

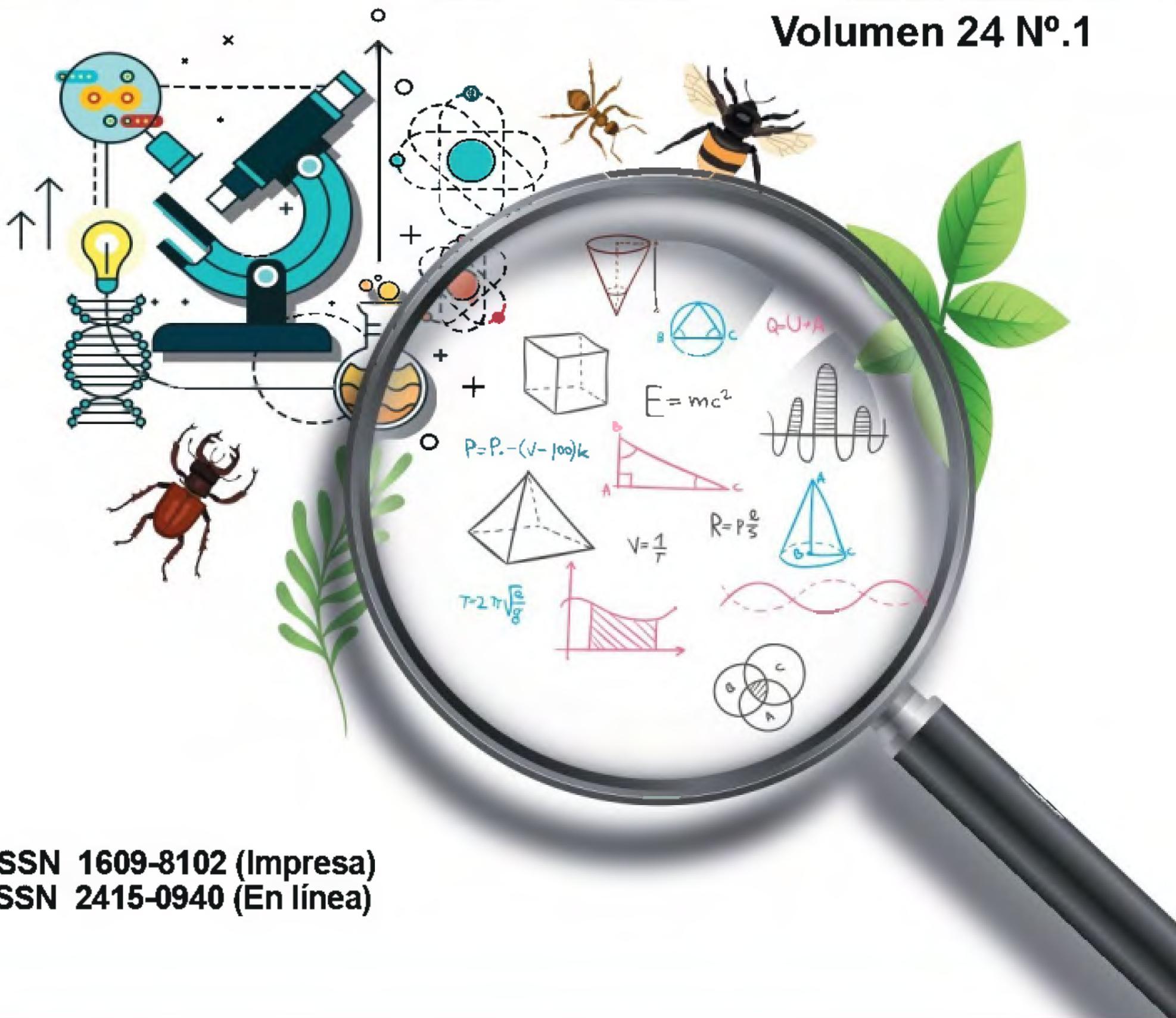


Biología-Química-Física
Matemática-Estadística



TECNOCIENCIA

Volumen 24 N°.1



ISSN 1609-8102 (Impresa)
ISSN 2415-0940 (En línea)

