % y 89,07 %. Después de completar la fase de filtración, en la figura 3 se representan gráficamente los valores de turbidez residual, los cuales varían entre 5,22 UNT y 6,44 UNT (96,42 % - 7,10 % de remoción) y no se ubican en límites aceptables, pero son muy cercanos al valor máximo establecido (5 UNT) en la normativa vigente (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Tal y como se indica en la figura 2, para una turbiedad inicial de 200 UNT se alcanzan valores de turbidez residual entre 16,43 UNT y 35,80 UNT antes de filtrar, con porcentajes de remoción en un rango correspondiente a 82,10 % - 91,78 % y una dosis óptima de 968 ppm. No obstante, es importante resaltar que algunos de los valores de turbidez que se obtienen son menores o iguales a varios de los valores que se muestran para las turbiedades anteriores; y dado que la dosis óptima es la menor dosis de *S. griseus* que se aplica (968 ppm), se confirma el supuesto de Andía (2000), quien asevera que al aumentar la turbidez se requiere una menor concentración de coagulante debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada y la coagulación se realiza con mayor facilidad.

Después de filtrar, para la turbiedad inicial correspondiente a 200 UNT se alcanzaron valores de turbidez residual entre 4,11 UNT y 6,13 UNT con porcentajes de remoción que oscilaron entre 96,94 % y 97,95 %. La mayor parte de los valores se ajustaron a lo establecido en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

En general, para los valores de turbidez en estudio se observa una tendencia conforme a la cual, a medida que aumenta la dosis de coagulante se incrementa la turbidez, exceptuando la dosis de 1935 ppm y/o la de 1451 ppm, o ninguna. Esto puede explicarse

por la reestabilización de la carga de la partícula debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la misma, produciendo una carga invertida a la original, en consecuencia, no se produce una buena coagulación y la turbidez tiende a aumentar, esto se debe a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada (Andía, 2000). Este comportamiento coincide con lo reportado por Mejías *et al.* (2010), quienes al estudiar el agente coagulante *Cedrela odorata* observaron un comportamiento similar. Esto se puede explicar por la composición bioquímica del mucílago de *S. griseus* y su posible mecanismo de coagulación.

Específicamente, los mucílagos de las cactáceas tienen una composición similar a los exudados de gomas de los géneros *Sterculia* y *Khaya*, las cuales tienen más ácido galacturónico y más ramnosa que las pectinas y también se ha indicado la presencia de taninos, alcaloides, triterpenos o esteroides, flavonoides, coumarinas y quinonas en extractos de corteza de *Cedrela odorata* (Pereira *et al.*, 2013). Dado que *S. griseus* posee azúcares (ramnosa, arabinosa y galactosa) y ácidos urónicos (Henríquez-Rodríguez *et al.*, 2009); y también se ha reportado la presencia de alcaloides, sesquiterpenlactonas, coumarinas y oxidrilos fenólicos en plántulas de *S. griseus* (Treviño, 2000), se pudiera inferir que la semejanza en su composición bioquímica pudiera originar el comportamiento similar entre *S. griseus* y *Cedrela odorata* con respecto al aumento de la turbidez conforme se incrementa la dosis de estos agentes coagulantes.

Adicionalmente, se encuentra una similitud en cuanto al comportamiento de *S. griseus* y agentes coagulantes derivados de otras cactáceas, tales como *Opuntia ficus-indica* (González *et al.*, 2009) en aguas con un rango de turbidez entre 100 UNT-200 UNT y *Opuntia wentiana* (Parra *et al.*, 2011) en el tratamiento de aguas a un intervalo de turbidez que fluctuó entre 100 UNT y 160 UNT. También, el cardón *S. griseus* aplicado como una mezcla mucilaginoso en aguas con turbiedades iniciales que variaron desde 20 UNT hasta 100 UNT (Fuentes *et al.*, 2011) y en aguas con un intervalo de turbidez correspondiente a 220 UNT-300 UNT (González *et al.*, 2016), exhiben una tendencia parecida.

El comportamiento de la mezcla coagulante de *S. griseus*, tal y como se describe en el presente artículo, se contrapone a lo referido por Ali *et al.* (2010) al emplear *Moringa oleifera* y determinar que al aumentar la dosis de este coagulante de origen vegetal, disminuye la turbidez residual. Igualmente, difiere del comportamiento que presenta el quitosano para turbiedades de 160 UNT, 180 UNT y 200 UNT y dosis entre 12 ppm y 24 ppm (Caldera *et al.*, 2017); y del que muestra la quitina para turbiedades iniciales entre 200 UNT y 300 UNT y dosis desde 12 ppm hasta 40 ppm (Fuentes *et al.*, 2017), donde al incrementar

la dosis de estos coagulantes de origen animal, disminuye la turbidez.

Atinente a los mecanismos de coagulación, para *S. griseus* se considera que pueda ser el de puente-partícula, por cuanto es un mucílago que muestra un comportamiento similar a las pectinas y la estructura del mismo es propia de polímeros con al menos dos cadenas de polisacáridos y con interacciones de puentes de hidrógeno (Henríquez-Rodríguez *et al.*, 2009); de tal modo que el polímero en cuestión puede adsorber las partículas en suspensión mediante puentes de hidrógeno hasta que su estructura lo permita, pero la excesiva carga de polímero puede generar una reestabilización de la suspensión (Andía, 2000). De allí la importancia de aplicar las dosis óptimas para cada valor de turbidez inicial.

Debido a que no hay nada concluyente con respecto al mecanismo de coagulación para *S. griseus*, se puede suponer que opera el mecanismo de adsorción y enlace de puente interpartícula propuesto por Henríquez-Rodríguez (2009); coincidiendo con Bouaouine *et al.* (2019), quienes según un estudio realizado con *Opuntia ficus-indica*, identificaron como moléculas responsables de la coagulación a la quercetina (un flavonoide) con grupos polifenólicos y almidón (un polímero ramificado de glucosa con funciones hidroxilicas) que tienen un poder floculante sinérgico mediante un mecanismo a modo de puente de adsorción (70 % de eliminación de turbidez para quercetina contra 93 % de remoción total al adicionar almidón).

Se puede considerar válida la suposición hecha, dado que la composición bioquímica de *O. ficus-indica* (proteínas, polisacáridos, ácidos urónicos, polifenoles y taninos), según refieren Bouaouine *et al.* (2019), y de *S. griseus*, de acuerdo a Henríquez-Rodríguez (2009) (polisacáridos y ácidos urónicos), es similar en cuanto a la presencia de azúcares, así como de ácidos urónicos. Además, ambas especies coagulantes pertenecen a la misma familia Cactaceae.

#### Análisis de las dosis óptimas de la mezcla mucilaginoso de *S. griseus*

La dosis óptima es la mínima concentración de coagulante que se requiere para obtener el menor valor de turbidez. Para cada una de las dosis óptimas, se presentan en la tabla 2 los valores de turbidez residual. Antes de filtrar, los mismos son superiores a los requeridos según la normativa venezolana para la calidad del agua potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998) y sus porcentajes de remoción son superiores a 83,77 %, lo cual permite catalogarlo como un coagulante primario (supera el 70 % de remoción de turbidez) que puede ser aplicado en las zonas rurales o urbanas que carezcan de planta potabilizadora. Después de la fase de filtración, las muestras de agua con turbiedades iniciales de 120 UNT, 160 UNT y 200 UNT se ajustan al valor máximo permisible; pero las muestras de agua con turbiedades de 100 UNT, 140 UNT y 180 UNT se encuentran ligeramente por encima de lo establecido en dicha norma. Los porcentajes de remoción de turbidez se ubican entre 94,68 % y 97,94 %, demostrando la efectividad del coagulante extraído de *S. griseus* y la relevancia de la fase de filtración para lograr un proceso óptimo de clarificación del agua.

Los porcentajes de remoción de turbidez obtenidos son superiores a los reportados por Fuentes *et al.* (2011), quienes utilizaron el mismo coagulante extraído de *S. griseus*, pero con turbiedades bajas (20 UNT y 100 UNT) y determinaron porcentajes de remoción entre 14,50 % y 80,42 % antes de filtrar y entre 69,27 % y 96,46 % después de la filtración.

Las remociones de turbidez del presente estudio resultaron análogas a las de Mendoza *et al.* (2008), quienes lograron porcentajes de remoción de turbidez después de la fase de filtración entre 94,53 % y 98,20 % usando pencas de *Hylocereus lemairei* como coagulante natural. Asimismo, hay coincidencias con Rodríguez *et al.* (2002), cuando evaluaron el cotiledón de la semilla de *Moringa oleifera* Lam arrojando valores de remoción de turbidez entre 99,10 % y 99,50

**Tabla 2.** Turbiedades, dosis óptimas y porcentajes de remoción de turbidez de aguas sintéticas tratadas con una mezcla mucilaginoso de *S. griseus*.

| Turbidez Inicial (UNT) | Dosis óptima del coagulante (ppm) | Turbidez antes de filtrar (UNT) | Remoción de turbidez antes de filtrar (%) | Turbidez después de filtrar (UNT) | Remoción de turbidez después de filtrar (%) |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| 100                    | 1935                              | 16,23 ± 0,74                    | 83,77                                     | 5,32 ± 0,88                       | 94,68                                       |
| 120                    | 1451                              | 14,87 ± 0,24                    | 87,61                                     | 3,07 ± 0,23                       | 97,44                                       |
| 140                    | 1935                              | 17,73 ± 1,43                    | 87,33                                     | 5,78 ± 0,78                       | 95,87                                       |
| 160                    | 1935                              | 15,57 ± 1,44                    | 90,27                                     | 4,59 ± 0,49                       | 97,13                                       |
| 180                    | 1451                              | 19,67 ± 1,44                    | 89,07                                     | 5,22 ± 0,22                       | 97,10                                       |
| 200                    | 968                               | 16,43 ± 1,80                    | 91,78                                     | 4,11 ± 0,25                       | 97,94                                       |

\*Valores de turbidez antes y después de filtrar más desviación estándar para n=3

% posteriores a la fase de filtración; y con González *et al.* (2016) al obtener remociones de turbidez que oscilaron entre 98,29 % hasta 99,37 % después de filtrar, cuando aplicaron una mezcla mucilaginosa de *S. griseus*.

#### Evaluación del parámetro color

Después de simular la etapa de clarificación en las muestras de agua tratadas con una mezcla mucilaginosa de *S. griseus* y obtener las dosis óptimas del coagulante, el color varía entre 26,67 UC Pt-Co y 46,67 UC Pt-Co antes de filtrar y entre 13,33 UC Pt-Co y 26,67 UC Pt-Co después de esta fase. Las muestras con turbiedades iniciales de 100 UNT y 120 UNT se ajustan a la normativa vigente en Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998), la cual establece un valor máximo permisible de 15 UC Pt-Co. El resto de los valores estudiados no se ajusta al límite exigido, pero es importante resaltar que la aplicación de las dosis óptimas de *S. griseus* permite alcanzar elevados porcentajes de remoción de color que fluctúan entre 86,67 % y 93,52 % después de la filtración.

Al comparar con investigaciones previas, el parámetro color se ubica en valores inferiores a los reportados para *Opuntia wentiana* que fluctuaron entre 70 UC Pt-Co - 80 UC Pt-Co antes de filtrar y entre 50 UC Pt-Co y 80 UC Pt-Co después de ello (Parra *et al.*, 2011), lo cual demuestra mayor efectividad de *S. griseus* para la remoción de color con respecto a esta otra cactácea. Por otra parte, al comparar los valores de color del presente estudio con los reportados por Fuentes *et al.* (2011) para *S. griseus* a baja turbidez, se observa que son superiores, evidenciándose menor eficiencia en la remoción de color a valores entre 100 UNT- 200 UNT de turbidez inicial. Adicionalmente, se encuentra similitud con González *et al.* (2016) al investigar *S. griseus* a valores más altos de turbidez inicial (200 UNT-300 UNT) que los indicados en el presente estudio (100 UNT-200 UNT), debido a que solo para dos valores de turbidez inicial (200 UNT y 220 UNT) se cumple con la normativa para el color, mientras que el resto de los valores estudiados superan el valor máximo permisible (15 UC Pt-Co).

Aun cuando el parámetro color se ajusta a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998) solamente para dos valores de turbidez inicial en el presente estudio, resulta relevante que los resultados arrojan porcentajes de remoción superiores a 86 %, lo que indudablemente demuestra la efectividad de la mezcla mucilaginosa de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la remoción de color.

#### Evaluación del parámetro pH

Los valores de pH que se obtienen con las dosis óptimas del coagulante *S. griseus* fluctúan entre 6,42 y 6,94 unidades antes de filtrar y entre 6,23 y 6,98 después de filtrar. En la figura 4 se observa que antes de filtrar, para turbiedades iniciales entre 100 y 200 UNT se cumple con las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de

Venezuela, 1998), excepto para la turbidez de 160 UNT que es ligeramente inferior al rango permisible (6,5 y 8,5 unidades).

Después de la filtración, las turbiedades de 100 UNT y 200 UNT se ubican dentro del rango permisible, las restantes entre 120 UNT y 180 UNT se encuentran ligeramente por debajo del rango permisible y presentan reducciones mínimas del pH que no son superiores a 0,8 unidades, coincidiendo con Contreras *et al.* (2015) quienes al aplicar varios tratamientos con *O. ficus indica* y alumbre reportaron reducciones leves en el pH que no resultaron mayores de 0,7 unidades.

Por otra parte, se observa que con la dosis óptima más baja (968 ppm), la intermedia (1451 ppm) y la más alta (1935 ppm), se obtienen valores de turbidez que se ajustan a la normativa para turbiedades iniciales de 200 UNT, 120 UNT y 160 UNT, respectivamente; aunado a que los valores restantes se ubican muy cerca del máximo permisible (5 UNT). Esto demuestra que las ligeras variaciones de pH, a pesar de que algunas de las muestras se ubican fuera del rango establecido en la normativa vigente en Venezuela (6,5-8,5), no inciden en la efectividad de *S. griseus* para la remoción de turbidez.

Los valores que se registran después del tratamiento de las muestras de agua con *S. griseus*, son similares a los reportados por Fuentes *et al.* (2011) al emplear esta cactácea en el tratamiento de aguas con turbiedades iniciales entre 20 UNT y 100 UNT, quienes obtuvieron valores de pH que variaron desde 5,97 hasta 6,98 unidades. Sin embargo, al contrastarlos con González *et al.* (2016) al estudiar el coagulante *S. griseus* en aguas con mayor rango de turbidez inicial (200 UNT-300 UNT), se observa que difieren, pues el pH aumenta ligeramente después del tratamiento.

#### Evaluación del parámetro alcalinidad

En la figura 5 se muestra el comportamiento de la alcalinidad para los diferentes valores de turbidez inicial y dosis óptimas. El parámetro alcalinidad presenta ligeras variaciones, se registran valores

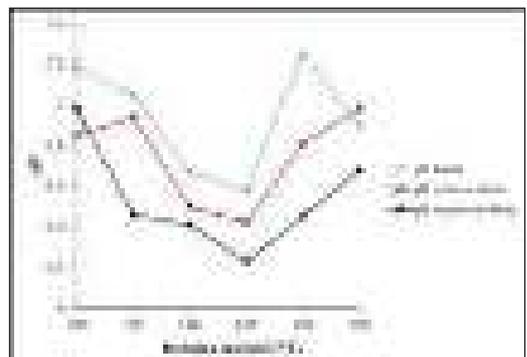


Figura 4. Comportamiento del pH en aguas con alta turbidez (100 UNT-200 UNT) tratadas con las dosis óptimas de una mezcla mucilaginosa de *S. griseus*.



Figura 5. Comportamiento de la alcalinidad en aguas con alta turbidez (100 UNT-200 UNT) tratadas con las dosis óptimas de una mezcla mucilaginoso de *S. griseus*.

menores de 40 mg CaCO<sub>3</sub>/L. A pesar de que la normativa venezolana no contempla la alcalinidad como parámetro de calidad en las aguas potables, se ubican dentro de lo permisible, ya que éste es aceptable hasta 140 mg CaCO<sub>3</sub>/L, según Merrit (1992) y Doudelet (1981). Asimismo, se ajusta a lo señalado por el Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007), el cual establece como límite máximo una alcalinidad de 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

En referencia a los valores máximos permisibles, la alcalinidad fue baja, lo cual puede incidir en la efectividad del proceso de coagulación, puesto que para favorecer esta fase del proceso de potabilización, se requiere un exceso de alcalinidad (Romero, 2005). Esto se debe a que en el caso de los coagulantes inorgánicos metálicos, los iones OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> que confieren la alcalinidad al agua, pueden formar precipitados con los iones de sales metálicas durante la coagulación. No obstante, los coagulantes naturales pudieran tener alguna similitud con los coagulantes inorgánicos, pues para las cactáceas, se ha demostrado que especies del género *Opuntia* contienen cantidades importantes de minerales entre ellos calcio, encontrándose en forma de cristales de oxalato de calcio o en forma libre (Palacios *et al.*, 2016) que pudieran influir en el fenómeno de coagulación.

Los resultados que se representan en la figura 5 son similares a los reportados por González *et al.* (2016), quienes obtuvieron disminuciones de la alcalinidad después del tratamiento de aguas altamente turbias (200 UNT - 300 UNT) con una mezcla mucilaginoso de *S. griseus*. Igual comportamiento refirieron Fuentes *et al.* (2011) en la mayoría de los resultados, cuando evaluaron este parámetro en aguas con baja turbidez (20 UNT - 100 UNT) tratadas con *S. griseus*.

## Conclusiones

Se demostró la efectividad del mucilago *Stenocereus griseus* como coagulante natural para la clarificación del agua con valores de turbidez entre 100 UNT y 200 UNT y dosis óptimas entre 968 ppm y 1935 ppm. Los

porcentajes de remoción fueron mayores de 83,77 %, pudiéndose emplear como coagulante primario.

El pH fluctuó entre 6,42 y 6,94 unidades antes de filtrar y después de la fase de filtración entre 6,23 y 6,98 unidades. El parámetro alcalinidad presentó poca variabilidad, pero no superó el valor máximo aceptable y una vez aplicado el tratamiento, se mantuvo cercano al valor inicial del agua sintética, con valores menores a 40 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

Se evidenció que el color estuvo dentro de los límites establecidos por las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (15 UC Pt-Co) para turbiedades de 100 UNT y 120 UNT, después de la filtración. Los valores restantes no se ajustaron a la citada normativa, pero se alcanzaron porcentajes de remoción de color superiores a 85 %.

## Recomendaciones

Realizar un estudio similar, pero aumentando la alcalinidad para determinar si mejora la efectividad de *S. griseus* como coagulante.

Evaluar la efectividad de *S. griseus* en forma desecada para el rango de turbidez estudiado (100 UNT-200 UNT).

## Referencias

- Ali, E., S. Muyibi, H. Salleh, M. Alam, M. Salleh. 2010. Production of natural coagulant from *Moringa oleifera* seed for application in treatment of low turbidity water. *J. Water Resource and Protection* 2: 259-266.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. SEDAPAL. Lima. 44 p.p.
- APHA-AWWA-WEF (1998). Standard Methods for examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> Edition.
- Arancibia, M. (2011). Aplicación de quitosano como material bioabsorbente en el proceso de coagulación-floculación durante el tratamiento de agua para consumo humano. Para obtener Título de Grado Académico de Magister en Producción Más Limpia. Universidad Técnica de Ambato.
- Barrenechea, A., V. Maldonado, M. Aurazo & L. Vargas. 2004. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Manual I. Tomo II. Editorial CEPIS/ OPS. Lima, Perú.
- Bouaouine, O., I. Bourven, F. Khalil, P. Bressollier & M. Baudu. 2019. Identification and role of *Opuntia ficus indica* constituents in the flocculation mechanism of colloidal solutions. *Separation and Purification Technology* 209: 892-899.
- Briceño, R., L. Fuentes, I. Mendoza, J. Bolaños & Y. Caldera. 2014. Efectividad de una suspensión gelatinosa de huesos bovinos en la clarificación de aguas con alta turbidez. *REDIELUZ* 4:46-53.
- Caldera Y., L. Fuentes, G. Puyosa, R. Barrera, I. Mendoza & Y. González. 2017. Quitosano como coagulante natural durante el tratamiento de aguas con alta turbidez. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 51:19-30.
- Campdelacru, J. 2012. Enfermedad de Parkinson y enfermedad de Alzheimer: factores de riesgo ambientales. *Neurología* 29:541-549.
- Contreras K., Y. Mendoza, G. Salcedo, R. Olivero & G.

- Mendoza. 2015. El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario. *Producción + Limpia* 10: 40-50.
- Doudelet, A. 1981. Estudio de las aguas minerales. *Geotermia* 4: 5-28.
- Fuentes, L., Y. Aguilar, Y. Caldera & I. Mendoza I. 2014. Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez. *Revista Tecnocientífica URU* 7:71-81.
- Fuentes, L., I. Mendoza, P. Díaz, Y. Fernández, A. Zambrano A. & Z. Villegas. 2012. Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. (cactaceae) en aguas para consumo humano. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 46:173-187.
- Fuentes, L., I. Mendoza, A. Chávez, N. Cedeño & Y. Ortiz. 2017. Evaluación de la quitina como coagulante para la potabilización de aguas con alta turbidez. *Impacto Científico* 12: 89-106.
- Fuentes, N., E. Molina & C. Ariza. 2016. Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. *Producción + Limpia* 11:41-54.
- Fuentes, L., W. Contreras, R. Perozo, I. Mendoza & Z. Villegas. 2008. Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para el consumo humano. *Multiciencias* 8:281-287.
- Fuentes, L., I. Mendoza, A. López, M. Castro & C. Urdaneta. 2011. Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica Ingeniería Universidad del Zulia* 34: 48-56.
- Fuentes, L., M. Jiménez, G. Maldonado, Y. González, Y. Caldera & I. Mendoza (2014). Potencial coagulante del mucilago desecado de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (Cactaceae) en aguas con baja turbidez. Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. 9 al 11 de julio de 2014. 113-119.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. 1998. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero de 1998.
- González, Y., I. Mendoza, Y. Caldera, A. Osorio & L. Yoris. 2016. Clarificación de aguas altamente turbias empleando *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. como coagulante. *Impacto Científico* 11(1):61-75.
- González, Y., N. Marcano, I. Mendoza & L. Fuentes. 2009. Efectividad de una suspensión de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de agua sintéticas con alta turbidez. *Impacto Científico* 4:361-374.
- González, G., M. Chávez, D. Mejías, M. Mas y Rubí, N. Fernández & G. León de Pinto. 2006. Use of exudated gum produced by *Samanea saman* in the potabilization of the water. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* 29:14-22.
- Henríquez-Rodríguez, A., J. Pérez, J. Gascó, O. Rodríguez & A. Prieto. 2009. Caracterización bioquímica preliminar de los principales componentes del mucilago del cardón dato *Stenocereus griseus* (Haw. F. Buxb). *Revista Unell. Ciencia Técnica* 27:95-102.
- Hernández, B., I. Mendoza, M. Salamanca, L. Fuentes & Y. Caldera. 2013. Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas de alta turbiedad. *REDIELUZ* 3:91-96.
- López, P., M. Lugo, I. Mendoza & L. Fuentes. 2014. Uso de las semillas de *Linum usitatissimum* como coagulante natural para la potabilización de aguas con alta turbidez. Memorias Arbitradas del I Congreso de Ciencias Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago y V Jornadas del Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LIANCOL). Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago, Cabimas, estado Zulia, Venezuela. 579 pp.
- Mejías, D., M. Chávez, M. Mas y Rubí, E. Chacín & N. Fernández. 2010. Uso potencial del exudado gomoso de *Cedrela odorata* como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano. *Revista Forestal Venezolana* 54:147-153.
- Mendoza, I., L. Fuentes, Y. Caldera, F. Perdomo, A. Suárez, N. Mosquera & H. Arismendi. 2008. Eficiencia de *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. *Impacto Científico* 3:53-69.
- Merritt, F. 1992. *Manual del Ingeniero Civil*. 3ª Edición. Tomo IV, México. Editorial McGraw Hill.
- Meza-Leones, M., K. Riaños-Donado, I. Mercado-Martínez, R. Olivero-Verbel & M. Jurado-Eraso. 2018. Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías* 17:95-104.
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007). Resolución Número 2115. Colombia, 23 p.p.
- Olivero, R., I. Mercado & I. Montes. 2013. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucilago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia* 8:19-27.
- Palacios, A., C. De Lira, A. Del Real & M. Rodríguez. 2016. Distribución y densidad de cristales de oxalato de calcio en cladodios de *Opuntia streptacantha lemaire*, en función de su peso. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1:389-394.
- Parra, Y., M. Cedeño, M. García, I. Mendoza, Y. González & L. Fuentes. 2011. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucilago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). *REDIELUZ* 1:27-33.
- Pereira, F., V. Serrão, R. Bergamasco & M. Ribau. 2017. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal* 313:226:237.
- Rodríguez, S., O. García & R. Muñoz. 2002. Una solución para la clarificación de aguas para consumo humano. *Noticias Técnica de Laboratorio* 1:21-22.
- Romero, J. (2005). Calidad del agua. 2ª Edición. Editorial Escuela. Colombia.
- Pereira, S., D. Vega, C. Almeida, C. Morales, Y. Viera & Y. Sánchez. 2013. Actividad antimicrobiana in vitro de *Cedrela odorata* L. (cedro). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 18:513-521.
- Treviño, J. 2000. Estudio comparativo de los componentes químicos de callo y plántula de *Stenocereus griseus* / (Hawort) Buxbaum. Tesis presentada para optar al grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Botánica. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 53 p.p.
- Villalobos, S., O. Vargas & S. Melo. 2007. Uso, manejo y conservación de "yosú", *Stenocereus griseus* (CACTACEAE), en la alta Guajira Colombiana. *Acta Biol. Colombiana* 12:99-112.

## Relaciones morfométricas en machos de cangrejo azul (*Cardisoma crassum*) y su relación con la madurez sexual

Morphometric relationships in blue crab males (*Cardisoma crassum*) and their relationship with sexual maturity

Santiago Olivares Romero<sup>1\*</sup> & Rene Zambrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consultor, egresado de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias del Mar, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raul Gómez Lince S/N y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Guayas 090601, Ecuador.

Recibido 3 de abril 2019; recibido en forma revisada 26 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponibile en línea 26 de junio 2019

### Resumen

En la costa continental norte de Ecuador se recolectaron 490 individuos machos de cangrejo azul (*Cardisoma crassum*), con el objetivo de establecer características morfométricas y su relación con la madurez sexual. Cada individuo fue medido considerando el ancho, largo y alto del cefalotórax, así como, de las quelas derechas e izquierda. Los rangos de tallas observados estuvieron entre 55.26 y 105.28 mm AnC, 38.79 y 77.90 mm LC, 48.46 y 24.74 mm AL. La quela derecha tuvo mayor tamaño en el 52% de los individuos, la izquierda en el 42% mientras que, el 6% de los cangrejos fueron homoquelos. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre las dimensiones morfométricas de la quela derecha e izquierda, así como, entre la quela mayor y menor. Mediante regresiones lineales se observó que, las relaciones entre las variables morfométricas tuvieron una tendencia lineal con un alto coeficiente de correlación ( $r \geq 0.80$ ). Los valores de las pendientes ( $b$ ) mostraron un crecimiento alométrico negativo ( $b < 1$ ) en la mayoría de las regresiones, excepto para AIQM vs AnC ( $b = 1.29$ ) y AnQM vs LC ( $b = 1.62$ ) que fueron positivas. Dos grupos de datos fueron identificados en las relaciones entre alto y largo de la quela vs el ancho y largo del cefalotórax, lo cual posiblemente se encuentra asociado con la presencia de individuos juveniles y adultos. El punto de separación entre fases de desarrollo ontogénico no pudo ser detectado por la ausencia de individuos de tallas pequeñas ( $< 55$  mm AnC).

**Palabras clave:** alometría, crecimiento relativo, Ecuador, madurez sexual, morfometría.

### Abstract

On the mainland coast of Ecuador, 490 males of blue crab (*Cardisoma crassum*) were collected, with the aim of establishing morphometric characteristics and their relationship with sexual maturity. The individuals were measured considering the width, length and height of the carapace, as well as the right and left chelae. The observed size ranges were 55.26-105.28 mm CW, 38.79-77.90 mm CL, 48.46-24.74 mm CH. The right chelae had greater size in 52% of the individuals, the left one in 42% while, the 6% of the crabs were homocheles. Significant differences were found ( $p < 0.01$ ) between the morphometric dimensions of the right and left chelae, as well as between the major and minor chela. Using linear regressions, it was observed that the relationships between the morphometric variables had a linear tendency with a high correlation coefficient ( $r \geq 0.80$ ). The values of the slopes ( $b$ ) showed a negative allometric growth ( $b < 1$ ) in most of the regressions, except for AIQM vs AnC ( $b = 1.29$ ) and AnQM vs LC ( $b = 1.62$ ) that were positive. Two groups of data were identified in the relationships between height and length of the chela vs the width and length of the carapace, which is possibly associated with the presence of juvenile and adult individuals. The point of separation between phases of ontogenetic development could not be detected by the absence of individuals of small sizes ( $< 55$  mm CW).

**Key words:** allometry, relative growth, Ecuador, sexual maturity, morphometry.

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: santiagoolivaresromero@gmail.com



## Introducción

Las partes del cuerpo de un organismo pueden crecer a ritmos diferentes en lo que se conoce como crecimiento relativo (Ortega & Vázquez, 2018). El análisis más sencillo es realizar una regresión, siendo la variable independiente la talla (*i.e.* ancho, largo o alto del cefalotórax) y la dependiente es la dimensión de la parte del cuerpo en estudio (*e.g.* ancho de quela o abdomen) (Hartnoll, 2012). Huxley (1932) propuso analizar este tema mediante la ecuación  $y = ax^b$ , donde  $a$  es una constante sin significado biológico y  $b$  indica la proporcionalidad del crecimiento relativo entre la estructura analizada y el cuerpo del organismo.

El crecimiento relativo puede mostrar dos fases de desarrollo (*i.e.* juveniles y adultos) incluidas en cuatro tipos de relaciones morfométricas; además, la separación de estas fases se relaciona con la madurez sexual del organismo, cuya talla puede ser estimada considerando la disposición de las rectas de regresión (Somerton, 1980). Para el cangrejo azul, *Cardisoma crassum* Smith, 1870 se ha estimado la madurez sexual fisiológica (64,88 mm ancho de cefalotórax, AnC), funcional (71,70 mm AnC) (Uscocovich, 2015) y se desconoce la madurez morfométrica.

El cangrejo azul se alimenta de materia orgánica y construye madrigueras con más de una salida en la zona litoral del manglar (Berón & Forero, 2016; Ramírez & Monzón, 2018; Rathbun, 1918). La distribución de *C. crassum* abarca desde el Golfo de California hasta Perú (Alemán & Ordinola, 2017; Türkay, 1970) y es considerado una especie análoga a *C. guanhumi*, la cual se encuentra al Este del continente americano (Rathbun, 1918).

A pesar de su amplia distribución, los estudios biológicos sobre el cangrejo azul son escasos. Considerando la relación entre la morfología y la madurez sexual que pueden denotar los crustáceos, el propósito de este trabajo es determinar las características morfométricas en machos de *C. crassum*. Con base en los resultados obtenidos se podrían observar caracteres sexuales secundarios y relaciones morfométricas asociadas con la madurez sexual morfométrica, utilizables en el manejo pesquero.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio y recolección de datos

El área de estudio correspondió a la costa continental norte de Ecuador. Los cangrejos fueron recolectados de la captura comercial en las comunidades Vuelta Larga (Esmeraldas) en octubre 2018 y en Eloy Alfaro (Manabí) en diciembre 2018 (Fig. 1).

Para la toma de medidas morfométricas se utilizaron individuos que no presenten pérdida de partes corporales (*e.g.* quelas) (Fig.2).

Las medidas registradas fueron el ancho (AnC), largo (LC) y alto (AlC) del cefalotórax, así como, el ancho, (AnQM), largo (LQM) y alto (AlQM) de la quela mayor y la quela menor (AnQm, LQm, AlQm, respectivamente). Las dimensiones corporales y quelares fueron tomadas con un calibrador Vernier digital, con 0.01 mm de precisión (Fig.3).

### Análisis de datos morfométricos

Se realizó una distribución de frecuencia de tallas con un intervalo de clases de 5 mm para AnC y LC mientras que, para AlC se realizó un intervalo de 2.5 mm. Las tallas promedio de cada una de las dimensiones corporales fueron estimadas junto con la desviación estándar (DE).

Para determinar diferencias significativas entre las dimensiones de la quela mayor y menor se realizaron análisis de varianzas (ANOVA). La prueba *post hoc* LSD de Fisher fue aplicada para determinar las dimensiones que diferencian la quela mayor de la menor. Esta prueba utilizó el valor de la diferencia mínima significativa (DMS). Los análisis fueron desarrollados con el software estadístico InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

Un total de 21 relaciones morfométricas fueron establecidas entre las dimensiones corporales y las quelas (Tabla 1).

El Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r$ ) fue utilizado en todas las relaciones para determinar el grado de asociación de las variables, según la ecuación:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde  $\bar{x}$  es la media de muestras del primer grupo de datos mientras que,  $\bar{y}$  es el promedio del segundo grupo.

Regresiones lineales fueron aplicadas a cada relación morfométrica, mediante el software Microsoft Excel 2016, según la ecuación:

$$y = a + b * x$$

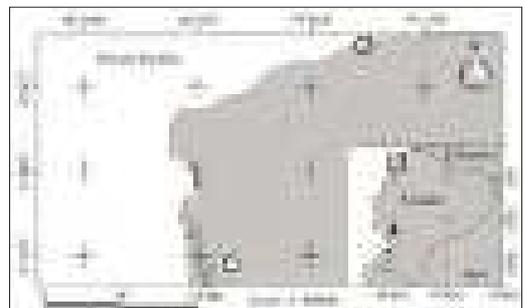


Figura 1. Sitios de muestreo de *Cardisoma crassum* en la costa continental norte de Ecuador. S1, Vuelta larga (Esmeraldas); S2, Eloy Alfaro (Manabí).



Figura 2. Ejemplar macho de cangrejo azul (*Cardisoma crassum*), recolectado en la costa continental norte de Ecuador.



Figura 3. Variables morfométricas registradas para el cangrejo azul (*Cardisoma crassum*), recolectado en la costa continental norte de Ecuador.

En la que el parámetro  $a$  es el intercepto de  $y$ , por otra parte,  $b$  es la pendiente del modelo y funge como la constante del crecimiento relativo (Hartnoll, 2012).

Mediante el Coeficiente de Determinación ( $r^2$ ) se estableció la proporción de la variación total en  $y$  respecto a la variabilidad de  $x$ , que es explicada por el modelo de la regresión, elevando al cuadrado el valor del coeficiente de regresión.

Los grupos identificados en distintas relaciones morfométricas fueron separados inicialmente por un análisis de conglomerados *K-means* mediante el

Software Past versión 3.1.0. Los datos considerados erróneamente clasificados dentro de un grupo fueron re-categorizados según el grupo de mayor afinidad visual, mediante regresiones lineales utilizando el software Excel.

La separación de los grupos fue validada mediante la prueba de Drape & Smith, (1966), para determinar la pertinencia de usar dos regresiones lineales. Este análisis se realizó mediante la ecuación:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{k}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{k} + \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Tabla 1. Relaciones morfométricas aplicadas en machos de *Cardisoma crassum*, recolectados en la costa continental norte de Ecuador.

|     | AnC | LC | AIC | AnQM | LQM | AIQM | AnQm | LQm | AIQm |
|-----|-----|----|-----|------|-----|------|------|-----|------|
| AnC |     | x  | x   | x    | x   | x    | x    | x   | x    |
| LC  |     |    | x   | x    | x   | x    | x    | x   | x    |
| AIC |     |    |     | x    | x   | x    | x    | x   | x    |

Donde,  $RRS_{1\ line}$  es la suma de cuadrados residuales (por sus siglas en inglés) de una línea ajustada a los datos, mientras que  $RRS_{2\ line}$  es la suma de las dos líneas ajustadas a los datos y  $N$  es el número de datos analizados lineales (Somerton, 1980).

### Resultados

Un total de 490 individuos fueron recolectados. La talla mínima observada fue 55.26 mm AnC y la máxima 105.28 mm AnC, con una media de 78.63 mm AnC (DE = 8.93). En el caso del LC, la talla mínima encontrada fue 38.79 mm, la máxima 77.9 mm y la media 58.55 mm (DE = 7.04). El AIC mostró una talla máxima de 48.46 mm, una mínima de 24.74 mm y la promedio de 37.47 mm (DE = 4.71). La distribución de tallas presentó como intervalos de mayor frecuencia los establecidos entre 75 y 80 mm AnC, 55 y 60 mm LC, 35 y 40 AIC (Fig.4).

Las relaciones entre las variables del cefalotórax presentaron una tendencia lineal, con valores del coeficiente de correlación superiores a 0.80. Los valores de las pendientes ( $b$ ), en las regresiones lineales, mostraron un crecimiento alométrico negativo ( $b < 1$ ). Por otra parte, los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) tuvieron valores por encima de 0.66 (Fig. 5).

Existe una diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre las dimensiones de la quela de mayor y menor tamaño. Las diferencias mínimas significativas (DMS) fueron 1.37 para el largo, 0.39 para el ancho y 0.74 para el alto.

En las relaciones AnC vs AIQM y LC vs AnQM se observaron dos grupos de datos. Por otra parte, las dimensiones corporales y las quelas presentaron una tendencia lineal, con valores de correlación entre

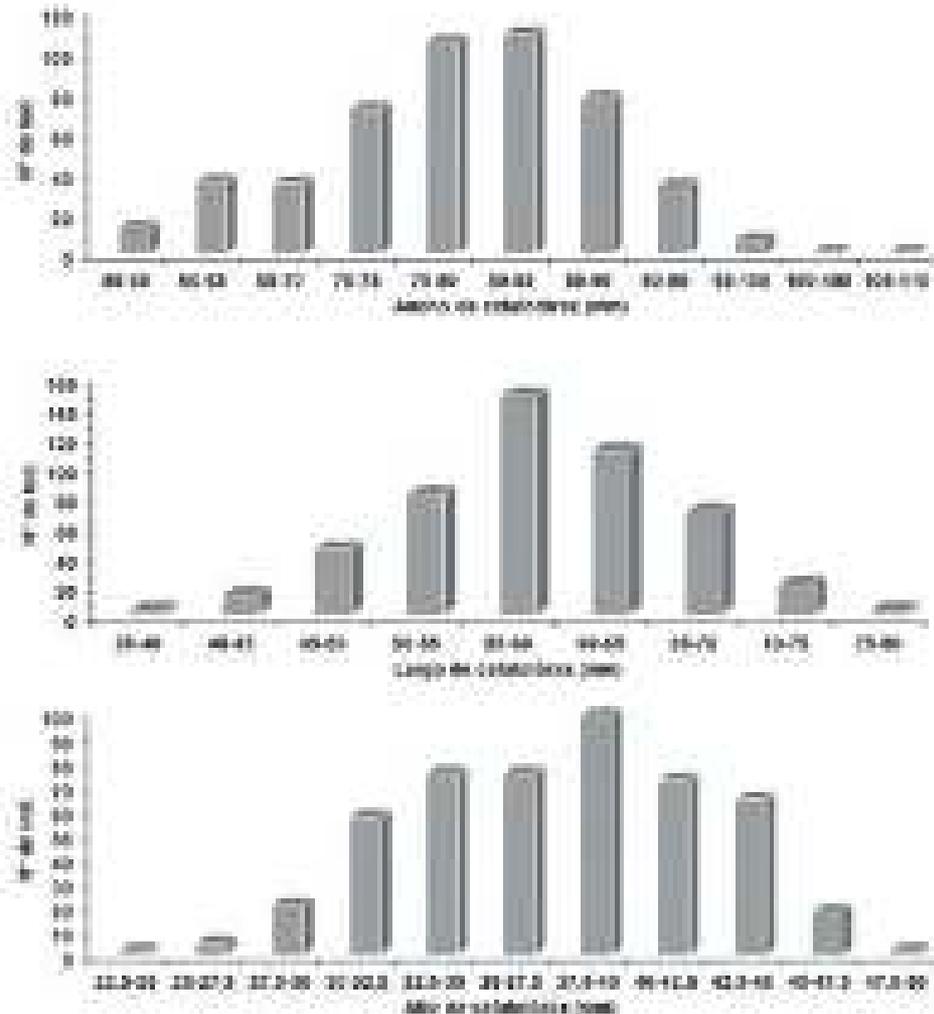


Figura 4. Distribución de frecuencia de tallas para individuos de *Cardisoma crassum* recolectados en la costa continental norte de Ecuador.

0.60 y 0.80, así como, coeficientes de determinación inferiores a 0.68. Los valores de las pendientes ( $b$ ), en las regresiones lineales, mostraron un crecimiento alométrico positivo ( $b > 1$ ) para las relaciones de LQM vs dimensiones del cefalotórax y la relación entre ALQM vs ALC, mientras que el resto de relaciones presentaron un crecimiento alométrico negativo ( $b < 1$ ) (Fig. 6).

Las relaciones entre la quela de menor tamaño vs las dimensiones corporales de cefalotórax presentaron una correlación con un valor inferior a 0.85. El coeficiente de determinación mostró valores menores a 0.68. Los valores de las pendientes ( $b$ ) en las regresiones lineales, mostraron un crecimiento alométrico negativo ( $b < 1$ ) en todos los casos. Por otra parte, las relaciones morfométricas del alto del cefalotórax vs las variables de la quela de menor tamaño presentaron un coeficiente de determinación menor a 0.47 (Fig. 7).

La correlación entre las variables morfométricas de las quelas y las dimensiones corporales del cefalotórax presentaron valores entre 0.83 y 0.43. Las relaciones de las quelas con el ancho del cefalotórax tuvieron valores de  $r \geq 0.68$ , mientras que con el largo fueron  $r \geq 0.69$  y para el alto se encontraron  $r \geq 0.43$  (Tabla 2).

En *C. crassum* se encontraron individuos heteroquelos y homoquelos. La mayor cantidad de individuos recolectados presentaron la quela derecha de mayor tamaño. Sin embargo, una minoría de cangrejos mostraron ambas quelas con dimensiones similares (Fig. 8).

Dos grupos de individuos de *C. crassum* fueron encontrados en las relaciones del cefalotórax con la quela de mayor tamaño. La separación de estos grupos fue válida estadísticamente para AnC vs ALQM ( $F_{(3,04)} = 645.87$ ), AnC vs AnQM ( $F_{(3,04)} = 1123.75$ ), mientras que para LC vs ALQM presentó ( $F_{(3,04)} = 15.65$ ) y LC vs AnQM fue de ( $F_{(3,04)} = 28.53$ ).

La pendiente ( $b$ ) en ambos grupos mostró un crecimiento alométrico negativo ( $b < 1$ ). Los valores de correlación para el AnC vs ALQM fueron  $r = 0.92$ , AnC vs AnQM  $r = 0.87$ , LC vs ALQM  $r = 0.92$  y LC vs AnQM  $r = 0.88$  para los individuos con quelas relativamente más grandes, mientras que los valores de correlación para los individuos con quelas relativamente más pequeñas presentados fueron para AnC vs ALQM  $r = 0.75$ , AnC vs AnQM  $r = 0.67$ , mientras que LC vs ALQM  $r = 0.71$  y LC vs AnQM  $r = 0.73$ .

El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) fue inferior a 0.84 para el grupo con el tamaño de quelas relativamente mayor, mientras que los de menor tamaño presentaron valores de  $r^2$  inferiores a 0.56 (Fig. 9).