Revista de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología
Universidad de Panamá

enero - junio, 2022



ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA BASADA EN UN DISEÑO MUESTRAL MULTIETÁPICO (ESTUDIO DE MYPES)

René Bracho¹

¹Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de San Miguelito, Facultad de Economía, Panamá rene.bracho@up.ac.pa 

RESUMEN

El siguiente artículo presenta en lenguaje formal-matemático la aplicación del diseño de muestreo multietápico con su respectivo estimador con la finalidad de construir la noción de estrategia de muestreo y recomendarla en un estudio con encuesta para investigar algunas características financieras de las empresas del país. Siendo las micros y pequeñas empresas (MYPES) las que generan la mayor cantidad de empleos se ha escogido esta escala de empresas para el estudio. Se adapta el estimador insesgado lineal de las técnicas de muestreo usadas a la estructura geográfica del universo de donde proviene la población finita encuestada. Adicionalmente, se contrasta la noción de estrategia de muestreo a la luz de los desarrollos notables de la teoría del muestreo de encuestas y las críticas teóricas al enfoque de inferencia basada en diseño.

PALABRAS CLAVES

Muestra aleatoria, muestreo multietápico, estrato, conglomerado.

STATISTICAL ESTIMATION BASED ON A MULTISTAGE SAMPLE DESIGN (MYPES STUDY)

ABSTRACT

The following article presents in formal-mathematical language the application of the multi-stage sampling design with its respective estimator in order to build the notion of sampling strategy and use it in a study with a survey to investigate some financial

characteristics of micro and small companies (MSC) from the country. The linear unbiased estimator of the sampling techniques used is adapted to the geographical structure of the universe from which the finite population surveyed comes from. Additionally, the notion of sampling strategy is contrasted in light of notable developments in survey sampling theory and theoretical criticisms of the design-based inference approach.

KEY WORDS

Random sample, multi-stage sampling, stratum, cluster.

INTRODUCCIÓN

A continuación, se describe en lenguaje formal el diseño muestral multietápico aplicado a una población finita compuesta por un conjunto de micros y pequeñas empresas y utilizando de marco muestral al directorio de estas empresas registrado en el directorio de un ente gubernamental, por ejemplo, la Autoridad de la Micro y Pequeña Empresa (AMPYME) o el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) de la Contraloría General de la República.

En la primera sección de este artículo, titulada Método, se explica que el diseño muestral se elaborará utilizando las nociones de muestreo e inferencia para poblaciones finitas. Por ello, se distinguen las diferencias entre la lógica de la inferencia para población infinitas (inferencia estadística clásica) versus la lógica de la inferencia para poblaciones finitas.

Seguido, en la sección de Aplicación y Resultados, se adaptó el diseño muestral a la división política y administrativa del país que sigue a la estructura geográfica. Dicha aplicación se describe formalmente a través de la notación de sumatorias. Esta notación facilita la presentación matemática del estimador de la proporción y la varianza del estimador inherente al diseño. También se muestra el estimador en términos de las probabilidades de inclusión de los elementos en la muestra.

En la sección de Discusión se citan las razones que justifican la formulación de un diseño muestral basado en los desarrollos recientes de la teoría del muestreo de encuestas.

Finalmente, en la Conclusión se destacan los principales resultados del artículo. Es decir, la noción de estrategia muestral y la esencia de los teoremas de la aplicación.

Quizás para un investigador práctico que utiliza el muestreo en su labor profesional y científica la presentación matemática del diseño muestral, el estimador y su varianza sea innecesaria, no obstante, en este artículo la presentación es formal por dos razones:

- Como toda ciencia formal, la estadística utiliza el lenguaje simbólico-matemático para enunciar de manera precisa los elementos y los procesos inherentes al problema investigado reduciendo los trade-off e imprecisiones del lenguaje literal verbal. (Devlin, 2002).
- Los postulados teóricos de las técnicas de muestreo estadístico y el estado del arte de la literatura científica especializada de esta línea de investigación se presentan en notación matemática. (Gutierrez, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

El método empleado consiste en la definición formal de una estrategia de muestreo. La noción de estrategia de muestreo implica la construcción de un diseño muestral descrito sobre el conjunto de todas las muestras posibles junto a la especificación del estimador que se utilizará para inferir el parámetro poblacional.

Generalmente, en la inferencia estadística clásica se asume:

$$(\Omega, \xi, P) \rightarrow X \rightarrow (\mathbb{R}, B_{\mathbb{R}}, P_X)$$

Donde:

Ω : es el espacio muestral (el conjunto de todos los resultados posibles del proceso aleatorio).

ξ : es el conjunto de eventos

P: medida de probabilidad

X: es la variable aleatoria

\mathbb{R} : es el conjunto de los números reales

$\mathcal{B}_{\mathbb{R}}$: es el boreliano de los reales sobre el cual se asocia una medida de probabilidad.

P_x : Medida de probabilidad asociada por la variable aleatoria.

Es decir, el estudio del proceso aleatorio deseado se modela a partir de un espacio de probabilidades, sobre el cual se define una variable aleatoria que asocia números del conjunto de los reales a las realizaciones del proceso aleatorio y sus correspondientes medidas de probabilidad. (Bouza-Herrera, 2008).

No obstante, para la recolección de los datos y la muestra observada en este caso se requiere la aplicación de una encuesta. Este imperativo práctico introduce la posibilidad de cambiar de la visión de la inferencia estadística clásica en el cual se asume una población hipotética infinita, lo cual permite aplicar el teorema central del límite. Y transitar a un enfoque de inferencia de poblaciones finitas. Dicha modificación implica "asumir que los valores observados corresponden parámetros fijos poblacionales".(Gutierrez, 2016). Es decir, la aleatoriedad deja de estar en las realizaciones de la muestra aleatoria (inferencia estadística clásica) y pasa a descansar sobre la aleatorización predefinida en el diseño muestral (inferencia pob. finitas). Se trasciende de la noción de muestra aleatoria a la de muestra probabilística. (Gutierrez, 2016).

La lógica de la inferencia de poblaciones finitas y de muestras probabilísticas (Gutierrez, 2016) es:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\} \rightarrow Q = \{s_1, s_2, \dots, s_Q\} \rightarrow p(\cdot) \rightarrow I_k \rightarrow \hat{\theta}_\pi$$

En palabras, a partir de una población finita en la que están etiquetados los elementos de la población objetivo a través de un marco muestral, se establece un soporte al cual se le determina un diseño de muestreo que genera probabilidades de inclusión. De estas probabilidades de inclusión o pertenencia de un individuo a la muestra podemos resultar unas funciones del mismo llamadas estimadores.

En consecuencia, los conceptos que son insumos empleados en este enfoque son:

U: es la Población finita (conjunto de elementos identificados con etiquetas).

Q: es el Soporte (conjunto de todas las muestras posibles de la población objetivo).

$p(\cdot)$: Diseño de muestreo (distribución de probabilidad aplicada al soporte)

I_k : probabilidad de inclusión de un elemento a la muestra.

$\hat{\theta}_\pi$: Estimador ajustado por un factor de expansión que asegura la representatividad de la muestra.

En base a la anterior secuencia de pasos queda establecida la estrategia de muestreo definida como el par $[p(\cdot), \hat{\theta}_\pi]$.

La estrategia de muestreo se aplicará para el diseño de una encuesta que tiene como finalidad el estudio de algunos procesos económicos y financieros de los micros y pequeñas empresas (MYPES) del país registradas en el directorio de empresas de un ente gubernamental, por ejemplo la Autoridad de la Micro y Pequeña Empresa (AMPYME) o el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) de la Contraloría General de la República.