**Discusión**

El promedio y la talla máxima obtenida para machos de *C. crassum* en la costa norte de Ecuador fue

superior a la reportada por otros autores. Uscocovich (2015) encontró una talla media de 66.39 mm AnC y una máxima de 94 mm AnC mientras que, Vázquez y Vargas (2016) reportaron una talla media de 59.7

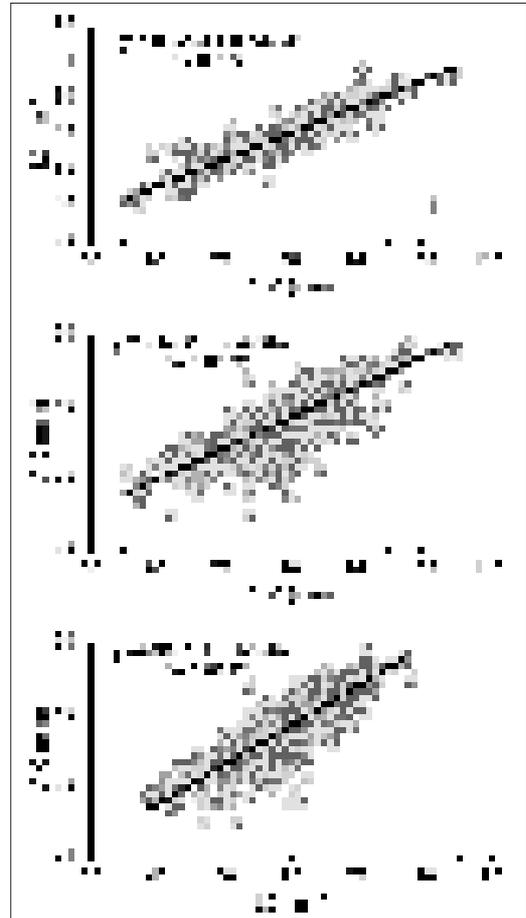


Figura 5. Relaciones morfométricas corporales del *Cardisoma crassum*, recolectado en la costa continental norte de Ecuador. AnC, ancho del cefalotórax; LC, largo de cefalotórax; ALC, alto del cefalotórax.

Tabla 2. Valores de correlación entre las dimensiones corporales y las quelas de *Cardisoma crassum* recolectados en la costa continental norte de Ecuador. LQM, largo de la quela mayor; ALQM, alto de la quela mayor; AnQM, ancho de la quela mayor; LQm, largo de la quela menor; ALQm, alto de la quela menor; AnQm, ancho de la quela menor.

| Cefalotórax/<br>quelas | AnC  | LC   | AIC  |
|------------------------|------|------|------|
| LQM                    | 0.83 | 0.82 | 0.72 |
| ALQM                   | 0.75 | 0.76 | 0.67 |
| AnQM                   | 0.68 | 0.69 | 0.62 |
| LQm                    | 0.83 | 0.81 | 0.50 |
| ALQm                   | 0.83 | 0.81 | 0.69 |
| AnQm                   | 0.73 | 0.73 | 0.43 |

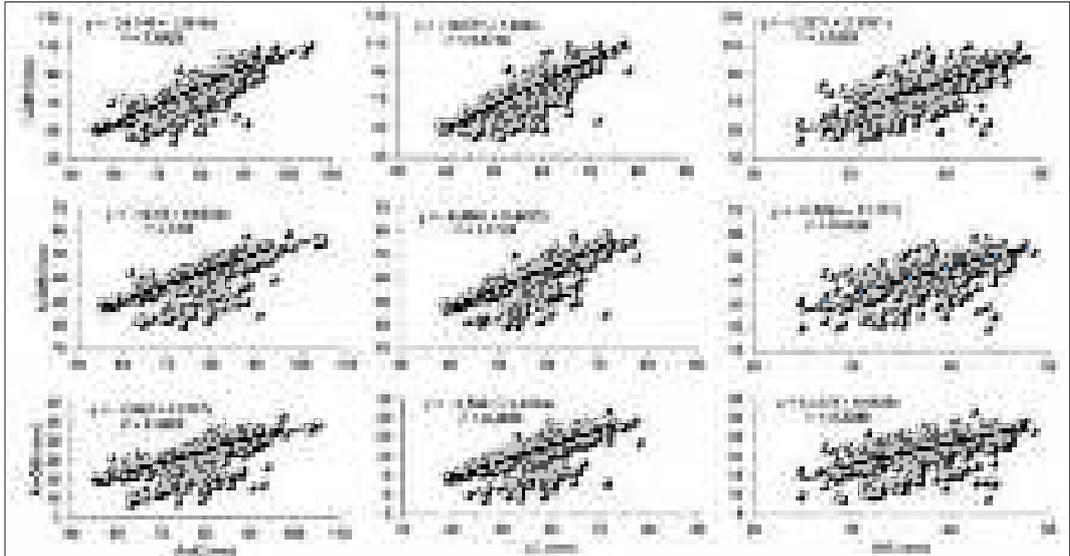


Figura 6. Relaciones morfométricas entre las dimensiones corporales y la quela de mayor tamaño de *Cardisoma crassum*, recolectado en la costa continental norte de Ecuador. AnC, ancho del cefalotórax; LC, largo del cefalotórax; ALC, alto del cefalotórax.

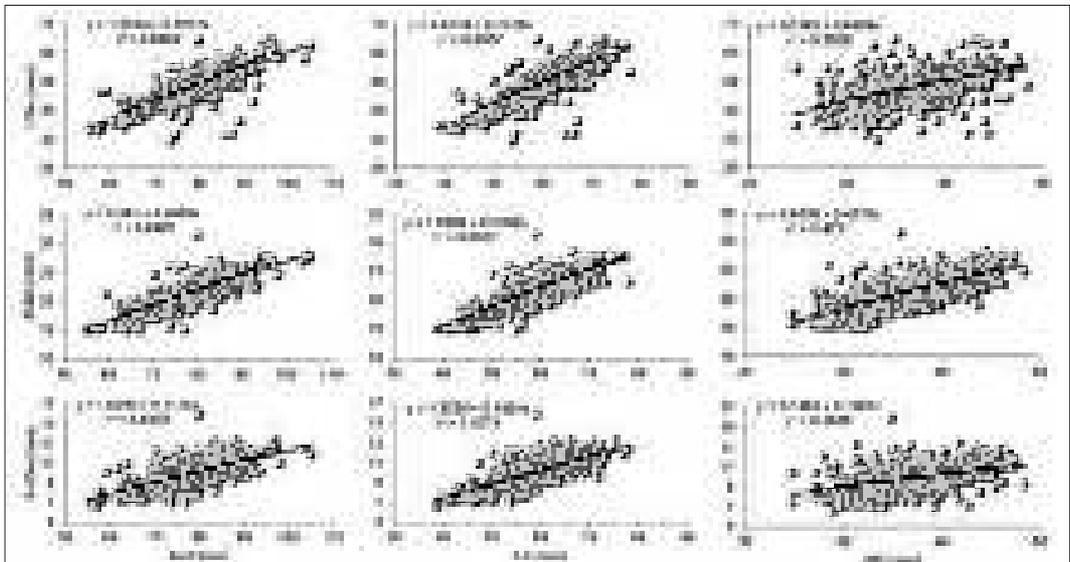


Figura 7. Relaciones morfométricas entre las variables corporales y la quela de menor tamaño en *Cardisoma crassum* recolectado en la costa continental norte de Ecuador. AnC, ancho del cefalotórax; LC, largo del cefalotórax; ALC alto del cefalotórax.

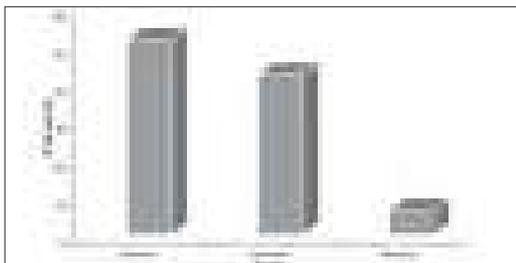


Figura 8. Porcentaje de individuos con la quela mayor en el lado derecho, izquierdo, así como con quelas similares encontradas en *Cardisoma crassum* para la costa continental norte de Ecuador.

mm AnC y la máxima de 71.48 mm AnC. La diferencia entre las tallas medias y máximas puede deberse a que el presente estudio utilizó cangrejos obtenidos de la captura comercial, mientras que, los otros autores (Uscocovich, 2015; Vázquez & Vargas, 2016) realizaron mediciones *in situ*.

Shinozaki, Silva y Santander (2013) reportaron para *C. guanhumi* una talla media de 65 mm AnC, Brasil. Mientras que, en Tabasco, Golfo de México, Oliva (2013) reporta para la Reserva Banco Chichorro una talla media de 85 mm AnC y para Punta Gavilán (área de pesca) un promedio de 63 mm AnC. La diferencia de las tallas reportadas entre la reserva y las áreas

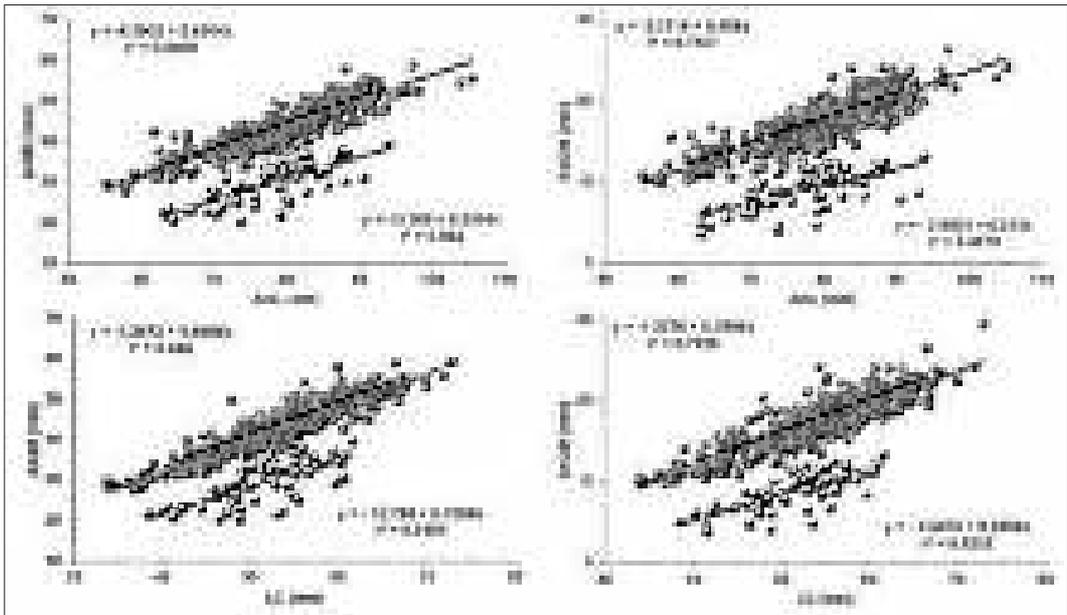


Figura 9. Relaciones morfométricas entre los individuos con quela relativamente de mayor y menor tamaño de *Cardisoma crassum*, recolectado en la costa continental norte de Ecuador.

de pesca se debe que, la presión pesquera y el autoconsumo influyen sobre este parámetro (Oliva, 2013).

Las relaciones morfométricas en *C. crassum* mostraron alometría negativa, salvo para las relaciones entre el cefalotórax y el largo de la quela mayor, así como con el alto de la quela mayor, que presentaron alometría positiva, esto es similar a lo reportado en puerto Vallarta, México, por Ortega y Vázquez (2018), indicando que *C. crassum* para las relaciones de ancho de cefalotórax vs alto de la quela presenta una alometría de  $b = 1.41$  y ancho del cefalotórax vs ancho de la quela de  $b = 1.45$ . Estas diferencias de crecimiento posiblemente se encuentren asociadas con la madurez sexual, lo cual explicaría el crecimiento alométrico en cada una de las estructuras.

La separación de los grupos identificados en las relaciones de alto y ancho de la quela mayor vs ancho y largo del cefalotórax pueden atribuirse a individuos juveniles y adultos. Uscocovich (2015) reporta la madurez sexual fisiológica en hembras de 64.88 mm AnC para *C. crassum*, mientras que, para *C. guanhumi* se encuentra en 51 mm de AnC en individuos machos (Silva & Oshiro, 2002).

En el presente trabajo se analizaron individuos que, en su mayoría, se encontraban por encima de la talla media de madurez sexual, aquello podría explicar que, no se encontró una variación (*i.e.* cambio de fases) apreciable en el crecimiento relativo entre el cefalotórax y las quelas. También, puede ser la causa de no evidenciar el punto separación entre los individuos considerados juveniles y adultos observados en las relaciones morfométricas del cefalotórax.

Se debe considerar que, el presente estudio de *C. crassum* está sujeto a los datos provenientes de la captura comercial y la selectividad del arte (*i.e.* trampas), la cual está enfocada a la captura de cangrejos adultos y relativamente grandes. Por lo tanto, la obtención de individuos con tallas pequeñas (< 55 mm AnC) deben ser recolectados mediante estudios *in situ* que sean independientes de la pesquería.

## Conclusiones

- *Cardisoma crassum* muestra una proporción similar entre la cantidad de quelas mayores de lado derecho e izquierdo del cuerpo. Además, presenta individuos homoquelos.
- Existe diferencia significativa entre las dimensiones de la quela mayor y la menor.
- Las relaciones morfométricas en *C. crassum* muestran una tendencia lineal, con valores de correlación aceptables en términos biológicos.
- El crecimiento relativo en individuos machos de *C. crassum* es alométrico negativo, salvo cuando se compara la quela mayor con el cefalotórax, en ese caso es positivo.
- Los grupos identificados entre las relaciones del cefalotórax vs la quela mayor se pueden relacionar con cambios en el desarrollo ontogénico asociados con la madurez sexual.

## Referencias

- Alemán, S., & Ordinola, E. (2017). Ampliación de la distribución sur de *Ucidés occidentalis* (Decapoda: Ucididae) y *Cardisoma crassum* (Decapoda: Gecarcinidae). *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 107-110.

- Berón, P. A., & Forero, A. (2016). Evaluación del crecimiento en cangrejo azul *Cardisoma crassum* usando alimento comercial. *Investigación Pecuaria*, 19-20.
- Bott, R. Von. (1955). Dekapoden (Crustacea) aus El Salvador. Senck, biol. (Vol. 35).
- Colón, R., Ramírez, M., & Monzon, A. (2016). Distribución, aspectos biológicos y ensayo de cultivo de los cangrejos de manglar *Cardisoma crassum* (Smith, 1870) y *Gecarcinus quadratus* (Saussure, 1853) en el Canal de Chiquimulilla, en los municipios: Taxisco, Guazacapán y Chiquimulilla en Santa Rosa, Guatemala. *Centro de Estudios del Mar y Acuicultura Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2016). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Retrieved from <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz, J., Melo, G., Posada, J., Piedra, A., & Ross, E. (2014). Invertebrados marinos de importancia comercial en la costa Pacífica de Costa Rica. Fundación MarViva. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14430/arctic6>
- Drape, N. R., & Smith, H. (1966). *Applied regression analysis*. New York, N.Y. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Fides. (2014). Sistemización del proceso comunitario de repoblación *in situ* de cangrejo azul (*Cardisoma crassum*) en 4 áreas del estuario del Río Chone. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>
- Garth, J. (1948). The Brachyura of the "Askoy" Expedition. American Museum of Natural History (Vol. 92).
- Garth, J. (1992). The Brachyuran Crabs of the Revillagigedo Islands, Colima, Mexico, with Remarks on Insular Endemism in the Eastern Tropical Pacific. San Diego Society of Natural History (Vol. 24).
- González, M., Cavanzo, C., & Asprilla, W. (2011). Planes de manejo para la conservación de 5 especies focales de fauna silvestre amenazada en el Pacífico Vallecacano.
- Hartnoll, R. G. (2012). Relative growth: description and analysis. In J. Forest & J. C. Von Vaupel Klein (Eds.), *The Crustacea, treatise on Zoology – Anatomy, Taxonomy, Biology* (Vol. 3, pp. 365-401). Leiden-Boston: Leiden, BRILL.
- Hendrickx, M. E. (1995). Cangrejos. In W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, & V. H. Niem (Eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. Volumen I. Plantas e invertebrados* (pp. 565-636). Roma: FAO.
- Huxley, J. S. (1932). *Problems of relative growth*. London, England: Methuen & Co. Ltd.
- Oliva, J. (2013). El cangrejo terrestre *Cardisoma guanhumí* ¿un recurso pesquero? Departamento de Aprovechamiento y Manejo de Recursos Acuáticos Del Área Académica de Sistemas de Producción Alternativos En ECOSUR Chetumal, 15-17.
- Ortega, M. M., & Vázquez, L. H. (2018). Crecimiento relativo de *Cardisoma crassum* Smith 1870 (Decapoda: Gecarcinidae) en el estero El Salado, Puerto Vallarta, Jalisco México. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 11(43), 808-823.
- Ramírez, M., & Monzón, A. (2018). Uso de ingredientes orgánicos de descarte en la alimentación del cangrejo azul *Cardisoma crassum* (Smith, 1870) en un cultivo piloto.
- Rathbun, M. J. (1918). The grapsoid crabs of America. *Bulletin of The United States National Museum*, 97, 1-461.
- Rodríguez-Pozo, J. (2017). Análisis comparativo de tres protocolos de extracción de ADN en cangrejo azul *Cardisoma crassum*, (Smith , 1870 ) del manglar del Cantón Eloy Alfaro, Esmeraldas-Ecuador, 2016. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Shinozaki-Mendes, R., Silva, J., Santander-Neto, J., & Hazin, F. (2013). Reproductive biology of the land crab *Cardisoma guanhumí* (Decapoda: Gecarcinidae) in north-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(3), 761-768. <https://doi.org/10.1017/S0025315412000951>
- Silva, R., & Oshiro, L. (2002). Aspectos da reprodução do caranguejo guaiamum, *Cardisoma guanhumí* Latreille (Crustacea, Decapoda, Gecarcinidae) da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19 (suppl 2), 71-78. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000600007>
- Smith, S. (1870). Notes on American Crustacea. No. 1. Ocypodoidea. Trans. Connect. Acad. Arts Sci, 2, 113-176.
- Somerton, D. A. (1980). A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(10), 1488-1494.
- Türkay, M. (1970). Die Gecarcinidae Amerikas. Mit Anhang über *Ucides Rathbun* (Crustacea: Decapoda). *Senckenbergiana Biologica*, 51(5), 333-354.
- Uscocovich, G. (2015). Reproducción y densidad poblacional del cangrejo azul *Cardisoma crassum*, en la isla Cerritos - Estuario del río Chone - Manabí - Ecuador. Universidad de Guayaquil.
- Vásquez, J. (2017). Aspectos biológico pesqueros que influyen en la pesca del cangrejo azul *Cardisoma crassum* en la comunidad La Chacara, barra de Santiago, Ahuachapán. Universidad de El Salvador.
- Vázquez-López, H., & Ramírez-Pérez, T. (2015). Aspects of Growth in the Terrestrial Crab *Cardisoma crassum* Smith, 1870 (Crustacea: Brachyura: Gecarcinidae) from El Salado Estuary, Puerto Vallarta, Jalisco, México. Retrieved from [www.mitt-klosterneuburg.com](http://www.mitt-klosterneuburg.com)
- Vázquez-López, H., & Vargas-Téllez, I. (2016). Fecundity of *Cardisoma Crassum* Smith, 1870 in an estuary of the Mexican Pacific. *BIOCYT Biología*, 35(October), 632-641.
- Vega, Á., Mena, C., & Robles, Y. (2018). Pesca artesanal de *Cardisoma crassum* (Cangrejo) y *Ucides occidentalis* (Mangote) en el sector nororiental del Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá, 20, 5-22.
- Villagrán, E., Ramírez, A., & Monzón, A. (2016). Distribución, aspectos biológicos *Cardisoma crassum* (Smith, 1870) y *Gecarcinus quadratus* (Saussure, 1853) en el Canal de Chiquimulilla, en los municipios: Taxisco, Guazacapán y Chiquimulilla en Santa Rosa, Guatemala. *Centro de Estudios Del Mar y Acuicultura Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Human Biology*, 10, 181-213.
- Von Prahl, H., & Manjarrés, G. (1983). Cangrejos Gecarcinidos (Crustacea; Gecarcinidae) de Colombia., 13, 143-14.

## Caracterización geológica geoquímica en base a datos obtenidos en testigos de perforación, depósito El Domo

Geological Geochemical characterization based on data obtained in  
drilling core, El Domo deposit

Daniilo León Maldonado<sup>1\*</sup> & César Fuentes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consultor, egresado de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.  
Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Docente Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

Recibido 7 de abril 2019; recibido en forma revisada 2 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponible en línea 26 de junio 2019

### Resumen

El depósito “El Domo” se encuentra ubicado en las estribaciones de la cordillera occidental de Ecuador, a 13 km del cantón Las Naves, provincia de Bolívar. Está formado por rocas correspondientes al arco de islas volcánico de la Fm Macuchi edad Paleoceno-Eoceno, se caracteriza por ser un depósito Sulfuro Masivo Vulcanogénico tipo Kuroko. La presente investigación se orientó en el estudio de datos obtenido en 30 sondajes para realizar una caracterización Geológica - Geoquímica que comprenda la relación entre las litologías, mineralización, resultados de laboratorio para 12 elementos; los principales de mena metálica Au, Ag, Cu, Pb, Zn y los elementos trazadores As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb, Sr; para el entendimiento geológico del yacimiento se elaboró 10 secciones Este-Oeste permitió crear un modelo geológico en 3 dimensiones de cómo están distribuidos litoestratigráficamente desde el inicio del sistema; a los elementos químicos se les sometió a tratamiento geoestadístico para sacar los rangos de fondo, umbral, subanomalía, anomalías y crear perfiles Geoquímicos, la correlación de los elementos ayudó a identificar los eventos de pulsación hidrotermal al formarse el Sulfuro Masivo; el depósito se originó durante un acontecimiento tectónico significativo provocado por volcanismo submarino que comenzó con la erupción de un complejo magmático ácido (Unidad Ácida Inferior) posteriormente este primer evento sirvió como zona de alimentación para el paso y depositación del Sulfuro Masivo seguido después de un tercer evento de sedimentación Tobácea (Unidad Tobácea Superior).

**Palabras clave:** El domo, secciones geológicas, modelo geológico 3d, correlación de elementos.

### Abstract

The deposit “El Domo” is located in the foothills of the western rift of Ecuador, 13 km to Las Naves, province of Ecuador Bolívar. It is formed by rocks corresponding to the arc of volcanic islands of the Fm. Macuchi Paleocene-Eocene age, it is characterized for being a deposit Volcanogenic Massive Sulphide type Kuroko. The present investigation was oriented in the study of data obtained in 30 drillholes to perform a Geological - Geochemical characterization that includes the relationship between lithologies, mineralization, laboratory results for 12 elements; the main ones of metal ore Au, Ag, Cu, Pb, Zn and the tracer elements As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb, Sr; for the geological understanding of the site, 10 East-West sections were elaborated to create a 3D geological model of how they are distributed lithostratigraphically from the beginning of the system; to the chemical elements were subjected to geostatistical treatment to obtain the background, threshold, subanomaly, anomalies and geochemical profiles, the correlation of the elements helped to identify the events of hydrothermal pulsation when Massive Sulphide was formed; the deposit originated during a significant tectonic event caused by submarine volcanism that began with the eruption of an acidic magmatic complex (Lower Acid Unit) later this first event served as a feeding zone for the passage and deposition of the Massive Sulphide followed by a third tuff sedimentation event (Upper Tuff Unit).

**Key words:** El domo, geological sections, 3D geological model, correlation of elements.

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: dany0992@hotmail.com



## Introducción

La exploración minera ha evolucionado como una herramienta que comprende desde la selección e investigación de áreas con características geológicas interesantes para la concentración de minerales cuyo volumen, ley, mineralogía, permitan inferir que podría ser aprovechada con una ventaja económica. Luego, los esfuerzos de exploración se dirigirán a definir si esa concentración de minerales o parte de ella, constituirá un depósito mineral y, para finalizar, determinar si este incluye porciones técnica y económicamente explotables, que conformarán el depósito de mena a partir del cual se propondrá el paso a la etapa de producción.

Se toma como base para llevar a cabo trabajos realizados previamente por (Pratt, 2008; Franklin, 2009; Schandl, 2009; Vallejo and Salazar Resources LTDA, 2013; BISA, 2015). Que sirvieron principalmente en la comprensión de la geología local, superficial y tectónica del área de estudio.

En el inicio de la prospección se asume que, si el estudio de factibilidad es favorable, el gran salto en el nivel de inversiones tendrá lugar en la etapa de definición del depósito mineral ya que es en ella cuando se debe producir una gran cantidad de información de óptima calidad. Uno de los pilares de esta información es la geoquímica del depósito, que es el punto de eje principal en esta investigación, para determinar las características del depósito mineral se han realizado sondeos, los testigos de perforación obtenidos nos brindaran la información necesaria para estudiar la geología y consecuentemente se obtendrá los muestreos para poder realizar mediante un riguroso control de calidad los datos geoquímicos multielementos, se aplicaran tratamientos de estadística univariada, correlaciones y matrices para los datos de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Ba, Hg, Sb, Cd, Mn, As, Sr.

Se espera como resultado final exponer un tratamiento de esos datos geoquímicos que nos permita entender su distribución, incrementar el conocimiento sobre su estructura e interpretar la génesis de estos, con el fin de lograr una mejor comprensión del arreglo geoquímico ocasionado por los procesos relacionados a la mineralización.

### Ubicación y acceso

El Yacimiento el Domo pertenece al proyecto minero "Curipamba" el cual es dirigido por la empresa Curimining S.A, y forma parte de la compañía inversora Salazar Resources.

El Proyecto Curipamba está ubicado en la Cordillera Occidental (Cordillera Occidental) adyacente a las llanuras costeras occidentales. El acceso a la zona es excelente a lo largo de caminos pavimentados, que se ramifican en Ventanas y Zapotal desde la carretera principal que conecta Quito y Guayaquil (BISA, 2015), Para acceder al Domo que es el área de estudio es

accesible por caminos de tierra secundarios y una caminata a pie de 13Km desde las Naves, o en carro cuyo tiempo aproximado de viaje es 45 minutos (Fig.1).

### Relieve e Hidrografía

El área del Proyecto se ubica donde los Andes se encuentran con las llanuras costeras. La fisiografía es caracterizada por llanuras de inundación al oeste y colinas moderadas a empinadas con pendiente hacia el este, con elevaciones que van desde 100 msnm hasta 1.000 msnm en menos de siete kilómetros de horizontal distancia. El drenaje corresponde a los fuertes Suquibí y Runayacu, que fluyen hacia el oeste también llamado Oncebí río.

Todas las corrientes y ríos desembocan en el Océano Pacífico y tienen incisiones profundas las laderas de las montañas para formar el este-oeste alargado Cerro Las Naves. Hacia el sur, una colina paralela-alargada separa el río Runayacu del Chazo Juan y Echeandía.

### Geología

El margen continental activo de Ecuador se caracteriza por la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa de América del Sur, a una tasa media de 58 mm / año (Trenkamp et al., 2002). Al norte de la zona de fractura de Grijalva, la corteza oceánica joven (<25 Ma) producida por el centro de dispersión Cocos-Nazca se subduce en un ángulo de 25-35° (Lonsdale, 1978; Lonsdale y Klitgord, 1978), mientras que la corteza oceánica más antigua (> 25 Ma) se subduce en un ángulo de 15° (Lavenue, 2006), al sur de la escarpa. La Cordillera Occidental de Ecuador es parte de un bloque oceánico alóctono, que colisionó contra el margen de la Placa Sudamericana durante el Cretácico Superior (Goossens and Rose Jr, 1973; Feininger and Bristow, 1980; Jaillard et al., 1995). El desplazamiento transcurriente de fallas a lo largo de aproximadamente N-S, tendencias de fallas ha dado lugar a un conjunto complicado de unidades tectono-estratigráficas, que sobrepone sucesiones volcano-sedimentarias de litologías similares, pero de diferentes edades. El basamento alóctono de la Cordillera Occidental se define como el bloque Pallatanga, y está separado de la corteza continental por una zona de sutura deformada (Calacalí - Pujilí - Falla Pallatanga).

Expuesta a lo largo del borde oeste de la Cordillera Occidental, y su límite oriental coincide con la falla Chimbo Toachi a escala regional (Hughes and Bermúdez, 1997; Hughes and Pilatasig, 2002).

De acuerdo con los análisis petrográficos y geoquímicos de la Unidad Macuchi, se considera que las rocas volcánicas de esta secuencia se depositan en un arco de isla intraoceánico (Egüez, 1986; Aguirre and Atherton, 1987), posiblemente rocas suprayacentes de afinidad de la meseta oceánica (Chiriadia and Fontboté, 2000); (Vallejo, 2007). La Unidad de Macuchi ocupa grandes áreas a lo largo del borde occidental

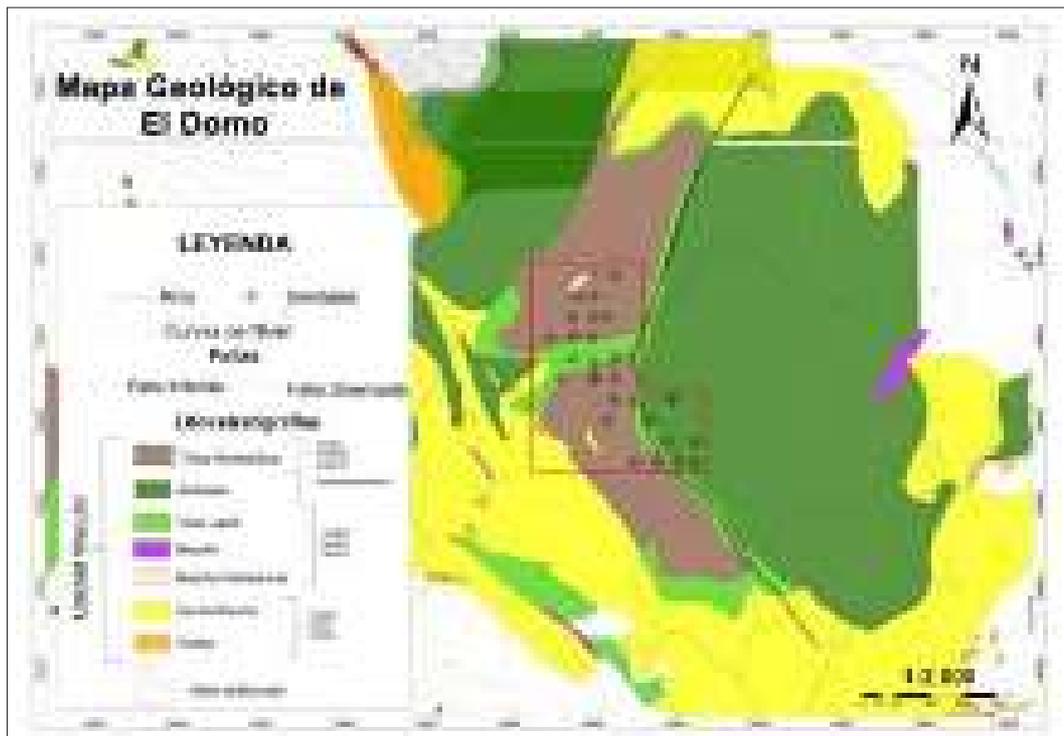


Figura 1. Mapa de Ubicación de área de estudio.

de la Cordillera Occidental, desde la frontera con Colombia hasta el sur del Valle de Pallatanga en el sur de Ecuador. Gruesos depósitos cuaternarios cubren su contacto occidental con el Bloque Piñón. es una serie principalmente volcano-sedimentaria compuesta principalmente por lavas de basaltos formando almohadillas, hialoclastitas, diabasa, andesitas, entremezclados con brechas volcánicas y pequeñas rocas riolíticas a dacíticas, en un espesor de al menos 2000 m (Aguirre and Atherton, 1987) , las brechas volcánicas son polimícticas incluyendo clastos angulares de basaltos, andesitas y dacitas en una matriz andesítica epidotizada con abundante vidrio. Las andesitas tienen una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno (Fig 2).

#### Objetivo general

Utilizar los datos Geológicos-Geoquímicos obtenidos en los sondajes, para caracterizar al depósito El Domo.

#### Objetivos específicos

1. Caracterizar macroscópicamente la geología de la zona de estudio mediante los datos de sondeos.
2. Detectar zonas anómalas para la evaluación geoquímica del depósito.
3. Comprobar si el tipo depósito de Sulfuro masivo Vulcanogénico corresponde a las características Geoquímicas del tipo Kuroko.
4. Proponer zonas potenciales de mineralización para la continuidad de las actividades exploración.

## Materiales y Métodos

#### Materiales de campo

- Lupa 20x
- Lápiz de dureza
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Flexómetro o cinta métrica de unos 5 - 10 m.
- Ácido clorhídrico

#### Métodos

Para el desarrollo del estudio se realizaron análisis de testigos de perforación, e interpretación de resultados geoquímicos para los elementos metálicos principales como el Au, Ag, Cu, Pb y Zn, adicionalmente a los elementos traza de un masivo Kuroko como el Ba, Hg, Sb, Cd, Bi, As, Sr.

El presente estudio se ha considerado 30 sondeos exploratorios (Tabla 1), comprendiendo un total de 4721,40 metros perforados con recuperación de testigos continuos, en un mallado 50x50 metros, alcanzando profundidades que varían entre 107.95 a 270 metros.

Se procede a realizar los registros geológicos o quick log (logueos rápido), en donde se realiza la descripción metro a metro de los sondeos exploratorios. Lo primero que se realiza es una codificación de las unidades litológicas y zonas mineralizadas que vamos encontrar, además se realiza simbologías para fallas,

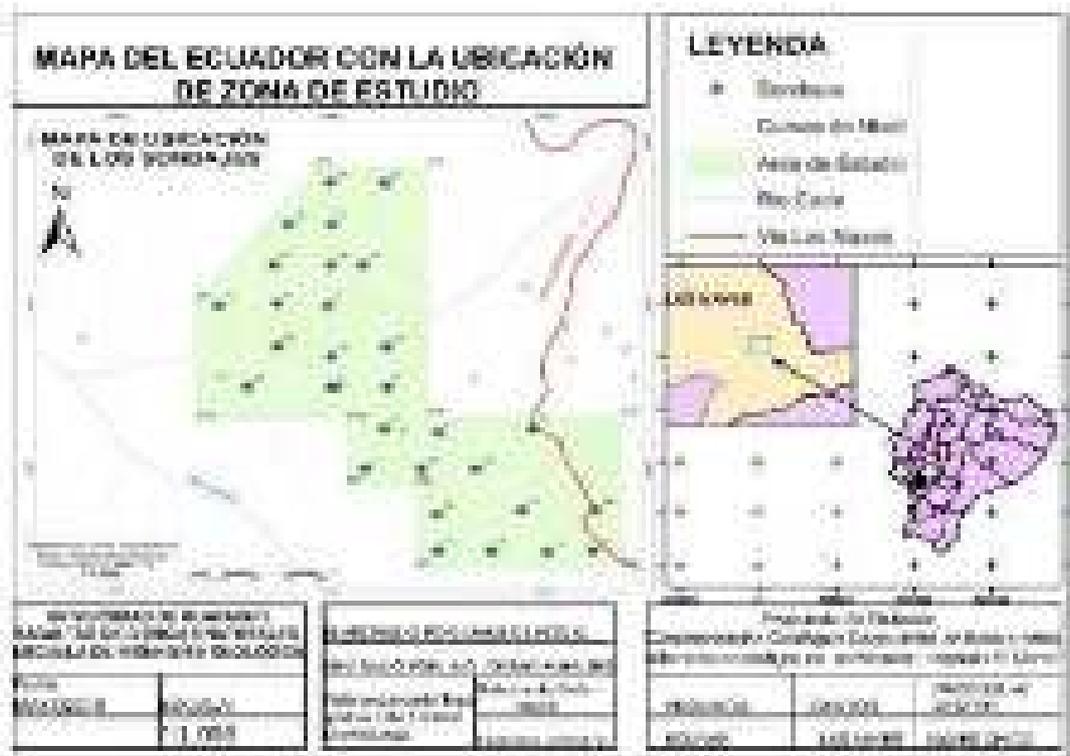


Figura 2. Geología local y ubicación de los sondajes en la zona de estudio, Modificado de Pratt, 2008.

facturas, el Quick log es un registro de manera general de la geología (unidades litológicas y alteraciones), mineralización y zonas de roca fallada. Las muestras de roca seleccionadas y llevadas al laboratorio fueron tomadas de los testigos de perforación de alrededor de 30 pozos de exploración.

Se elaboró secciones geológicas usando la extensión Target para ArcGis, fue generado con la creación de una base de datos en Excel, que fue compuesto de lo siguiente: Coordenadas de los sondeos, litologías, Survey y los resultados de laboratorio para elementos.

El análisis Geoestadístico realizado a los testigos de perforación se lo tomó, tomando en cuenta la litoestratigrafía del yacimiento, se agruparon los valores tomados en cada sondaje según el tipo de litología del que se realizó la muestra, en total 1804 muestras de roca tomados de los sondajes se mandaron analizar a laboratorio para el presente estudio y se dividen de la siguiente manera:

1. Unidad Tobácea Superior (UTU) y Toba Lapilli= 82 muestras
2. Grainstone= 118 muestras
3. Sulfuro Masivo= 176 muestras
4. Brecha Hidrotermal + Yeso= 847 muestras.
5. Dacita = 581 muestras

Se realizó un análisis más a detalle de los resultados obtenidos en el Grainstone, sulfuro masivo, Brecha

Hidrotermal-Yeso por considerarlos de mayor relevancia a la hora de poder evaluar geoquímicamente el yacimiento.

El análisis geoestadístico a cada sección Geoquímica elaborada aplicando el método de Lepeltier simplificado para los elementos Au, Ag, Cu, Pb y Zn, Para determinar los rangos background, threshold, subanomalía y anomalía, se realiza cálculos de medias ( $\bar{x}$ ) y desviaciones estándar ( $\sigma$ ) las cuales se explican a continuación:

- Background = ( $\bar{x}$ )
- Threshold = ( $\bar{x}$ ) + ( $\sigma$ )
- Subanomalía = ( $\bar{x}$ ) + ( $2^*\sigma$ )
- Anomalía = ( $\bar{x}$ ) + ( $3^*\sigma$ )

Correlación de Pearson: Pearson (r) nos demuestra mediante valores entre (-1 a +1) el grado de correlación de dos variables, en este caso la correlación entre los elementos principales del VMS, (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) y la de elementos asociados al yacimiento como lo son el (As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb, Sr), las correlaciones son positivas (+1) cuando a medida que aumenta una variable, la otra variable también, y son negativas (-1) cuando a medida que aumenta una variable, la otra disminuye. A cada litología se le calculó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar las asociaciones geoquímicas entre los elementos de mena metálica y los elementos indicadores de un VMS.

Tabla 1. Coordenadas de los Sondajes. Sistema UTM PSAD1956.

| Sondaje | Este        | Norte      | Elevación (msnm) | Azimut | Dip | Prof.  |
|---------|-------------|------------|------------------|--------|-----|--------|
| 1       | 695003.7    | 9855099.89 | 881.5            | 90     | 60  | 209.7  |
| 2       | 694.999.687 | 9855100.14 | 877.187          | 270    | 65  | 206.7  |
| 3       | 694997.13   | 9855199.96 | 895.25           | 90     | 75  | 188.7  |
| 4       | 695000.74   | 9855299.87 | 915              | 90     | 80  | 119.7  |
| 5       | 695052.55   | 9855099.98 | 894.31           | 90     | 60  | 171    |
| 6       | 695049.95   | 9855050.14 | 894.46           | 0      | 90  | 173.85 |
| 7       | 695031.87   | 9855000.3  | 887.08           | 90     | 70  | 206.7  |
| 8       | 694949.9    | 9855202.47 | 873.74           | 90     | 75  | 121.35 |
| 9       | 695.099.845 | 9855045.01 | 910.65           | 0      | 90  | 161.85 |
| 10      | 695.084.342 | 9854999.87 | 904.989          | 90     | 70  | 203.75 |
| 11      | 695099.51   | 9854900.08 | 906.811          | 270    | 85  | 121.1  |
| 12      | 695135.25   | 9854999.94 | 926.84           | 90     | 70  | 161.75 |
| 13      | 695.201.707 | 9854898.17 | 937.793          | 270    | 85  | 221.8  |
| 14      | 695.177.948 | 9854950.05 | 928.929          | 90     | 70  | 144.25 |
| 15      | 695.243.896 | 9854900.03 | 945.682          | 270    | 85  | 132    |
| 16      | 695052.58   | 9855149.84 | 892.895          | 90     | 75  | 107.95 |
| 17      | 694.895.226 | 9855199.98 | 858.293          | 90     | 75  | 128.95 |
| 18      | 695.000.432 | 9855138.09 | 881.918          | 90     | 75  | 125.95 |
| 19      | 695030.68   | 9855249.92 | 909.79           | 90     | 75  | 140.8  |
| 20      | 695.000.157 | 9855249.92 | 903.709          | 90     | 85  | 134.95 |
| 21      | 695050      | 9855350    | 929.182          | 90     | 75  | 149.95 |
| 22      | 694999.28   | 9855350.54 | 908.487          | 90     | 75  | 137.95 |
| 23      | 694946.79   | 9855249.95 | 875.97           | 90     | 75  | 143.95 |
| 29      | 695.149.267 | 9854899.84 | 924.063          | 270    | 85  | 125.95 |
| 24      | 694.950.318 | 9855150.43 | 854.807          | 90     | 75  | 122.95 |
| 25      | 694922.37   | 9855100.35 | 859.16           | 90     | 75  | 140.95 |
| 26      | 695.098.507 | 9854944.96 | 901.703          | 90     | 75  | 137.95 |
| 27      | 695187.37   | 9855049.96 | 957.77           | 90     | 85  | 270    |
| 28      | 695247.29   | 9854950.01 | 950.33           | 90     | 85  | 180    |
| 30      | 694960.37   | 9855299.85 | 884.415          | 90     | 75  | 128.95 |

## Resultados

### Unidad Ácida Inferior (LAU) o Félsica (Footwall).

Esta unidad de lavas ácidas da nombre a la zona considerada como "Footwall" y está conformado por la Riolita y la Dacita.

#### Riolita

La roca más antigua, de color blanco cremoso a verde claro, contiene fenocristales euhedrales de feldespato 8%(1-4 mm) y cuarzo 15% (1-5 mm). La roca era originalmente vidriosa, de grano muy fino y localmente muestra fracturas perlíticas que sobreimprimen la foliación de flujo. También muestra brechación generalizada en tramos. Presenta alteración illita-filica (Cuarzo, sericita, pirita) esto tiende a hacer que los feldespatos sean difíciles de ver, pero enfatiza los fenocristales de cuarzo.

#### Dacita Autobrecha

Tiene un espesor de aproximadamente de 100 metros. Es de color verde claro, de grano fino,

posee plagioclasas porfíricas en una matriz vítrea verde oscuro, textura brechiforme monomictica, con fragmentos de 5 mm a 5 cm. En sectores es más polimictica incluyendo fragmentos de jaspe, hematita, basaltos o andesitas basálticas (esporádicos). La brecha dacítica es un flujo de lava que emana del colapso y el flujo lateral de un domo submarino cercano; esto marca el final de la fase principal del volcanismo submarino ácido/félsico, aunque algunas dacitas sí ocurren por encima del horizonte de sulfuro masivo. En los lugares más frescos y menos afectados por la alteración hidrotermal, la roca es vidriosa, con fractura perlítica y hialoclastita.

### Unidad de sulfuro masivo (MSU) o zona de mineralización

Término usado para referirse a la zona encontrada entre los horizontes de la Unidad de Ácido Inferior y la base de la Unidad Tobácea Superior ('UTU'). Alberga al sulfuro masivos y se pirita localmente, por lo tanto, abarca el evento masivo de formación de sulfuro; incluye tanto el "Footwall como a la

Hanginwall” a la mineralización, el espesor total es de aproximadamente 50 m.

#### *Brecha Hidrotermal*

Se llama Brecha Hidrotermal a la zona caracterizada por la presencia de la zona de Stringer o stockwork está formada por vetillas de calcopirita, pirita, esfalerita y galena en menor cantidad. El stockwork está alojado dentro de la dacita-riolita (footwall), con un sobre de alteración de cuarzo-sercicita. El diámetro aproximado del estos vetillos es desde 2mm hasta los 5cm. La zona de contacto entre el sulfuro masivo y la zona de stockwork están marcadas por vetas de anhidrita de un centímetro dentro de la alteración de cuarzo-sercicita-pirita.

#### *Yeso*

Se encuentra generalmente debajo del sulfuro masivo. Se presenta en forma de vetillos moderados o también formando stockwork masivos (Fig. 21), reemplaza las tobas lapilli, de modo que > 90% del material comprende yeso de grano fino. El resto generalmente es una arcilla verde clara posible illita y pirita menormente. También se lo puede encontrar dentro de la dacita autobrecha. Debido a que es tan dúctil, el yeso ha sido removilizado por la actividad tectónica en algunos lugares. Básicamente, actuó como un lubricante. Cuando es fallada, se vuelve foliada. La anhidrita/yeso debe formar una “losa” subvertical que limita el área de descarga hidrotermal, y que debe estar subyacente al eje principal de la formación de VMS. La cantidad de desarrollo de anhidrita/yeso está, en cierta medida, relacionada con la longevidad del sistema hidrotermal y, por lo tanto, con el tamaño del depósito. Se forma mejor en los estratos debajo de aquellos depósitos que tienen la descarga más enfocada; Estos se encuentran típicamente en depósitos donde el footwall tiene una permeabilidad limitada no controlada por fractura, es decir, aquellos que se encuentran en regímenes dominados por el flujo.

#### *Sulfuro Masivo*

Esta parte alberga la mayor parte de los sulfuros masivos volcánogénicos (> 70% de Cu, Au, Zn y Ag), aunque parte de la mineralización también está alojada en la zona de Hanginwall o (UTU) sobrepuesta a los sulfuros semi-masivos y como stockwork y brechas hidrotermales en la Unidad de ácida inferior. Su grosor oscila entre 20 cm y 25 m y sigue estrictamente el contacto entre la unidad ácida inferior y la unidad Tóbacea superior. El contacto superior de los sulfuros masivos está marcado por una capa bastante continua, de varios metros de espesor, de sílice de grano fino de blanco a gris. A pesar de ser bastante masivo algunos autores como James Franklin o Warren Pratt lo han catalogado con el nombre chert o Grainstone.

Los sulfuros, el yeso y la barita se encuentran en varias lentes inmediatamente por encima de la Dacita Autobrecha y están alojados principalmente por lapilli tobas de la MSU. Comprenden cuerpos concordantes,

se pueden dividir en al menos 5 tipos:

1. Sulfuro masivo con textura indistinta. En algunos lugares, se puede ver una textura fragmentaria dentro de los sulfuros, lo que sugiere que pueden formarse reemplazando la toba lapilli.
2. Lapilli toba y peperitas alteradas con sulfuro,
3. Fragmentos de sulfuro transportados dentro de tobas lapilli polimíctica.
4. Fragmentos de pseudo-sulfuro dentro de tobas de lapilli polimícticas.

Finas capas síliceas finamente estratificadas con sulfuros en bandas. Estos muestran textura botroidal.

#### *Grainstone*

Esta unidad, mejor conocida como brecha de “Grainstone” se compone de una unidad volcánoclastica pobremente clasificada, pero localmente encajado (origen máfico) que está soportada por fragmentos de roca. Los fragmentos son típicamente de 0,5 a 1,5 mm de diámetro, se alteran de forma irregular y se cementan localmente en sílice o sulfuro.

Se presenta en los sondeos con apariencia de un flujo Debris, fragmentos no consolidados, matriz carbonatada, ciertos clastos son reemplazados por sulfuros secundarios debido a la descarga de fluidos hidrotermales que continuó a lo largo de varios eventos hidrotermales, los metales quedaron atrapados en la matriz de grainstone. También puede ser que la presencia de mineralización del sulfuro pudo haber sido transportado desde la zona del Masivo.

Esto podría haber provenido de chimeneas, y que se desalojaron al mismo tiempo que el hialoclastito y otros escombros volcánogénicos que se movieron rápidamente, pero probablemente muy localmente.

#### *Toba Lapilli*

Este es el componente principal de la MSU. En comparación con tobas suprayacentes, que tienden a ser dominadas por andesitas, estas tobas lapilli distintivamente son polimícticas e incluyen un conjunto diverso de clastos. Éstas incluyen:

1. Abundante lava de andesita porfídica de color verde a púrpura y de grano muy fino.
2. Basalto color negro, magnetismo de grado moderado a alto, de forma vesicular o posiblemente lenticular.
3. Jaspe color rojo, se observa en sondeos a una proporción <1%, magnetismo débil.
4. Diorita, color gris a gris oscuro, magnetismo moderado a alto, compuesta mayormente de plagioclasas y cuarzo residual.
5. Riolita color blanca, porfídica de cuarzo y feldespato.

Estas tobas lapilli que a veces presentan sulfuros tienden a ser de color gris claro debido a la alteración débil de illita + pirita. Sin embargo, en algunos sondeos las tobas entre lentes de sulfuro son

relativamente frescas y tienen clorita + magnetita + epidota. Reaccionan fuertemente al imán lo que es un indicativo fuerte de la presencia de magnetita.

#### Unidad Tobácea Superior (UTU) o Hanginwall

Abarca todo el compuesto litológico ubicado en la parte superior de la MSU. El espesor de esta unidad tomando como referencia el medido el más largo medido desde un sondeo exploratorio es de 75m.

La unidad comprende lodos tobáceos verdes de capa delgada a mediana, tobas de cristal y lechos finos raros de tobas de lapilli de grano fino. La bioturbación está muy extendida. Estas rocas comúnmente muestran una caída fallada que se puede observar cuando está fresco, las rocas son duras y verdes. Sin embargo, son comúnmente de color marrón pálido y profundamente erosionadas en la superficie. Las rocas forman la mayor parte de la topografía suave y ondulada de Las Naves.

Se ha considerado a este tipo de roca como una brecha polimíctica, sostenida por clastos compuesta de fragmentos ígneos caóticos y no clasificados, que muestra una gran variación vertical, la forma de los clastos varía desde los fragmentos rocosos angulares hasta los subangulares (más comunes), lo que puede indicar que hay poco transporte. El tamaño de los fragmentos varía entre algunos milímetros hasta 5 cm.

#### Rocas máficas

Basalto: Estas rocas fueron ampliamente contemporáneas con la mineralización masiva de sulfuros, el basalto comprende una roca negra de grano muy fino con fenocristales de feldespato dispersos. Se caracteriza por una textura vesicular y abundantes amígdalas de calcedonia blanca azulada con bandas, clorita y/o calcita. Los fenocristales olivinos raros grandes ocurren en el basalto.

Esta roca es oscura, con solo algunos fenocristales de plagioclasa, piroxeno y olivino en una masa criptocristalina formada por plagioclasa euhedral, clinopiroxeno y magnetita; la roca se ve afectada por el metasomatismo submarino con reemplazo generalizado por clorito, óxidos de hierro, calcita, pumpellyita, piritita y cuarzo. Tiene abundantes vesículas rellenas con zeolitas, cuarzo, epidota o calcita.

#### Domo de Andesita

El área del proyecto recibe su nombre debido a la presencia de una estructura similar a un domo al este del depósito. Está dominado por facies masivas altamente homogéneas que muestran solo foliación magmática local.

Tiene una matriz color verde clara de granos muy finos con fenocristales de plagioclasa clastos soportados en vidrio. Las andesitas porfíricas también se encuentran en afloramientos al Noroeste del depósito en forma de diques, con una alteración propilitica regional. Posee vacuolas y vetillas de zeolita, las

andesitas representan varios eventos eruptivos en un ambiente de puntos calientes.

La extrusión de las rocas andesíticas produjo la ruptura de la lente de sulfuro masiva y su cubierta sedimentaria. Esto se observa claramente en el borde este del sulfuro masivo donde la unidad volcánica fue levantada y se sumerge casi verticalmente. La extrusión de la andesita porfídica fue presumiblemente controlada por la falla orientada NE que limita con el depósito hacia el este.

#### Geoquímica del depósito

La Brecha Hidrotermal + Yeso se comprueba la presencia de valores anómalos tanto en sus elementos polimetálicos, y en sus elementos indicadores, como indica la tabla 8 en la parte de Anexos, el promedio de Au es de 0.3 g/t llegando a un valor máximo de 7.790 g/t, para la Ag el promedio es 9.3 g/t con un máximo de 590 g/t, para el Cu el valor promedio obtenido fue de 0.3% con un máximo de 4.7%, para el Zn se promedió 0.6% con un máximo de 10.5% y para el Pb se obtuvo en promedio 0.06% con un máximo de 4.1%(Tabla 2).

Las asociaciones Geoquímicas más importantes que supera el valor  $(r) > 0.9$  fueron las del Ag-Pb-, Zn-Cd; mientras que otro grupo de asociación con el valor  $(r) > 0.5$  fueron las del Au-Ag, Au-Pb, Ag-Zn-Hg, As-Hg-Cd (Tabla3), la correlación del Cu-As ( $r=0.4$ ) llama la atención al ser esta la única que se asoció detectada del Cu en esta parte del sistema (Footwall), lo que posiblemente tenemos la ocurrencia no detectada del mineral Tennantita, al ser un sulfuro de Cobre y Arsénico ( $Cu_{12}As_4S_{13}$ ) a veces este mineral suele encontrarse con impurezas asociadas como el Sb, Ag, Zn, Pb, elementos que presentan valores promedios de *Background* superiores a los límites detectados.

Minerales como la Esfalerita + Piritita + Calcopiritita diseminada, Piritita + Galena + Esfalerita en trazas y parches esta parte del sistema, el principal motivo es por ser considerado como la zona de alimentación del Fluido Hidrotermal (Feeder Zone o Stringer Zone).

Tabla 2. Medidas Estadísticas para la Brecha Hidrotermal + Yeso.

| Variable | Media  | Desv.Est. | Max         | Min   |
|----------|--------|-----------|-------------|-------|
| Au (g/t) | 0.3    | 0.7       | 7.790       | 0.003 |
| Ag (g/t) | 9.3    | 40.6      | 590.000     | 0.100 |
| Cu(ppm)  | 2647.6 | 7419.1    | 46.900.000  | 5.000 |
| Pb(ppm)  | 676.3  | 2964.5    | 41.100.000  | 3.000 |
| Zn(ppm)  | 5480   | 14129.8   | 104.500.000 | 8.000 |
| As(ppm)  | 219.2  | 510.5     | 5.728.000   | 3.000 |
| Ba(ppm)  | 495.8  | 981.3     | 5.679.000   | 0.500 |
| Cd(ppm)  | 22.3   | 59.5      | 451.000     | 0.300 |
| Hg(ppm)  | 1.6    | 4.2       | 54.000      | 0.500 |
| Mn(ppm)  | 64     | 67.5      | 492.000     | 5.000 |
| Sb(ppm)  | 17     | 60.5      | 934.000     | 1.000 |
| Sr (ppm) | 63.2   | 95.8      | 956.000     | 2.000 |

Tabla 3. Correlación de Pearson en BxH+Yeso

|          | Au (g/t) | Ag (g/t) | Cu (ppm) | Pb (ppm) | Zn (ppm) | As (ppm) | Ba (ppm) | Cd (ppm) | Hg (ppm) | Mn (ppm) | Sb (ppm) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ag (g/t) | 0.602    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Cu (ppm) | 0.275    | 0.097    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Pb (ppm) | 0.619    | 0.952    | 0.003    |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Zn (ppm) | 0.389    | 0.616    | 0.111    | 0.624    |          |          |          |          |          |          |          |
| As (ppm) | 0.233    | 0.251    | 0.432    | 0.236    | 0.441    |          |          |          |          |          |          |
| Ba (ppm) | -0.108   | -0.047   | -0.104   | 0.034    | 0.013    | -0.038   |          |          |          |          |          |
| Cd (ppm) | 0.22     | 0.344    | 0.129    | 0.356    | 0.947    | 0.451    | 0.009    |          |          |          |          |
| Hg (ppm) | 0.412    | 0.543    | 0.16     | 0.581    | 0.782    | 0.71     | -0.06    | 0.73     |          |          |          |
| Mn (ppm) | -0.054   | -0.036   | -0.074   | -0.013   | -0.04    | -0.094   | 0.178    | -0.042   | -0.059   |          |          |
| Sb (ppm) | 0.103    | 0.205    | 0.123    | 0.153    | 0.515    | 0.315    | 0.034    | 0.534    | 0.423    | -0.064   |          |
| Sr (ppm) | -0.091   | -0.027   | -0.116   | 0.002    | 0.029    | 0.015    | 0.135    | 0.038    | 0.034    | -0.008   | 0.023    |

Para la unidad de Sulfuro Masivo se comprueba la presencia de valores anómalos tanto en sus elementos polimetálicos, y en sus elementos indicadores (tabla 4), el promedio de Au es de 4.577 g/t llegando a un valor máximo de 60.6 g/t, para la Ag el promedio es 74.047 g/t con un máximo de 1340 g/t, para el Cu el valor promedio obtenido fue de 4.6% con un máximo de 20.9%, para el Zn se promedió 4.8% con un máximo de 48.7% y para el Pb se obtuvo en promedio 0.4% con un máximo de 17.2%.

Las asociaciones Geoquímicas más importantes fueron las del Au-Ag-Pb-Zn, Au-Cu, Sb-As-Cd-Hg-Au-Ag-Zn (Anexo 8), las asociaciones Au-Ag-Pb-Cu-Zn debe estar directamente relacionado a la presencia de minerales de Calcopirita aurífera (CuFeS)<sub>2</sub>+ Galena (PbS)+ Esfalerita (ZnS) y en menor cantidad de Tetraedrita (Cu,Fe,Ag)Sb<sub>4</sub>S<sub>3</sub> destacando el antimonio aparece correlacionando positivamente a los elementos polimetálicos a excepción del Cobre (r=0.1), presenta valores considerados anómalos con un promedio de 221.4 ppm con un máximo de 5330 ppm.

Tabla 4. Medidas Estadísticas para el sulfuro Masivo.

| Variable | Media     | Desv.Est. | Max      | Min   |
|----------|-----------|-----------|----------|-------|
| Au (g/t) | 4.577     | 7.165     | 60.6     | 0.2   |
| Ag (g/t) | 74.047    | 141.896   | 1340.0   | 1.0   |
| Cu(ppm)  | 46240.58  | 49743.36  | 209000.0 | 104.0 |
| Pb(ppm)  | 4.457.392 | 15538.89  | 172000.0 | 25.0  |
| Zn(ppm)  | 48679.03  | 87802.68  | 487000.0 | 88.0  |
| As(ppm)  | 968.483   | 1.423.662 | 10001.0  | 52.0  |
| Ba(ppm)  | 280.716   | 625.794   | 4254.0   | 3.0   |
| Cd(ppm)  | 184.839   | 301.611   | 1595.0   | 0.3   |
| Hg(ppm)  | 10.085    | 20.502    | 182.0    | 0.5   |
| Mn(ppm)  | 79.702    | 86.432    | 732.0    | 2.5   |
| Sb(ppm)  | 221.415   | 620.904   | 5330.0   | 2.0   |
| Sr (ppm) | 65.585    | 85.352    | 565.0    | 1.0   |

Tabla 5. Correlación Pearson para el Sulfuro Masivo.

|          | Au (g/t) | Ag (g/t) | Cu (ppm) | Pb (ppm) | Zn (ppm) | As (ppm) | Ba (ppm) | Cd (ppm) | Hg (ppm) | Mn (ppm) | Sb (ppm) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ag (g/t) | 0.824    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Cu (ppm) | 0.305    | 0.157    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Pb (ppm) | 0.64     | 0.755    | -0.045   |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Zn (ppm) | 0.491    | 0.677    | 0.096    | 0.511    |          |          |          |          |          |          |          |
| As (ppm) | 0.429    | 0.531    | 0.115    | 0.262    | 0.396    |          |          |          |          |          |          |
| Ba (ppm) | -0.124   | -0.03    | -0.303   | 0.054    | -0.002   | -0.081   |          |          |          |          |          |
| Cd (ppm) | 0.523    | 0.691    | 0.131    | 0.521    | 0.939    | 0.438    | 0.04     |          |          |          |          |
| Hg (ppm) | 0.555    | 0.79     | 0.03     | 0.509    | 0.775    | 0.594    | 0.02     | 0.76     |          |          |          |
| Mn (ppm) | -0.104   | -0.094   | -0.232   | -0.013   | -0.052   | -0.101   | 0.422    | -0.066   | -0.081   |          |          |
| Sb (ppm) | 0.791    | 0.842    | 0.142    | 0.522    | 0.627    | 0.476    | -0.038   | 0.634    | 0.689    | -0.104   |          |
| Sr (ppm) | -0.011   | 0.202    | -0.143   | 0.236    | 0.315    | 0.246    | 0.423    | 0.398    | 0.281    | 0.215    | 0.114    |

Es de importancia la correlación entre los elementos Au-Ag-Hg debido a que están claramente relacionados con un proceso de fraccionamiento hidrotermal dominante en estado de vapor, esto se debe a que el oro y la plata son muy móviles en el ambiente de ebullición que resultaría en que su movilidad se encuentra en el vapor y precipitan solo en la oxidación del fluido (es decir, cerca del fondo paleo-marino). Se sabe que el Hg se transporta preferentemente en la fase de vapor y claramente se ha amalgamado con oro. Hg sería un poderoso indicador de la proximidad a los sistemas de limitación del depósito VMS.

La asociación entre el Zn-Cu ( $r=0.096$ ) y Au-Cu ( $r=0.305$ ) nos demuestra que ambos elementos ocurrieron en momentos de pulsación hidrotermal diferentes, denotando la característica del elemento Zinc de mineralizarse en estratos porosos del sistema y diseminarse bajando su concentración (tabla 5).

Los mapas de interpolación de los elementos Au, Ag, Cu, Pb, Zn se realizaron tomando como referencia la cota del sulfuro masivo en el yacimiento que oscila entre los 820-845 msnm (Fig. 3), los colores de los elementos están clasificados según el rango de valores para anomalías que se muestra en el Anexo 10, el color verde se le asigna al background o fondo, el amarillo al threshold o umbral, el rojo a la subanomalía y el morado a las zona de mayor anomalía.

Claramente para elementos como el Au, Ag, Zn y Pb nos muestra un halo de dispersión caótico en donde la mineralización se encuentra en todo el yacimiento con un ligero sesgo hacia el NNO y SSO del yacimiento, el Cu se encuentra disperso en todo el yacimiento, sesgándose ligeramente hacia el Noreste.

Para el Grainstone, El coeficiente de correlación Pearson y las matrices generadas (Anexo 5 y 6) muestran una asociación directa entre los elementos Au-Ag-Pb-Zn-Cd-Hg-Sb, As-Hg-Cd-Sb. Considerando que el valor ( $r$ ) de Pearson es una asociación positiva cuando es mayor a 0.9.

La asociación geoquímica Au-Ag-Pb-Cd-Hg-Zn son las de mayor grado de correlación al tener un valor mayor a 0.9, lo que nos indica que la mineralización de estos elementos sucedió en el mismo pulso hidrotermal, no obstante la anomalía del Cu que presenta un valor promedio de 0.3%, valor máximo de 55600 ppm, ( $r<0.4$ ) debió ser consecuencia de otro pulso secundario hidrotermal debido a la escasa presencia de minerales de cobre (calcopirita, bornita, calcosina) y al no tener una asociación lineal directa creciente con el Au-Ag-Pb-Zn.

Elementos indicadores muestran promedios elevados superando su contenido promedio en rocas félsicas y máficas destacando las anomalías del As, Hg, Cd y Sb.

## Discusión

Desde el Perfil A-A\* al J-J\* (Fig. 4) nos permite observar una litoestratigrafía completa de un tipo de Yacimiento Sulfuro Masivo hospedado en rocas volcánicas tipo Kuroko (fig. 4), la secuencia volcano-sedimentaria se ha ido formando de casi del manera subhorizontal en donde la potencia del masivo de Sulfuro varía desde 5 metros de espesor en el perfil A-A\*, hasta unos 25m en el perfil C-C\* ubicado a 100m en dirección al Sur.

En el caso de los perfiles G-G\*, H-H\*, I-I\*, J-J\*, el sulfuro Masivo se encuentra atravesado por la falla mapeada en superficie por Pratt, este ha sido provocado por los esfuerzos resultantes de la intrusión de un cuerpo Andesítico **post-mineralización** y depositación en la cuenca, al intruírse este Domo Andesítico en superficie, este ha desplazado en profundidad la secuencia sedimentaria que originalmente se ha formado en el momento de la mineralización, los sondeos 14, 15, 27, 28 ubicados en los perfiles mencionados nos indican un espesor promedio de 100-120m de Andesita porfirítica, y después encontramos el contacto de la Andesita con la UTU, Sulfuro masivo, Brecha Hidrotermal-Yeso, Dacita y Riolita.

La correlación entre los perfiles Geológicos y Geoquímicos, han decantado anomalías evidentes para la zonas de Au, Ag, Cu, Pb y Zn, en su mayoría han coincidido con el espesor de la unidad del sulfuro masivo definiendo el espesor de esté con más precisión, y en la zona de la Brecha Hidrotermal + Dacita se observan anomalías menores para el Cu-Zn.

Se observa un espesor significativo en la zona de la base del Sulfuro masivo que es la ocurrencia del Yeso dando la característica principal de este elemento que es de dureza débil e inherentemente dúctil debido al acompañamiento de minerales arcillosos como es la illita-sericita. Esto permitió al ocurrir la intrusión de la falla sea desplazado con facilidad en profundidad durante el posterior emplazamiento de la Andesita post-mineralización.

El modelo Geológico 3D (Fig. 5) indica como el yacimiento se encuentra formado en el subsuelo, el color púrpura es el indicador de la zona mineralizada y se observa en perspectiva desde el Sur como el sulfuro ha disminuido su espesor debido a estar en la zona de mayor movimiento por la falla El Domo, determinando posiblemente como su límite geométrico en la línea N9854900 y al E694900 (perfil J-J\*), mientras que al Norte queda abierta una posible tendencia de extensión del cuerpo a explorar.

## Conclusiones

El desarrollo de esta investigación se ha realizado con el absoluto detenimiento en la obtención de

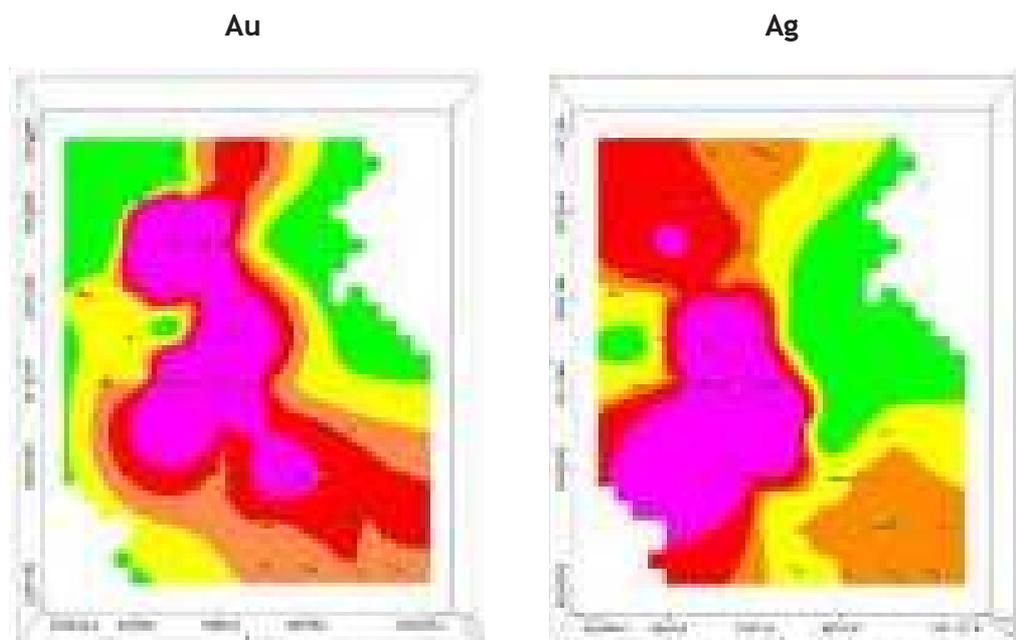


Figura 3. Interpolación de todos los sondajes en la cota promedio del sulfuro masivo para los elementos metálicos. (parte1)

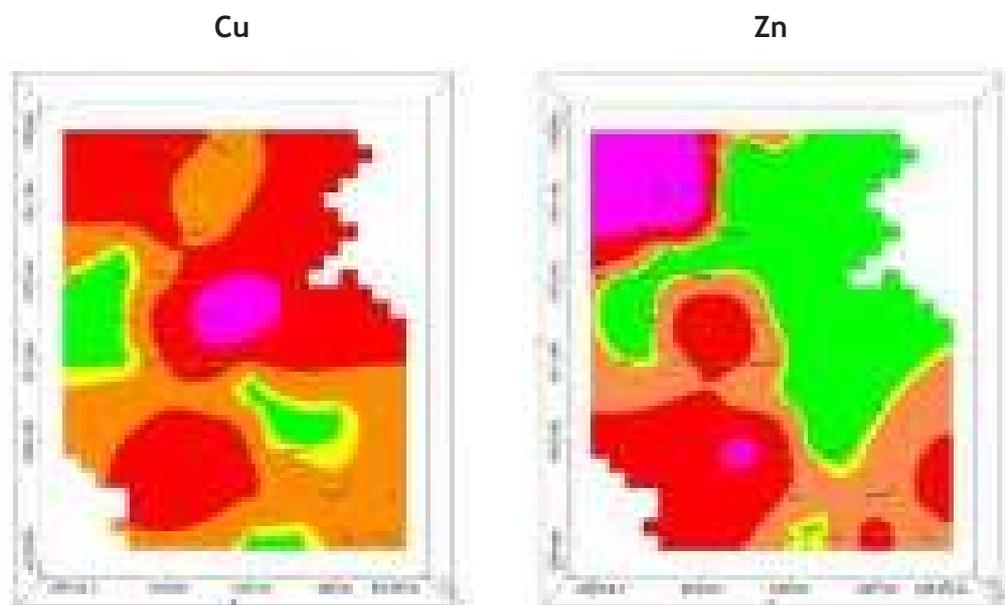


Figura 3. Interpolación de todos los sondajes en la cota promedio del sulfuro masivo para los elementos metálicos. (parte 2)

resultados concluyentes, la información generada en los diferentes capítulos de este proyecto ha sido analizada y acoplada obteniendo los siguientes resultados.

El depósito “El Domo” es uno de los principales exponentes de un VMS (Sulfuro Masivo Vulcanogénico) en los Andes ecuatorianos, los cuales están separados en 50-60 km. Es una distancia típica entre sistemas hidrotermales del Paleoceno-Eoceno.

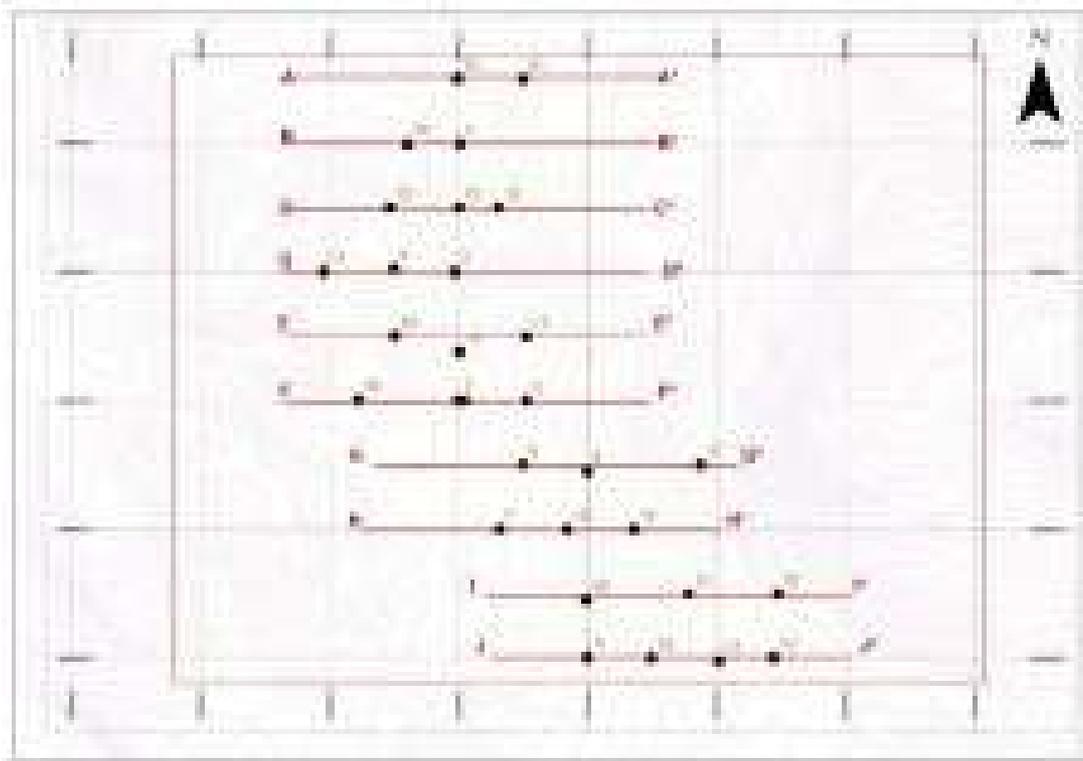


Figura 4. Representación en vista de planta de las secciones Geológicas E-W.

Mediante la elaboración de las Secciones Geológicas-Geoquímicas Este-Oeste se generó un modelo digital en 3D del yacimiento mineralizado., observamos en el perfil A-A\* que se encuentra en la línea Norte 9855350, el cuerpo mineralizado no nos delimita su extensión, el mapa geoquímico de esta sección nos indica regularidad total de valores como el Au, Ag, Cu, Pb y Zn, en el sondaje 21 se observa un espesor de alrededor de 4m de Masivo y 20m de Brecha Hidrotermal, por lo tanto la mineralización y tendencia de este yacimiento debe extenderse en sentido NE-NO caso contrario al Sur en el perfil J-J\* donde se pierde espesor de masivo.

En las Secciones Geológicas - Geoquímicas G-G\*, I-I\*, J-J\*, obtenemos que la falla El Domo, parte divide al sistema y rompe la secuencia litoestratigráfica, al ocurrir el emplazamiento de la Andesita, dejando abierta la opción de que el cuerpo mineralizado desplazado por la falla, tenga su continuación en el lado Este y la zona actual investigada.

El Yeso + Brecha Hidrotermal es un indicador clave del tamaño potencial. Las zonas de yeso o anhídrita dan origen a zonas de gran descarga Hidrotermal y es una característica común en los depósitos tipo Kuroko.

El análisis de los elementos resultaron positivas para las correlaciones entre Au-Ag-Cu-Pb-Zn, para las litologías conocidas como horizonte marcador

(Grainstone), horizonte mineralizado (Masivo), y la zona de alimentación o paso del fluido Hidrotermal (Brecha Hidrotermal + Yeso).

Las concentraciones anómalas en los sondajes para el Au 4.577g/t - Ag 74.047g/t - Cu 4.6% -Pb 0.4% - Zn 4.9%, As 968.483ppm-Hg 10.085 ppm -Mn 79.702 ppm - Cd 184.839 ppm - Sb 221.415 ppm-Sr 65.585 ppm en la zona del Masivo, junto con las texturas de alteración observadas en los testigos de perforación en las zonas félsicas o Footwall fílica-illita (illita, cuarzo, pirita) y la alteración argílica/propílica en la Hanginwall (clorita, esmectita, illita, pirita y ciertas zeolitas), más el origen tectónico de estar formado en una zona de islas de ante-arco proporcionan una clara evidencia de que el depósito “El Domo” es parte de un importante y enjambroso sistema hidrotermal capaz de formar una serie de depósitos similares a los del distrito de Kuroko en Japón.

## Recomendaciones

Se recomienda orientar los sondajes explorativos hacia al Este de la Andesita que aflora en superficie, para poder identificar la continuación o erosión total del sistema Sulfuro Masivo Vulcanogénico.

Se recomienda realizar un estudio más a detalle de las alteraciones hidrotermales en la zona de la Dacita, Yeso y Brecha Hidrotermal, elaborar perfiles E-O que

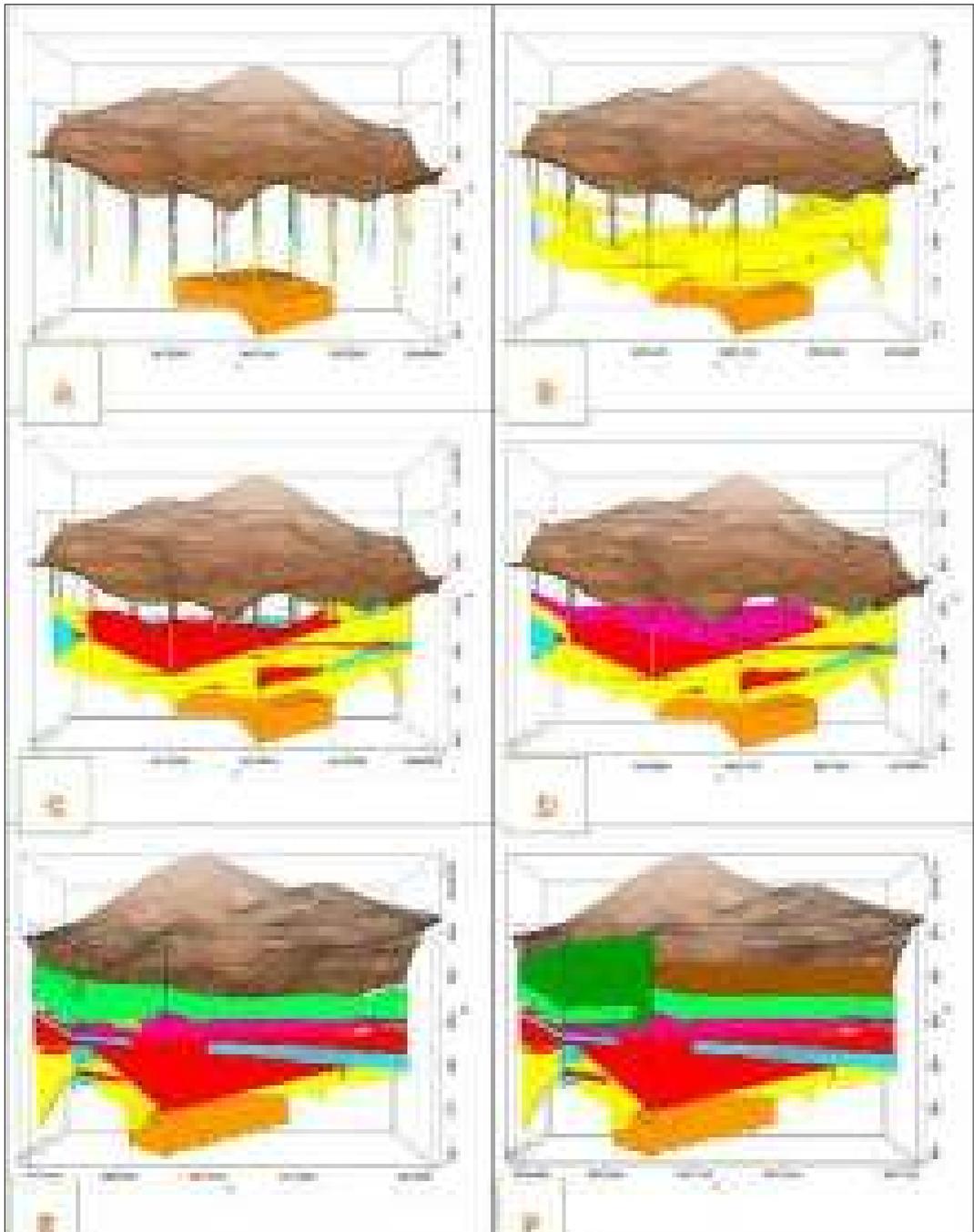


Figura 5. Modelo Geológico 3D

permitan direccionar el objetivo de exploración zonas que contengan las mismas características petrográficas y para tomar muestras que puedan ser analizadas por espectrometría, que ayudará a distinguir con exacta precisión el tipo de mineral que compone la alteración hidrotermal y su zonificación en todo El Domo.

Que se realice un mapa 3D más detallado exclusivamente de las zonas de yeso/anhidrita encontradas en los sondajes, para determinar su forma y distribución. Esto debe proporcionar una aproximación de la orientación de la estructura de la descarga, y determinar la duración de la actividad hidrotermal.

## Referencias

- Aguirre, L., and Atherton, M., 1987, Low-grade metamorphism and geotectonic setting of the Macuchi Formation, Western Cordillera of Ecuador.: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 5(4), p. 473-494.
- BISA, 2015, Curipamba Project - El Domo deposit amended and restated preliminary economic assessment central Ecuador. NI 43-111 Report.: [https://www.salazarresources.com/projects/curipamba/BISA\\_N\\_43\\_101\\_EL\\_Domo.pdf](https://www.salazarresources.com/projects/curipamba/BISA_N_43_101_EL_Domo.pdf).
- Chiriadia, M., and Fontboté, L., 2000, Gold-rich VHMS deposits of the Western Cordillera of Ecuador: mineralogy, lead isotope and metal geochemistry.:
- Eguez, A., 1986, Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale septentrionale d'Equateur (0 15'S-1 10'S): les minéralisations associées.: Unpublished thesis University Paris VI.,.
- Feininger, T., and Bristow, R., 1980, Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador.: *Geologische Rundschau*, v. 69(3), p. 849-874.
- Franklin, J., 2009, Observations on the Curipamba Massive Sulfide District Ecuador For Salazar Resources Ltd.:
- Goossens, P.J., and Rose Jr, W.I., 1973, Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex, Ecuador.: *Geological Society of America Bulletin*, v. 84(3), p. 1043-1052.
- Hughes, R., and Bermúdez, R., 1997, Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0 00' and 1 00' S: Quito, Ecuador, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental.: Programa de Información Cartográfica y Geológica Report, v. 4, p. 75.
- Hughes, R., and Pilatasig, L., 2002, Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador: Tectonophysics.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jimenez, N., Montenegro, G., and Zambrano, I., 1995, Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time: , p. 615-631.
- Pratt, W., 2008, Las Naves project, Bolívar, Ecuador.:
- Schandl, E.S., 2009, Petrographic and mineralogical study of the curipamba project, central west Ecuador.:
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., and Mora, H., 2002, Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15(2), p. 157-171.
- Vallejo, C., 2007, Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene): ETH Zurich.

## Actividad Antibacteriana y Antioxidante de los extractos de *Hibiscus escobariae* Fryxell, *Loxopterygium huasango* R. Spruce y *Croton ferrugineus* Kunth

Antibacterial and antioxidant activities of ethanolic extracts of *Hibiscus escobariae* Fryxell, *Loxopterygium huasango* R. Spruce and *Croton ferrugineus* Kunth

Viviana Valdez<sup>1</sup>, Shirley Moncayo<sup>2\*</sup>, Xavier Cornejo<sup>3</sup> & Jhon Castillo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Consultor, egresado de la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales.

<sup>2</sup>Bióloga, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil

<sup>3</sup>Herbario GUAY Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales - sede Mapasingue.

<sup>4</sup>Estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

Recibido 1 de abril 2019; recibido en forma revisada 8 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponibile en línea 26 de junio 2019

### Resumen

En el presente trabajo se realizó el tamizaje fitoquímico, cuantificación de flavonoides y fenoles totales y la evaluación de la actividad antioxidante y antibacteriana de los extractos etanólicos obtenidos de hojas de *Hibiscus escobariae*, *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus*, contra tres bacterias Gram Positivas (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*) y tres Gram negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio parahaemolyticus*). Para el análisis de las muestras se realizó el tamizaje fitoquímico por el método de Domínguez, la cuantificación de flavonoides por el método colorimétrico cloruro de aluminio, la cuantificación de fenoles totales por el método Folin-Ciocalteu, actividad antibacteriana por ensayos de difusión por disco y actividad antioxidante mediante la técnica DPPH. En el tamizaje fitoquímico los flavonoides y taninos se presentaron en mayor cantidad, mientras que los alcaloides, quinonas, antraquinonas, esteroides y saponinas estuvieron presentes en menor proporción. El contenido de flavonoides varió de  $100,95 \pm 1,73$  a  $995,42 \pm 3,16$  mg CE / g extracto en *H. escobariae* y *L. huasango* y el contenido de fenoles varió de  $10,17 \pm 0,22$  a  $314,72 \pm 1,91$  mg GAE/ g extracto en *Croton ferrugineus* y *L. huasango* que también obtuvo la mejor actividad antibacteriana frente a las cepas evaluadas con CMI que varían de 2.5 a 5 mg/mL y la mejor actividad antioxidante con IC50 de 0,1 mg/m y de 0,7 mg/mL para *Croton ferrugineus* con una diferencia significativa  $p < 0.05$ . Estos resultados son los primeros reportados los que servirán como línea base para estudios posteriores.

**Palabras claves:** antibacteriano, antioxidante, *Croton ferrugineus*, fenoles, flavonoides, *Hibiscus escobariae*, *Loxopterygium huasango*, tamizaje fitoquímico.

### Abstract

This study has done phytochemical screening, quantification of flavonoids and total phenols, evaluation of antibacterial activity against three Gram positive bacterias (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*), three Gram negatives (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio parahaemolyticus*) and the evaluation antioxidant activity of ethanolic extracts of *Hibiscus escobariae*, *Loxopterygium huasango* and *Croton ferrugineus*. The sample analysis employed phytochemical screening by Domínguez's method, quantification of flavonoids by the aluminum chloride colorimetric method, quantification of total phenols by the Folin-Ciocalteu method, antibacterial activity by disk diffusion assay and antioxidant activity by DPPH method. In the phytochemical screening, the flavonoids and tannins were higher proportion, while alkaloids, quinones, anthraquinones, steroids and saponins were present in lower proportion. The flavonoid content varied in a range of  $100.95 \pm 1.73$  and  $995.42 \pm 3.16$  mg CE / g extract, in *H. escobariae* and *L. huasango* and the total phenol content varied in a range of  $10.17 \pm 0.22$  a  $314.72 \pm 1.91$  mg GAE/ g extract in *C. ferrugineus* and *L. huasango*, which also obtained the best antibacterial activity against all the strains evaluated with MIC that varied of 2.5 - 5 mg/mL and also obtained the best antioxidant activity with a IC50 of 0.1 mg/mL and 0.7 mg/mL for *Croton ferrugineus* with a significant difference  $p < 0.05$ . These results are the first reported and will serve as a baseline for further studies.

**Key words:** antibacterial, antioxidant, *Croton ferrugineus*, flavonoids, *Hibiscus escobariae*, *Loxopterygium huasango*, phenols, phytochemical screening.

\* Correspondencia del autor:

E-mail: shirmoncayob@gmail.com



2019 Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

## Introducción

Un antioxidante es una molécula que posee la capacidad de prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas, que pueden conducir al organismo a un estrés oxidativo; lo que provoca una amplia diversidad de enfermedades como la hipertensión arterial, psoriasis, diabetes mellitus, entre otras, debido a que la defensa antioxidante es insuficiente (Lee *et al.*, 2004; Pham-Huy, 2008). La ingesta de una dieta rica en antioxidantes de origen natural, presentes en frutas y vegetales disminuye el riesgo de padecer enfermedades provocadas por estrés oxidativo (Paredes, 2010).

Los productos obtenidos de las plantas como los extractos y sus compuestos puros, otorgan una gran cantidad de oportunidades para poder crear nuevos medicamentos que beneficien al control microbiano. Uno de los problemas actuales es la resistencia que presentan una serie de bacterias a los antibióticos, debido a mutaciones en sus genes o por la adquisición de genes de resistencia presentes en otros microorganismos (Fernández *et al.*, 2003).

En la medicina, actualmente existen un 30% de fármacos provenientes del reino vegetal, esta cifra tiende a elevarse en los últimos años debido al descubrimiento de los principios activos presentes en las plantas. Los metabolitos secundarios presentes en ellas poseen un gran interés biomédico, por las diversas actividades biológicas que poseen como antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios, entre otros (Villareal, *et al.* 2014).

El género *Hibiscus* pertenece a la familia Malvaceae y se caracteriza por tratar afecciones como la hipertensión arterial, procesos inflamatorios, afecciones hepáticas, entre otras (Carretera y Ortega, 2017).

La especie *Loxopterygium huasango* de la familia Anacardiaceae es empleada como antiviral, diaforético, anestésico, repelente, catártico (Bussman, *et al.*, 2009; Aguirre, 2012).

*Croton ferrugineus* es un arbusto que pertenece a la familia Euphorbiaceae se han descrito experiencias como antiséptico, cicatrizante, antiinflamatorio y antiarréicos (Ordoñez, 2016).

## Materiales y Métodos

### Material biológico

En mayo del 2018 se recolectaron hojas frescas de *Hibiscus escobariae* y *Loxopterygium huasango* en el predio de la Universidad de Guayaquil, mientras que *Croton ferrugineus* se recolectó en la Provincia de Loja. La identificación botánica fue realizada por el Herbario GUAII

### Obtención del extracto

Las muestras vegetales se secaron durante dos días a temperatura de 40 °C, en una estufa con circulación

de aire; luego de este período se procedió a la maceración de hojas con etanol al 99%, el cual estuvo en reposo durante 4 días en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente. Luego se filtraron los extractos y se concentraron a presión reducida en un Rotavapor (R-3 BUCHI).