RESULTADOS

Sea

$$U = \{MYPES\} = \{u_1, \dots, u_N\}, \|U\|=N$$

Una población finita se subdivide en provincias y comarcas dada la división política y administrativa del país, las que se considerarán como *estratos*, por lo que

$$U = \bigcup_{1 \leq l \leq L} U_l, U_l =$$

$$= \{u_{1l}, \dots, u_{lNl}\}; \sum_{l=1}^L N_l = N$$

En la siguiente etapa se subdivide en *conglomerados* según distritos dentro de las provincias o comarcas. Así que

$$U_l = \bigcup_{1 \leq j \leq l} U_{lj}; U_{lj}$$

$$= \{u_{lj1}, \dots, u_{ljt}\}; \sum_{t=1}^{l_j} N_{lj} = N_l$$

Donde:

U: es la unidad, las micros y pequeñas empresas (MYPES)

Subíndice l: indica la provincia o comarca

Subíndice j: es el distrito

Similarmente se establecen *conglomerados* por corregimientos teniendo que

$$U_l = \bigcup_{1 \leq k \leq Klj} U_{ljk}; U_{ljk} = \{u_{ljk1}, \dots, u_{ljk t}\}; \sum_{t=1}^{K_{lj}} N_{ljk} = N_{lj}$$

Donde:

Subíndice k: indica el corregimiento

En la última etapa, se toma cada área como un conglomerado en el que haremos una evaluación de todos sus elementos.

Cada Mype tiene una condición distinguida por

$$Y_{ijkht} \begin{cases} 1 & \text{si pertenece al área } Z \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

Los elementos de cada área se denotan:

$$U_{ijkh} = \{u_{ijkh1}, \dots, u_{ijkht}\}; h = 1, \dots, H_{ijk}$$

Donde:

Subíndice h: indica el área

Se desea realizar estimaciones de la proporción en cada provincia o comarca, distrito, corregimiento y área.

Entonces, se obtiene en un área el total de Mypes con la característica Y que identifica a A es

$$A_{ijkh} = \sum_{t=1}^{N_{ijkh}} Y_{ijkht}$$

Así que el total en el corregimiento ljk es

$$A_{ljk} = \sum_{h=1}^{H_{ljk}} A_{ijkh} = \sum_{h=1}^{H_{ljk}} \sum_{t=1}^{N_{ijkh}} Y_{ijkht}$$

En el distrito lj

$$A_{lj} = \sum_{k=1}^{K_{lj}} A_{ljk} = \sum_{k=1}^{K_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} A_{ijkh} = \sum_{k=1}^{K_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} \sum_{t=1}^{N_{ijkh}} Y_{ijkht}$$

En la provincia o comarca l

$$A_l = \sum_{j=1}^{J_l} A_{lj} = \sum_{j=1}^{J_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} A_{ljk} = \sum_{j=1}^{J_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} A_{ljk h} = \sum_{j=1}^{J_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} \sum_{t=1}^{N_{ljk h}} Y_{ljk h t}$$

Así que en el país el total es:

$$\begin{aligned} A &= \sum_{l=1}^L A_l = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{J_l} A_{lj} \\ &= \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{J_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} A_{ljk} = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{J_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} A_{ljk h} = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{J_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} \sum_{t=1}^{N_{ljk h}} Y_{ljk h t} \end{aligned}$$

Se puede representar entonces la proporción de Mypes con el atributo descrito por A como

$$\begin{aligned} P &= \frac{A}{N} = \sum_{l=1}^L \frac{N_l}{N} = P_l \\ &= \sum_{l=1}^L \frac{N_l}{N} \sum_{j=1}^{J_l} P_{lj} \\ &= \sum_{l=1}^L \frac{N_l}{N} \sum_{j=1}^{J_l} \frac{N_{lj}}{N_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} P_{ljk} \\ &= \sum_{l=1}^L \frac{N_l}{N} \sum_{j=1}^{J_l} \frac{N_{lj}}{N_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} \frac{N_{ljk}}{N_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} P_{ljk h} \\ &= \sum_{l=1}^L \frac{N_l}{N} \sum_{j=1}^{J_l} \frac{N_{lj}}{N_l} \sum_{k=1}^{K_{lj}} \frac{N_{ljk}}{N_{lj}} \sum_{h=1}^{H_{ljk}} \frac{N_{ljk h}}{N_{ljk}} \left(\frac{\sum_{t=1}^{N_{ljk h}} Y_{ljk h t}}{N_{ljk h}} \right) \end{aligned}$$

Debido a la evidente estructura lineal del parámetro poblacional es conveniente estimar insesgadamente (es decir, garantizando que la esperanza matemática del estimador sea igual al parámetro) los correspondientes parámetros para obtener un estimador insesgado. (Pérez, 2000).