### Tamizaje fitoquímico

Los metabolitos secundarios tales como: alcaloides, flavonoides, taninos, quinonas y antraquinonas, saponinas, esteroides y triterpenos se determinaron mediante la metodología propuesta por Domínguez (1979).

### Determinación de alcaloides

A cada 10 mg de extracto se le añadieron 2 mL de ácido clorhídrico al 5%.

Posteriormente se agregaron de 2-5 gotas de los reactivos Wagner, Mayer, Bouchardat y Dragendorff. Se consideró como positiva las pruebas en las que se observó un precipitado color rojo marrón (Wagner), blanco (Mayer), pardo (Bouchardat) y naranja-rojizo para el reactivo Dragendorff.

### Determinación de Flavonoides

*Prueba de Shinoda*: A 1 mL de extracto diluido se le añadieron 3 gotas de ácido clorhídrico concentrado. La formación del color rojo indicó la presencia de auronas y chalconas. En los casos en que no se observaron cambios de color, se añadieron piezas de magnesio metálico. La formación de coloraciones naranja, roja o magenta indicó la presencia de flavonas y flavonoides, respectivamente.

*Prueba de hidróxido de sodio (10%)*: A 1 mL de extracto diluido en etanol absoluto se le añadieron 3 gotas de hidróxido de sodio al 10%. La Formación de coloración rojoamarillo, café-naranja, púrpura-rojo o azul indicó la presencia de xantonas y/o flavonas, flavonoides, chalconas y antocianinas, respectivamente.

### Determinación de Taninos.

*Reacción cloruro férrico*: A 1 mL del extracto etanólico se le añadieron gotas de la solución de cloruro férrico al 10%. La formación de una coloración azul indicó la presencia de taninos hidrolizables y el color verde, indicó la presencia de taninos condensados.

### Determinación de quinonas y antraquinonas

*Prueba de Borntrager*: Se llevó a sequedad 5mL de extracto y se añadieron 4 mL de la solución de hidróxido de potasio al 5%, se llevó el tubo a ebullición por 3 minutos a baño María, se dejó enfriar, se añadieron 2 mL de cloroformo, se agitó para la extracción y la fase acuosa se descartó, mientras que a la fase orgánica se le adicionaron 2 mL de una solución de hidróxido de potasio al 5%. La formación del color rojo indicó la presencia de antraquinonas.

*Prueba de ácido sulfúrico*: A 10 mg de extracto etanólico se le añadió 1 gota de ácido sulfúrico

concentrado. La formación de color rojo indicó la presencia de quinonas.

#### Determinación de esteroides y triterpenos

**Prueba de Salkowski:** A 3 mL de extracto etanólico se le añadieron 2 mL de cloroformo y 1 mL de ácido sulfúrico concentrado hasta que se formó una doble fase. La formación de color pardo en la capa media indicó un anillo esteroideo.

**Prueba Lieberman Bouchard:** A 2 mL de extracto etanólico se le añadió 1 mL de anhídrido acético y 3 gotas de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó en reposo por de 5 minutos. La formación de una capa intermedia de color azul-verde indicó esteroides, y el color rosado, rojo, magenta o violeta reveló la presencia de terpenoides.

#### Determinación de saponinas

**Prueba de la espuma:** A 20 mg del extracto etanólico se le añadió 1 mL de agua destilada caliente, se agitó vigorosamente para formar espuma, se dejó reposar durante 10 minutos. El contenido de saponina se midió de la siguiente manera: sin espuma (ausencia); espuma menos de 3 mm de alto (pobre); espuma de 6 mm de altura (moderada) y espuma de más de 8 mm de altura (abundante).

#### Cuantificación de flavonoides y ácidos fenólicos totales

Se cuantificó los flavonoides totales mediante el método colorimétrico cloruro de aluminio propuesto por Zhishen *et al.*, (1999) y la cuantificación de fenoles totales se la realizó mediante el método Folin Cioalteau propuesto por Singleton *et al.*, (1999).

#### Cuantificación de Flavonoides Totales

Para la cuantificación de flavonoides totales se realizó una curva de calibración utilizando la quercetina como patrón de referencia a una concentración de 0.1 mg/mL. Para realizar el tratamiento de la curva de calibración se añadió una alícuota (0.25 mL) de solución estándar de quercetina (20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400, 500, 750 µg/ mL) a un tubo de ensayo de 15 mL. Se agregó un 1 mL de H<sub>2</sub>O destilada. Se añadió al tubo de ensayo 0.075 mL de NaNO<sub>2</sub> al 5%. Después de 6 minutos, se agregó 0,075 mL de AlCl<sub>3</sub> al 10%. Después de 5 minutos, 0.5 mL de NaOH 1 M y completar el volumen total hasta 2.5 mL con H<sub>2</sub>O. Se mezcló bien la solución y se colocó 200 µL en los micros placas. La absorbancia se midió frente a blanco de reactivo preparado a 510 nm en un espectrofotómetro Multiskan GO Thermo Scientific. El contenido total de flavonoides se expresó como mg equivalentes de Quercetina (CE) / g de masa fresca.

Para el análisis de las muestras por triplicado, se utilizó una concentración de 0.5 mg/mL de etanol absoluto. Posteriormente se sometió al mismo tratamiento que la curva de calibración.

#### Cuantificación de Ácido Fenólicos Totales

Para la cuantificación de ácidos fenólicos totales se

realizó una curva de calibración utilizando el ácido gálico como patrón de referencia a una concentración de 0.5 mg/mL. Para realizar el tratamiento de la curva de calibración se añadió una alícuota (150 mL) solución estándar de Ácido gálico (30, 50, 80, 100, 120, 150, 180, 210 µg/ mL) a un tubo de ensayo de 15 mL. Se agregó 75 µL de Folin-Cicalteou. Inmediatamente se agitó en vortex. Se Esperó 10 minutos, en absoluta oscuridad. Se añadió 375 µL de la solución de Carbonato de sodio. Se agitó y guardó en absoluta oscuridad por 30 minutos. Se colocó 200 µL en los micros placas. La absorbancia se midió frente a blanco de reactivo preparado a 760 nm en un espectrofotómetro Multiskan GO Thermo Scientific. El contenido total de fenoles se expresó como mg equivalentes de Ácido Gálico (GAE) / g de extracto seco.

Para el análisis de las muestras por triplicado, se utilizó una concentración de 0.5 mg/mL de etanol absoluto. Posteriormente se sometió el mismo tratamiento que la curva de calibración.

#### Actividad antibacteriana

Las pruebas de actividad antibacteriana se la realizaron mediante la metodología de ensayos de difusión por disco propuesta por Bauer-Kirby (1966), contra tres bacterias Gram Positivas (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Listeria monocytogenes* ATCC 19115 y tres Gram negativas (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802). Se realizó la siembra en el medio Müeller-Hinton Agar a 37 °C durante 18 h, luego se seleccionaron de 3-5 colonias de cada microorganismo de un cultivo puro de no más de 24 horas de su inoculación, se transfirieron las colonias a un tubo que contenía de 3-5 mL de solución salina, se ajustó el inóculo a una turbidez equivalente al estándar 1,0 de McFarland. Se agregaron 200 µL de la suspensión del microorganismo y se lo distribuyó en toda la placa de Müeller-Hinton Agar de manera homogénea con ayuda de un asa de inoculación, se esperó 15 minutos manteniendo la caja Petri cerrada para que la superficie del medio sembrado se seque. Posteriormente se colocaron los discos de 6 mm de diámetro con 20 µL de antibiótico como control positivo, etanol como control negativo y los extractos que previamente fueron diluidos con etanol a 20, 50, 100 y 200 mg/mL. Se incubaron las placas sembradas a 35 °C por 16-18 horas. La CIM se definió como la concentración más baja que inhibía el crecimiento bacteriano visible.

Los antibióticos que se usaron de referencia fueron:

Ceftriaxone® Oxoid™ (30 µg) para *Staphylococcus aureus*; Sulfamethoxazole® Oxoid™ (25 µg) para *Bacillus subtilis*; Penicillin® G Oxoid™ (10 µg) para *Listeria monocytogenes*; Gentamicin® Oxoid™ (10 µg) para *Escherichia coli*; Tobramicina® Oxoid™ (10 µg) para *Pseudomonas aeruginosa*; Tetracycline® Oxoid™ (30 µg) para *Vibrio parahaemolyticus*

### Actividad antioxidante

Las pruebas de actividad antioxidante se la realizaron por la técnica DPPH (2,2-difenil1-picrilhidrazilo) propuesta por Williams *et al.*, (1995) utilizando el ácido ascórbico como blanco positivo. Se preparó una solución stock de DPPH ( $6 \times 10^{-5}$  M) en metanol, para preparar la solución de trabajo se tomó 5 mL de esta solución y se aforó a 50 mL con metanol. Se preparó una solución de ácido ascórbico 1 mM, luego se preparó la solución stock de la muestra con 4 mg de extracto que se aforó a 1 mL de metanol. En tubo de ensayo se colocaron 50  $\mu$ L de solución de ácido ascórbico y 700  $\mu$ L de la solución de trabajo y se agitó. Se tomaron 50  $\mu$ L de la solución stock de muestra de extracto y se agregaron 700  $\mu$ L de la solución de trabajo y se agitó. Posteriormente se dejaron los tubos en oscuridad y cubiertos durante 30 minutos. Se leyó la absorbancia a 517 nm del blanco (metanol), de la solución DPPH, del ácido ascórbico y de las muestras. La absorbancia del DPPH estuvo en un rango de 0.600 a 0.700 nm. Las muestras se analizaron por triplicado.

Los cálculos del porcentaje de inhibición se lo realizaron con la siguiente fórmula:

$$\%I = \left[ \frac{\text{Abs del DPPH} - \text{Abs de la muestra}}{\text{Abs del DPPH}} \times 100 \right]$$

Cuando el porcentaje de inhibición de la muestra fue mayor al 50 %, se aplicaron diluciones de la solución stock de extracto para lograr encontrar la concentración mínima inhibitoria.

### Análisis estadístico

Se comparó el porcentaje de inhibición del DPPH de *Hibiscus escobariae*, *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus*, frente al ácido ascórbico, realizando un test de Anova simple, mediante el paquete estadístico Statgraphics Plus.

## Resultados

### Tamizaje fitoquímico

La Tabla 1 resume los resultados de los metabolitos secundarios presentes en *Hibiscus escobariae*, *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus*. Los alcaloides se presentaron en proporciones abundantes en *L. huasango*, mientras que en *H. escobariae* y *C. ferrugineus* se presentaron en bajas proporciones. Los flavonoides y taninos se presentaron de manera abundante en las tres plantas evaluadas. Esteroles y triterpenos se presentaron en cantidades moderadas en *H. escobariae* y en bajas proporciones en *L. huasango*. Quinonas, antraquinonas fueron abundantes en *L. huasango* mientras que en *C. ferrugineus* se presentaron en

Tabla 1. Tamizaje fitoquímico de los extractos etanólicos de obtenidos de tres plantas recolectadas en el Ecuador

| Metabolito               | Ensayo                         | <i>Hibiscus escobariae</i> | <i>Loxopterygium huasango</i> | <i>Croton ferrugineus</i> |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Alcaloides               | Reactivo Mayer                 | +                          | +++                           | -                         |
|                          | Reactivo Buchardat             | -                          | +++                           | -                         |
|                          | Reactivo Wagner                | -                          | ++                            | -                         |
|                          | Reactivo Dragendorff           | ++                         |                               | +                         |
|                          |                                |                            |                               |                           |
| Flavonoides              | Reactivo Shinoda NaOH 10%      | +++                        | +++                           | +++                       |
|                          |                                | +++                        | +++                           | +++                       |
| Taninos                  | FeCl <sub>3</sub>              | +++                        | +++                           | +++                       |
| Esteroles y triterpenos  | Reactivo Salkowski             |                            | +                             |                           |
|                          | Reactivo LiebermannBurchard    | ++                         | -                             | ++                        |
| Quinonas y antraquinonas | Reactivo Borntrager            | -                          | +++                           | +                         |
|                          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | -                          | -                             | -                         |
| Saponinas                | Espuma                         | -                          | 3mm                           | 3mm                       |

Clave: Ausente (-), Bajo (+), Moderado (++) , Abundante (+++). Saponinas: Espuma: Ausente (-), Pobre (< 3mm), Moderado (>6mm), Abundante (>8mm).

bajas proporciones. Las saponinas solo estuvieron presentes en la especie *L. huasango*.

#### Cuantificación de flavonoides

En la tabla 2, el contenido total de flavonoides se determinó usando la ecuación de regresión lineal y quercetina como estándar ( $y=0,000451888x+0,0668373$ )  $R^2=0,987$ , mostrando un rango de  $100,95 \pm 1,73$  a  $995,42 \pm 3,16$  mg CE / g extracto. Siendo *L. huasango* el que obtuvo el mayor contenido total de flavonoides.

#### Cuantificación de fenoles

En la tabla 3, el contenido total de fenoles se determinó usando la ecuación de regresión lineal y ácido gálico como estándar ( $y=0,00673906x+0,0503209$ )  $R^2= 0,996$ , mostrando un rango de  $10,17 \pm 0,22$  a  $10,17 \pm 0,22$  mg GAE/ g extracto. *L. huasango* fue el que obtuvo el mayor contenido de fenoles totales.

#### Actividad antibacteriana

En la Tabla 4 resumen los resultados obtenidos de la concentración mínima inhibitoria (CMI) en mg/mL de los extractos etanólicos de hojas de tres especies de plantas del Ecuador. *H. escobariae*, solo presentó actividad antibacteriana frente a *B. subtilis* con una CMI de 100 mg/mL y frente a *L. monocytogenes* con una CMI de 50 mg/mL. La especie *L. huasango* fue la que obtuvo la mejor actividad antibacteriana frente

a todas las bacterias evaluadas, presentando CMI que varió de 2,5 - 5 mg/mL. *C. ferrugineus* solo presentó actividad frente a *E. coli* con una CMI de 200 mg/mL.

#### Actividad antioxidante

En la Tabla 5 se muestran los resultados de los extractos etanólicos de hojas de tres especies de plantas del Ecuador. *H. escobariae* fue el que obtuvo el menor porcentaje de inhibición del radical DPPH con  $47,33 \pm 1,26$  y no presentó la concentración de inhibición del 50% ( $IC_{50}$ ), mientras que *L. huasango* fue el que obtuvo el mayor porcentaje de inhibición de  $92,97 \pm 0,81$ , presentando un  $IC_{50}$  de 0,1 mg/ML, seguido de *C. ferrugineus* el cual presentó un porcentaje de inhibición de  $82,95 \pm 0,35$ , con un  $IC_{50}$  de 0,7 mg/mL.

En el Gráfico 1, se compara el porcentaje de inhibición del radical DPPH de las tres especies evaluadas frente al ácido ascórbico. Se puede observar que la especie *Hibiscus escobariae* presentó un 47,33% de inhibición, mostrando una gran diferencia frente al porcentaje de inhibición del ácido ascórbico que fue de 95,32%. *Loxopterygium huasango* presentó un porcentaje de inhibición del 92,97%, siendo muy similar al del ácido ascórbico con un 95,32%. *Croton ferrugineus* presentó un porcentaje de inhibición del radical DPPH del 82,95%, estando cerca al porcentaje de inhibición de 95,32% del ácido ascórbico.

Tabla 2. Contenido total de Flavonoides

| Especie                       | Flavonoides totales (mg CE / g extracto) |
|-------------------------------|--|
| <i>Hibiscus escobariae</i>    | $100,95 \pm 1,73$                        |
| <i>Loxopterygium huasango</i> | $995,42 \pm 3,16$                        |
| <i>Croton ferrugineus</i>     | $190,50 \pm 0,83$                        |

Tabla 3. Contenido total de fenoles

| Especie                       | Fenoles (mg GAE/ g extracto) |
|-------------------------------|------------------------------|
| <i>Hibiscus escobariae</i>    | $12,24 \pm 0,22$             |
| <i>Loxopterygium huasango</i> | $314,72 \pm 1,91$            |
| <i>Croton ferrugineus</i>     | $10,17 \pm 0,22$             |

Tabla 4. Concentración mínima inhibitoria (mg/mL) de los extractos etanólicos de hojas de tres especies de plantas del Ecuador

| Bacterias                                 | Especie                    |                               |                           |
|---|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|   | <i>Hibiscus escobariae</i> | <i>Loxopterygium huasango</i> | <i>Croton ferrugineus</i> |
| <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923   | -                          | 5                             | -                         |
| <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633        | 100                        | 5                             | -                         |
| <i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 19115  | 50                         | 2,5                           | -                         |
| <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922        | -                          | 2,5                           | 200                       |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 15442  | -                          | 2,5                           | -                         |
| <i>Vibrio parahaemolyticus</i> ATCC 17802 | -                          | 2,5                           | -                         |

Tabla 5. Actividad antioxidante de los extractos etanólicos de hojas de tres especies de plantas del Ecuador

| Especie                       | Porcentaje de inhibición (%) | IC <sub>50</sub> mg/mL |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
| <i>Hibiscus escobariae</i>    | 47,33 ± 1,26                 | -                      |
| <i>Loxopterygium huasango</i> | 92,97 ± 0,81                 | 0,1                    |
| <i>Croton ferrugineus</i>     | 82,95 ± 0,35                 | 0,7                    |

Clave: IC<sub>50</sub>: Concentración de inhibición del 50%; (-) Ausente

### Análisis estadístico

Puesto que el p-valor del test de Anova simple fue inferior a 0,05, hubo diferencia significativa estadísticamente entre las medias de la actividad antioxidante de una especie a otra con el ácido ascórbico, para un nivel de confianza del 95%.

### Discusiones

#### *Hibiscus escobariae*

*Hibiscus escobariae* (Malvaceae), presentó poco contenido de alcaloides, esteroides y triterpenos; los flavonoides y taninos fueron abundantes, mientras que las quinonas, antraquinonas y saponinas estuvieron ausentes. La presencia de estos metabolitos y ausencia de saponinas coincide con los resultados reportados por Prasad (2014), para las especies del género *Hibiscus* (Serban *et al.* 2015). La presencia de estos metabolitos le otorgaría a *H. escobariae*, las propiedades antimicrobiana, antioxidante, diurética, antiespasmódica, cardioprotectora, entre otras, que presentan las especies de su mismo género (Vasudeva *et al.* 2008).

Las hojas de *Hibiscus escobariae* presentaron elevados contenidos de flavonoides con un total de 100,95 mg CE/g de extracto y de fenoles con un total de 12,24 mg GAE/g de extracto. Estos valores son muy cercanos al contenido de fenoles totales de la especie *Hibiscus sabdariffa* con 14,18 mg GAE/ g de extracto (Vivas *et al.*, 2014). *H. escobariae* no presentó actividad antioxidante a pesar de tener elevados contenidos de flavonoides y fenoles; lo cual difiere de los estudios realizados a otras especies de su mismo género. Medina *et al.* (2013) y Reyes *et al.*, (2015) afirman que la estructura química y concentraciones de antocianinas y otros polifenoles presentes en las flores y cáliz son los responsables de la actividad antioxidante en *Hibiscus sabdariffa*. Probablemente esta sea la razón por la cual *H. escobariae* no expresó inhibición mayor al 50% del DPPH, debido a que en el presente trabajo se utilizó el extracto de hojas; mientras que en los otros trabajos realizados a distintas especies de *Hibiscus* se emplearon otras partes aéreas de la planta excepto sus hojas (Gomes *et al.*, 2010).

Diversos estudios confirman que los flavonoides y taninos son los responsables de la actividad antibacteriana y antioxidante (Serban *et al.* 2015, Buckholz *et al.* 2016, Carretera y Ortega, 2017).

Posiblemente el alto contenido de flavonoides y taninos que presentó *H. escobariae*, sean los responsables de la actividad antibacteriana frente a

*Bacillus subtilis* (CMI 100 mg/mL) y frente a *Listeria monocytogenes* (CMI 50 mg/mL); lo cual coincide con los estudios realizados por Chung *et al.* (2004), quienes mencionan que los extractos evaluados de diferentes especies de la familia Malvaceae no presentaron inhibición frente a bacterias Gram negativas. Probablemente este resultado sea debido a la capsula externa de lipopolisacárido y lipoproteína, que poseen las bacterias; las cuales son resistentes a compuestos antibacterianos (Chopra *et al.*, 2001; Alzoreky *et al.*, 2003). Sin embargo, los resultados presentados difieren de la especie *Hibiscus sabdariffa*; la cual obtuvo inhibición frente a *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* observándose una CMI de 25 a 200 mg/mL (Sulaiman *et al.*, 2014).

#### *Loxopterygium huasango*

*Loxopterygium huasango* (Anacardiaceae), presentó alcaloides, flavonoides, taninos, quinonas y antraquinonas en proporciones abundantes; mientras que los esteroides, triterpenos y saponinas, presentaron poco contenido. Estos resultados coinciden con los metabolitos secundarios reportados por Bussman *et al.* (2009). La presencia de estos metabolitos es común en la familia Anacardiaceae. (Suzimone *et al.* 2006).

Se ha reportado que los altos contenidos de flavonoides y taninos son los responsables de la actividad antibacteriana, antioxidante, citotóxica, diaforética, antiinflamatoria y antiviral, en diversas especies de la familia Anacardiaceae; mientras que los alcaloides, le otorga propiedades analgésicas y anestésicas; y las quinonas y antraquinonas son los responsables de actuar como laxantes (Silva *et al.*, 2015; Sepúlveda *et al.* 2003; Bustamante *et al.* 2010). La presencia de estos metabolitos secundarios en *L. huasango* confirmaría su uso en la medicina tradicional como antiviral, diaforético, anestésico, repelente y catártico (Bussman, *et al.*, 2009; Aguirre, 2012).

A pesar de que hubo diferencia significativa estadísticamente entre *L. huasango* y el ácido ascórbico, el porcentaje de inhibición del radical DPPH en *L. huasango* fue de 92,97%, cercano al del ácido ascórbico (Vitamina C) que obtuvo un porcentaje del 95,48%. Lo que coincide con los estudios realizados por Sanchez *et al.* (2000), quienes mencionan que la actividad antioxidante presentes en los compuestos fenólicos en algunos géneros de la familia Anacardiaceae, se debe a capacidad funcional de excelentes captadores de radicales libres, ejerciendo efecto inhibitorio sobre la peroxidación de fosfolípidos. Además, de presentar una mejor actividad antioxidante que la vitamina C, E y β-carotenos. Estudios realizados por Garrido

et al. (2004), mencionan que los flavonoides de tipo biflavonoides y otros compuestos fenólicos comunes en algunas especies de la familia Anacardiaceae, son el componente principal de una marca de productos antioxidantes 100% naturales denominada VIMANG®. Por lo tanto, *L. huasango* al haber presentado un porcentaje de inhibición del DPPH cercano al del ácido ascórbico, podría ser empleado para la creación de nuevos fármacos naturales con capacidad antioxidante.

El extracto de *L. huasango*, presentó una excelente actividad antibacteriana frente a todas las bacterias Gram positivas y Gram negativas evaluadas y a mínimas concentraciones (2,5 - 5 mg/mL). Probablemente la actividad antibacteriana determinada en *L. huasango* se deba al elevado contenido de flavonoides y taninos analizados, lo que confirman los estudios realizados por Suzimone et al. (2006), quienes mencionan que los compuestos fenólicos presentes en la familia Anacardiaceae son los responsables de la actividad inhibitoria frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas, debido a que en su estructura poseen una hidroxilación en el anillo B, lo cual inhibe la síntesis de ADN y ARN de las bacterias (López, 2010).

#### ***Croton ferrugineus***

*Croton ferrugineus* (Euphorbeaceae), en el tamizaje fitoquímico presentó elevadas cantidades de flavonoides y taninos, mientras que los alcaloides, esteroides, triterpenos, quinonas, antraquinonas y saponinas se presentaron en bajas proporciones. Los metabolitos presentes en *Croton ferrugineus* son comunes a los reportados en distintas especies del género *Croton* (Barrera et al., 2016). Se han realizado diversos trabajos de aislamiento de alcaloides, flavonoides, taninos y terpenoides a los cuales se le atribuyen actividades biológicas como: antimicrobianas, antiinflamatorias, cardiotónicas y espasmolíticas (Salatino et al. 2007, Ordoñez, 2016).

El alto contenido de flavonoides y taninos que presentó *Croton ferrugineus*, podría ser el responsable de la actividad antioxidante cercana a la del ácido ascórbico (Vitamina C). Estos resultados son similares a los obtenidos por Altamirano (2015), quien evaluó la presente actividad con cuatro especies del género *Croton*, donde menciona que todas presentaron una actividad antioxidante similar a la del ácido ascórbico. En diversas especies del género *Croton* se ha encontrado la presencia de flavonoides de tipo flavonoles y flavonas y taninos como proantocianidinas, responsables de la propiedad antioxidante debido a los grupos hidroxilos que presentan en el anillo B y la doble ligadura que se presentan en algunos flavonoides en el anillo C (Salatino et al., 2007).

A pesar de que *Croton ferrugineus* obtuvo elevados contenidos de flavonoides y fenoles totales, solo presentó actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli*, lo que difiere de la especie *C. laui*, que presentó inhibición frente a bacterias Gram positivas como:

*Staphylococcus aureus* y *Bacillus subtilis*, al igual que *Croton thurifer* que también obtuvo actividad frente *Bacillus subtilis* (Lui et al., 2014). Sin embargo estudios realizados por Romero (2015), de actividad antibacteriana en la especie *Croton elegans* frente a *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aureginosa* evidenciaron que no hubo actividad frente a las cepas mencionadas. Por lo tanto, las actividades antibacterianas de las especies del género *Croton* van a variar de una especie a otra debido a la diversidad química que presenta (Barrera et al., 2016).

#### **Conclusiones**

En el presente estudio la mayoría de compuestos activos estuvo presentes en las tres plantas evaluadas; sin embargo, los metabolitos que se presentaron en cantidades abundantes fueron los flavonoides y taninos. La especie *Loxopterygium huasango* fue la que más presentó compuestos activos, obteniendo aparte de abundantes contenidos de flavonoides y fenoles, la presencia de alcaloides, quinonas y antraquinonas en abundancia, mientras que las saponinas solo estuvieron presentes en *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus*.

Los mayores contenidos de flavonoides totales se observaron en *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus* con  $995,42 \pm 3,16$  y  $190,50 \pm 0,83$  mg CE/g de extracto, y el mayor contenido de fenoles totales lo obtuvieron *Loxopterygium huasango* e *Hibiscus escobariae*, con  $314,72 \pm 1,91$  y  $12,24 \pm 0,22$  mg GAE/g de extracto. De acuerdo a los resultados obtenidos, *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus* fueron las que obtuvieron la mejor actividad antioxidante, por lo que podría usarse en un futuro para la elaboración de nuevos fármacos con capacidades antioxidantes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de actividad antibacteriana, las especies *Hibiscus escobariae* y *Loxopterygium huasango* podrían considerarse como una nueva fuente natural para la elaboración de productos antibacterianos, sobretudo la especie *Loxopterygium huasango* que mostró el mejor resultado contra todas las bacterias evaluadas, presentando concentraciones mínimas inhibitorias de 2,5 a 5 mg/mL; mientras que *Hibiscus escobariae* solo presentó actividad frente a *B. subtilis* y *L. monocytogenes* causantes de enfermedades infecciosas. Las especies *Loxopterygium huasango* y *Croton ferrugineus* fueron las que obtuvieron la mejor actividad antioxidante por lo que podría usarse en un futuro para la elaboración de nuevos fármacos con capacidades antioxidantes.

#### **Referencias**

Aguirre, Z. 2012. *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO - Finlandia. Quito, Ecuador.

- 140 p
- Alzoreky, N., Nakahara, K. 2003. *Antibacterial activity of extracts from some edible plants commonly consumed in Asia*. International Journal of Food Microbiology Universidad de Buenos Aires.
- Bauer, A., Kirby, W., Sherris, J., Turck M. 1996. *Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method*. Am. J. Clin. Pathol. 45: 493.
- Buchholz, T., Metzger, T., 2016. *Medicinal plants traditionally used for treatment of obesity and diabetes mellitus-screening for pancreatic lipase and  $\alpha$ -amylase inhibition*. *Phytother.*
- Carretera, M. y Ortega, T. 2017. *Propiedades terapéuticas de hibisco*. Departamento de Farmacología. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid.
- Chung, P., Chung, L., Ngeow, Y., Goh, S., Imiyabir, Z. 2004. *Antimicrobial activities of Malaysian plant species*. Pharmaceutical Biology.
- Dominguez, X. 1979. *Métodos de Investigación fitoquímica* Editorial Limusa. México.
- Fernández, F., López, J., Ponce, L., y Machado, C. 2003. *Resistencia bacteriana*. Revista Cubana de Medicina Militar.
- Garrido, G., González, D., Lemus, Y., García, D., Lodeo, L., Quintero, G., Delporte, C., Nunes, A., Delgado, R. 2004. *In vivo and in vitro anti-inflammatory activity of Mangifera indica L. extract (VIMANG®)* Pharmacol. Res. Volume 50.
- Gomes, M., Da Costa, R., Moreira, R., Pegas, J., Lígia, L., Saffi, J. 2010 *Pharmacological evidences for the extracts and secondary metabolites from plants of the genus Hibiscus*. Laboratório de Genética Toxicológica. Food Chemistry 118.
- Lee, J., Koo, N., Min, 2004. *Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals*. Comp Rev Food Sci Saf
- Medina, E., Sumaya, M., Machuca, L., Sánchez-Herrera, R., Balois y Jiménez. 2013. *Actividad antioxidante de extractos de cálices deshidratados de 64 Variedades de jamaica (Hibiscus Sabdariffa L.) en función de fenólicos y antocianinas totales*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 22: 41-44.
- Medina, E., Sumaya, M., Machuca, L., Sánchez-Herrera, R., Balois y Jiménez. 2013. *Actividad antioxidante de extractos de cálices deshidratados de 64 Variedades de jamaica (Hibiscus Sabdariffa L.) en función de fenólicos y antocianinas totales*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 22: 41-44.
- Ordoñez, L. 2016. *Evaluación antibacteriana de los extractos de Croton elegans frente a Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenes, Streptococcus pneumoniae y Streptococcus mutans, patógenos de enfermedades respiratorias*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito
- Paredes, O., Cervantes, M., Vigna, M., Hernández, T., 2010. *Berries improving human health and healthy aging and promoting quality life*. Plant Foods human Nutr.
- Pham-Huy, 2008. *Free radicals, antioxidants in disease and health*. Int. J Biomed Sci.
- Reyes-Luengas, A., Salinas-Moreno, M., Ovando-Cruz, R., Arteaga-Garibay M., Martínez-Peña, D. 2015. *Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) con cálices de colores diversos*. Agrociencia 49: 277-290.
- Salatino, A., Salatino, M., Negri, G. 2007. *Traditional uses, chemistry and pharmacology of Croton species (Euphorbiaceae)*. J. Braz. Chem.
- Serban, C., Sahebkar, A., Ursoniu, S. 2015. *Effect of sour tea (Hibiscus sabdariffa L.) on arterial hypertension: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials*. J Hypertens
- Sulaiman, F., Kazeem, A., Waheed, S., Temowo, I., Azeez, F., Zubair, T., Adeyemi, A., Nyang, O. Adeyemi. 2014. *Antimicrobial and toxic potential of aqueous extracts of Allium sativum, Hibiscus sabdariffa and Zingiber officinale in Wistar rats*. Journal of Taibah University for Science 8: 315-322.
- Suzimone, C., Juceni, P. 2006. *Metabólitos secundários de espécies de Anacardiaceae*. Departamento de química exacta, Universidad Estatal del Suroeste de Nahia, Brasil.
- Vivas, L., Wagner, M., Ricco, R. 2014. *Control de calidad farmacobotánico y fitoquímico de Hibiscus sabdariffa L.* Cátedra de Farmacobotánica. Departamento de Farmacología. Facultad de Farmacia y Bioquímica.
- Williams, W., Cuvelier, M., Berset C., 1995 *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity*. LWT Food Sci Technol.
- Zhishen, T. Mengcheng, W. Jianming, W. 1999. *The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals*. Food Chemistry.
- Sharapin, N. 2000. *Cualidades de materia prima para productos fitofarmacéuticos*. Conferencia en el I Curso Iberoamericano de Fitoterapia Clínica. Guatemala.
- Reyes, A., Salinas, Y., Ovando, M., Arteaga, R., Martínez, M. 2015. *Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) con cálices de colores diversos*. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo.
- Sanchez, G., Giuliani, A., Núñez, J., Davison, G., León, O. 2000. *Protective effects of Mangifera indica L. extract, mangiferin and selected antioxidants against TPA-induced biomolecules oxidation and peritoneal macrophage activation in mice*. Pharmacol. Res. 6:565-73
- Vasudeva, N., Sharma, S. 2008 *Biologically Active Compounds from the Genus Hibiscus*. Pharmaceutical Biology, 46:3, 145-153
- Bussman, W., Glenn, A., Meyer, K., Rothrock, A. 2009. *Phyto-Chemical Analysis of Peruvian Medicinal Plants*. Brown Center, Missouri Botanical Garden, P.O. Box 299, St. Louis
- Prasad, M. 2014. *In vitro Phytochemical Analysis and Antioxidant Studies of Hibiscus Species*. Department of Biotechnology, Sangenomics Research Labs, Domlur Layout, Bangalore, India
- Villareal, M., Cardoso, A., Ortíz, A., Sharma, A. 2014. *Biotechnología para producir medicina de plantas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Digital universitaria.
- Altamirano, J. 2015. *Evaluación de la Actividad antioxidante de cuatro especies del género Croton*. Universidad Central del Ecuador. Quito
- Barrera, A., Gómez, D., Castiblanco, F., 2016. *Importancia medicinal del género Croton (euphorbiaceae)*. Revista cubana de plantas medicinales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Atto, V., Pierre, K., Monteomo, G., Adeoti, M. 2016. *Phytochemical Screening of Sclerocarya birrea (Anacardiaceae) and Khaya senegalensis (Meliaceae), Antidiabetic Plants*. International Journal of Pharmacy and Chemistry. Vol.2.
- López, M. 2010. *Determinación de la actividad biológica de flavonoides y su identificación por electroforesis capilar en plantas medicinales*. Instituto Técnico Nacional de México.
- Wen, H.X, Wei, Y.L, Qian, L. 2018. *Chemical Constituents from Croton Species and Their Biological Activities*. Key Laboratory for Forest Resources. Conservation and Utilization in the Southwest Mountains of China, Ministry of Education, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China.

## Estructura poblacional del zooplancton gelatinoso en el mar ecuatoriano

Population structure of gelatinous zooplankton in the Ecuadorian sea

Paulina Castillo<sup>1</sup>, Gabriela Vergara<sup>2\*</sup> & Jaqueline Cajas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Consultora, egresada de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanga Marengo, Guayaquil, Ecuador

<sup>2</sup>Docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanga Marengo, Guayaquil, Ecuador

<sup>3</sup>Investigador Pesquero, Instituto Nacional de Pesca, Letamendi 102 y la Ría, Guayaquil, Ecuador

Recibido 4 de mayo 2019; recibido en forma revisada 29 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponible en línea 26 de junio 2019

### Resumen

El presente estudio analiza la composición y distribución del zooplancton gelatinoso en el mar ecuatoriano desde Julio 2017 hasta Abril 2018. Se dividió el perfil costero en dos zonas: la ZI abarcó la provincia de Esmeraldas hasta la parte norte de la provincia de Manabí; mientras que, la ZII estuvo comprendida desde la parte sur de la provincia de Manabí y hasta el norte de la provincia de Santa Elena. Se identificó un total de 54 especies, donde las más representativas fueron *Doliolum gegenbauri*, *Doliolum nationalis*, *Abylopsis tetragona*, *Cyclosalpa pinnata*, *Aglaura hemistoma* y *Rhopalomena velatum*; otros grupos con poca representación fueron Copelata, Leptothecata, Narcomedusae, Anthoathecata, Coronatae, Semaestomeae y Beroida. En cuanto a la distribución espacial, se determinó que la zona con mayor densidad fue la ZII; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas a nivel espacial ( $p = 0.3316$ ). Tanto ZI como ZII presentaron una riqueza específica de 48 especies, aunque se encontraron especies exclusivas para cada zona. Debido a la frecuencia y distribución de las especies encontradas, se considera que son características del mar ecuatoriano y que los órdenes Doliolida y Siphonophorae son los más importantes dentro del zooplancton gelatinoso por su número de especies y densidad. La densidad mostró una baja correlación con la temperatura y salinidad, lo que indica que las poblaciones de zooplancton gelatinoso podrían estar influenciadas por variables bióticas.

**Palabras claves:** Densidad, Doliolida, Siphonophorae, Zooplancton gelatinoso.

### Abstract

The present study analyzes the composition and distribution of gelatinous zooplankton in the Ecuadorian sea from July 2017 to April 2018. The coastal profile was divided into two zones, ZI included the province of Esmeraldas and the northern part of the province of Manabí; while, ZII was comprised from the southern part of the province of Manabí to the northern part of the province of Santa Elena. A total of 54 species were identified, where *Doliolum gegenbauri*, *Doliolum nationalis*, *Abylopsis tetragona*, *Cyclosalpa pinnata*, *Aglaura hemistoma* and *Rhopalomena velatum* were the most representative. Other groups with little representation were Copelata, Leptothecata, Narcomedusae, Anthoathecata, Coronatae, Semaestomeae and Beroida. In regard of the spatial distribution, ZII showed the highest density; however, no significant differences were found between both areas ( $p = 0.3316$ ). ZI and ZII presented a specific richness of 48 species, although exclusive species were found for each zone. Due to species frequency and distribution, they are considered to be characteristic of the Ecuadorian sea. Furthermore, the orders Doliolida and Siphonophorae are the most important within gelatinous zooplankton because of their number of species and density. Species density showed a low correlation with temperature and salinity, which indicates that gelatinous zooplankton populations might be influenced by biotic variables.

**Key words:** Density, Doliolida, Gelatinous zooplankton, Siphonophorae.

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: gabriela.vergarag@ug.edu.ec



## Introducción

Ecuador es considerado como uno de los países con mayor biodiversidad marina a nivel mundial debido a su variedad de zonas climáticas y sus corrientes oceánicas, siendo la principal de ellas, la corriente de Humboldt (HCS) que se caracteriza por presentar flujos de agua fría y de baja salinidad, lo cual crea zonas óptimas para el crecimiento de distintas especies pelágicas (León, 2013; Pagès, González, Ramón, Sobarzo, & Gili, 2001; Palma G & Rosales G, 1995; Paz, 2015). Consecuentemente, las aportaciones de nutrientes ricos en nitratos y fosfatos provenientes del fondo marino determinan los blooms de producción primaria, que finalmente, influyen las densidades de producción secundaria (Márquez, Braumar, Díaz, Troccoli, & Subero, 2007; Pagès *et al.*, 2001).

La producción secundaria hace referencia al zooplancton, el cual forma parte de los componentes principales de la cadena trófica de los sistemas acuáticos (Conde, Ramos, & Morales, 2004; Pagès *et al.*, 2001) ya que, transfieren materia y energía del fitoplancton hacia especies superiores, considerándose así, como el eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios (Gameró, Ceballos, Gasca, & Morales, 2015; Hernández, 2011; Mackie, 2002; Márquez *et al.*, 2007).

Parte del zooplancton presenta cuerpos frágiles y transparentes compuestos principalmente por agua, lo cual corresponde al zooplancton gelatinoso. Este grupo está compuesto mayoritariamente por los phyla Cnidaria, Ctenophora y Chordata (Thaliacea: Salpida y Doliolida) (Gameró, Ceballos, Gasca y Morales, 2015); de los cuales, la clase Hydrozoa (hidromedusas y sifonóforos) es una de las más importantes debido a su amplia distribución y abundancia a nivel mundial (Barangé & Giuc, 1987; Guerrero, 2016; Hale, 1973).

El zooplancton gelatinoso está conformado esencialmente por predadores que forman parte de la cadena alimentaria dentro del segundo y tercer nivel trófico; estos organismos se alimentan principalmente de huevos y larvas de peces, influenciando directamente sobre los recursos pesqueros de interés económico (Andrade, 2014; Blackett, Lucas, Cook, & Licandro, 2017; Boero, 2013; Mujica, 2016; Pagès *et al.*, 2001; Trégouboff & Rose, 1957). Adicionalmente, han sido reconocidos como indicadores de masas y corrientes de agua, debido a sus intervalos de tolerancia a la temperatura y salinidad (Guerrero, 2016).

La abundancia de este grupo está relacionada con la disponibilidad de alimento e interacciones tróficas, tales como competencia y depredación (Barangé & Giuc, 1987; Bode *et al.*, 2014; Palma & Apablaza, 2004; Pinedo, 2014). Consecuentemente, las interacciones ecológicas del zooplancton gelatinoso pueden modificar la estructura y función de los ecosistemas marinos (Dunn & Wagner, 2006). El conocimiento y comprensión de dichos organismos se ha convertido en uno de los principales temas de

estudio debido al excesivo y constante crecimiento de sus poblaciones (Blackett *et al.*, 2017; Palma G & Rosales G, 1995; Palma & Apablaza, 2004), las cuales pueden generar diversos impactos, tales como, la reducción de las poblaciones de especies de importancia ecológica y económica, pudiendo tener repercusiones a nivel social (González, 2016; Liu, Lo, Purcell, & Chang, 2009; Mills, 1995; Purcell, Uye, & Lo, 2007).

Debido al escaso conocimiento sobre los diversos impactos ecológicos causados por el aumento del zooplancton gelatinoso, ha hecho que se considere importante el conocimiento de su composición y finalmente, de su rol en la cadena trófica. Por lo tanto, la presente investigación pretende determinar la composición y distribución del zooplancton gelatinoso en el mar ecuatoriano, con el fin de proveer información sobre su diversidad y distribución, contribuyendo así, al entendimiento de su dinámica poblacional para el manejo de los recursos biológicos y su respuesta poblacional ante cambios ambientales.

## Materiales y métodos

Las muestras de zooplancton fueron tomadas como parte del proyecto de pesca experimental de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) que conduce el Instituto Nacional de Pesca (INP), durante el periodo de julio del 2017 hasta abril del 2018. Este estudio comprendió parte del perfil costero ecuatoriano, el cual se dividió en dos zonas (fig. 1). La zona I (ZI) abarcó la parte norte de la frontera Colombia - Esmeraldas (01°28'16.62" N, 078°53'10.09" W) hasta el norte de la provincia de Manabí (00°00'00.00", 80°09'33.86" W). Mientras que, la zona II (ZII) estuvo comprendida por la parte central del perfil costero englobando gran parte de la provincia de Manabí y la zona norte de la provincia de Santa Elena (00°00'00.00", 080°09'33.86" W hasta 02°00'00.00" S, 080°45'24.97" W).

La información utilizada para la base de datos constituyó a los arrastres verticales hasta 50 m de profundidad, utilizándose redes tipo bongo (0.60 m de ancho de boca, 3.20 m de largo y ojo de malla de 500 µm). Conservándose en agua de mar y fijadas en formol neutralizado con una solución saturada de borato de sodio al 4% (Boltovskoy, 1981).

El análisis cuali-cuantitativo de las muestras se enfocó exclusivamente en las clases Hydrozoa (Phylum Cnidaria), Nuda (Phylum Ctenophora), Appendicularia y Thaliacea (Phylum Chordata). El conteo se realizó con una cámara de Bogorov, siguiendo la técnica propuesta por Boltovskoy (1981), donde se enrasaron las muestras a 500 ml y se tomaron alícuotas sucesivas de 25 ml hasta que la totalidad de la muestra fue analizada. En el caso del orden Siphonophorae (Clase Hydrozoa) se tomaron en cuenta únicamente los nectóforos, euxodias y colonias completas de cada especie.



Figura 1. Área de estudio. ZI: Frontera con Colombia hasta la zona norte de la provincia de Manabí. ZII: zona sur de la provincia de Manabí y la zona norte de la provincia de Santa Elena.

Las muestras fueron analizadas mediante un estereomicroscopio Olympus SZX10 y microscopio Leica MC170 HD. Para la identificación y confirmación de la información taxonómica de los especímenes encontrados se utilizaron los libros de Allen y Johnson (2012), Boltovskoy (1981 y 1999), Trégouboff y Rose (1957), Wimpenny (1966) y finalmente, se realizó la verificación taxonómica mediante el uso de la plataforma World Register of Marine Species (WoRMS).

Se utilizaron pruebas paramétricas (Mann-Whitney) y no paramétricas (KruskalWallis) para determinar la existencia de diferencias significativas a nivel espacial y temporal. La riqueza específica y diversidad por zona fue determinada con el índice de Shannon-Weaver. Los análisis comparativos se realizaron únicamente cuando se contaba con muestras en ambas zonas.

Los datos correspondientes a las variables de temperatura y salinidad fueron obtenidos a través de sensores remotos y procesados con Rstudio. El grado de influencia de las condiciones ambientales sobre la densidad del zooplancton gelatinoso fue determinado a través del análisis de correlación de Pearson.

El análisis de datos se realizó con los softwares estadísticos Past Versión 3.20, GraphPad Prims 8 e Ifoostat versión 2016.

## Resultados

### Composición

Durante el periodo de estudio se identificó un total de 54 especies, donde los grupos más representativos fueron Doliolida con el 53,04%, seguido de Siphonophorae con 25,70%, Trachymedusae con 10,12%, Salpida con 7,83%, Copelata con 1,90%, y finalmente Leptothecata, Narcomedusae, Anthoathecata, Coronatae, Semaestomeae y Beroida con porcentajes inferiores al 1,00% (fig. 2).

Las especies más abundantes fueron *D. gegenbauri* con 96 ind.m<sup>-3</sup> y *D. nationalis* con 74 ind.m<sup>-3</sup>, pertenecientes al orden Doliolida, seguido del orden Siphonophorae con la especie *A. tetragona* con 34 ind.m<sup>-3</sup>, dentro del orden Salpida, la especie *C. pinnata* tuvo una densidad de 23 ind.m<sup>-3</sup> y finalmente, las especies *A. hemistoma* con 21 ind.m<sup>-3</sup> y *R. velatum* con 9 ind.m<sup>-3</sup>, ambas del orden Trachymedusae. Las especies con una densidad inferior a 9 ind.m<sup>-3</sup> estuvieron constituidas por los órdenes Copelata, Leptothecata, Narcomedusae, Anthoathecata, Coronatae, Semaestomeae y Beroida y representaron en total una densidad de 66 ind.m<sup>-3</sup> (fig. 3).

En cuanto a la distribución espacial se determinó que la zona con mayor densidad fue la ZII con 204 ind.m<sup>-3</sup>, mientras que, la ZI presentó un total de 139 ind.m<sup>-3</sup>. La riqueza específica de las dos zonas fue de 48 especies, siendo *D. gegenbauri* y *D. nationalis* las especies más abundantes en ambas zonas; sin embargo, la tercera especie más abundante de ZI fue *A. tetragona*; mientras que, *C. pinnata* lo fue para la ZII. A pesar de no existir diferencias significativas entre ambas zonas ( $p = 0.3316$ ), la ZII presentó especies únicas para el área, siendo estas *E. mitra*, *Atolla wyvillei*, *Clausophyes ovata*, *Salpa thompsoni* y *Oikopleura sp.* Consecuentemente, los valores de diversidad entre ambas zonas fueron similares, destacando la ZI con 2.66 bits/ind, a diferencia de la ZII con 2.46 bits/ind (fig. 4).

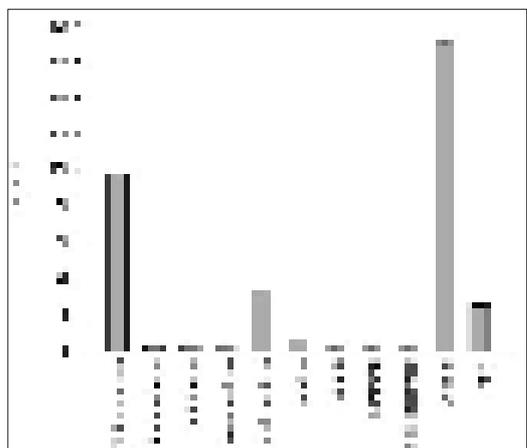
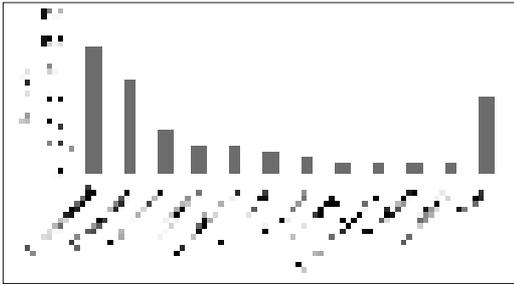


Figura 2. Densidad total del zooplancton gelatinoso del mar ecuatoriano.



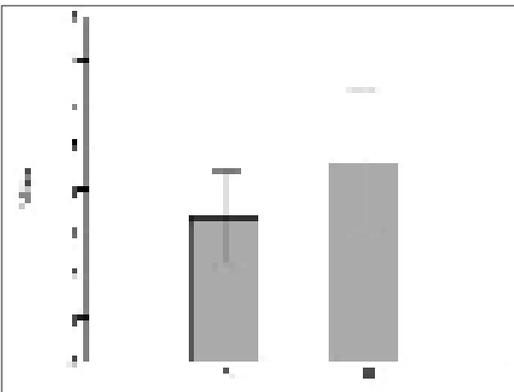
**Figura 3.** Composición del zooplancton gelatinoso del mar ecuatoriano. El grupo Otros estuvo conformados por especies cuya densidad total fue inferior a 9 ind.m<sup>-3</sup>

La Z1 presentó una densidad de  $139 \pm 1.54$  ind.m<sup>-3</sup> y se vio mayormente representada por el grupo Doliolida con 41,89%, seguido de Siphonophorae con 28,47%, Trachymedusae con 13,46%, Salpida con 11,88% y finalmente Copelata con 2,84%. Los órdenes Leptothecata, Narcomedusae, Anthoathecata, Coronatae, Semaestomeae y Beroida presentaron valores inferiores a 1.00%. La ZII presentó una densidad de  $204 \pm 8.72$  ind.m<sup>-3</sup> y mostró una composición similar a la ZI, donde el orden Doliolida representó el 57,68%, seguido de Siphonophorae con 29,69%, Trachymedusae con 6,65%, Salpida con 3,87% y los órdenes Copelata, Leptothecata, Narcomedusae, Anthoathecata, Coronatae, Semaestomeae y Beroida presentaron valores inferiores al 1% (fig. 5).

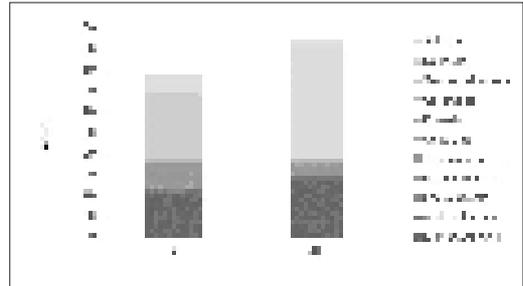
**Composición del zooplancton gelatinoso en la Zona I**  
 La ZI estuvo representada por las siguientes clases Thaliacea con el 53,74%, Hydrozoa con 43,12 %, Appendicularia con el 2,84 %, las clases Scyphozoa y Nuda aparecieron con valores menores al 1% (Fig. 6).

**Clase Thaliacea**

La Clase Thaliacea registró un total de 85 ind.m<sup>-3</sup>. Esta clase estuvo conformada mayormente por el orden Doliolida con el 74,85%. Las especies más abundantes fueron *D. gegenbauri* con 42 ind.m<sup>-3</sup>, seguido de *D. nationalis* con 21 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, el orden Salpida representó el 25,14 %, siendo *C. pinnata* con 17 ind.m<sup>-3</sup> su especie más abundante (Fig. 7).



**Figura 4.** Densidad total del zooplancton gelatinoso en ZI y ZII durante el periodo de estudio.



**Figura 5.** Densidad total del zooplancton gelatinoso (ind.m<sup>-3</sup>) de la ZI y ZII

**Clase Hydrozoa**

La clase Hydrozoa registró un total de 65 ind.m<sup>-3</sup>, y estuvo comprendida por los órdenes Siphonophorae, Anthoathecata, Leptothecata, Narcomedusae y Trachymedusae. Los órdenes más abundantes fueron Siphonophorae (65,68 %), Trachymedusae (31,20%) y Narcomedusae (1,62%), los demás órdenes presentaron valores de densidad inferiores a 1%, es decir, que su densidad fue menor a 2 ind.m<sup>-3</sup>. Dentro del orden Siphonophorae, la especie *Praya* sp. mostró la mayor densidad con 15 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, *A. hemistoma* (14 ind.m<sup>-3</sup>) y *R. velatum* (5 ind.m<sup>-3</sup>) fueron las especies más abundantes del orden Trachymedusae (Fig. 8).

**Clase Appendicularia**

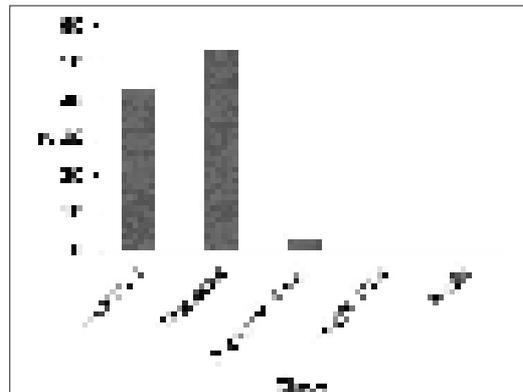
Se registró un total de dos especies pertenecientes al orden Copelata; *Oikopleura dioica* la especie más abundante con 3 ind.m<sup>-3</sup> seguida de *Oikopleura cophocerca* con 1 ind.m<sup>-3</sup>.

**Clase Scyphozoa**

La clase Scyphozoa registró valores de densidad de 2 ind.m<sup>-3</sup>, y estuvo representada por los órdenes Coronatae y Semaestomeae siendo sus únicas especies *N. punctata* y *Chrysaora quinquecirrha* correspondientemente, ambas con 1 ind.m<sup>-3</sup>.

**Clase Nuda**

A diferencia de las demás clases, la clase Nuda estuvo integrada únicamente por *Beroe ovata* (orden



**Figura 6.** Densidad relativa del zooplancton gelatinoso en la Zona I (Esmeraldas).

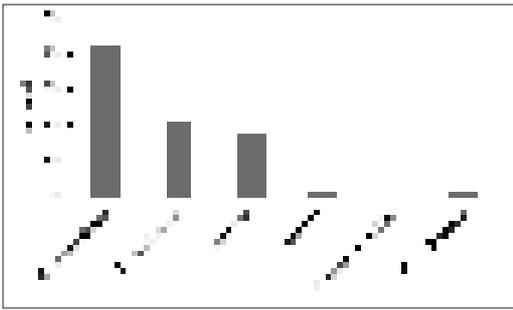


Figura 7. Densidad total de la Clase Thaliacea registrada en la ZI durante el periodo de estudio Julio del 2017 - Abril del 2018.

Beroidea), con una densidad de 1 ind.m<sup>-3</sup>.

#### Composición del zooplancton gelatinoso en la Zona II

De manera similar a la ZI, la ZII estuvo representada por las siguientes clases Thaliacea con el 61,55%, Hydrozoa con 37,14%; mientras que, clases Appendicularia, Scyphozoa y Nuda registraron valores inferiores al 1% (Fig. 9).

#### Clase Thaliacea

Los Thaliáceos registraron un total de 114 ind.m<sup>-3</sup>. El orden Doliolida presentó la mayor densidad con el 93,69%. Las especies más abundantes fueron *D. gegenbauri* con 55 ind.m<sup>-3</sup>, seguido *D. nationalis* con 53 ind.m<sup>-3</sup> (Fig. 10).

#### Clase Hydrozoa

La clase Hydrozoa registró un total de 69 ind.m<sup>-3</sup> y estuvo constituida principalmente por los órdenes Siphonophorae con 55 ind.m<sup>-3</sup> y Trachymedusae con 12 ind.m<sup>-3</sup>, los demás órdenes mostraron valores de densidad inferiores a 1 ind.m<sup>-3</sup>. Las especies más representativas dentro de los sifonóforos fueron *A. tetragona* con 31 ind.m<sup>-3</sup>, *Diphyes* sp. con 11 ind.m<sup>-3</sup> y *C. appendiculata* con 8 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, *A. hemistoma* con 7 ind.m<sup>-3</sup> fue la más importante de las trachymedusas (Fig. 11).

#### Clase Appendicularia

Se registró un total de tres especies pertenecientes al orden Copelata, con un total de 4 ind.m<sup>-3</sup>, siendo *O. Dioica* su especie más abundante con 2 ind.m<sup>-3</sup> seguida de *O. Cophocerca* y *Oikopleura* sp., ambas

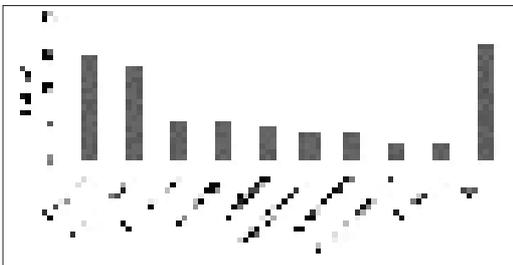


Figura 8. Densidad total de la Clase Siphonophorae registrada en la ZI durante el periodo de estudio Julio del 2017 - Abril del 2018.

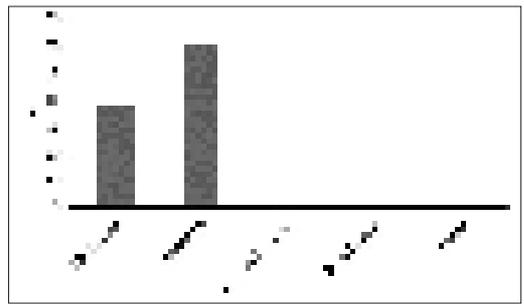


Figura 9. Densidad relativa por clase del zooplancton gelatinoso en la ZII

con 1 ind.m<sup>-3</sup>.

#### Clase Scyphozoa

La clase Scyphozoa estuvo comprendida por los órdenes Coronatae y Semaestomeae, con las especies *N. punctata* y *C. quinquecirrha*, ambas con una densidad de 1 ind.m<sup>-3</sup>

#### Clase Nuda

Esta clase estuvo conformada exclusivamente por *B. ovata* con una densidad de 1 ind.m<sup>-3</sup>.

#### Distribución Temporal

La mayor abundancia del zooplancton gelatinoso se dio en febrero del 2018, con un total de 170 ind.m<sup>-3</sup>, siendo *D. nationalis* y *D. gegenbauri* sus especies más abundantes con 54 ind.m<sup>-3</sup> y 45 ind.m<sup>-3</sup> respectivamente; mientras que, la mínima densidad se registró durante agosto del 2017 con 15 ind.m<sup>-3</sup>; sin embargo, a pesar del pico de densidad registrada en febrero, no se encontraron diferencias significativas ( $p=0.3316$ ) entre la densidad de los meses estudiados (Fig. 12).

#### Zona I

En la ZI, se observó que noviembre del 2017 presentó la mayor incidencia del zooplancton gelatinoso ( $44 \pm 1.54$  ind.m<sup>-3</sup>); mientras que, agosto y diciembre del mismo año presentaron la menor densidad con  $12 \pm 1.54$  ind.m<sup>-3</sup> para ambos meses (Fig. 13). A pesar de esto, se determinó que no existen diferencias significativas de densidad entre los meses estudiados ( $p=1$ ).

#### Clase Thaliacea

La clase Thaliacea presentó su mayor incidencia durante febrero del 2018 con 22 ind.m<sup>-3</sup> con *D.*

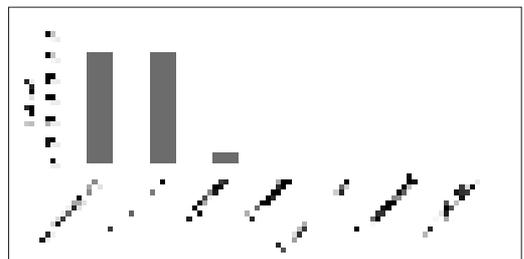


Figura 10. Densidad total de la Clase Thaliacea registrada en la ZII.

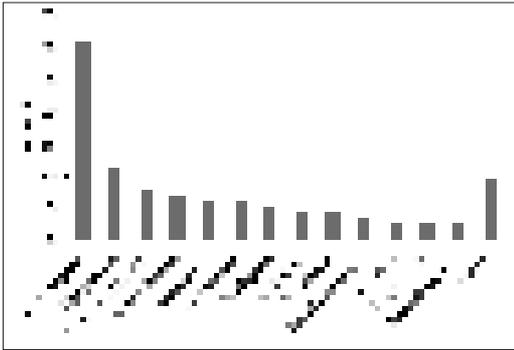


Figura 11. Densidad total de la clase Hydrozoa de la Zona II. El grupo Otros estuvo constituido por especies con una densidad inferior a 2 ind.m<sup>-3</sup>

*gegenbauri* como la especie más abundante con 13 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, la menor densidad se presentó en agosto del 2017 con un total de 5 ind.m<sup>-3</sup>, durante este mes, *D. nationalis* fue la especie más representativa con 3 ind.m<sup>-3</sup>. Sin embargo, el pico de densidad del orden Salpida se registró durante noviembre del 2017 con 17 ind.m<sup>-3</sup>, donde la especie *C. pinnata* tuvo una densidad total de 14 ind.m<sup>-3</sup>; esta especie desapareció del sistema en abril del 2018 (Fig. 14).

**Clase Hydrozoa**

La clase Hydrozoa registró un total de 25 ind.m<sup>-3</sup> durante noviembre del 2017 y sufrió una drástica disminución en diciembre con 5 ind.m<sup>-3</sup> (Fig. 15). En noviembre 2017, el orden Siphonophorae registró la mayor abundancia con 21 ind.m<sup>-3</sup>, donde *Praya* sp. fue la especie más representativa con 15 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, su incidencia fue 3 ind.m<sup>-3</sup> en marzo. Adicionalmente, este mes estuvo representando también por *Diphyes* sp., *Hippopodius hippopus* y *A. tetragona* con 1 ind.m<sup>-3</sup>.

El orden Trachymedusae se encontró de manera abundante durante marzo y abril del 2018, ambos

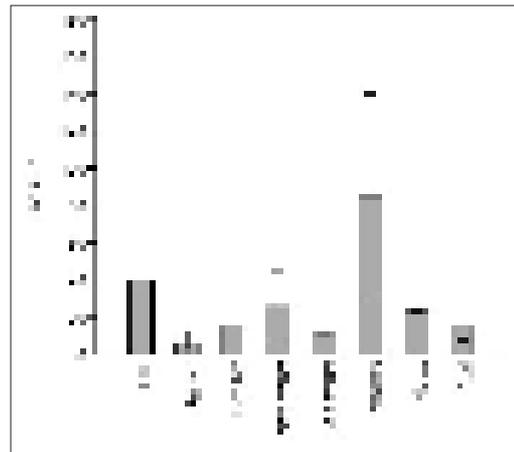


Figura 12. Densidad promedio del zooplancton gelatinoso de la ZI y ZII desde julio 2017 hasta abril 2018. Los meses de julio, octubre, diciembre y marzo sólo tuvieron una muestra.

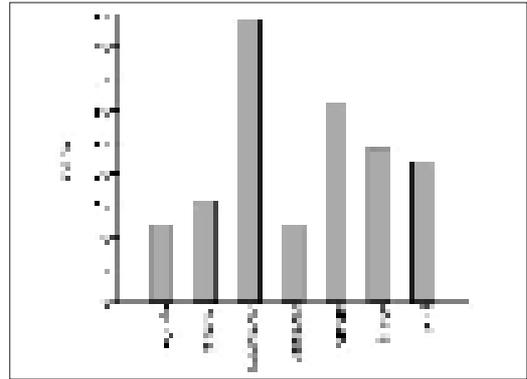


Figura 13. Densidad total mensual del zooplancton gelatinoso de la ZI.

meses con 6 ind.m<sup>-3</sup>, resaltando *R. velatum* y *A. hemistoma* con 4 ind.m<sup>-3</sup>, correspondientemente. En relación al orden Anthoathecata, *Sarsia eximia* se registró en octubre del 2017 y *L. octona* para agosto y noviembre del 2017 y febrero del 2018; ambas especies con una densidad de 1 ind.m<sup>-3</sup>. El orden Narcomedusae fue frecuente desde octubre del 2017 hasta abril del 2018 con las especies *C. octonaria* y *S. bitentaculata* con 1 ind.m<sup>-3</sup>. Adicionalmente, el orden Leptothecata apareció únicamente durante abril del 2018 con *Aequorea macrodactyla* con una densidad de 1 ind.m<sup>-3</sup>.

**Clase Appendicularia**

El orden Copelata presentó una densidad de 2 ind.m<sup>-3</sup> durante noviembre del 2017; mientras que, en agosto de 2017 y marzo del 2018 su densidad fue de 1 ind.m<sup>-3</sup>.

**Clase Scyphozoa**

La clase Scyphozoa registró valores de 1 ind.m<sup>-3</sup> en marzo de 2018 y estuvo representada por los órdenes Coronatae con la especie *N. punctata* y el orden Semaestomeae con *C. quinquecirrha*.

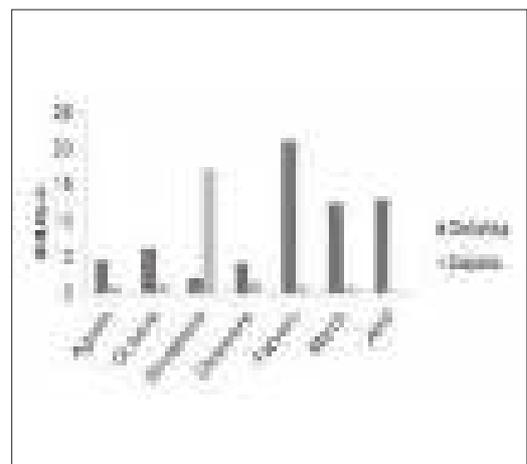


Figura 14. Densidad total mensual de la Clase Thaliacea en la ZI

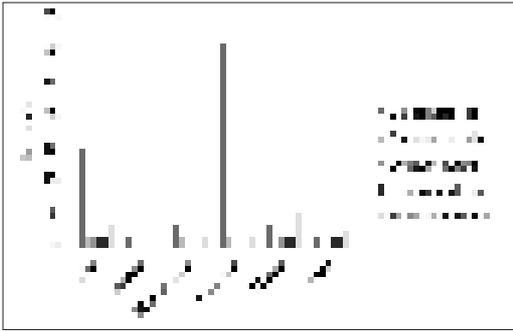


Figura 15. Densidad total mensual Clase Hydrozoa en la ZI

#### Clase Nuda

La aparición de la clase Nuda se registró en agosto del 2017 y Abril del 2018, ambos meses con 1 ind.m<sup>-3</sup>. Esta clase estuvo representada únicamente por la especie *B. ovata*.

#### Zona II

El mes con mayor abundancia de organismos gelatinosos en ZII fue febrero de 2018 con un total de  $140 \pm 8.72$  ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, el mes con menor densidad fue agosto de 2017 con un total de  $3 \pm 8.72$  ind.m<sup>-3</sup>. De manera similar a la ZI, se determinó que no existen diferencias significativas ( $p=1$ ) en la densidad mensual (Fig. 16).

#### Clase Thaliacea

La clase Thaliacea presentó su mayor incidencia durante febrero del 2018 con 82 ind.m<sup>-3</sup>, siendo el orden Doliolida el más abundante con 78 ind.m<sup>-3</sup>; cuales *D. nationalis* fue la especie más representativa con 46 ind.m<sup>-3</sup>, seguido de *C. pinnata* (orden Salpida) con 3 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, en Agosto de 2017 se presentó la menor abundancia de estos organismos con un total de 1 ind.m<sup>-3</sup> para ambos ordenes, resaltando *D. gegenbauri* y *Pegea confoederata* (Fig. 17).

#### Clase Hydrozoa

Durante el periodo de estudio se registraron picos de abundancia en relación a la clase Hydrozoa

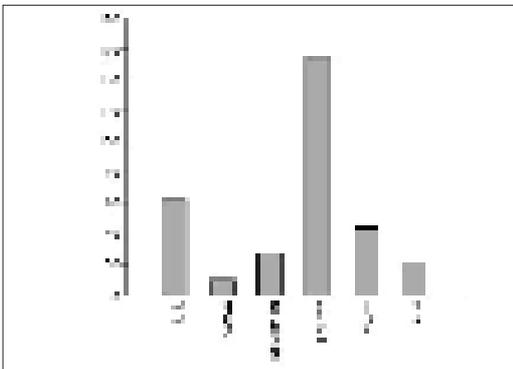


Figura 16. Variación mensual del zooplancton gelatinoso de la ZII (Manabí).

representándose con 33 ind.m<sup>-3</sup>, resaltando el orden Siphonophorae. Además, este orden registró su mayor abundancia en febrero del 2018 (31 ind.m<sup>-3</sup>) siendo *A. tetragona* su especie más abundante con 10 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que, en agosto del 2017 presentó su menor abundancia con 2 ind.m<sup>-3</sup> representado por *A. okenii* (Fig. 18).

Por otra parte, durante marzo del 2018, el orden Trachymedusae presentó su mayor densidad con 5 ind.m<sup>-3</sup>, resaltando *A. hemistoma* con 3 ind.m<sup>-3</sup>; mientras que en noviembre del 2017 la misma especie registró 1 ind.m<sup>-3</sup> (Fig. 18).

Adicionalmente, los órdenes Anthoathecata, Leptothecata y Narcomedusae registraron densidades del 1 ind.m<sup>-3</sup> durante todos los meses muestreados en la ZII: El orden Anthoathecata se presentó únicamente durante Julio y noviembre del 2017 y febrero del 2018 registrándose *S. eximia* para julio y febrero; mientras que, para noviembre *L. octona*. Asimismo, el orden Leptothecata se manifestó durante Julio del 2017 (*E. menoni*) y marzo del 2018 (*A. macrodactyla*). Finalmente, el orden Narcomedusae se presentó durante Julio del 2017, marzo y abril del 2018 representados únicamente por *S. bitentaculata* (Fig. 18).

#### Clase Appendicularia

La especie *O. dioica* (orden Copelata) se registró durante julio, noviembre de 2017 y febrero de 2018 con 1 ind.m<sup>-3</sup>.

#### Clase Scyphozoa

Se registraron un total de 2 especies con densidad del 1 ind.m<sup>-3</sup> perteneciente a los órdenes; Coronatae que se manifestó durante julio del 2017, febrero y marzo del 2018 representado por *N. punctata*; mientras que, el orden Semaestomeae se presentó únicamente en abril del 2018 exhibiendo a *C. quinquecirrha* como su única especie.

#### Clase Nuda

La especie *B. ovata* se encontró durante noviembre del 2017, febrero y marzo del 2018 con 1 ind.m<sup>-3</sup>.

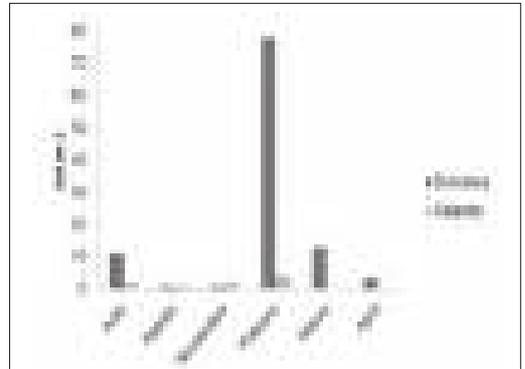


Figura 17. Variación mensual del zooplancton gelatinoso presente en la ZII: Clase Thaliacea.

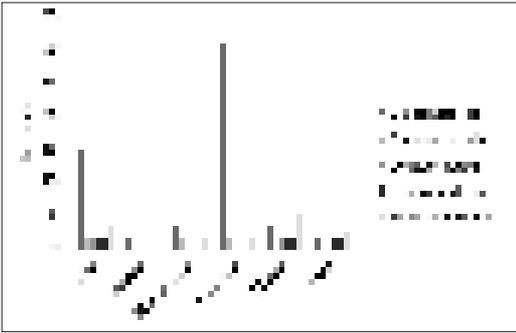


Figura 18. Variación mensual del zooplancton gelatinoso presente en la ZII: Clase Hydrozoa

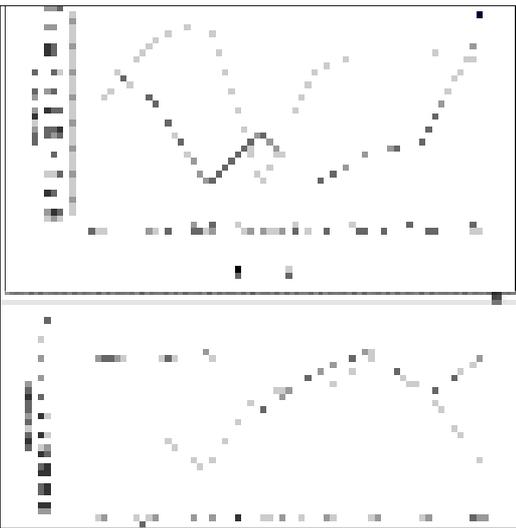


Figura 19. Variables ambientales registradas durante el periodo de estudio; Julio del 2017 - Abril del 2018: a. Temperatura (°C), b. Salinidad (UPS).

### Variables Ambientales

La temperatura máxima registrada para ZI fue de 26.2 °C durante octubre de 2017; mientras que, la mínima fue de 24.5 °C en marzo de 2018. La ZII, exhibió una temperatura máxima de 26 °C en febrero de 2018 y la mínima se registró durante abril del mismo año con 23 °C. Adicionalmente, no se presentaron diferencias significativas entre ambas zonas  $p=0.8488$  (Fig. 19a). En cuanto a la salinidad, la ZI mostró salinidades que fluctuaron entre 34.2 UPS (abril 2018) y 32.8 UPS (octubre 2017); mientras que, la ZII registró salinidades de 34.2 UPS (agosto, 2017) a 32.8 UPS (noviembre, 2017); sin embargo, no se presentaron diferencias significativas  $p=0.7917$  (Fig.19b).

La densidad del zooplancton gelatinoso mostró una baja correlación con la temperatura, donde en ZI se obtuvo un valor de  $r=0.10$  y en ZII de  $r=0.16$ . Sin embargo, la salinidad tuvo una correlación media para ZI ( $r=0.47$ ) y un alto grado de correlación en ZII ( $r=0.72$ ).

### Discusión

Durante el presente estudio se encontró un total de 54 especies pertenecientes a 6 clases de zooplancton gelatinoso, siendo estas Thaliacea (Doliolida y Salpida), Hydrozoa (Siphonophorae, Trachymedusae, Narcomedusae, Anthoathecata), Appendicularia (Copelata), Scyphozoa (Semaestomeae y Coronatae) y Ctenophora (Beroida). La composición general del zooplancton gelatinoso estuvo representada mayormente por los órdenes Doliolida con el 53.04% y Siphonophorae con 25.70%, con especies tanto neríticas como oceánicas.

Las especies *D. nationalis* y *D. gegenbauri* (Orden Doliolida) se reportaron por primera vez para el Pacífico Ecuatorial. Estas especies fueron registradas por Apablaza y Palma en el 2005 para el Pacífico Sur. Esnal y Daponte (1999) determinaron su distribución para aguas tropicales del océano Atlántico y mar Mediterráneo. Cabe recalcar que estas especies se encontraron constantemente durante todo el periodo de estudio con una marcada variación reflejando el aumento de su densidad durante la época seca. Sin embargo, no se encuentran documentos que describan su variación estacional.

La presencia de *D. nationalis* y *D. gegenbauri* según Apablaza y Palma (2005) está relacionada con fluctuaciones ambientales, donde se las reporta en rangos de temperatura que van desde 16 y 17°C; mientras que, en el presente estudio se las encontró entre 23 y 26.2°C, por lo tanto, estas especies se podrían considerar como euritermas.

*C. pinnata* (Salpida) se reporta por primera vez para el Pacífico Este Tropical, ya que anteriormente esta especie estaba reportada únicamente para el Pacífico Central y Oriental (Fagetti, 1973). Esta especie fue permanente en aguas ecuatorianas, con un incremento de su densidad en la transición a la época lluviosa. Sin embargo, debido a las diferencias geográficas estos resultados no pueden ser comparables con el presente estudio.

*P. confoederata* se encontró frecuentemente tanto en la época cálida como fría, en desacuerdo con lo descrito por Hereu, Lavaniog, Gaxiola y Ohman (2006) quienes determinaron que *P. confoederata* muestra una marcada estacionalidad. Adicionalmente, existieron especies como *Iasis zonaria* y *Wellia cylindrica* que se registraron en la transición hacia la época lluviosa a diferencia de *Salpa thompsoni* que se registró únicamente en la época seca; por lo que se asume que estos organismos podrían ser indicadores de cambios estacionales.

El orden Siphonophorae fue uno de los más importantes con una mayor frecuencia y distribución durante todo el periodo de estudio. *D. bojani* y *D. dispar* fueron encontradas en un amplio rango de temperatura, tanto en época seca como lluviosa y mostraron un incremento de abundancia durante los meses fríos;

estos resultados son similares a lo reportado por Herrera (2000) que determinó la disminución para *D. bojani* durante los meses cálidos.

Andrade (2014) y Guerrero (2016) destacan que algunas especies de Siphonophorae se limitan a determinados intervalos de temperatura y salinidad. Sin embargo, algunas especies como *Chelophyes* sp., *Ch. contorta*, *A. eschscholtzi* y *A. tetragona* se registraron durante todo el periodo de estudio, aumentando su densidad durante la época lluviosa. Lo cual concuerda con Alvaríño (1971 y 1972); Gasca (1985) y Herrera (2000) que mencionan que *Ch. Contorta*, *A. eschscholtzi* y *A. tetragona* son cosmopolitas y su abundancia aumenta en periodos de temperaturas altas.

*E. mitra* y *A. okenii* se presentaron durante la estación seca, con rangos de temperaturas entre 23 y 26.1 °C; mientras que, las especies, *A. elegans*, *A. okeni*, *Sulculeolaria* sp., *H. hippopus* y *Amphicaryon acaule* aumentaron su abundancia durante los meses fríos, en concordancia con lo descrito por Pagès *et al.*, (2001). Estos resultados son comparables a lo reportado por Guerrero (2016) que determinó que existen especies de sifonóforos vinculadas a diferentes masas de agua, tales como *A. elegans* y *A. okeni* que son típicas de aguas frías con alta salinidad; mientras que, *H. hippopus* y *Sulculeolaria* sp., que están relacionadas a aguas cálidas. Adicionalmente, mencionó que existen especies como *A. acaule* y *A. eschscholtzii* que se encuentran en aguas de transición. Por lo tanto, se pueden considerar estas especies como indicadoras de masas de agua oceánicas.

Entre las especies descritas por Alvaríño en 1971 para el cinturón ecuatorial se encuentran *Enneagomum hyalinum* registrada tanto en la época seca como lluviosa y las especies *H. hippopus* y *Vogtia serrata* que se registraron tanto en aguas frías como cálidas. Alvaríño (1971) describe una distribución de *E. hyalinum* exclusivamente para Japón, China y Tailandia con una frecuencia permanente; mientras que, *H. hippopus* ha sido registrada para la parte central y oriental de la región trópico-ecuatorial y algunas localidades entre California y Hawái. Sin embargo, en el presente estudio se reportó la presencia de *H. hippopus* entre 23-26.2 °C, a diferencia de Alvaríño (1971) que la registró entre 8-10 °C, lo que podría significar que es una especie euriterma.

*V. serrata* y *Lensia lelouvetau* fueron frecuentes durante todo el estudio, considerándose especies del Pacífico Ecuatoriano. Inicialmente *V. serrata* fue descrita por Alvaríño (1971) para los Océano Ártico, Atlántico y Pacífico (Perú); mientras que, *L. Lelouvetau* fue descrita en Chile y Brasil por Alvaríño (1971), González (2016), Migotto, Marques, Morandini y Da Silveira (2002), Nishiyama, Araujo y Oliveira (2016) y Ulloa, Palma, Linacre y Silva (2000). Además, *Vogtia spinosa*, *Vogtia pentacantha* y *Physophora hidrostática* se registraron durante los meses de lluvia, sugiriendo que podrían considerarse como especies indicadoras de cambios estacionales.

*P. hidrostática* fue inicialmente descrita para las costas de Baja California por Alvaríño (1971) y Palma y Silva (2004) la reportaron por primera vez para las costas chilenas; por lo tanto, se considera que su rango de distribución podría incluir todo el Pacífico oriental, pero debido al poco interés científico de este grupo, no había sido registrada previamente en aguas ecuatorianas.

Adicionalmente, *Lensia grimaldii*, *Bargmannia elongata* y *Rosacea cymbiformis* se encontraron durante la época lluviosa y de transición con temperaturas entre 23.2 y 26.2 °C; lo que podría significar que esta especie es indicadora de los meses cálidos. *L. grimaldii* inicialmente fue descrita para América del Sur, en el Océano Atlántico (Alvaríño, 1971; Da Silveira y Morandini, 2011; Leloup, 1934; Migotto *et al.*, 2002; Nishiyama *et al.*, 2016; Pugh, 1999 a y b); mientras que, *B. elongata* fue descrita en las costas de Baja California a temperaturas de 8 °C. De igual manera, *R. cymbiformis* fue descrita para el Océano Atlántico (Alvaríño, 1971) y para las costas de Baja California (Herrera, 2000). Su presencia en aguas ecuatorianas, con temperaturas que oscilan entre los 23 y 25 °C podría indicar que son especies con una amplia tolerancia a la temperatura.

*Nectadamas diomedea* se presentó durante la época lluviosa con temperaturas entre 23.2-26 °C. Alvaríño (1967 y 1971) la describió inicialmente para aguas de Baja California; asimismo, Da Silveira y Morandini (2011) y Migotto *et al.*, (2002) desde Brasil a Argentina. Adicionalmente, Pugh y Gasca (2006) la reportaron como especies raras en aguas tropicales y templadas. Sin embargo, estos resultados no pueden ser comprobables debido a la falta de información en cuanto a la distribución temporal de dichos organismos.

La composición de medusas estuvo conformada por especies neríticas y oceánicas, coincidiendo con lo descrito por Andrade (2010); ciertas especies como *A. hemistoma*, *R. velatum*, *S. bitentaculata*, *S. eximia*, *L. octona*, *N. punctata* y *Halicreas minimum* se presentaron de manera constante durante todo el periodo de estudio, a diferencia de lo descrito por Andrade (2012b, 2014) donde determinó que la composición y abundancia de los organismos gelatinosos se ve afectada por cambios estacionales, encontrándose incluso diferencias ontogénicas entre estaciones. Se asume que la ausencia de individuos en sus distintos estadios de desarrollo podría estar relacionado a la técnica de muestreo empleada. Sin embargo, *E. nemoni*, *C. octonaria* y *A. wyvillei* fueron típicas de la época seca; mientras que, *Pandea cónica*, *A. macrodactyla* y *C. quinquecirrha* lo fueron para la lluviosa, mostrando cierto patrón de distribución temporal.

*A. tetragona*, *A. elegans*, *Ch. appendiculata*, *Ch. contorta*, *Diphyes* sp., *D. nationalis* y *D. gegenbaui* se presentaron con un pico de densidad que podría estar relacionado a la presencia de aguas de altas

temperaturas y baja salinidad. De manera similar, la abundancia de *A. hemistoma* registrada durante marzo del 2018 también estuvo ligada a masas de aguas cálidas característica de la época lluviosa. Además, se registró una mayor abundancia de *Praya* sp., y *C. pinnata* durante noviembre del 2017 que estuvo relacionada a masas de agua frías típica de la época seca. Sin embargo, estos resultados no son concluyentes debido a la baja correlación de la densidad con las variables ambientales.

Los Appendicularios registraron densidades inferiores al 1%, lo cual podría estar vinculado al uso de redes de 500 micras para la colecta de muestras. Las bajas densidades de Scyphozoa y Ctenophora también podrían estar relacionadas con la técnica de preservación de los organismos. Müller, De Oliveira, Mianzan, Migotto y Marques (2007) sugieren que la identificación de estos organismos debe ser *in situ*. Asimismo, el presente estudio amplia el rango de distribución de 11 especies (*D. nationalis*, *D. gegenbauri*, *C. pinnata*, *S. thompsoni*, *A. eschscholtzii*, *H. hippopus*, *P. hidrostática*, *B. elongata*, *R. cymbiformis*, *N. diomedea*, *L. grimaldii* y *L. lelouvetau*) para el Pacífico Este Tropical.

## Conclusión

- Las clases Doliolida y Siphonophora son las más importantes dentro del zooplancton gelatinoso estudiado. El zooplancton gelatinoso estuvo compuesto por especies neríticas y oceánicas.
- La comunidad del zooplancton gelatinoso está distribuida de manera homogénea, con la presencia permanente de ciertas especies que pueden considerarse típicas para aguas ecuatorianas.
- A pesar de no existir diferencias significativas en las poblaciones del zooplancton gelatinoso entre ambas zonas, ZII presentó especies exclusivas como *E. mitra*. Adicionalmente, considerando que la mayor abundancia fue registrada en ZII, se presume que las condiciones oceanográficas de la región sur de Ecuador, caracterizadas por la corriente de Humboldt y afloramientos, podrían tener un efecto sobre la densidad.
- El efecto de las variables ambientales sobre el zooplancton gelatinoso fue bajo. Sin embargo, se considera que los patrones de distribución temporal del zooplancton gelatinoso pueden estar influenciados por la incursión temporal de masas de aguas oceánicas con diferentes salinidades.

## Recomendación

- Expandir la zona de estudio con el fin de conocer la distribución del zooplancton gelatinoso presente en aguas ecuatorianas.

- Incluir un mayor rango de variables físico-químicas y biológicas que pueden interactuar con la comunidad de zooplancton gelatinoso.
- Ampliar el rango de colecta de organismos mediante el uso de redes con diferentes ojos de malla, con la finalidad de capturar individuos en diversos estadios de madurez, así como organismos de tamaño pequeño.

## Referencias

- Allen, D., & Johnson, W. (2012). Zooplankton of the Atlantic and Gulf Coasts: A guide to their identification and ecology. In J. Hopkins, A. Bode, A. Lavin, L. Valdés, A. Miranda, R. Anadón, R. Gonzales (Eds.), *Cambio climático y oceanográfico en el Atlántico del norte de España*. Madrid.
- Alvariño, A. (1967). Bathymetric Distribution of Chaetognatha, Siphonophorae, Medusae, and Ctenophorae off San Diego, California. *Pacific Science*, 21, 474- 475.
- Alvariño, A. (1971). *Siphonophores of the pacific with a review of the world distribution*. London.
- \_\_\_\_\_. (1972). Zooplankton del Caribe, Golfo de México y regiones adyacentes del Pacífico., 223-247. Retrieved from Mexico
- \_\_\_\_\_. (1975). *Depredadores planctonicos y la pesca*. Cumanda, Venezuela.
- Andrade, C. (2010). Sistemática y ecología de las medusas (cnidarias: hydrozoa) en la zona costera sur de la bahía de santa elena durante el periodo (octubre 2004 - octubre 2005).
- \_\_\_\_\_. (2012b). Sifonóforos (cnidaria, hydrozoa) de aguas superficiales alrededor de la isla santa clara, durante septiembre y noviembre del 2007 (vol. 17).
- \_\_\_\_\_. (2014). Variación estacional de las medusas y sifonóforos en las estaciones fijas 10 millas costa afuera de la libertad y manta durante el 2013 (vol. 19).
- Apablaza, P., & Palma, S. (2005). Primer registro de Doliolidae gegenbauri (Uljanin, 1884) y Doliolum nationalis Borgert, 1893 en aguas chilenas (Tunicata, Doliolida). *Invest. Mar.*, 33, 127-130.
- Barangé, M., & Giuc, Y. J. M. (1987). *Cnidarios de una laguna costera de la isla de mallorca*. Bol\ . Soco hist. Nat. Balears (vol. 31).
- Blackett, M., Lucas, C. H., Cook, K., & Licandro, P. (2017). Occurrence of the siphonophore Muggiaea atlantica in Scottish coastal waters: Source or sink?. *Journal of Plankton Research*. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbw082>
- Bode, A., Alvarez, M., Anadón, R., González, R., López, Á., Miranda, A., & Luis, V. (2014). Capítulo 8. Zooplancton. In *Cambio climático y oceanográfico en el Atlántico del norte de España niveles* (pp. 221-253). España.
- Boero, F. (2013). *General fisheries commission for the mediterranean review of jellyfish blooms in the mediterranean and black sea*.
- Boltovskoy, D. (1981). *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. (Backhuys. & Leiden., Eds.). Mar de la Plata.
- \_\_\_\_\_. (1999). *South Atlantic Zooplankton*. (Backhuys. & Leiden., Eds.). Mar de la Plata.
- Conde, J., Ramos, E., & Morales, R. (2004). *El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos*. Retrieved from <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=8>
- Da Silveira, F., & Morandini, A. (2011). Checklist dos Cnidaria do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop*, 11, 445-454.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2016). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Retrieved from <http://www.infostat.com.ar>
- Dunn, C. W., & Wagner, G. P. (2006). The evolution of colony-level development in the Siphonophora (Cnidaria:Hydrozoa). *Development Genes and Evolution*, 216(12), 743-754. <https://doi.org/10.1007/s00427-006-0101-8>
- Esnal, G., & Daponte, M. (1999). Doliolida. In D. Boltovskoy (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*. (p. 1.409-1.421.). Leiden, V.
- Fagetti, E. (1973). Medusas de Aguas Chilenas. *Biología Marina*, 15, 21.
- Gamero, E., Ceballos, G., Gasca, R., & Morales, A. (2015). Análisis de la comunidad del zooplancton gelatinoso (Hydrozoa, Ctenophora, Thaliacea) en el Pacífico central mexicano, abril-mayo 2011. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572015000100009>
- Gasca, R. (1985). *Taxonomía, Distribución y Abundancia de los Sifonóforos (CNIDARIA-SIPHONOPHORAE) de la Costa Occidental de Baja California Sur*.
- Guerrero, J. (2016). *Estructura de las comunidades de medusas y sifonóforos (phylum: cnidaria) del golfo de california en el verano de 2014*. Instituto politécnico nacional.
- Hale, L. J. (1973). *The pattern of growth of Clytia johnstoni*. *Embryol. Cxp. Morph* (Vol. 29).
- Herreu, C., Lavaniegos, B., Gaxiola, G., & Ohman, M. (2006). Composition and potential grazing impact of salp assemblages off Baja California during the 1997-1999 E l Niño and La Niña. *Marine Ecology Progress Serie*. <https://doi.org/10.3354/meps318123>
- Hernández, M. (2011). *Zooplancton de Bahía de los Ángeles (Golfo de California) durante la temporada de arribo del tiburón ballena (Rhincodon typus)*. Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada.
- Herrera, A. (2000). Comunidades de sifonóforos (cnidaria) en el centro de actividad biológica del golfo de california. In d. Lluch, j. Elorduy, s. Lluch, & g. Ponce (eds.), *b a c centros de actividad biológica del pacífico mexicano* (pp. 277-298). Mexico.
- Leloup, E. (1934). Siphonophores calycophorides de l'ocean atlantique tropical et austral. In *bulletin du musée royal d'histoire naturelle de belgique* (p. 90). Beuxelles.
- León, B. (2013). "Composición, abundancia y distribución del zooplancton con énfasis en el grupo cladocera en la costa ecuatoriana durante el crucero demersal de noviembre 2005". Universidad de guayaquil.
- Liu, W., Lo, W., Purcell, J., & Chang, H. (2009). Effects of temperature and light intensity on asexual reproduction of the scyphozoan, Aurelia aurita (L.) In Taiwan. *Hydrobiologia*, 616, 247-258.
- Mackie, G. O. (2002). What's new in cnidarian biology? *Canadian Journal of Zoology*. <https://doi.org/10.1139/z02-138>
- Márquez, B., Braumar, M., Díaz, J., Troccoli, L., & Subero, S. (2007). Variación estacional y vertical de la biomasa del macrozooplancton en la bahía de Mochima, Estado Sucre - Venezuela, durante 1997 - 1998 Seasonal. *Biología Marina y Oceanografía*, 42, 12.
- Migotto, A., Marques, A., Morandini, A., & Da Silveira, F. (2002). Checklist of the Cnidaria Medusozoa of Brazil. *Biota Neotropica*. <https://doi.org/10.1590/s167606032002000100010>
- Mills, C. E. (1995). Medusae, siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystems. *ICES*, 52(575-581), 7.
- Mujica, K. (2016). "Distribución y ecología de medusas y sifonóforos en la zona marino costera de ancón, anconcito y punta carnero" proyecto. Universidad estatal "península de santa elena" facultad.
- Müller, O., Mianzan, H., Migotto, A., & Marques, A. (2007). Chave de identiicação dos Ctenophora da costa brasileira. *Biota Neotropica*, 7, 341-349.
- Nishiyama, E. Y., Araujo, E. M., & Oliveira, O. M. P. (2016). Species of Lensia (Cnidaria: Hydrozoa: Siphonophorae) from southeastern Brazilian waters. *Zoologia (Curitiba)*. <https://doi.org/10.1590/s1984-4689zool-20160030>
- Pagès, F., González, H. E., Ramón, M., Sobarzo, M., & Gili, J. M. (2001). Gelatinous zooplankton assemblages associated with water masses in the Humboldt Current System, and potential predatory impact by Bassia bassensis (Siphonophora: Calycophorae). *Marine Ecology Progress Series*. <https://doi.org/10.3354/meps210013>
- Palma G, S., & Rosales G, S. (1995). Composición, distribución y abundancia estacional del macroplankton de la bahía de Valparaíso. *Investigaciones Marinas*, 23, 49-66. <https://doi.org/10.4067/s0717-71781995002300003>
- Palma, S., & Apablaza, P. (2004). Abundancia estacional y distribución vertical del zooplancton gelatinoso carnívoro en una área de surgencia en el norte del Sistema de la Corriente de Humboldt. *Investigaciones Marinas*, 32, 49-70. <https://doi.org/10.4067/s0717-71782004000100005>
- Palma, S., & Silva, N. (2004). Distribution of siphonophores, chaetognaths, euphausiids and oceanographic conditions in the fjords and channels of southern Chile. In Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. Chile. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.001>
- Paz, L. (2015). *Comunidad Zooplanctonica del Río Atacames (Esmeraldas - Ecuador)*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE).
- Pinedo, E. (2014). *Estructura comunitaria del zooplancton de la costa peruana asociado a las masas de agua durante los veranos del 2000 y 2003*. Universidad nacional mayor de San Marcos.
- Pugh, P. (1999). A review of the genus Bargmannia Totton , 1954 ( Siphonophorae , Physonecta , Pyrostephidae ). *Bulletin of the Natural History Museum*, 65, 51-72.
- \_\_\_\_\_(1999). Siphonophorae. In D. Boltovskoy (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*. Leiden, V.
- Pugh, P., & Gasca, R. (2006). Siphonophorae (Cnidaria) of the Gulf of Mexico New species of Forskalia View project. In D. L. Felder & D. K. Camp (Eds.), *Gulf of Mexico Origin, Waters and Biota* (pp. 395-402). Texas A&M University Press.
- Purcell, J. E., Uye, S. I., & Lo, W. T. (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: A review. *Marine Ecology Progress Series*. <https://doi.org/10.3354/meps07093>
- Shanno, C., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press.
- Trégouboff, G., & Rose, M. (1957). *Manuel de Planctonologie Méditerranéenne* , Centre National de la Recherche Scientifique (Tomo 2). Paris.
- Ulloa, R., Palma, S., Linacre, L., & Silva, N. (2000). *Seasonal changes in the bathymetric distribution of siphonophores, chaetognaths and euphausiids associated to water masses off of Valparaíso, Chile (Southeast Pacific)*.
- Wimpenny, R. (1966). Siphonophores. In *El Plancton del Mar*. (pp. 383-441).

## Efecto de la salinidad y pH en la composición bioquímica de la microalga *Scenedesmus sp.* en cultivos discontinuos

Effect of salinity and pH on the biochemical composition of the microalgae *Scenedesmus sp.* in batch cultures

Ever Morales<sup>1</sup>, Diana Macías<sup>2\*</sup>, Leonardo García<sup>2</sup>, Yelsin Loor<sup>3</sup> & Lisbeth Plúas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

<sup>2</sup>Consultora, egresada de la Facultad Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

<sup>3</sup>Estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

Recibido 28 de abril 2019; recibido en forma revisada 20 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponible en línea 26 de junio 2019

### Resumen

El presente estudio evaluó el efecto del pH (5, 6, 9, 11) y de la salinidad (6, 12, 26 y 36 UPS) en el crecimiento y la producción de pigmentos, proteínas, carbohidratos y lípidos de la microalga *Scenedesmus sp.*, los cultivos discontinuos se mantuvieron con aireación constante, irradiancia de 50.22  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , fotoperiodo 12:12 h y a 25 $\pm$ 2 °C. Los resultados indicaron que en cultivos no salinos y a pH 9 se presentaron las densidades celulares más elevadas con 9.48 $\pm$ 0.32 $\times$ 10<sup>6</sup> cél. mL<sup>-1</sup>. Mientras, que los de clorofila *a* y *b* se produjeron a 0UPS y pH (8-10) con 5.52 $\pm$ 0.09 y 2.03 $\pm$ 0.16  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , respectivamente, pero con un descenso con el aumento de NaCl. Así mismo, los carotenoides se incrementaron a 12UPS y pH 11 de 0.20 $\pm$ 0.004 a 1.45 $\pm$ 0.004  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  y el más elevado en lípidos ( $p < 0.05$ ) se evidenció a 6UPS con 16 $\pm$ 32.37  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . Sin embargo, los mayores contenidos de proteínas y carbohidratos se produjeron a 0UPS y pH 11 con 377.37 $\pm$ 23.88 y 122.69 $\pm$ 1.68  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; respectivamente. Los resultados de la adaptación gradual al NaCl permiten concluir que esta cepa de *Scenedesmus sp.*, aunque es halotolerante presentó un crecimiento óptimo, mayor contenido de clorofila y de carotenoides en condiciones no salinas y en medio alcalino.

**Palabras Clave:** Composición bioquímica, pH, salinidad, *Scenedesmus sp.*

### Abstract

The present study evaluated the effect of pH (5, 6, 9, 11) and salinity (6, 12, 26 and 36 UPS) on the growth and production of pigments, proteins, carbohydrates and lipids of the microalga *Scenedesmus sp.*, discontinuous cultures were maintained with constant aeration, irradiance of 50.22  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , photoperiod 12:12 h and 25  $\pm$  2 °C. The results indicated that in non-saline cultures and at pH 9 the highest cell densities were presented with 9.48  $\pm$  0.32 $\times$ 10<sup>6</sup> cells.mL<sup>-1</sup>. Meanwhile, chlorophyll *a* and *b* were produced at 0UPS and pH (8-10) with 5.52  $\pm$  0.09 and 2.03  $\pm$  0.16  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , respectively, but with a decrease with the increase in NaCl. Likewise, carotenoids were increased to 12UPS and pH 11 from 0.20  $\pm$  0.004 to 1.45  $\pm$  0.004  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  and the highest in lipids ( $p < 0.05$ ) was evident at 6UPS with 16  $\pm$  32.37  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . However, the highest protein and carbohydrate contents were produced at 0UPS and pH 11 with 377.37  $\pm$  23.88 and 122.69  $\pm$  1.68  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; respectively. The results of the gradual adaptation to NaCl allow us to conclude that this strain of *Scenedesmus sp.*, Although it is halotolerant, showed an optimal growth, a higher content of chlorophyll and of carotenoids in non-saline conditions and in an alkaline medium.

**Key Key words:** Biochemical composition, pH, salinity, *Scenedesmus sp.*

## Introducción

Actualmente las microalgas han adquirido mucho interés, puesto que son organismos capaces de fijar CO<sub>2</sub> y liberar O<sub>2</sub>, además producen grandes cantidades de productos básicos y compuestos de valor agregado

como proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos grasos en cortos periodos de tiempo (Bermeo, 2011; Von Albensleben, Magnusson y Heimann, 2015).

Sin embargo, dada su versatilidad metabólica son susceptibles a variar su composición bioquímica y producción de biomasa al modificar las condiciones

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: darevmo52@yahoo.com



físico-químicas del cultivo para obtener bioproductos de interés comercial para la industria farmacéutica y alimenticia (Maldonado, Morales y Romero, 2014).

Así mismo son utilizadas para la producción de biocombustibles como el biodiesel, biometano y bioetanol; lo que las hace considerar como una alternativa viable y fuente prometedora de producción de energía debido al alto potencial que presentan (Bermeo, 2011; Von Albenleben, Magnusson y Heimann, 2015).

Dada la importancia que han generado las microalgas a nivel biotecnológico y alimenticio este estudio evaluó el efecto del efecto del pH y la salinidad en la composición bioquímica de la microalga *Scenedesmus sp.* con el fin de reportar el comportamiento de esta cepa frente a diversos factores de estrés teniendo en cuenta la variación de la producción de pigmentos (clorofila *a*, *b* y carotenoides) y macromoléculas de interés comercial como proteínas, carbohidratos, lípidos y variabilidad del crecimiento en comparación con las condiciones de cultivo establecidas para esta microalga.

## Materiales y métodos

### Obtención de la cepa

Se utilizó la cepa *Scenedesmus sp.* (UGB-RJ-3009) proveniente del cepario de microalgas del Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, conservada en placas de Petri con agar en el medio de cultivo BG11.

### Medio de cultivo

Como medio control se utilizó el medio de cultivo BG11, para la obtención de medios de cultivo salinos estos se prepararon utilizando agua destilada previamente esterilizada agregándole soluciones stock de macronutrientes y micronutrientes del medio de cultivo BG11; además de la adición de NaCl hasta llegar a las concentraciones de salinidad 6 UPS y 12 UPS.

### Condiciones de cultivo

Las unidades experimentales se trabajaron por triplicado con un inóculo inicial de  $5 \times 10^5$  cél.mL<sup>-1</sup> y un volumen final de 250 mL. Todos los cultivos se mantuvieron por 19 días con aireación constante, fotoperiodo 12:12 horas (luz/oscuridad), una irradiancia de  $50.22 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y a una temperatura de  $25 \pm 2$  °C.

El pH se ajustó diariamente dos veces al día con NaOH y HCl 1 M. Previamente se realizó bioensayos de adaptación gradual al NaCl para obtener cultivos adaptados a distintas concentraciones de salinidad y cultivarlos a distintos pH (5, 6, 9, 11).

### Parámetros de crecimiento

#### 1. Densidad Celular

Se realizaron recuentos celulares diarios con cámara de Neubauer de 0.1 mm de altura y 1 mm<sup>2</sup> de área. El

cálculo de la densidad celular se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$N \text{ cél/mL} = (N \text{ células contadas} / N \text{ de cuadros contados}) \times 10^4$$

#### 2. Método de Turbidez

El crecimiento por turbidez se determinó con espectrofotometría a una longitud de onda 680 nm.

### Extracción y determinación de pigmentos fotosintéticos

La extracción de pigmentos se realizó con Metanol puro según el método descrito por Arredondo, Voltolina y Cordero (2017), y la cuantificación se efectuó en un espectrofotómetro a tres longitudes de onda 666 nm y 653 nm para clorofila *a* y *b* respectivamente y 470 nm para carotenoides. El cálculo de la concentración de clorofilas y carotenoides se realizó utilizando las fórmulas propuestas por Wellburn (1994).

$$\begin{aligned} C_a &= 15.65A_{666 \text{ nm}} - 7.34A_{653 \text{ nm}} \\ C_b &= 27.05A_{653 \text{ nm}} - 11.21A_{666 \text{ nm}} \\ C_{x+c} &= (1000A_{470 \text{ nm}} - 2.86C_a - 129.2C_b) / 221 \end{aligned}$$

### Extracción y cuantificación de macromoléculas orgánicas

#### 1. Determinación de proteínas

La extracción de proteínas se realizó con NaOH 1M calentado en baño maría a 100 °C por 1 hora, la cuantificación se efectuó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 750 nm como indica el método de Lowry *et al.* (1951) modificado por Morales (2012).

#### 2. Determinación de carbohidratos

La extracción se realizó añadiéndole 4 mL de NaOH 1 M a la biomasa húmeda y calentando en baño maría a 100 °C por 30 minutos, el contenido de carbohidratos totales se cuantificó a una longitud de onda de 480 nm mediante el método de fenol-ácido sulfúrico propuesto por Dubois *et al.* (1956) modificado por Morales (2012).

#### 3. Determinación de lípidos

La extracción de lípidos totales se efectuó agregando metanol-cloroformo en proporción 3:1.5 a la biomasa liofilizada como indica el método de calcinación propuesto por Marsh y Weinstein (1966) modificado por Morales (2012), la cuantificación espectrofotométrica se realizó a una longitud de onda de 375 nm. Los resultados fueron expresados en  $\mu\text{g/mL}$ .

### Análisis estadístico

Se utilizó el programa StatGraphics Plus versión 5.1 (2000), con el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA FACTORIAL) a todos los tratamientos con un nivel de significancia  $p \leq 0.05$ , además se aplicó un análisis de Contraste Múltiple de Rangos para determinar cuáles de las medias presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos con un nivel de confianza del 95 %.

## Resultados

### Crecimiento de *Scenedesmus sp.* a distintas concentraciones de salinidad

La mayor densidad celular se registró en el control (0 UPS) con  $7.13 \pm 0.53 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>, seguido de la concentración de 6 UPS con  $4.70 \pm 0.32 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>, a 26 UPS el mayor crecimiento se obtuvo en el día 7 con  $3.22 \pm 0.46 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>; mientras que a 36 UPS se observó una reducción de la densidad celular con un máximo de  $1.78 \pm 0.35 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>. Estos resultados indican que a pesar de que el crecimiento de la microalga es inhibido con la concentración del NaCl, se observó una tendencia a una adaptación a medida que gradualmente se le incrementaba la salinidad.

### Crecimiento mediante el método de turbidez pre adaptación a distintas concentraciones de NaCl.

El mejor crecimiento medido a DO 680 nm se registró en los cultivos no salinos (0 UPS) con  $1.12 \pm 0.05$ , seguido de 6 UPS con  $0.913 \pm 0.04$ , la densidad máxima registrada en los cultivos que se les indujo adaptación gradual hasta 26 UPS fue de  $0.683 \pm 0.06$  y la menor densidad celular se obtuvo a 36 UPS con un máximo de  $0.619 \pm 0.004$ .

### Efecto del pH y salinidad sobre el crecimiento

#### 1. Crecimiento a diferentes pH a 0 UPS

La máxima densidad celular se presentó en los cultivos ajustados a pH 9 con  $9.48 \pm 0.32 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>, seguido del pH 11 ( $7 \pm 0.09 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>), observándose el menor crecimiento celular a pH 5 con ( $1.6 \pm 0.44 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre el control (8-10) y el rango de pH estudiados (511).

#### 2. Crecimiento a diferentes pH a 6 UPS

La máxima densidad celular se registró a pH 9 ( $6.71 \pm 0.38 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>), seguido del cultivo a pH 6 con  $5.88 \pm 0.25 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>; mientras que a pH 11 el valor máximo de crecimiento fue de  $3.29 \pm 0.51 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>; reduciéndose la densidad celular a pH 5 con  $0.92 \pm 0.35 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>.

#### 3. Crecimiento a distintos pH a 12 UPS

El estudio del pH determinó que el crecimiento de *Scenedesmus sp.* es favorable entre 7 (control) y 11. En cambio, se demostró una reducción de la densidad celular a pH desde 6 hasta 5, causando una inhibición y efecto letal a los cultivos de la microalga a partir del día 11 y día 4; respectivamente.

Al final del experimento al día 19, la densidad celular del control (pH 7) se mantuvo superior respecto a todos los pH analizados, alcanzando  $4.5 \pm 0.21 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup> con diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). En cambio a pH 9 y 11, reportaron valores de  $2.48 \pm 0.23 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup> y de  $1.98 \pm 0.03 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos resultados reflejan que el pH 7 optimiza el crecimiento de *Scenedesmus sp.* a las condiciones de cultivos expuestas. No obstante, en condiciones ligeramente ácidas a pH 6 se observó cierta tolerancia hasta el día 12 con una densidad celular reducida hasta de  $1.78 \pm 0.05 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>; la misma que es más reducida a pH 5 con  $0.6 \pm 0.08 \times 10^6$  cél.mL<sup>-1</sup>; mientras que a partir del día 12, este pH causó mortalidad en los cultivos.

### Crecimiento medido por Turbidez

El mayor valor de absorbancia a 680 nm se obtuvo a 0 UPS con  $1.44 \pm 0.13$ , seguido del pH 11 con  $1.39 \pm 0.09$ ; sin embargo, el menor valor se registró a pH 5 y a 6 UPS con  $0.090 \pm 0.009$ . El análisis estadístico presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los distintos tratamientos estudiados tanto para el factor salinidad como para el pH.

Por otra parte, en los tratamientos a 6 UPS fue el control quien obtuvo superioridad ( $p > 0.05$ ) en los valores de absorbancia registrados con  $1.13 \pm 0.05$ , seguido del pH 9 que presentó  $1.02 \pm 0.03$ .

De la misma manera en los ensayos a 12 UPS se presentó la misma tendencia en que el control obtuvo los mayores valores de absorbancia ( $0.42 \pm 0.04$ ), seguido del pH 9 con ( $0.36 \pm 0.02$ ).

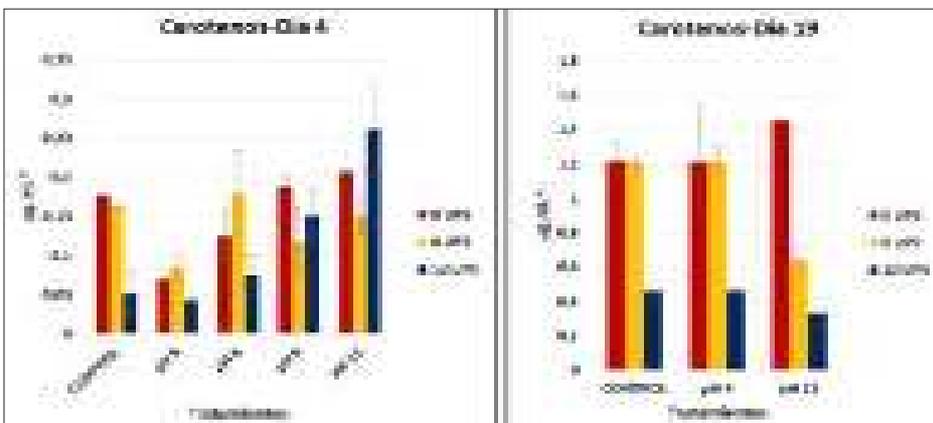


Figura 1. Efecto del pH y a diferentes concentraciones de NaCl (UPS) sobre el contenido de carotenos totales ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ) en *Scenedesmus sp.*

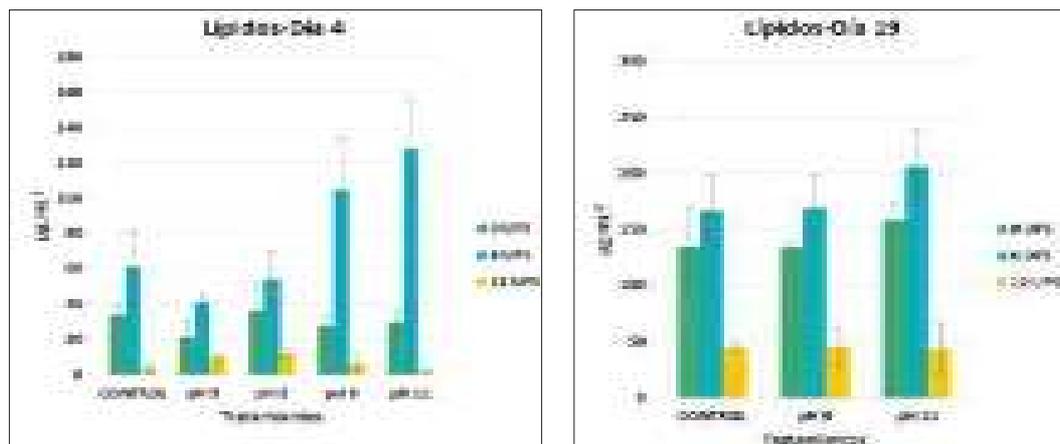


Figura 2. Contenido de lípidos ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ) de *Scenedesmus sp.* a diferentes pH y salinidades.

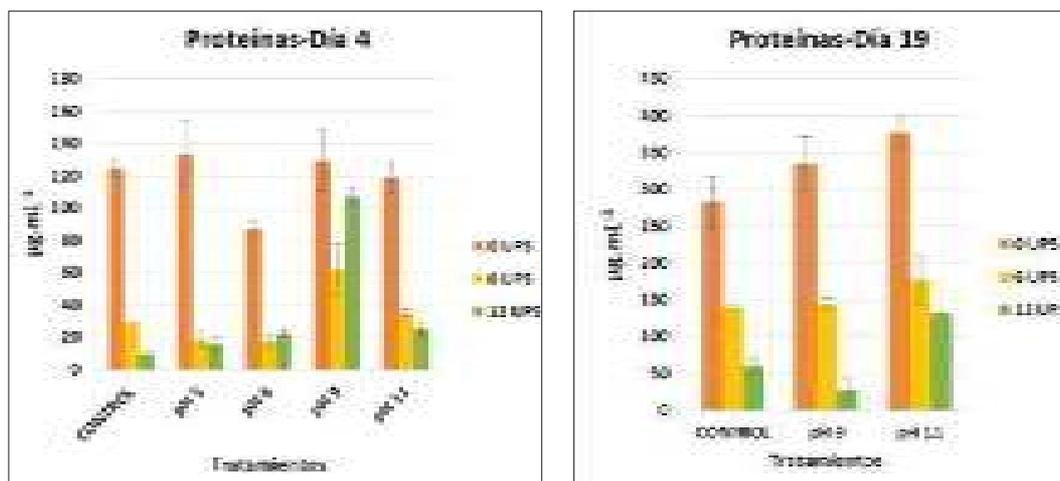


Figura 3. Contenido de Proteínas ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ) de *Scenedesmus sp.* (salinidad-pH) en los días 4 y 19.

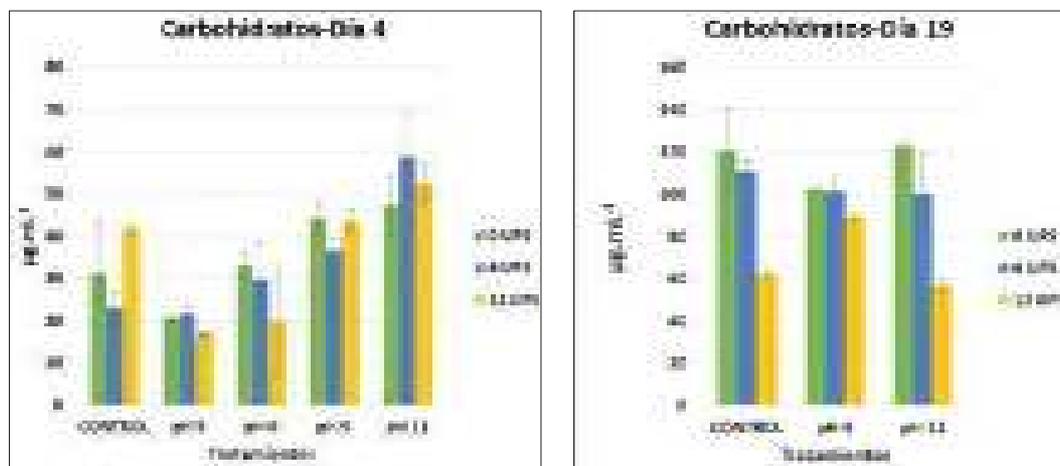


Figura 4. Producción de carbohidratos a diferentes pH y salinidad de *Scenedesmus sp.* en los días 4 y 19.

## Pigmentos Fotosintéticos

### 1. *Clorofila total*

El contenido de clorofila total fue superior ( $p < 0.05$ ) en el control (pH 8.10) a 0 UPS con  $7.55 \pm 0.25 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  en el día 19 de cultivo, seguido del pH 9 a salinidad de 6 UPS con  $6.56 \pm 0.44 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; mientras que la menor concentración se obtuvo a 12 UPS de salinidad con  $1.85 \pm 0.31 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

### 2. *Carotenos totales*

El mayor contenido de carotenoides se obtuvo a 12 UPS y 0 UPS en los cultivos ajustados a pH 11, en estos se produjo un incremento con la edad del cultivo, es decir, del día 4 al 19 aumentó de  $0.20 \pm 0.004$  a  $1.45 \pm 0.004 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , respectivamente. La menor producción se presentó a pH 5 en todos los tratamientos, alcanzando el máximo valor de  $0.086 \pm 0.01 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  a la concentración de 6 UPS (Fig 1).

### Producción de lípidos

La mayor acumulación de lípidos entre los tratamientos se obtuvo a 0 UPS y pH 6 con  $36.50 \pm 15.60 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , seguido de los ensayos a 6 UPS y pH 11 con valores de  $127.73 \pm 58.06 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  para el día 4. Por lo tanto, hacia el día 19 se evidenció un incremento de los valores de acumulación en los distintos tratamientos, mostrando un contenido superior de lípidos el pH 11 a 6 UPS con  $206.16 \pm 32.37 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , seguido de 0 UPS con  $158.34 \pm 14.35 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , y con la menor producción el pH 9 a 12 UPS, con un valor de  $45.18 \pm 17.48 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  (Fig 2).

### Producción de proteínas

Los cultivos a 0 UPS y pH 9 presentaron concentraciones superiores con  $129.73 \pm 18.92 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  hacia el día 4; sin embargo, se evidenció un cambio hacia el día 19 donde el pH 11 mostró el mayor valor con  $377.37 \pm 23.88 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , seguido del pH 9 con  $334.89 \pm 36.47 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . De la misma forma a salinidad 6 y 12 UPS las concentraciones superiores se registraron a pH 9 con  $62.36 \pm 15.4$  y  $106.67 \pm 5.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , respectivamente para el día 4 de cultivo; mientras que hacia el día 19 se demostró una variación en la producción, siendo el pH 11 el que mayor contenido de proteínas presentó con  $177.08 \pm 33.47 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  para la concentración de 6 UPS, y  $132.16 \pm 2.1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  para 12 UPS (Fig 3).

### Producción de Carbohidratos

La concentración de carbohidratos en cultivos no salinos para el día 4 fue de  $47.33 \pm 6.99 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , con un aumento para el día 19 de  $122.69 \pm 1.68 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  en cultivos ajustados a pH 11. De la misma manera, en cultivos adaptados a 6 UPS el mayor contenido se registró a pH 11 con valores de  $58.94 \pm 32.50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  en el día 4, cabe recalcar que para el día 19 el control (pH 8) obtuvo los mayores valores de productividad con  $111.08 \pm 4.6 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . La menor producción se produjo a pH 5 con  $21.68 \pm 1.9 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; así mismo a la concentración de 12 UPS el pH 11 presentó los contenidos superiores de carbohidratos hacia el día 4 con  $52.46 \pm 4.68 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; sin embargo, para el día 19 la máxima acumulación se evidenció a pH 9 con  $89.25 \pm 1.26 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  (Fig 4).

## Discusión

Este estudio demostró que *Scenedesmus sp.* (UGB-RJ-3009) presentó respuestas diversas al estrés inducido por la salinidad y el pH. En cuanto a la salinidad, este género de microalga de hábitat dulceacuícola, presentó tolerancia al NaCl hasta 26 UPS, comprometiendo el crecimiento con la menor densidad celular obtenida a esta salinidad; mientras que a medida que se aumentó gradualmente la salinidad hasta 36 UPS se evidenció una disminución del crecimiento celular en comparación con el control que presentó un máximo de  $7.13 \pm 0.53 \times 10^6 \text{cél}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

Estos datos son comparables con los expresados por Arora *et al.* (2019) quienes demostraron que la presencia del NaCl puro en el medio de cultivo puede afectar a la microalga produciendo inhibición de su crecimiento a altas concentraciones; a 36, 18 y 6 UPS. Sin embargo, el presente estudio demostró que a concentraciones de 6 y 12 UPS se produjo una buena capacidad de adaptación al NaCl.

Al respecto, Pandit, Fulekar y Karuna (2017), registraron que *Chlorella vulgaris* y *Acutodesmus obliquus* presentaron buen crecimiento con el incremento de Cloruro de sodio de 0 a 6 UPS; mientras que al aumentar la concentración de NaCl a 18 y 24 UPS el crecimiento de ambas microalgas disminuyó. La disminución de la densidad celular en respuesta al aumento de la concentración de cloruro de sodio permite inferir que esta cepa de microalga es poco halotolerante a niveles mayores a 12 UPS de salinidad. El crecimiento inhibitorio a pH 5 demuestra que esta cepa de *Scenedesmus sp.* no es resistente a las condiciones ácidas de cultivo este comportamiento es similar a los presentados por Difusa *et al.* (2015), quienes reportaron que las condiciones ácidas (pH 5 y 6) no favorecieron el crecimiento celular y la productividad de biomasa obteniendo una disminución lineal del crecimiento en estas condiciones debido a que las microalgas presentan sensibilidad a las variaciones o cambios de pH, este factor tiene un efecto significativo en el crecimiento y producción bioquímica de las mismas.

La salinidad tuvo efecto en la producción de pigmentos fotosintéticos disminuyendo los valores de clorofila *a*, *b*, y carotenoides con el aumento de cloruro de sodio de 0 a 12 UPS. Los mismos, son comparables con los registrados por Kirrolia, Bishnoi y Singh (2011), en los que encontraron que a concentraciones de 0.012 UPS y 0.006 UPS la concentración de clorofilas de *Scenedesmus quadricauda* disminuyó con el incremento de NaCl en comparación con el control de los tratamientos estudiados.

Por otra parte, para el factor pH el mayor contenido de clorofila total y de carotenos se registraron en el control (pH 8-10) a 0 UPS y 12 UPS y pH 11, respectivamente; demostrándose que el pH tuvo efecto positivo en la producción de pigmentos liposolubles en todos los tratamientos. En cambio,

en una cepa de *Chlorella* sp. estudiada por Mora, Moronta, Ortega y Morales (2005) se demostró que el contenido de clorofila y carotenoides se incrementa con el aumento de la salinidad en comparación con el control; además reportaron que el pH no tuvo influencia en la producción de pigmentos, como ha sido observado en *Scenedesmus* sp.

La composición bioquímica de la microalga se vio influenciada por el pH y la salinidad; de este modo la producción de proteínas fue mayor en los tratamientos a 0 UPS y pH 11; pero disminuyendo con el aumento de la salinidad a 6 y 12 UPS. Estos datos no concuerdan con los obtenidos por Kirroliia, Bishnoi y Singh (2011); puesto que en su investigación mostraron que el contenido de proteínas de *Scenedesmus* era menor a concentraciones de NaCl entre 0.012 y 0.024 UPS; mientras que a mayor salinidad 0.036 UPS el contenido de proteínas aumentó.

La mayor producción de carbohidratos se evidenció en cultivos no salinos, el estrés inducido por la salinidad provocó que *Scenedesmus* presentara una respuesta diversa en el contenido de carbohidratos; puesto que en los primeros días de cultivo (día 4) se presentó mayor contenido de estas macromoléculas con aumento de la salinidad (12 UPS). Sin embargo, hacia el final del experimento se obtuvo un comportamiento distinto en la productividad de hidratos de carbono de la célula, obteniendo los mayores valores de producción en cultivos no salinos. Además, dentro del rango de pH estudiado la mejor respuesta se presentó en el pH 11 con un contenido máximo de 122.69  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . Estos resultados discrepan con los expresados por Kirroliia, Bishnoi y Singh (2011), que demostraron que el contenido de carbohidratos aumentó en todas las concentraciones de salinidad (0.012-0.036 UPS) estudiadas, aunque las concentraciones utilizadas en el presente estudio son muy bajas; mientras que Arora et al. (2019) evidenciaron un incremento del contenido de carbohidratos con el aumento de la salinidad de 6 a 36 UPS de NaCl; este comportamiento puede deberse a que la célula establece estrategias fisiológicas para regular su equilibrio osmótico, produciendo moléculas para resistir y/o adaptarse a las condiciones estresantes de cultivo.

En cuanto al contenido de lípidos en relación al pH entre 5 y 11, los resultados sugieren que este factor no tuvo influencia en su producción.

El comportamiento de *Scenedesmus* sp. frente al incremento de la salinidad desde 0 a 6 UPS de NaCl sí fue efectivo, pero no lo fue al ser expuesta a un incremento gradual de 12 UPS; esto sugiere que esta cepa de *Scenedesmus* es halotolerante solo a bajas concentraciones. Este hallazgo es comparable con los registrados por Kirroliia, Bishnoi y Singh (2011), quienes observaron una disminución del porcentaje de acumulación de lípidos con el aumento de la salinidad; mientras que Salama et al. (2013) obtuvieron un mayor porcentaje de acumulación con el aumento de la salinidad a 1.5 UPS. De tal manera

que es posible que tal efecto sea dependiente de cada especie de microalga.

## Conclusiones

Los resultados de la adaptación gradual a diferentes concentraciones de NaCl nos permiten concluir que esta cepa de *Scenedesmus* sp. es halotolerante; puesto que evidencia tolerancia al estrés producido por la salinidad hasta 26 UPS. Sin embargo, el mejor crecimiento se registró a las concentraciones de 6 UPS y 12 UPS sin superar al control; mientras que con el aumento de la salinidad hasta 36 UPS se observó una disminución considerable del crecimiento celular.

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el efecto del pH (5, 6, 7, 9, 11) se demostró que *Scenedesmus* sp. presentó el mejor crecimiento a pH 9 y a 0 UPS, con una densidad celular máxima de  $9.48 \pm 0.32 \times 10^6$  cél.  $\text{mL}^{-1}$ ; esto demuestra su nicho alcalino. En cambio, en condiciones ácidas entre pH 6 y 5 mostró tolerancia hasta el día 12 y 4, respectivamente, pero con una mortalidad tanto en los cultivos controles a pH 8-10, como a los sometidos a salinidades de 6 y 12 UPS.

Esto significa que en medio ácido la microalga no reflejó un crecimiento sustentable. Sin embargo, a pH 6 y con un aumento de salinidad a 6 UPS *Scenedesmus* sp. 6 valores a pH 11 y hasta la salinidad de 6UPS mostró resistencia en el crecimiento hasta el día 12.

En cuanto al efecto de la salinidad y pH sobre el contenido de clorofila *a* y *b* se produjo el valor más elevado en el control (0 UPS y a pH 8-10); pero en cambio hubo un descenso con la salinidad. Así mismo, la mayor concentración de carotenoides se obtuvo a 0 UPS y pH 11. Estos resultados sugieren que, *Scenedesmus* sp. acumula mayor contenido de clorofila y de carotenoides cuando se expone a condiciones no salinas y en medio alcalino.

El pH no demostró influencia en la producción de lípidos puesto que no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos; sin embargo, la salinidad a 6 UPS estimuló su producción.

En relación al contenido de proteínas se encontraron los valores más elevados entre pH 7 y 10; no obstante en condiciones ácidas no fue favorecida su producción en diferentes salinidades.

La concentración de carbohidratos se modificó en los diferentes tratamientos salinidad-pH, registrándose los mayores

El presente estudio sugiere que *Scenedesmus* sp. es una cepa con una moderada tolerancia a la salinidad y con capacidad de óptimo crecimiento y producción de pigmentos, proteínas y carbohidratos en condiciones no salinas y en medio alcalino.

## Recomendaciones

Realizar estudios sobre la haloterancia específica de *Scenedesmus sp.* para identificar a que concentración de cloruro de sodio se produce la mayor cantidad de lípidos, para realizar cultivos intensivos con fines comerciales.

Investigar las condiciones de cultivo óptimas de esta cepa en medios de cultivo de bajo costo para optimizar una producción rentable de metabolitos de interés comercial.

Extender los estudios sobre el efecto del pH y salinidad en la producción de biomasa, carbohidratos, proteínas, lípidos y pigmentos fotosintéticos en otras cepas microalgales nativas.

## Referencias

- Arredondo, B., Cordero, B., y Voltolina, D. (2017). Determinación de pigmentos totales métodos espectrofotométricos. B. Arredondo, D. Voltolina, T. Zenteno, M. Arora, N., Laurens, L., Sweeney, N., Pruthi, V., Poluri, K., y Pienkos, P. (2019). Elucidating the unique physiological responses of halotolerant *Scenedesmus sp.* cultivated in sea water for biofuel production. *Algal Research*, 37:260-268.
- Arce & G. Gómez (Eds.), Métodos y herramientas Analíticas en la Evaluación de la Biomasa Microalgal, pp. 75-82. México.
- Bermeo, L. (2011). *Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado* (Maestría). Universidad de Cádiz. España, 54 p.
- Difusa, A., Talukdar, J., Kalita, M., Mohanty, K., y Goud, V. (2015). Effect of light intensity and pH condition on the growth, biomass and lipid content of microalgae *Scenedesmus* species. *Biofuels*, 6(1-2): 37-44.
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., y Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- Kirrolia, A., Bishnoi, N., y Singh, N. (2011). Salinity as a factor affecting the physiological and biochemical traits of *Scenedesmus quadricauda*. *Journal Of Algal Biomass Utilization*, 2(4), 28-33.
- Lowry, O., Rosenbrough, H., Farr, A., y Randall, R. (1951). Protein measurement with the folin-phenol reagent *Biological Biochemistry*, 193, 265-275.
- Maldonado, E., Morales, E., y Romero, P. (2014). *Evaluación de la capacidad mixotrófica de la microalga Graesiella emersonii (Chlorella emersonii) con sustratos amiláceos* (p.2). Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8568/1/AC-B-ESPE-047755.pdf>
- Marsh, B., & Weinstein, B. (1966). Simple charring method for determination of lipids. *Journal of Lipid Research*, 7: 574-576.
- Mora, R., Moronta, R., Ortega, J., y Morales, E. (2005). Crecimiento y producción de pigmentos de la microalga nativa *Chlorella sp.* aislada de la Represa de Tulé, Municipio Mara, Estado Zulia, Venezuela. Recuperado de <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/ciencia/article/viewFile/9214/920>
- Morales, E. (2012). Manual de Laboratorio: Algas en la Biotecnología.
- Escuela Politécnica Del Ejército, 59-93. Pandit, P., Fulekar, M., y Karuna, M. (2017). Effect of salinity stress on growth, lipid productivity, fatty acid composition, and biodiesel properties in *Acutodesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*. *Environmental Science And Pollution Research*, 24(15), 1343713451.
- Salama, E., Kim, H., Abou-Shanab, R., Ji, M., Oh, Y., Kim, S., y Jeon, B. (2013). Biomass, lipid content, and fatty acid composition of freshwater *Chlamydomonas mexicana* and *Scenedesmus obliquus* grown under salt stress. *Bioprocess And Biosystems Engineering*, 36(6): 827-833.
- Von Albenleben, N., Magnusson, M., y Heimann, K. (2015). Salinity tolerance of four freshwater microalgal species and the effects of salinity and nutrient limitation on biochemical profiles. *Journal Of Applied Phycology*, 28(2): 861-876.
- Wellburn, A. (1994). The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal Of Plant Physiology*, 144(3):307-313.

## Propuesta de fitorremediación de coliformes totales y *Escherichia Coli* mediante la implementación de islas flotantes en aguas negras

Proposal of fitorremediation of total coliforms and *Escherichia Coli* through the implementation of floating islands in wastewater

Nancy Del Pezo Loaiza<sup>1</sup> & César Fuentes<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Consultora, egresada de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo (Campus Mapasingue), Guayaquil, Ecuador.

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

Recibido 7 de marzo 2019; recibido en forma revisada 16 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponible en línea 26 de junio 2019

### Resumen

Las aguas residuales domésticas contienen altas concentraciones de contaminantes, entre ellos coliformes totales y *Escherichia coli* indicadora de materia fecal. Las aguas residuales sin tratamiento causan enfermedades gastrointestinales: amebiasis, cólera, salmonelosis y tifoidea. El objetivo del estudio fue diseñar un sistema fitodepurador mediante islas flotantes utilizando sustratos vegetales: *Lemna minor* y *Salvinia auriculata*. Al inicio del bioensayo se colocó por triplicado islas con las especies antes mencionadas, las especies combinadas y un control abiótico. El tiempo de retención fue de 8 días, realizando análisis microbiológicos al inicio del bioensayo, al quinto día y finalmente al octavo día. Se obtuvo un porcentaje de remoción de *E. coli*, de 99,99% para *Salvinia auriculata*, 99,95% para *Lemna minor* y de 99,98% para el tratamiento combinado. La efectividad de remoción de coliformes totales en los tratamientos fue *Salvinia auriculata* (99,89%), *Lemna minor* (99,74%) y en el tratamiento combinado (99,84%). Se recomienda implementar esta técnica en sistemas controlados para evitar eutrofización debido a la rápida reproducción de estas especies.

**Palabras claves:** coliformes totales, *Escherichia coli*, fitorremediación, islas flotantes, *Lemna minor*, *Salvinia auriculata*

### Abstract

Domestic wastewater contains high concentrations of contaminants, including total coliforms and *Escherichia coli* indicator of fecal matter. Wastewater without treatment causes gastrointestinal diseases: amoebiasis, cholera, salmonellosis and typhoid. The objective of the study was to design a phytodepuration system using floating islands using plant substrates: *Lemna minor* and *Salvinia auriculata*. At the beginning of the bioassay, islands with the aforementioned species, the combined species and an abiotic control were placed in triplicate. The retention time was 8 days, performing microbiological analyzes at the beginning of the bioassay, on the fifth day and finally on the eighth day. A percentage of removal of *E. coli* was obtained, of 99.99% for *Salvinia auriculata*, 99.95% for *Lemna minor* and of 99.98% for the combined treatment. The effectiveness of removal of total coliforms in the treatments was *Salvinia auriculata* (99.89%), *Lemna minor* (99.74%) and in the combined treatment (99.84%). It is recommended to implement this technique in controlled systems to avoid eutrophication due to the rapid reproduction of these species.

**Keywords:** *Escherichia coli*, floating islands, *Lemna minor*, phytoremediation, *Salvinia auriculata*, Total coliforms

### Introducción

La contaminación del agua es un mal que aqueja a la sociedad desde tiempos remotos, por el cual se han venido desarrollando técnicas para su recuperación que van desde las más complejas y costosas hasta

las más simples y económicas. Es por esto que, para asegurar la calidad del agua se miden algunos parámetros microbiológicos tales como las coliformes totales y *Escherichia coli*, que son indicadores más específicos de la presencia de heces, tanto en agua dulce como en agua de mar (Zhou, 2015).

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: cesar.fuentes@ug.edu.ec



Una de las alternativas para recuperar el agua es la fitorremediación que se basa en la capacidad de algunas plantas para eliminar contaminantes que se encuentran en el aire, agua, suelo y sedimentos como son: microorganismos, metales pesados, compuestos orgánicos, entre otros. Por lo cual, una opción para disminuir ciertos contaminantes es implementando humedales o islas flotantes (Abdel-Shafy & El-Khateeb, 2013). Una de las ventajas del uso de islas flotantes es aislar las plantas para evitar que estas se reproduzcan de manera desordenada en el cuerpo de agua o cavidad donde se las coloque, de manera que por acción biológica disminuya la población de estos microorganismos patógenos presentes en aguas residuales (Zimmels, Kirzhner, & Malkovskaja, 2006) such as water hyacinth (*Eichhornia crassipes*).

Las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* han sido utilizadas para fitodepuración no solo de coliformes totales y *Escherichia coli*, sino también nutrientes como nitrógeno y fósforo. Asimismo remueven metales pesados como cadmio, cromo, níquel, plomo, entre otros (Al-Khafaji, Al-Ani, & Ibrahim, 2018). Del mismo modo León et al. (2018) indicó que las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* son plantas con potencial para la disminución de agentes patógenos como *E. coli* y coliformes totales, logrando una efectividad de remoción entre 99 a 100% en aguas negras.

Sin embargo, el trabajo de León et al. (2018) no contaron con un sistema controlado que evitara la dispersión de las plantas en el medio, por lo cual se ha demostrado que *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* son especies invasoras (Wolff, Assis, Pereira, Carvalho, & Castro, 2009). Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue diseñar un sistema de islas flotantes con *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* para saneamiento de aguas contaminadas por coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas negras.

## Materiales y métodos

### Área de estudio y muestreo

La ciudad de Guayaquil en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, se encontró un canal que es receptor de los efluentes domésticos de la ciudadela Martha de Roldós y del sector Cerros de Mapasingue.

En el cual se realizó un muestreo basándose en la normativa INEN 1105 Aguas. En el muestreo para el análisis microbiológico se utilizó recipientes de 2.5 L de capacidad, se sumergieron los recipientes y se procuró dejar 1% de espacio de la capacidad del envase, por consiguiente los envases fueron secados y desinfectados con alcohol al 70% por fuera para evitar la contaminación cruzada, como resultado se recaudó un total de 60 litros de aguas negras que fueron homogenizados en un contenedor de mayor capacidad y finalmente fueron distribuidas en 12 recipientes destinados para el bioensayo.

### Diseño Experimental

#### Diseño de la isla flotante

Se tomó en cuenta varios factores importantes para la elaboración de la isla flotante: el tipo de macrófitas, la cantidad en gramos de cobertura de la vegetación y los materiales para lograr la flotabilidad (Headley & Tanner, 2006).

El prototipo de isla flotante constó de un área de 40 cm<sup>2</sup> y se elaboró con palos de bambú, red de fibra sintética o nylon y a los costados de la isla poliestireno expandido, el desarrollo de la isla flotante dependió de la especie (Figura 1).

#### Recolección de plantas

Se realizaron dos salidas de campo hacia el cantón Vinces de la provincia de Los Ríos en el humedal abras de mantequilla, enlistado como parte de los sitios

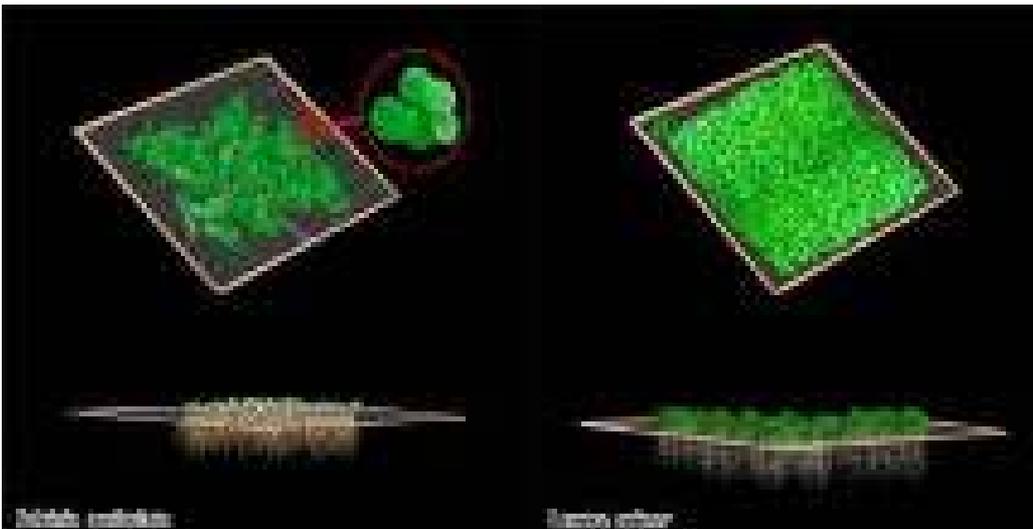


Figura 1. Prototipo de la isla flotante con la especie *Salvinia auriculata* y *Lemna minor*.

RAMSAR debido a su gran variedad de flora y fauna, en la que se colectó la especie *Salvinia auriculata* cuyas coordenadas (UTM WGS 84: 646747 - 9829644); mientras que la especie *Lemna minor* se obtuvo de una albarrada en Cascajal (UTM WGS 84: 587132 - 9800141), perteneciente al cantón Pedro Carbo de la provincia del Guayas.

Dichas especies se encontraron en gran cantidad en la época de lluvia por los meses de noviembre a marzo, y en época seca estas especies se reducen en gran porcentaje su población.

#### Reproducción de las plantas

Las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* fueron recolectadas y posteriormente puestas en reproducción en contenedores de polietileno de alta densidad con una capacidad para 20 L. Para reducir la proliferación de microalgas, se impidió el contacto de la luz natural con el contenedor en forma directa, mediante una envoltura con bolsas de plástico negras, luego se colocó agua con fertilizante (MultiFlor®), compuesto por Nitrógeno, Fósforo, Potasio y microelementos, del cual se utilizó 20 ml según las instrucciones del fabricante.

#### Bioensayo

Las especies se sometieron a un tratamiento de preparación en el cual se lavó con agua del grifo, seguido de agua destilada. Las especies utilizadas fueron *Lemna minor*, *Salvinia auriculata* y la combinación de las especies antes mencionadas.

Luego se procedió a pesar la biomasa por triplicado para cada uno de las especies, con *Lemna minor* se pesaron 30 gr de biomasa, para *Salvinia auriculata* se pesaron 58 gr de biomasa y en el tratamiento combinado se pesó 15 gr para *Lemna minor* y 15 gr para *Salvinia auriculata* dando un total de 30 gr para la isla flotante con las especies combinadas. Para el final del bioensayo se realizó el pesaje de la biomasa en una balanza analítica (Sartorius BL3100).

El principio que se utilizó para medir las cantidades que se emplearon en el bioensayo fue que alcanzara a cubrir la mayor superficie de la isla. También se implementó un control negativo por triplicado de aguas negras sin tratamiento. Luego se procedió a montar las islas en recipientes con un volumen inicial de 5000 ml de aguas negras, el mismo que al finalizar el bioensayo se calculó el volumen final.

El tiempo de retención de las aguas negras con los tratamientos fueron por un lapso de 8 días en los que midieron varios parámetros fisicoquímicos como: pH (usando un peachimetro digital Gery pH107), TSD (EC - 135) y temperatura (termómetro de mercurio) las mismas que tuvieron relación con la efectividad de las islas al primero, quinto y octavo día. Luego se tomó una muestra de agua donde se realizó los análisis microbiológicos, dando como resultado nuestra concentración inicial de *Escherichia coli* y coliformes totales mediante la técnica del agar Chromocult,

el cual se comparó con las concentraciones finales evidenciando la efectividad de la propuesta.

#### Fase de Laboratorio

Se realizó la recepción de la muestra al laboratorio del Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IIRN) y se procedió a homogenizarla para posteriormente tomar 1 ml para realizar las diluciones correspondientes. Simultáneamente se preparó el medio de cultivo Agar Chromocult.

En los análisis se utilizó el método de vertido en placa. El cual se tomó 1 ml proveniente de las diluciones sucesivas de 1/10-1, 1/10-2, 1/10-3, 1/10-4, 1/10-5 en un medio enriquecido (agua de peptona), se obtuvo 1 ml de cada dilución y se sembró en cajas Petri, luego se añadió 15 ml de Agar Chromocult, se homogenizó la muestra. Luego se dejó solidificar alrededor de unos minutos para luego incubar las placas a una temperatura de 35 -37°C por 24 horas. Y al término de las 24 horas se procedió al conteo de las colonias.

## Resultados

Los niveles de *E. coli* en el agua negra del canal del campus de la Universidad de Guayaquil fue de  $1,673 \times 10^7 \pm 2,510 \times 10^6$  UFC/100 mL, y de coliformes totales  $3,773 \times 10^7 \pm 2,557 \times 10^6$  valores que superan al límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce que corresponde a 2000 UFC/100mL establecidos en el TULSMA.

#### Diseño de isla flotante

##### Cobertura de la vegetación

La biomasa obtenida se midió en gramos de plantas vivas, pese a esto no se consideró como una cantidad de referencia, puesto que se empleó la cantidad necesaria para cubrir la superficie de la isla flotante. Por otro lado la tasa de crecimiento de la biomasa de las especies *L. minor*, *S. auriculata* y las especies combinadas, en el cual se evidenció que en el tiempo de exposición de los sustratos con las aguas negras que fue de 8 días, no hubo un crecimiento de la biomasa, por el contrario en una de las especies la biomasa se redujo a más de la mitad en comparación con el valor inicial.

#### Materiales para lograr la flotabilidad

- Palo de bambú
- Poliestireno expandido
- Cuerda
- Malla de nylon

En el montaje de las islas flotantes se utilizó 4 estructuras de madera en forma cilíndrica, uniendo los extremos con cuerda por medio de un amarre cuadrado, luego se colocó la malla de nylon donde se ubicaron las especies. Posteriormente se instaló barreras de poliestireno expandido permitiendo el control en la reproducción de las especies evitando que se proliferen reduciendo el riesgo de eutrofización;

también fue conveniente instalar dichas barreras ya que mejoraban la flotabilidad de la isla.

### Bioensayo de remoción

La concentración de *E. coli* a través del tiempo mostró una reducción significativa en los tratamientos con las macrófitas (Figura 2). En el quinto día del experimento la concentración a *E. coli* se redujo de  $1,67 \times 10^7$  en el control a  $5,7 \times 10^4$  UFC/100 mL en *Lemna minor*,  $1,10 \times 10^5$  UFC/100 mL en *Salvinia auriculata* y  $3,46 \times 10^4$  UFC/100 mL en el tratamiento combinado.

A los 8 días de exposición se evidenció una reducción significativa de la concentración de *E. coli* en los tratamientos en comparación del control ( $F=61,05$  y  $p=0,000$ ) (Figura 3). Hubo una reducción de  $1,1 \times 10^5$  UFC/100 mL en el control a  $3,10 \times 10^2$  UFC/100 mL en *S. auriculata*,  $9 \times 10^3$  UFC/100 mL en *L. minor* y  $3 \times 10^3$  UFC/100 mL en el tratamiento combinado. No obstante, los tratamientos con *S. auriculata* y la combinación de las especies presentaron una reducción significativa con respecto al control. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas según el test de Tukey entre los tratamientos, siendo los dos más efectivos del ensayo.

En las concentraciones de coliformes totales se observó mayor efectividad de los tratamientos con *S. auriculata* mostrando diferencias significativas ( $F=10,50$  y  $p=0,004$ ), pero a diferencia de *E. coli* no se logró alcanzar los límites máximos permisibles.

Tomando en cuenta la concentración inicial de coliformes totales  $3,78 \times 10^7$  UFC/100 mL, hubo una reducción en los tratamientos a  $2,46 \times 10^5$  UFC/100 mL en *L. minor*,  $8,83 \times 10^5$  UFC/100 mL en *S. auriculata* y  $1,65 \times 10^5$  UFC/100 mL (Figura 4) en el tratamiento combinado del quinto día de experimentación.

Al término del bioensayo la concentración del control fue de  $1,60 \times 10^6$  UFC/100 mL disminuyendo

significativamente a  $9,76 \times 10^4$  UFC/100 mL en *L. minor*,  $4,33 \times 10^4$  UFC/100 mL en *S. auriculata* y en el combinado la concentración final fue de  $6,03 \times 10^4$  UFC/100 mL (Figura 5).

### Parámetros fisicoquímicos a través de los días

El pH en el agua negra se incrementó a través del tiempo en todos los tratamientos de 6,8 en el día inicial a 7,40 en el control, 7,1 en *L. minor* y *S. auriculata* y 7,2 en el tratamiento combinado ( $H=8,65$ ;  $p=0,034$ ) mostrando diferencia significativa entre ellas. Al inicio del experimento la temperatura fue de  $26^\circ\text{C}$ , luego se mantuvo constante durante el experimento en todos los tratamientos con una media de  $27^\circ\text{C}$  en la duración del bioensayo. En cambio con respecto al TSD no presento diferencias significativas entre los tratamientos a los 8 días del bioensayo ( $H=2,50$ ;  $p=0,476$ ). El TSD aumento en el tiempo de forma significativa de  $690 \pm 0,0$  ppm, a  $702,50 \pm 15,45$  ppm a los 5 días y  $770 \pm 14,43$  ppm a los 8 días. Al quinto día se evidenció diferencias significativas de

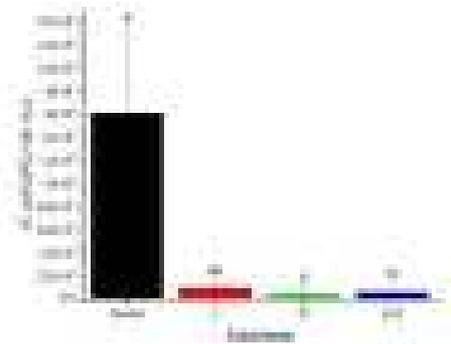


Figura 3. Comparación de la concentración de *E. coli* entre los tratamientos al final del experimento. Los resultados se muestran como medias  $\pm$  desviación estándar ( $n=3$ ). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p>0,05$ ).

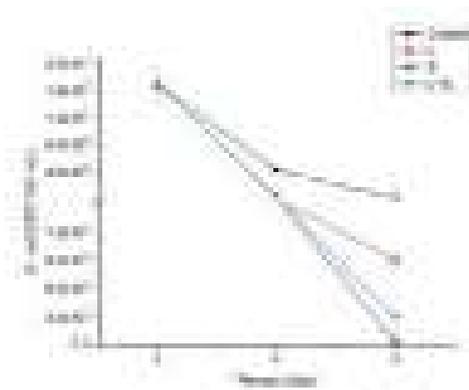


Figura 2. Concentración de *E. coli* en los diferentes tratamientos durante los 8 días del bioensayo. Control: agua negra sin plantas, L: *Lemna minor*, S: *Salvinia auriculata*, L+S: tratamiento combinado de *L. minor* + *S. auriculata*.

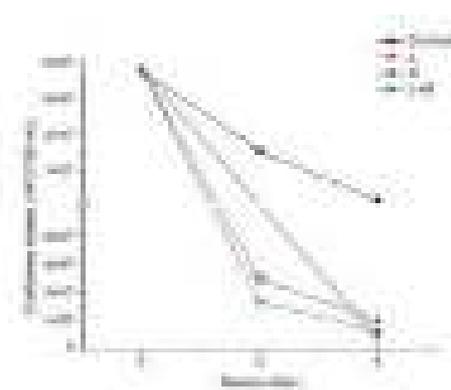


Figura 4. Concentración de Coliformes totales en los diferentes tratamientos durante los 8 días del bioensayo. Control: agua negra sin plantas, L: *Lemna minor*, S: *Salvinia auriculata*, L+S: tratamiento combinado de *L. minor* + *S. auriculata*.

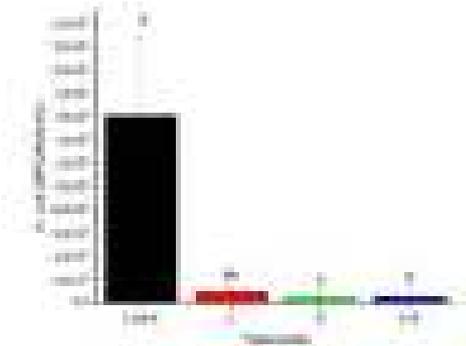


Figura 5. Comparación de la concentración de Coliformes totales entre los tratamientos al final del experimento. Los resultados se muestran como medias  $\pm$  desviación estándar (n=3). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Tabla 1. Datos de los Parámetros Físicoquímicos en el inicio y final del bioensayo. L: Lemna minor; S: Salvinia auriculata; L+S: L. minor + S. auriculata

|     | DIA 0 |                           |                  | DIA 8 |                           |                  |
|-----|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|------------------|
|     | pH    | Sólidos Disueltos totales | Temperatura (C°) | pH    | Sólidos Disueltos totales | Temperatura (C°) |
| L   | 6,8   | 690                       | 26               | 7,3   | 773,3                     | 27               |
| S   | 6,8   | 690                       | 26               | 7,2   | 776,7                     | 27               |
| L+S | 6,8   | 690                       | 26               | 7,2   | 776,7                     | 27               |

723,33  $\pm$  5,77 ppm, entre el control con *L. minor* y *S. auriculata* 693,33  $\pm$  5,77 ppm y 690,00  $\pm$  10,00 ppm respectivamente ( $F=9,00$  y  $p=0,06$ ), (Tabla 1).

### Efectividad

En el tratamiento con *Salvinia auriculata* durante los 8 días del bioensayo resultó más efectivo, ya que se evidenció una remoción del 99,99% para *E. coli* cumpliendo con los límites permisibles para descarga en un cuerpo de agua dulce. Por otro lado, *S. auriculata* obtuvo un porcentaje de remoción del 99,89% para coliformes totales. A diferencia con la remoción de *E. coli* ésta no cumple con los límites máximos permisibles, pero sigue siendo el que mayor porcentaje de efectividad alcanzó entre los otros tratamientos.

Adicional a esto los porcentajes de remoción de *E. coli* y coliformes totales para los tratamientos con *Lemna minor* fueron de 99,95% y 99,74% respectivamente. Por otra parte los porcentajes de disminución de microorganismos patógenos para el tratamiento combinado con *L. minor* y *S. auriculata* para *E. coli* fue de 99,98% y para coliformes totales fue de 99,84%. (Figura 6).

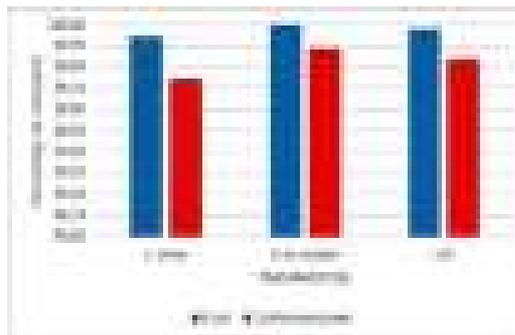


Figura 6. Porcentajes de remoción de *E. coli* y coliformes totales en los tratamientos de Lemna minor, Salvinia auriculata y la combinación de las especies.

### Discusión

Los niveles de *E. coli* y coliformes totales en las aguas negras del efluente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) de la legislación nacional. En el anexo 1 del Libro VI - TULSMA (AM097A, 2015) estipula que las concentraciones de coliformes fecales son de máximo 2000 NMP/100 mL para descargas tanto a cuerpos de agua dulce como agua marina. Por lo cual las concentraciones obtenidas exceden hasta 8000 veces el límite establecido. Por otro lado, en los criterios de calidad del agua para riego y uso pecuario se establece un máximo de 1000 NMP/100 mL, donde las concentraciones estudiadas sobrepasaron 16000 veces los límites de la norma, lo que indica que las aguas negras no son aptas para riego ni uso pecuario.

En anexo 1 del Libro VI - TULSMA del Ecuador (AM097A, 2015) no menciona algún límite máximo permisible para coliformes totales en descargas. Sin embargo, si menciona los criterios de calidad de agua para uso recreacional ya sea este de contacto primario o secundario donde establece los límites de 2000 y 4000 NMP/100 mL, respectivamente. De manera que las concentraciones exceden por encima de la norma hasta 18000 veces para contacto primario y 9000 veces para contacto secundario.

Al igual que el presente trabajo León et al. (2018) realizó sus análisis en las descargas del canal de la Facultad de Ciencias Naturales el cual obtuvo un resultado de 12x101 UFC/100 mL para *Escherichia coli* y 42x102 UFC/100 mL para Coliformes totales. En el cual se evidencia valores inferiores a los obtenidos en el presente trabajo, esta diferencia podría deberse León et al. (2018) que realizaron el muestreo en época de lluvia, generando un efecto de dilución.

Por otro lado, en diseño de la isla flotante que se utilizó materiales óptimos para lograr la flotabilidad con la particularidad de implementar una barrera de poliestireno expandido, evitando que las macrófitas

salgan del área de la isla e incrementa la posibilidad de que el cuerpo de agua se eutrofice. En otro estudio similar Headley & Tanner (2006) utilizaron tubos sellados de PVC o PP, láminas de poliestireno, bambú o almohadas inflables de vinilo para proporcionar flotación. Por otro lado, la eficacia de las islas flotantes se puede mejorar agregando una gran variedad de suplementos o combinando diversas tecnologías, así lo asegura.

Zhao et al. (2012) Zhejiang Province. This study indicated that average removal rates for total nitrogen (TN, donde realizó una estructura de 4 bambúes cubierta con una red de plástico y portadores de biofilm adsorbentes (bola hueca de múltiples caras) que se colocaron debajo de las redes de plástico. De igual manera el experimento logro buena flotabilidad y las especies no se salieron de las islas, demostrando que el diseño fue eficiente además de ser económico.

Por lo que se refiere al tratamiento realizado con la especie *Lemna minor* tuvo una eficiencia de remoción de *E. coli* de 99,95% y para coliformes totales de 99,74%, al igual que lo confirma León et al. (2018) que utilizó esta especie como control positivo en la remoción de *E. coli* alcanzando un 99% de efectividad.

De igual manera, Papadopoulos & Tsihrintzis (2011) implementaron un sistema con *L. minor* a gran escala, sin aireación, solo alimentando el tanque con agua residual diariamente y descargando el agua tratada, por el lapso de un año. En los análisis anuales estos autores obtuvieron una remoción del 99,65% para *E. coli*, asemejándose en los resultados obtenidos con los del presente estudio.

Otras aplicaciones descritas para *Lemna sp.* En el tratamiento de aguas, es la reducción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub> y metales pesados. Según Cedergreen & Madsen (2002), *Lemna sp.* es capaz de absorber NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub> a través de raíces y hojas; así mismo, se usó a *L. minor* como parte del tratamiento de aguas residuales de una empresa textil en la cual Yaseen & Scholz (2018), aseguran que obtuvieron una reducción considerable de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub> presentes en las tintas. Por otro lado, con respecto a los metales pesados, Ramírez (2017) demostró que *Lemna minor* disminuyó considerablemente las concentraciones de plomo en agua. De igual manera, Verma & Suthar (2015) obtuvieron una reducción de la concentración de Cd y Pb en agua de 84,8% y 93,8% respectivamente, en 7 días de retención.

Por lo anteriormente descrito, *Lemna minor* es efectiva para fitorremediación de ambientes contaminados con coliformes totales, *E. coli* y también metales pesados, nitrógeno, entre otros contaminantes.

También se recomienda utilizar un tiempo de retención entre 7 y 8 días, ya que fue el tiempo óptimo en el presente trabajo para la remoción de las bacterias. Este mismo tiempo lo demostraron

León et al. (2018), Varela (2017), Vasconez (2017), Verma y Suthar (2015).

Cabe señalar que en esta investigación, el tratamiento con *Salvinia auriculata* obtuvo un porcentaje de remoción de 99,99% para *E. coli* y 99,89% para coliformes totales, de igual modo León et al. (2018) obtuvo un porcentaje de remoción de 99,99% tanto para *Escherichia coli* como coliformes totales.

Sin embargo, en el estudio de Pinto, Henares, Cruz y Amaral (2009) utilizaron las especies *Eichhornia crassipes* y *Salvinia molesta* para reducir *E. coli* en efluentes de una camaronera, que al contrario con este estudio, obtuvieron mayor eficiencia con *E. crassipes* con un porcentaje de remoción del 88,23% y con *S. molesta* obtuvieron una eficiencia del 76,47%. En otros casos, Nithya, Jayanthi, & Raghunathan (2015) analizó el extracto de hojas de *S. molesta* en viz, etanol, acetona, cloroformo y éter de petróleo, y confirmaron la presencia de componentes bioactivos que inhiben el crecimiento de *E. coli* y *B. subtilis*.

Por otro lado, en el tratamiento combinado con las especies *S. auriculata* y *L. minor*, obtuvo un porcentaje de remoción de 99,98% para *E. coli* y 99,84% para coliformes totales. Del mismo modo, León et al. (2018) realizaron una combinación con la especie de menor eficiencia *Eichhornia crassipes* con *Salvinia auriculata* que alcanzó mayor efectividad de remoción para coliformes fecales y totales, en la cual se obtuvo una efectividad del 100% para *E. coli* y redujo 5 unidades logarítmicas en la concentración de coliformes totales en relación con el control.

También, Pinto et al. (2009) realizó la combinación con *E. crassipes* y *S. molesta* para eliminación de *E. coli* en efluentes de camaroneras en la cual alcanzaron un porcentaje de efectividad del 78,82%. De manera que se comprobó que *E. crassipes* no es la mejor especie en relación con *S. auriculata* y *L. minor* para reducir coliformes fecales.

Por otro lado, Diniz, de Ceballos, L. Barbosa, & Konig (2005), aseguran que el efecto filtrador que tienen las macrófitas, se debe a la exposición de sus raíces con el medio por lo que las raíces se recubren de material orgánico y mucilaginoso reduciendo así las concentraciones de coliformes fecales, nutrientes y metales pesados.

Con respecto al pH de los bioensayos, se determinó un incremento en el agua de los tratamientos con *L. minor* y *S. auriculata*. Según Papadopoulos, Tsihrintzis y Zdragas (2011) *L. minor* produce una condición alcalina en el agua, la misma que es conveniente para la disminuir los agentes patógenos bacterianos. También, en el caso de los metales pesados, Al-Khafaji et al. (2018) asegura que la efectividad de remoción de metales se correlaciona positivamente al aumento del pH del agua.

Además, Celis-Hidalgo, Junod-Montano, & Sandoval-Estrada (2005) determinaron que las macrófitas son aptas para tratar efluentes ácidos de actividades mineras, duplicando el valor del pH. Por lo que afirmaron que el aumento del pH tiene relación con el desarrollo de las plantas, permitiéndoles absorber más contaminantes.

Al igual que en el presente trabajo León et al. (2018), Ramírez (2017), Varela (2017), Vasconez (2017) evidenciaron un aumento en el pH de sus estudios, por lo cual hubo una reducción significativa en las cargas contaminantes.

En cuanto a las mediciones de TSD se evidenció un aumento en el control al transcurso de los días, al igual que el incremento en su población bacteriana, esto se debe a que según Lechevallier, Norton, & Lee (1991) las partículas pueden proporcionar protección a los microorganismos, promoviendo el recrecimiento de los agentes patógenos. Por otro lado, el aumento en la concentración de TSD en los tratamientos se debe a la generación de materia orgánica por parte de las plantas.

También hay que tomar en cuenta que en el control hubo una disminución de la población bacteriana y esto se debe a que según Geldreich (1990) ocurre muerte natural de las bacterias al entrar al sistemas de aguas residuales, en un 30% de *Escherichia coli* y otras diversidades de coliformes incrementan su población.

## Conclusiones

Podemos evidenciar que los niveles de *Escherichia coli* en aguas negras de la Facultad de Ciencias Naturales fueron de  $1,673 \times 10^7$  UFC/100 mL y las concentraciones de coliformes totales fueron de  $3,773 \times 10^7$  UFC/100 mL sobrepasando el límite máximo permisible para descargas.

Los materiales óptimos para el ensamble de las islas flotantes fueron estructuras de bambú, malla de nylon y también se implementó barreras de poliestireno expandido, siendo una de las tecnologías más efectivas y económicamente accesibles.

En los análisis microbiológicos se obtuvo para *Escherichia coli* la concentración inicial de  $1,673 \times 10^7$  UFC/100 mL en la cual luego del bioensayo su concentración final se redujo a  $1,1 \times 10^5$  UFC/100 mL en el control debido a la muerte natural de las bacterias, en los tratamientos se obtuvo las siguientes concentraciones finales  $3,10 \times 10^2$  UFC/100 mL en *Salvinia auriculata*,  $9 \times 10^3$  UFC/100 mL en *Lemna minor* y  $3 \times 10^3$  UFC/100 mL en el tratamiento combinado.

Para las concentraciones de coliformes totales se inició con  $3,78 \times 10^7$  UFC/100 mL, al término del bioensayo se obtuvieron las siguientes concentraciones: en el control fue de  $1,60 \times 10^6$  UFC/100 mL esto se debe a la

muerte natural de las bacterias. También se disminuyeron las concentraciones de coliformes totales a  $4,33 \times 10^4$  UFC/100 mL en *Salvinia auriculata*,  $9,76 \times 10^4$  UFC/100 mL en *Lemna minor* y en el combinado fue de  $6,03 \times 10^4$  UFC/100 mL.

El porcentaje de efectividad de los tratamientos con las dos especies y el tratamiento combinado estuvieron en el rango de 99 a 99,99% de efectividad. Por lo cual se acepta la hipótesis de trabajo, al comprobar que el uso de islas flotantes con las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* son efectivas para disminuir la presencia *Escherichia coli* y coliformes totales, siendo el tratamiento con *Salvinia auriculata* el de mayor eficacia obteniendo porcentajes de remoción de 99,99% para *E. coli* y 99,89% para coliformes totales.

## Recomendaciones

Replicar el proceso de fitorremediación de aguas residuales mediante islas flotantes, en comunidades rurales.

Colocar las macrófitas *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* en sistemas controlados para evitar los daños que genera su acelerada reproducción en plantaciones o cuerpos de agua.

Se recomienda realizar nuevos ensayos con las macrófitas que impliquen un sistema de flujo continuo de agua.

Realizar nuevos ensayos integrados donde se analice la capacidad de remoción de metales pesados y coliformes totales al mismo tiempo en aguas residuales.

Implementar la técnica de islas flotantes en la etapa de clarificación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

## Referencias

- Abdel-Shafy, H. I., & El-Khateeb, M. A. (2013). Integration of septic tank and constructed wetland for the treatment of wastewater in Egypt. *Desalination and Water Treatment*, 51(16-18), 3539-3546. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.749585>
- Al-Khafaji, M. S., Al-Ani, F. H., & Ibrahim, A. F. (2018). Removal of Some Heavy Metals from Industrial Wastewater by Lemna Minor. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 22(4), 1077-1082. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1112-x>
- AM097A. (2015). Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria, 1-184. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/>
- Cedergreen, N., & Madsen, T. V. (2002). Nitrogen uptake by the floating macrophyte Lemna minor. *New Phytologist*, 155(2), 285-292. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00463.x>
- Celis-Hidalgo, J., Junod-Montano, J., & Sandoval-Estrada, M. (2005). Recientes Aplicaciones De La Depuración De Aguas Residuales Con Plantas Acuáticas. *Theoria*, 14(1), 17-25. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/299/29900103.pdf>

- Diniz, C., de Ceballos, B., L. Barbosa, J., & Konig, A. (2005). Uso de macrófitas acuáticas como solução ecológica para melhoria da qualidade de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 226-230. <https://doi.org/10.1017/S0922156510000348>
- Geldreich, E. E. (1990). *Microbiological Quality of Source Waters for Water Supply. Drinking Water Microbiology*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4464-6\\_1](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4464-6_1)
- Headley, T., & Tanner, C. (2006). Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: A review. *Auckland Regional Council*, (November), 96 p. Retrieved from <http://www.oracwa.org/files/news/592/NIWA-Research---Floating-Wetland-Review-Final.pdf>
- Lechevallier, M. W., Norton, W. D., & Lee, R. G. (1991). Giardia and Cryptosporidium spp. in filtered drinking water supplies. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(9), 2617-2621.
- León, Pernía, Sigüencia, Franco, Noboa, & Cornejo. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas ( Evaluation of the potential of aquatic plants to remove total coliforms and *Escherichia coli* from wastewater ). *Enfoque UTE*, 9-N.4, 131-144. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- Nithya, T. G., Jayanthi, J., & Raghunathan, M. G. (2015). Phytochemical, antibacterial and GC MS analysis of a floating fern *salvinia molesta* D.S. Mitchell (1972). *International Journal of PharmTech Research*, 8(9), 85-90.
- Papadopoulos, F. H., & Tsihrintzis, V. A. (2011). Assessment of a full-scale duckweed pond system for septage treatment. *Environmental Technology*, 32(7), 795-804. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.514009>
- Papadopoulos, F. H., Tsihrintzis, V. A., & Zdragas, A. G. (2011). Removal of faecal bacteria from septage by treating it in a full-scale duckweed-covered pond system. *Journal of Environmental Management*, 92(12), 3130-3135. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.08.008>
- Pinto, F., Henares, M., Cruz, C., & Amaral, L. (2009). Remoção de *Escherichia coli* de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. *ARS Veterinaria*, (16), 147-150.
- Ramírez, L. (2017). *Propuesta de desarrollo de un biofiltro para remoción de plomo en el agua de consumo de los pobladores del recinto Yurima - Daule*. Universidad de Guayaquil. Retrieved from [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21020/1/Tesis Lissette Ramirez Moreira.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21020/1/Tesis%20Lissette%20Ramirez%20Moreira.pdf)
- Varela Barreno, J. (2017). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales del estero fecaol Puente Lucia provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil.
- Vasconez Garcia, L. A. (2017). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales en aguas en un tramo del estero caluma en el cantón Caluma (provincia de Bolívar)*. Universidad de Guayaquil.
- Verma, R., & Suthar, S. (2015). Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impa ct of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297-1304. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014>
- Wolff, G., Assis, L. R., Pereira, G. C., Carvalho, J. G., & Castro, E. M. (2009). Efeitos da toxicidade do zinco em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva. *Planta Daninha*, 27(1), 133-137. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000100017>
- Yaseen, D. A., & Scholz, M. (2018). Treatment of synthetic textile wastewater containing dye mixtures with microcosms. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1980-1997. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0633-7>
- Zhao, F., Xi, S., Yang, X., Yang, W., Li, J., Gu, B., & He, Z. (2012). Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. *Ecological Engineering*, 40, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.012>
- Zhou, J. (2015). *Faecal indicator bacteria monitoring in blue-green algae contaminated water*. Queen 's University.
- Zimmels, Y., Kirzchner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*, 81(4), 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.014>

## Efectos del cadmio sobre la germinación y biomasa en variedades de caña de azúcar de la cuenca baja del guayas

### Effects of Cadmium on Germination and Biomass in Sugarcane Varieties of the Lower Guayas Basin

Alejandro Gallardo C.<sup>1</sup>, Beatriz Pernía S.<sup>2</sup>, Mariuxi Mero V.<sup>2</sup>, Ana Arellano L.<sup>3</sup>, Carla Risco V.<sup>4\*</sup>, Darío Alvarado N.<sup>4</sup> & Henry Aguirre S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Docente investigador de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.*

<sup>2</sup> *Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.*

<sup>3</sup> *Directora del Centro de Investigación de Desarrollo de la Caña de Azúcar de la UNCE, kilómetro 53 Vía Durán-Tambo, El Triunfo, Ecuador.*

<sup>4</sup> *Estudiante de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.*

Recibido 29 de marzo 2019; recibido en forma revisada 18 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019  
Disponibile en línea 26 de junio 2019

#### Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del cadmio sobre la germinación y biomasa de cuatro variedades de caña de azúcar de la cuenca baja del Guayas, para proponer una modificación del límite máximo permisible de cadmio en suelos cultivados con esta especie. Se expusieron muestras de las variedades Ragnar, ECU-01, CC 85-92 y CC-22 al crecimiento durante 21 días en un medio contaminado con cinco concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L). El cadmio no presentó efectos sobre la germinación. Las radículas de las variedades Ragnar, ECU-01 y CC-22 fueron significativamente afectadas en todos los tratamientos, mientras que los hipocótilos presentaron afectación en los tratamientos de 2 y 8 mg/L en ECU-01 y 2 mg/L en CC-22. La biomasa se vio afectada únicamente en la variedad ECU-01, donde el tratamiento de 2 mg/L provocó una reducción del 51 % de esta. El índice integral de fitotoxicidad reveló que este metal resultó tóxico en todos los tratamientos de las cuatro variedades; por otro lado, el índice de tolerancia mostró que la variedad CC 85-92 fue la más tolerante, mientras que ECU-01 resultó menos tolerante a los efectos del cadmio. Finalmente, el índice de tolerancia y la biomasa de plántulas expuestas a experimentación con 0.25 mg/L, demostraron que a esta concentración ninguna de las variedades de caña de azúcar presentó afectaciones significativas, por lo que dicha concentración puede ser considerada como límite máximo permisible en suelos cultivados con la especie *Saccharum officinarum*.

**Palabras claves:** Caña de azúcar, índice de tolerancia, índice integral de fitotoxicidad, radículas, hipocótilos

#### Abstract

The aim of this research was to evaluate the effects of cadmium on the germination and biomass of four varieties of sugarcane from the lower basin of the Guayas river, in order to propose a modification in the maximum allowable limit of cadmium in soils cultivated with this specie. Samples of the varieties Ragnar, ECU-01, CC 85-92 and CC-22 were exposed to growth during 21 days in a contaminated environment with five concentrations of cadmium (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L). Cadmium did not have effects on germination. Radicles of the Ragnar, ECU-01 and CC-22 varieties were significantly affected in all the treatments, while the hypocotyls showed affectation in the treatments of 2 and 8 mg/L in ECU-01 and 2 mg/L in CC-22. The biomass was affected only in the ECU-01 variety, where the treatment of 2 mg/L caused a reduction of 51 % on it. The phytotoxicity integral index evidenced that the heavy metal was toxic in all the treatments of the four varieties; on the other hand, the tolerance index proved that CC 85-92 variety was the most tolerant, while ECU-01 was less tolerant to the effects of cadmium. Finally, the tolerance index and the biomass of seedlings exposed to experimentation with 0.25 mg/L, showed that to this concentration none of the varieties of sugarcane were affected significantly, so, that concentration can be considered as the maximum allowable limit in soils cultivated with the specie *Saccharum officinarum*.

**Key words:** Sugarcane, tolerance index, phytotoxicity integral index, radicles, hypocotyls

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: carlariscov@gmail.com



## Introducción

La caña de azúcar es considerada uno de los cultivos agrícolas más importantes a nivel global, debido a que más de las tres cuartas partes de la materia prima necesaria para elaborar el azúcar de mesa, proceden de la caña (Organización Internacional del Azúcar, 2018). Según los registros de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017), los sembríos de caña de azúcar se encuentran distribuidos ampliamente por el mundo, siendo los continentes americano y asiático los líderes en producción con el 55.7% y 37.2%, respectivamente.

Por su parte, en Ecuador la caña de azúcar destaca entre los cultivos permanentes líderes en producción y rendimiento, superando incluso a aquellos cultivos que cuentan con mayor área cosechada como el cacao y la palma africana. La distribución a nivel nacional se encuentra principalmente en la región Costa, la provincia del Guayas encabeza dicha distribución al abarcar el 82.8% del total, seguido por las provincias de Cañar y Loja, en la región Sierra (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017).

La agricultura es uno de los principales eslabones que sostiene diariamente la economía del Ecuador; por ello es fundamental tomar en cuenta que los suelos agrícolas son fácilmente susceptibles a la contaminación por metales pesados como el cadmio, mediante productos de uso común en la actividad como los fertilizantes o por medio del riego de los cultivos con aguas contaminadas con este metal (Bak, Jensen, Larsen, Pritzl & Scott-Fordsmand, 1997; Grant & Sheppard, 2008; European Food Safety Authority, 2009).

En Ecuador existe evidencia objetiva de la contaminación de los suelos agrícolas del litoral con cadmio (Mite, Carrillo & Durango, 2010; Pozo, Sanfeliu & Carrera, 2011); incluso, su presencia ha sido detectada en la almendra de cacao superando los límites máximos permisibles inocuos para la salud humana (Acosta & Pozo, 2013). Además, se ha manifestado que algunos de los fertilizantes que son comercializados en el agro ecuatoriano, contienen niveles alarmantes de cadmio que superan de forma significativa los términos establecidos por entidades internacionales (Muñoz, 2017).

Entre los efectos del cadmio sobre los humanos descritos por Saxena, Azad y Shrinet (2016); Souza, Martínez, Bucio, Gómez y Gutiérrez (2012); Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton (2012), se encuentra el cáncer y consecuencias adversas en los huesos y los riñones. Por otro lado, en las plantas puede provocar desde el retardo de las funciones fisiológicas y morfológicas, hasta la muerte del vegetal en altas concentraciones (Alpizar & Cruz, 2012; Arenas & Hernández, 2012; Jali, Pradhan & Das, 2016). Estudios similares como el de Benavides *et al.* (2018), demostraron que el cadmio puede provocar impactos negativos en el crecimiento de las radículas de una variedad de mangle. Por otro lado,

Liu, Yang, Xie, Xia y Fan (2012) manifestaron que hay efectos contraproducentes sobre la germinación y el crecimiento de un arbusto de la especie *Suaeda salsa* sometido a la presencia de cadmio.

Para el efecto de este trabajo se seleccionaron esquejes de cuatro variedades de caña de azúcar, posteriormente, estos fueron expuestos por cuadruplicado durante 21 días y en un ambiente controlado al crecimiento en un medio de cultivo líquido contaminado con solución de cadmio en cinco concentraciones, 0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd, más un testigo (0 mg/L).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del cadmio sobre cuatro de las variedades comerciales de caña de azúcar más importantes de la cuenca baja del río Guayas, Ragnar, CC 85-92, ECU-01 y CC-22; específicamente aquellos efectos sobre la germinación y biomasa.

## Materiales y Métodos

**Material vegetal.** Para seleccionar las muestras de las cuatro variedades de caña de azúcar cultivadas en la zona de influencia de la cuenca baja del río Guayas, se consideraron las variedades cuyos esquejes tuvieran entre siete y nueve meses edad, puesto que ese es el rango de tiempo que usualmente garantiza un mayor porcentaje de germinación al momento de su propagación. Otra característica que se tomó en cuenta para la selección de las muestras, fue la uniformidad en los diámetros de los esquejes.

**Bioensayo.** Para exponer las muestras a los diferentes tratamientos, se diseñó una metodología que consistió en atar cada muestra a un palillo de madera con dos cinchos, uno a cada lado de la yema. Se etiquetaron tarrinas de plástico con un código alusivo a cada variedad y concentración, y se colocaron las muestras en las tarrinas sujetas por el palillo. Posteriormente, cada tarrina se llenó con aproximadamente 400 ml de solución, de tal forma que las muestras quedaron semisumergidas por cuadruplicado en las soluciones de cadmio a distintas concentraciones (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd), además del grupo testigo que, asimismo por cuadruplicado quedó semisumergido en agua destilada. Las tarrinas fueron coladas en una cámara de germinación por un lapso de 21 días.

**Porcentaje de germinación.** Los esquejes se consideraron germinados una vez que apareció el hipocótilo. El tiempo de exposición de las variedades de caña de azúcar al medio de cultivo con distintas concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L Cd), fue de 21 días, sin embargo, para obtener la tasa de germinación se consideraron los 10 primeros días, el porcentaje se determinó según la fórmula de Cokkizgin y Cokkizgin (2010):

$$G = \frac{N - N_0}{N} \times 100$$

**Pg:** Porcentaje de germinación  
**n:** Número de semillas germinadas

$$IF = 100 \left( \frac{SGM}{SGC} \right) \left( \frac{LRM}{LRC} \right) \left( \frac{LHM}{LHC} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

**Índice integral de fitotoxicidad.** Se determinó la toxicidad del cadmio sobre las diferentes variedades de caña de azúcar, empleando la fórmula propuesta por Pernía *et al.* (2018):

- SGM:** Número de semillas germinadas de la muestra, es el promedio del número de semillas germinadas en las cuatro réplicas para cada tratamiento (n = 4).
- SGC:** Número de semillas germinadas del control, es el promedio del número de semillas germinadas en las cuatro réplicas del testigo (n = 4).
- LRM:** Longitud de la radícula de la muestra, es el promedio de la medición en centímetros de las radículas de 10 plántulas por réplica de cada tratamiento (n = 40).
- LRC:** Longitud de la radícula del control, es el promedio de la medición en centímetros de las radículas de 10 plántulas por réplica del testigo (n = 40).
- LHM:** Longitud del hipocótilo de la muestra, es el promedio de la medición en centímetros de los hipocótilos de 10 plántulas por réplica de cada tratamiento (n = 40).
- LHC:** Longitud del hipocótilo del control, es el promedio de la medición en centímetros de los hipocótilos de 10 plántulas por réplica del testigo (n = 40).

**Índice de tolerancia.** Se determinó según la ecuación propuesta por Wilkins (1978):

$$IT = \frac{LRC - LRM}{LRC} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

**LHm:** Biomasa de los hipocótilos de las plántulas que crecieron en presencia del cadmio.  
**LHc:** Biomasa de los hipocótilos de las plántulas en ausencia del cadmio.

**Análisis estadístico.** Los resultados se muestran como promedios ± desviación estándar. Se determinó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Anderson-Darling y la igualdad de varianza mediante el test de Levene. Se compararon las medias entre tratamientos y variedades utilizando una prueba ANOVA de una vía, tomando p<0.05 como valor significativo y los resultados se verificaron por medio de la prueba de significancia de Tukey. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el programa Minitab versión 17.0., los gráficos se realizaron en el software OriginPro versión 8.0.

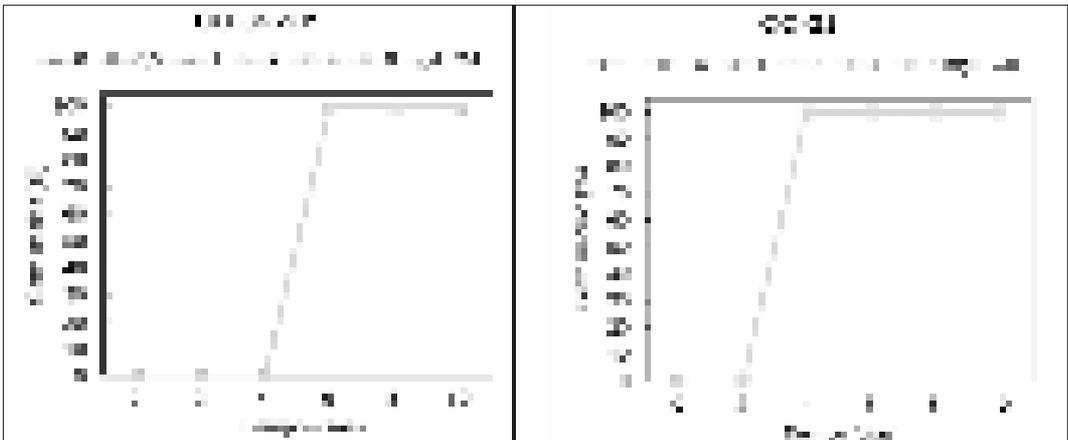
### Resultados y Discusión

#### Efectos de diferentes concentraciones de cadmio (0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/L) sobre la germinación

El cadmio no afectó la germinación en ninguna de las cuatro variedades estudiadas, puesto que todas alcanzaron el 100% de la tasa de germinación en todos los tratamientos, no obstante, la variedad Ragnar presentó disminución en la velocidad de esta, finalizando la germinación en un mayor número de días. Este resultado es similar a los hallados por otros autores que no reportaron inhibición en la germinación de *Laguncularia racemosa* var. *glabriflora* (Benavides *et al.*, 2018), *Helianthus annuus* L. (Aycicek *et al.*, 2008), *Agave lechuguilla* (Méndez, 2010), *Theobroma cacao* L. var. CMP-99, CMP-15 y CCN-51 (Acosta, 2013) y *Axonopus affinis* (Escalante *et al.*, 2012) (Figura 1).

#### Efectos de diferentes concentraciones de cadmio (0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/L) sobre la longitud y biomasa de las radículas e hipocótilos

La longitud de las radículas fue la variable que se vio más significativamente afectada desde el tratamiento



**Figura 1.** Tasa de germinación de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L Cd). (parte 1)

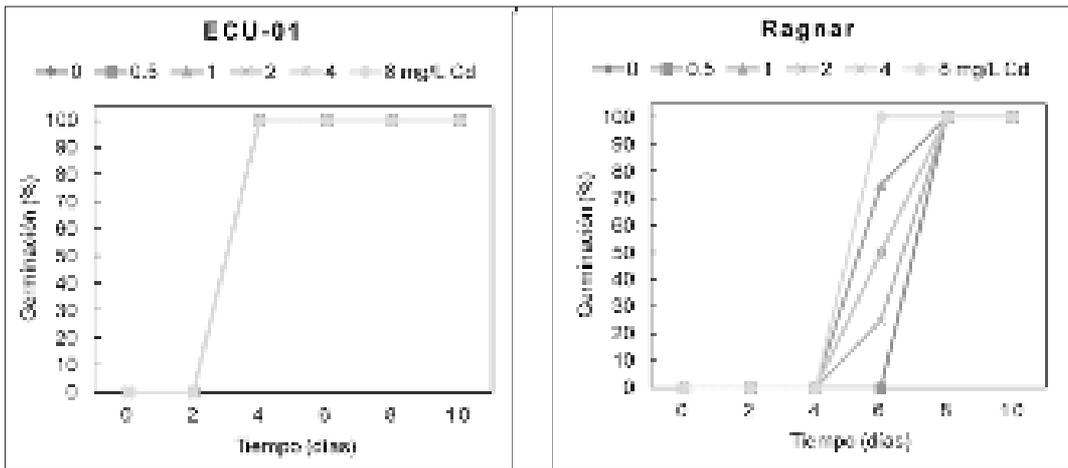


Figura 1. Tasa de germinación de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L Cd). (parte 2)

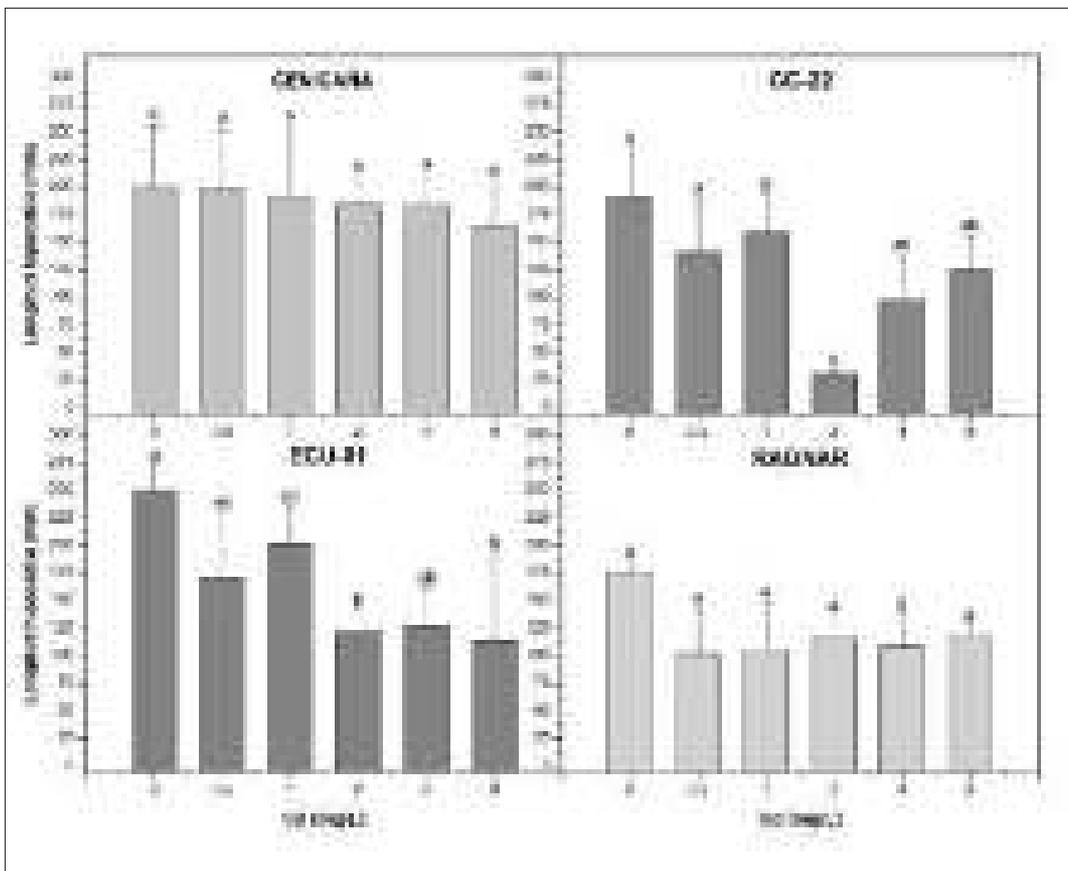


Figura 2. Longitud de las radículas de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L Cd). Los resultados se muestran como medias±error estándar (n=4). Asterisco (\*) Indica diferencias significativas con respecto al promedio de la longitud de la radícula de los demás tratamientos ( $p < 0.05$ ).

con menor concentración de cadmio (0.5 mg/L), y de forma general en las variedades ECU-01, CC-22 y Ragnar; además, disminuyó conforme aumentaba la concentración, llegando a inhibirse completamente en el tratamiento de 8 mg/L (Figura 2). Este caso podría ser comparable con el reportado en los resultados de Benavides *et al.* (2018), donde *Laguncularia racemosa* var. *glabriflora* presentó afectación en la longitud de las radículas en concentraciones de 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd, similares a las del presente estudio.

Por otro lado, la longitud de los hipocótilos fue el parámetro que menos mostró afectación, únicamente las variedades CC-22 a 2 mg/L y ECU-01 a 2 y 8 mg/L presentaron disminución en su elongación (Figura 3).

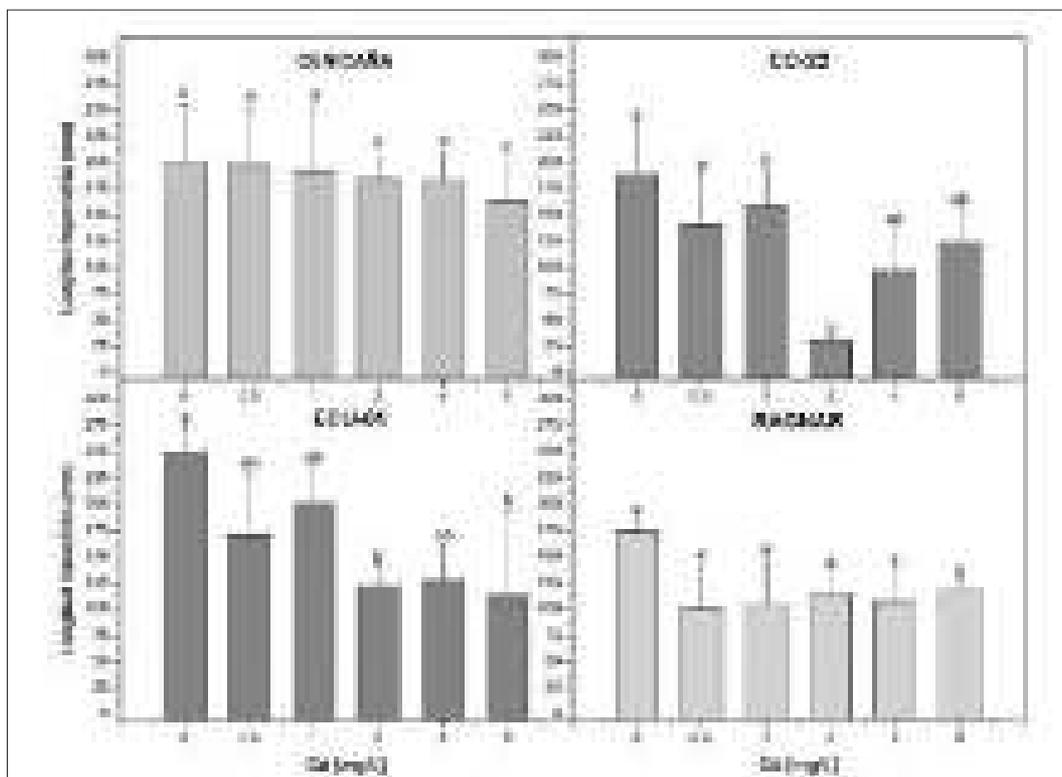
La fitotoxicidad del cadmio suele verse reflejada en los hipocótilos con menor intensidad en comparación con las raíces; esto se corrobora en los resultados de Liu *et al.* (2012), donde la raíz de la especie *Suaeda salsa* presentó una disminución significativa en la longitud desde el tratamiento de 0.1 mg/L de cadmio, mientras que el hipocótilo mostró diferencias significativas en el tratamiento de 1 mg/L. Según lo planteado por Breckle (1991), los síntomas de fitotoxicidad del cadmio son expresados de forma más clara en las raíces debido al mayor grado de acumulación de met-

ales pesados en ellas, ya que constituyen una barrera de defensa para la planta mediante la inmovilización del metal.

A pesar de que en la variedad CC 85-92 hubo ausencia de raíces en todos los tratamientos y en el grupo control, lo cual puede ser atribuido a una incorrecta selección de los esquejes con la edad apropiada (entre siete y nueve meses), la longitud de las raíces fue un buen indicador de los efectos del cadmio. Debido a la escasez de biomasa de las radículas, el cálculo general de la biomasa se realizó únicamente considerando el peso seco de los hipocótilos, siendo esta la variable menos afectada de este estudio, puesto que únicamente la variedad ECU-01 mostró una reducción significativa de 51.30 % en el tratamiento de 2 mg/L (Figura 4).

#### Índice integral de fitotoxicidad e índice de tolerancia

El índice integral de fitotoxicidad reúne los efectos provocados sobre la germinación y la longitud de las radículas e hipocótilos, mostrando de manera holística la toxicidad generada durante el tiempo de exposición. El cadmio resultó tóxico en todas las variedades estudiadas, desde el tratamiento con menor concentración (0.5 mg/L) hasta el mayor (8



**Figura 3.** Longitud de los hipocótilos de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L). Los resultados se muestran como medias  $\pm$  error estándar (n=4). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas con respecto al promedio de la longitud de los demás tratamientos ( $p \geq 0.05$ ).

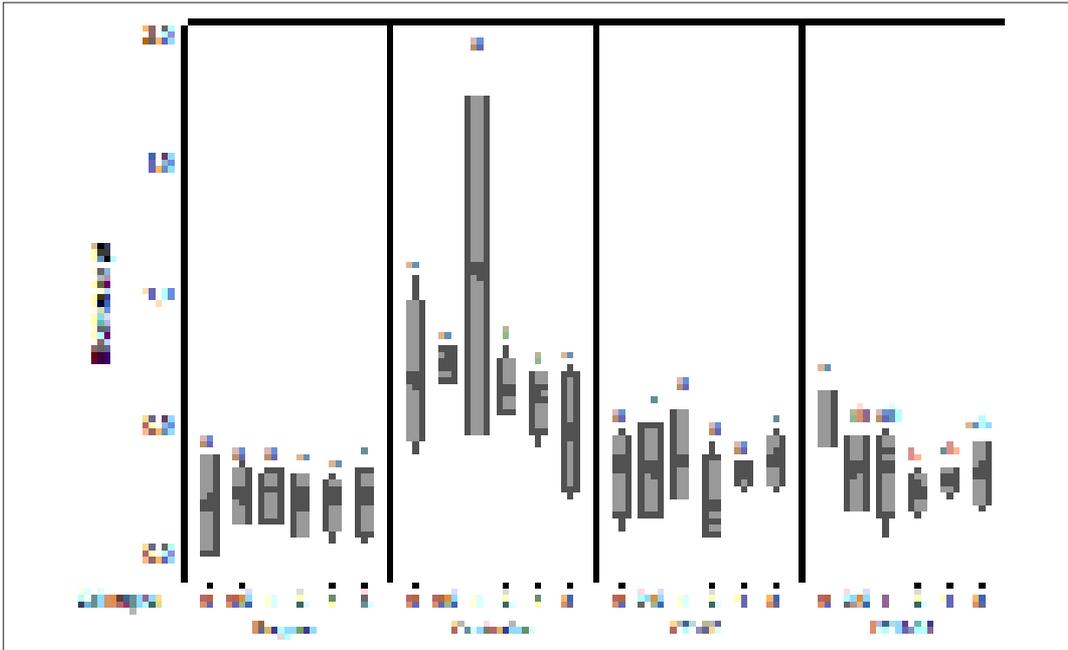


Figura 4. Biomasa de los hipocótilos de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L). Los resultados se muestran como medias±error estándar (n=4). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas con respecto al promedio de la biomasa de los demás tratamientos ( $p \geq 0.05$ ).

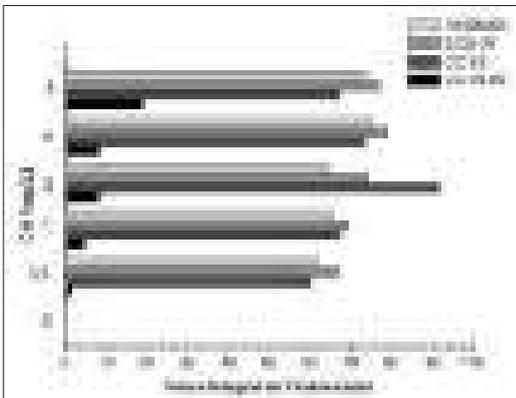


Figura 5. Índice integral de fitotoxicidad de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L).

mg/L), es decir, es nocivo incluso al nivel permitido por la legislación ecuatoriana (0.5 mg/kg) (Figura 5).

Considerando que en suelos de la Costa se han reportado niveles de cadmio que superan los 2 mg/kg (Mite et al., 2010; Muñoz, 2017), se presume que la producción y el rendimiento de este cultivo permanente, que no solo es importante para cubrir la demanda alimenticia, sino también para la generación de etanol anhidro empleado en la gasolina Ecopaís, estarían siendo afectados por la contaminación

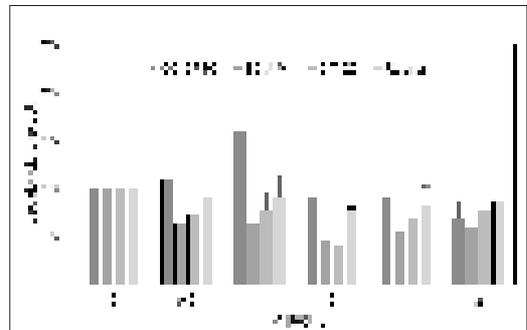


Figura 6. Índice de tolerancia de las variedades de caña de azúcar CC 85-92, CC-22, ECU-01 y Ragnar, expuestas a diferentes concentraciones de cadmio (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd) más un grupo control (0 mg/L).

por cadmio. Cabe mencionar que el índice integral de fitotoxicidad de la variedad CC 85-92 fue significativamente menor en todos los tratamientos comparado con las demás variedades, no llegando a superar el 20 % en la concentración de 8 mg/L.

De forma complementaria, esta variedad no solo fue la más tolerante a todos los tratamientos de cadmio, sino también fue la única en presentar una respuesta hormética, que se manifestó como un estímulo en su crecimiento a 0.5 y 1 mg/L (Figura 6).

Este resultado es similar al reportado por Escalante et al. (2012), donde se observó que a 1 mM de cadmio, la especie *Axonopus affinis* superó el porcentaje de germinación y crecimiento, y además mostró mayor tolerancia al metal en comparación con el testigo.

Otro caso que sostiene este planteamiento es el de Labra et al. (2012), quienes observaron que a 0.01 mM de cadmio se promovía el crecimiento de la radícula en un 289 % más que el testigo en plántulas de *Cyperus elegans*.

Los hechos anteriores sugieren que algunos metales pesados independientemente de sus propiedades tóxicas para el funcionamiento de las plantas, en cantidades ínfimas pueden tener un efecto contrario y actuar como estimuladores del crecimiento. Este fenómeno es conocido como principio de homeopatía o efecto Arndt-Schulz, el cual propone que “Pequeñas dosis estimulan la capacidad vital, medianas la retardan y las grandes la paralizan” (Instituto Comenius, 2007).

Por otro lado, se ha comprobado que la tolerancia de las plantas a los metales pesados está directamente relacionada con la activación de una compleja red de defensa antioxidante, que incluye reacciones de enzimas y moléculas antioxidantes como el ascorbato (ASC) y el glutatión (GSH), las cuales actúan regulando las especies reactivas de oxígeno (ERO), mismas que se producen en presencia del contaminante y que a niveles desequilibrados llegan a causar estrés oxidativo, lo que se define como el efecto tóxico o daño sobre estructuras celulares de la planta (Peralta & Volke, 2012).

Por lo antes expuesto, se asume que la variedad CC 85-92 presentó tales niveles de tolerancia al cadmio debido a la efectividad de la red antioxidante que pudo haber sido estimulada ante la presencia de especies reactivas de oxígeno (ERO) producidas en los tratamientos de menor concentración de cadmio (0.5 y 1 mg/L).

## Conclusiones

El cadmio no mostró efectos negativos sobre la germinación, considerando que las variedades de la especie *Saccharum officinarum* presentaron el 100% de la tasa de germinación en cada uno de los cinco tratamientos (0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/L Cd), no obstante, las variedades ECU-01 y CC-22 alcanzaron dicha tasa en un menor número de días (cuatro días), en comparación con la variedad CC-85-92, cuyas muestras germinaron en su totalidad en el sexto día, y la variedad Ragnar, misma que requirió el mayor número de días para lograr el 100% de la germinación (ocho días).

En las variedades CC-22, ECU-01 y Ragnar, el cadmio redujo de forma significativa la longitud de las

radículas de todos los tratamientos comparados con el testigo.

En las variedades CC-85-92 y Ragnar, el cadmio no presentó efectos significativos sobre la longitud de los hipocótilos. Las consecuencias negativas del cadmio se vieron reflejadas sobretudo en la variedad ECU-01, donde los hipocótilos a 2 y 8 mg/L sufrieron importantes efectos en su elongación. En la variedad CC-22, el cadmio resultó contraproducente de forma significativa para el crecimiento de los hipocótilos únicamente en el tratamiento de 2 mg/L Cd.

El cadmio generó efectos negativos solamente sobre la biomasa de los hipocótilos del tratamiento de 2 mg/L de la variedad ECU-01, las variedades restantes no presentaron afectación sobre este parámetro.

Según el índice integral de fitotoxicidad, el cadmio resultó tóxico en todos los tratamientos de las cuatro variedades de *Saccharum officinarum*. La variedad CC 85-92 fue la única en presentar síntomas de toxicidad directamente proporcionales a la concentración del metal en cuestión, los cuales aun a la mayor concentración de exposición (8 mg/L Cd), no sobrepasaron el 20%.

El índice de tolerancia reveló que la variedad CC 85-92 no solo fue la más tolerante a los efectos del cadmio en cuatro de las cinco concentraciones estudiadas (0.5, 1, 2 y 4 mg/L Cd), sino también que fue la única en mostrar estímulos de crecimiento en las concentraciones de 0.5 y 1 mg/L Cd. La variedad ECU-01 resultó ser la menos tolerante a los efectos de este metal pesado, puesto que a partir de la menor concentración (0.5 mg/L Cd), la tolerancia se redujo hasta cerca del 40%.

## Referencias

- Acosta, A. (2013). Efecto del sulfato de cadmio en la germinación y el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Investigación y Amazonia, 3 (1), 20-29.
- Acosta, S., & Pozo, P. (2013). Determinación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*) de cinco fincas ubicadas en la vía Santo Domingo - Esmeraldas, mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Infoanalítica, 1 (1), 69-82.
- Alpizar, A. G., & Cruz, G. (2012). Evaluación de la toxicidad de cadmio en las semillas de huizache yóndiro (*Acacia farnesiana*) recolectadas en jales mineros. Recuperado de <http://www.academicos.ugto.mx/memoria/PDF/s203-27.PDF>
- Arenas, S., & Hernández, S. (2012). Fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra* (tesis de pregrado). Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
- Aycicek, M., Kaplan, O., & Yaman, M. (2008). Effect of cadmium on germination, seedling growth and metal contents of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Asian Journal of Chemistry, 20 (4), 2663-2672. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2004.08.033>
- Bak, J., Jensen, J., Larsen, M. M., Pritzl, G., & Scott-Fordsmand, J. (1997). A heavy metal monitoring-programme in Denmark. Science of the Total Environment,

- 207 (2-3), 179-186.
- Benavides, A., Del Pezo, R., Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Magallanes, I., Romero, B., & Zambrano, J. (2018). Efecto del cadmio sobre la germinación y crecimiento de *Laguncularia racemosa* var. *glabriflora* (Plantae-Combretaceae). *Ecovida*, 8 (1), 39-52.
- Breckle, S. (1991). Growth under stress. Heavy metals. In: *Plant Roots: The Hidden Half*, Marcel Dekker, New York, 351-373.
- Cokkizgin, A., & Cokkizgin, H. (2010). Effects of lead (PbCl<sub>2</sub>) stress on germination of lentil (*Lens culinaris* Medic.) lines. *African Journal of Biotechnology*, 9 (50), 8608-8612. <https://doi.org/10.5897/AJB10.890>
- Escalante, S., Rodríguez, A., Vásquez, M. S., Rodríguez, A. V., Guerro, L. A., Pérez, N. O., Franco, M. O., & Ponce, A. (2012). Evaluación del efecto de cadmio sobre la germinación y elongación radical de semillas bacterizadas de *Axonopus affinis* y *Festuca rubra*. *Polibotánica*, 34, 205-221.
- European Food Safety Authority. (2009). Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on cadmium in food. *The EFSA Journal*, 980, 1-139. <https://doi.org/doi:10.2903/j.efsa.2009.980>
- Grant, C. A., & Sheppard, S. C. (2008). Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. *Human and Ecological Risk Assessment*, 14 (2), 210-228. DOI: 10.1080/10807030801934895
- Instituto Comenius. (2007). *Manual de agrohomeopatía*. Impreso en Monterrey, Nuevo León, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2017. Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Informe\\_Ejecutivo\\_ESPAC\\_2017.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf)
- Jali, P., Pradhan, C., & Das, A. B. (2016). Effects of cadmium toxicity in plants: A review article. *Scholars Academic Journal of Bioscience*, 4 (12), 1074-1081. <https://doi.org/10.21276/sajb.2016.4.12.3>
- Labra, D., Guerrero, L., Rodríguez, A. V., Montes, S., Pérez, S., & Rodríguez, A. (2012). Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Plant Physiology*, 28 (1), 7-16.
- Liu, S., Yang, C., Xie, W., Xia, C., & Fan, P. (2012). The effects of cadmium on germination and seedling growth of *Suaeda salsa*. *Procedia Environmental Science*, 16, 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.041>
- Méndez, C. A. (2010). Efecto de Cd disuelto en agua en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de *Agave lechuguilla* provenientes de zonas con diferente nivel de contaminación por metales (tesis de maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C., San Luis Potosí, México.
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de Ecuador. XII Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. 17-19.
- 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 pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17569/1/TESIS\\_JORGE\\_MUNOZ\\_2017.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17569/1/TESIS_JORGE_MUNOZ_2017.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017).
- Organización Internacional del Azúcar. (2018). Main features of the world sugar economy. Recuperado de <https://www.isosugar.org/publication/122/sugar-yearbook-2018>
- Peralta, M., & Volke, T. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11 (1), 75-88.
- Pernía, B., Rojas-Tortolero, D., Sena, L., De Sisto, A., Inojosa, Y., & Leopoldo, N. (2018). Fitotoxicidad de HAP, crudos extra pesados y sus fracciones en *Lactuca sativa*: una interpretación integral utilizando un índice de toxicidad modificado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34 (1), 79-91.
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del Río Guayas. *Maskana*, 2 (1), 17-30.
- Saxena, R., Azad, C., & Shrinet, K. (2016). Effect of heavy metal pollutants on human population: an overview. *International Research Journal of Management Science and Technology*, 7 (3), 116-124.
- Souza, V., Martínez, K., Bucio, L., Gómez, L., & Gutiérrez, M. (2012). Liver and cadmium toxicity. *Journal of Drug Metabolism and Toxicology*, 55:001. Doi: 10.4172/2157-7609.55-001
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Molecular, Clinical and Environmental Toxicology, 101, 1-30. <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4>
- Wilkins, D. A. (1978). The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. *New Phytol*, 80, 623-633.

## Normas para la publicación de artículos “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”

### Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”

La Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, es una revista científica-académica de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Su objetivo es contribuir a la producción científica, su socialización y debate, en el ámbito de las Ciencias Naturales y Ambientales. La publicación es semestral en los meses de julio y diciembre.

Los autores pueden someter sus trabajos a la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, en español o inglés. Deben asumir los siguientes lineamientos, los artículos que no lo sigan serán rechazados o devueltos para que se realicen las correcciones pertinentes:

#### Tipos de artículos

1. La Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales publicará artículos sobre diversos aspectos de las Ciencias Naturales, pudiendo ser de cuatro tipos:

- De investigación, que reportan investigación básica original relacionada con los campos de las ciencias antes descritas, usando enfoques cualitativos, cuantitativos o mixtos.
- De revisión, que contribuyan al progreso de la producción de conocimiento en alguno de los campos de las ciencias antes descritas. Se trata de manuscritos orientados a sintetizar investigación científica previa, a discutir problemas metodológicos o conceptuales.
- De discusión, que contribuyan a la discusión de los diversos aspectos de las Ciencias antes descritas.
- De ensayo.

*No se publicarán artículos que expresen exclusivamente opiniones, anécdotas o interpretaciones no fundamentadas.*

#### Originalidad

2. Los trabajos deben ser originales e inéditos. No deben haber sido presentados en otra editorial simultáneamente.

#### Componentes de los escritos

3. La estructura de los documentos presentados contendrán los siguientes apartados:

a) Título

- b) Resumen  
c) Palabras clave  
d) Introducción  
e) Materiales y métodos  
f) Resultados  
g) Discusión  
h) Conclusiones  
i) Recomendaciones  
j) Referencias

4. El “Título” debe incluir la siguiente información:

- a) Título del artículo, éste debe estar en Español e Inglés.  
b) Nombre completo del autor o de los autores; éste debe tener un sólo apellido, en caso de incluir el apellido materno los dos apellidos deben estar unidos con un guión, por ejemplo: Torres-Pinto.  
c) Nombre y dirección completa de la institución, centro de estudio o trabajo actual a la que pertenece y posición que desempeña, incluyendo números telefónicos y correo electrónico.

*Los datos personales facilitados por los autores a esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito.*

5. El resumen debe estar escrito en español e inglés y no debe superar las 200 palabras. Éste debe resumir la información sobre el propósito, objetivos e hipótesis del trabajo, así como su procedimiento, resultados y conclusión.  
6. Después del resumen se indicarán cuatro palabras clave en español e inglés, esas deben de estar escritas en orden alfabético según cada idioma. Con este fin se utilizará el Tesoro de la UNESCO (Consulte en: <http://databases.unesco.org/thesp/>).  
7. Las referencias deben de incluirse todas y únicamente las publicaciones citadas en el texto.

#### Normas de estilo

8. Los trabajos deben ser compatibles con Microsoft Word. La extensión no debe superar las 7.000 palabras, incluyendo el título, el resumen, las referencias bibliográficas, tablas y figuras.  
9. Deben estar configurados en formato A4, con letra Times New Roman de 12 puntos con interlineado de 1,5, a una columna, justificado al margen izquierdo.

\* Correspondencia de la revista:

E-mail: [revistacienciasnaturales@ug.edu.ec](mailto:revistacienciasnaturales@ug.edu.ec)



10. Para la entrega del documento, las tablas y las figuras deben estar aparte del archivo, no incluido.
11. Las imágenes, las fotografías en blanco y negro deben tener una resolución mínima de 300 dpi, las fotografías a color deben tener una resolución mínima de 600 dpi y las ilustraciones o dibujos en blanco y negro deben tener una resolución de 1.200 dpi. en formato .jpg, .tiff, .raw o psd.
12. Las tablas deberán estar en excel o algún editor de hojas de cálculo.
13. Se recibirán un máximo de 5 figuras y 5 tablas por artículo, salvo resolución editorial para casos particulares.
14. Toda tabla y figura debe estar citado dentro del texto del manuscrito.
15. Las leyendas de las tabla o figuras, se deben colocar al final del documento, después de la bibliografía, debidamente numeradas.
16. Para la redacción de los trabajos los autores deberán apearse a las pautas del Manual de Estilo de Chicago de acuerdo con los siguientes ejemplos:

Cuando se haga referencia de manera general a una obra, se escribirá el apellido del autor, el año de publicación y el número de página, dentro de un paréntesis: (Alberti, 2002), o en el caso de dos autores (Rodríguez y García: 1998); si son más de dos autores se anotará (Sánchez *et al.*, 2003).

En el caso de citar obras del mismo autor publicadas en el mismo año, esas se ordenarán alfabéticamente y se les distinguirá con una letra minúscula después del año: "La poesía no puede sacar partido del arrepentimiento, pues no bien se plantea este último, el escenario es interno" (Kierkegaard, 1992a)... "Un momento así exige tranquilidad, no debe ser perturbado por la reflexión" (Kierkegaard, 1992b). Se debe citar en orden cronológico.

La bibliografía debe estar escrita en el mismo sistema, ordenada alfabética y cronológicamente según corresponda. No usar mayúsculas continuas. Los apellidos y nombres de los autores deben estar completos, es decir, no deben anotarse solo abreviaturas. Como norma general, los títulos de libros se reseñarán en cursiva; y los títulos de artículos con tipografía normal; véanse los siguientes ejemplos:

**Para revistas:**

- Van Beusekom, C. F. 1971. Revision of *Meliosma* (Sabiaceae) section *Lorenzanea* excepted, living and fossil, geography and phylogeny. *Blumea* 19: 355-529.
- Johnson, L. A. S. & B. G. Briggs. 1975. On the Proteaceae: The evolution and classification of a southern family. *Bot. Jour. Linnean Soc.* 70:83-182.

**Para libros:**

- Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Edición revisada. Tropical Science. Center. San José, Costa Rica.

- Pennington, T. D. 1997. *The genus Inga, Botany*. The Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom.
- Jørgensen, P. M. & S. León-Yáñez. 1999. *Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador*. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75: 1-1181.

**Para series monográficas:**

- Berg, C. C. 1998. Moraceae (excl. *Ficus*). *Flora of Ecuador* 60: 1-128.
- Henderson, A. 2000. *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica Monograph* 79: 1-181.

**Para capítulos de libros:**

- Herrera, W. 1985. Clima de Costa Rica. En: L. D. Gómez (ed.). *Vegetación y clima de Costa Rica*. Vol. 2. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Herrera-MacBryde, O., T. R. Maldonado, V. Jiménez & K. Thomsen. 1997. Osa Península and Corcovado National Park Costa Rica. En: S. D. Davis, V. H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A. C. Hamilton (eds.). *Centres of Plant Diversity. A guide and strategy for their conservation* Vol. 3, World Wildlife Fund, International Conservation Union.

**Para referencias a sitios web:**

**Para publicaciones disponibles en línea:**

- Bestland, E. A. & G. Retallack. 1994. *Geology and paleoenvironments of the Clarno unit, John Day Fossil Beds National Monument, Oregon. Final report*. [http://www.nps.gov/history/history/online\\_books/joda/besttland-retallack1/index.htm](http://www.nps.gov/history/history/online_books/joda/besttland-retallack1/index.htm) Consulta Agosto 2014.

**Para publicaciones disponibles en línea que están en permanente actualización:**

- Stevens, P. F. 2001, en adelante. Angiosperm Phylogeny Website. Version 9, June 2008 [en actualización continua]. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

**Para páginas web de instituciones:**

- The New York Botanical Garden (NYBG). Consulta 2010. *The C. V. Starr Virtual Herbarium* <http://sciweb.nybg.org/science2/VirtualHerbarium.asp> The New York Botanical Garden, Bronx, New York.

**En caso de haber dos o más publicaciones de un mismo autor:**

- Cornejo, X. 2009. Two new species of *Pentagonia* (Rubiaceae, Hippotidae) from Colombia and Ecuador. *Novon* 19:25-31.
- . 2010. *Pentagonia lanciloba*: A new Rubiaceae (Hippotidae) from northwestern Ecuador. *Brittonia* 62:7-11.

**En caso de haber dos o más publicaciones de un mismo autor y durante el mismo año, agregar un literal después del año:**

Cornejo, X. & H. H. Iltis. 2008a. The reinstatement of *Cappariastrum* (Capparaceae). *Harvard Pap. Bot.* 13:229-236.

---- & ----. 2008b. A revision of the American species of the genus *Crateva* (Capparaceae). *Harvard Pap. Bot.* 13:121-135.

**Proceso editorial**

17. El documento recibido por el editor responsable pasa por dos procesos de selección:
  - a) El primero se lleva a cabo en el Consejo Editorial Interno, quien determinará la pertinencia y solvencia científica del manuscrito.
  - b) El segundo proceso lo realiza el Consejo Editorial Externo, según el sistema de revisión por pares (doble ciego). En el caso de resultados discrepantes se remitirán a un tercer dictamen, el cual será definitivo.
18. El Consejo Editorial notificará a los autores la decisión de los evaluadores en cuanto a la aceptación, solicitud de revisión o rechazo del artículo.
19. Si el artículo es aceptado para la publicación, los editores combinarán los comentarios de los revisores con sus propias observaciones editoriales y regresarán el manuscrito al autor principal para su revisión final. Para su aceptación final, el autor debe entonces realizar las correcciones y cambios necesarios. Usualmente el tiempo dado para los cambios no será mayor a dos semanas.
20. La coordinación editorial de la revista se reserva el derecho de hacer corrección de estilo y cambios editoriales que considere necesarios para mejorar el trabajo.
21. Una vez diagramado el texto, se enviará una prueba de composición del artículo para corregir errores y su aprobación. En este punto no será posible hacer cambios en el manuscrito, sino solamente corregir errores. El autor debe retornar la prueba de impresión a los editores máximo una semana después de haberla recibido.
22. Si un artículo es publicado en la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, el artículo será subido a la página web: <https://www.revistas.ug.edu.ec/index.php/cna>

**Declaración de responsabilidad**

23. Como parte del proceso de envío, se requiere que los autores indiquen si sus envíos cumplen con las siguientes indicaciones:
  - a. El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación al Editor responsable).
  - b. El fichero enviado está en formato Microsoft Word o compatible, y no tiene una extensión superior a 7.000 palabras.
  - c. El texto tiene interlineado 1.5; el tamaño de fuente es 12 puntos y el tipo es Times New Roman; y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final.
  - d. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo de la norma Chicago.
  - e. La página "Título" incluye todos los datos identificativos de los autores.

**Derechos de autor**

24. Las obras que se publican en esta revista están sujetas a los siguientes términos:
  - a. El Servicio de Publicaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil (la editorial) conserva los derechos patrimoniales (copyright - © 2015, Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, Ecuador) de las obras publicadas, y favorece y permite la reutilización de las mismas bajo la licencia de uso indicada en el literal b.
  - b. Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales se publica en versión escrita bajo una licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ec/>. Se pueden copiar, usar, difundir, transmitir y exponer públicamente, siempre que: i) se cite la autoría y la fuente original de su publicación (revista e editorial); ii) no se usen para fines comerciales; iii) se mencione la existencia y especificaciones de esta licencia de uso.

**Presentación**

25. Los artículos deben ser enviados mediante archivos adjuntos al e-mail: [revistacienciasnaturales@ug.edu.ec](mailto:revistacienciasnaturales@ug.edu.ec), con copia al editor responsable: [carmenbonifaz@hotmail.com](mailto:carmenbonifaz@hotmail.com).

## Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 13(1)

|  |    |
|--|----|
| Aplicación del cardón <i>Stenocereus griseus</i> (Haw.) Buxb. ( <i>Caryophyllales, Cactaceae</i> ) en la clarificación de aguas con alta turbidez / Application of the cactus <i>Stenocereus griseus</i> (Haw.) Buxb. ( <i>Caryophyllales, Cactaceae</i> ) in the clarification of waters with high turbidity ..... Lorena Fuentes, Iván Mendoza, Alicia González, Zolange Rodríguez & Karen Valera.....                             | 1  |
| Relaciones morfométricas en machos de cangrejo azul ( <i>Cardisoma crassum</i> ) y su relación con la madurez sexual / Morphometric relationships in blue crab males ( <i>Cardisoma crassum</i> ) and their relationship with sexual maturity ..... Santiago Olivares & Rene Zambrano.....   | 10 |
| Caracterización geológica geoquímica en base a datos obtenidos en testigos de perforación, depósito El Domo / Geological Geochemical characterization based on data obtained in drilling core, El Domo deposit ..... Danilo León Maldonado & César Fuentes...  | 18 |
| Actividad Antibacteriana y Antioxidante de los extractos de <i>Hibiscus escobariae</i> Fryxell, <i>Loxopterygium huasango</i> R. Spruce y <i>Croton ferrugineus</i> Kunth / Antibacterial and antioxidant activities of ethanolic extracts of <i>Hibiscus escobariae</i> Fryxell, <i>Loxopterygium huasango</i> R. Spruce and <i>Croton ferrugineus</i> Kunth..... Viviana Valdez, Shirley Moncayo, Xavier Cornejo & Jhon Castillo.. | 31 |
| Estructura poblacional del zooplancton gelatinoso en el mar ecuatoriano / Population structure of gelatinous zooplankton in the Ecuadorian sea ..... Paulina Castillo, Gabriela Vergara & Jaqueline Cajas..  | 39 |
| Efecto de la salinidad y pH en la composición bioquímica de la microalga <i>Scenedesmus</i> sp. en cultivos discontinuos / Effect of salinity and pH on the biochemical composition of the microalgae <i>Scenedesmus</i> sp. in batch cultures ..... Ever Morales, Diana Macías, Leonardo García, Yelsin Loor & Lisbeth Plúas...   | 50 |
| Propuesta de fitorremediación de coliformes totales y <i>Escherichia Coli</i> mediante la implementación de islas flotantes en aguas negras / Proposal of fitorremediation of total coliforms and <i>Escherichia Coli</i> through the implementation of floating islands in wastewater ..... Nancy Del Pezo Loaiza1 & César Fuentes .  | 57 |
| Efectos del cadmio sobre la germinación y biomasa en variedades de caña de azúcar de la cuenca baja del guayas / Effects of Cadmium on Germination and Biomass in Sugarcane Varieties of the Lower Guayas Basin..... Alejandro Gallardo, Beatriz Pernía, Mariuxi Mero, Ana Arellano, Carla Risco, Darío Alvarado & Henry Aguirre.....  | 65 |
| Normas para la publicación de artículos “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”   |    |