En este caso se hace la selección mediante Muestreo Simple Aleatorio Sin Reemplazo (MSASR) de las áreas. (Cochran, 1971). Tal como se ha mencionado anteriormente, estas áreas van a constituir conglomerados monoetápicos (unidades de muestreo en una etapa) por los que P_{ijkh} es evaluada y se convierte en una variable aleatoria debido a la selección aleatoria de las áreas.

En cada corregimiento se tiene H_{ijk} áreas. De las cuales se selecciona de \bar{h}_{ijk}

En tal caso se tiene que:

$$\bar{p}_{ijk} = \frac{1}{\bar{h}_{ijk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ijk}} P_{ijkh}$$

Donde:

\bar{h}_{ijk} : es el número de conglomerados (áreas) de la muestra.

P_{ijkh} : son las proporciones de los conglomerados de la muestra.

Es un estimador insesgado en el caso monoetápico de la media de las proporciones pues

$$E(\bar{p}_{ijk}) = E\left(\frac{1}{\bar{h}_{ijk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ijk}} P_{ijkh} \alpha_{ijkh}\right), \alpha_{ijkh} = \begin{cases} 1 & \text{si } u_{ijkh} \text{ está en la muestra} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Como la selección se hizo sin reemplazo esta es una variable Bernoulli,

$\alpha_{ijkh} \sim B\left(\frac{h_{ijk}}{H_{ijk}} = \pi_{ijk}\right)$. A partir de este razonamiento se tiene que

$$E(\bar{p}_{ljk}) = \frac{1}{\bar{h}_{ljk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljkhi} E(\alpha_{ljkhi}) = \bar{P}_{ljk} = \frac{1}{\bar{h}_{ljk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljkh}$$

Usando este resultado se deriva que

$$\hat{A}_{ljk} = \frac{H_{ljk}}{\bar{h}_{ljk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljkh} \quad \bar{h}_{ljk} \bar{p}_{ljk} = \frac{N_{ljk}}{\bar{h}_{ljk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljkh} = \hat{A}_{ljk}$$

Es un estimador insesgado del total de Mypes pertenecientes a la clase A en U_{ljk} . Así que un estimador lineal del total, con la condición de insesgaredad (donde la esperanza matemática del estimados coincida con el parámetro) será:

$$\begin{aligned} \hat{A} &= \sum_{l=1}^L \hat{A}_l = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{\bar{j}_l} \hat{A}_{lj} \\ &= \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{\bar{j}_l} \sum_{k=1}^{\bar{k}_l} \hat{A}_{ljk} = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{\bar{j}_l} \sum_{k=1}^{\bar{k}_l} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} \hat{A}_{ljk h} = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{\bar{j}_l} \sum_{k=1}^{\bar{k}_l} N_{ljk} \bar{p}_{ljk} \end{aligned}$$

Donde:

L : Número de provincias o comarcas (estratos).

\bar{j} : Número de distritos (conglomerados) seleccionados en la muestra.

\bar{k} : Número de corregimientos (conglomerados) seleccionados en la muestra.

\bar{h} : Número de áreas (conglomerados) seleccionados en la muestra.

Así que

$$\hat{P} = \frac{\hat{A}}{N}$$

Es un estimador insesgado de la proporción en U . Por otra parte, la estimación de la proporción en la estratificación (Pérez, 2000) puede ser efectuada usando el estimador insesgado.

$$\begin{aligned} \hat{p}_G &= \sum_{l=1}^L \frac{N_l}{N} \frac{1}{n_l} \sum_{i=1}^{n_l} A_{li} \\ &= \sum_{l=1}^L W_l \hat{p}_l \end{aligned}$$

Donde:

W_l : es el peso de cada estrato (un término que aglutina a $\frac{N_l}{N}$)

\hat{p}_l : es la proporción de cada estrato (un término que aglutina a $\frac{A_{li}}{n_l}$)

Note que dada la estructura lineal de los parámetros es sencillo derivar estos resultados.

Entonces tenemos demostrado el siguiente teorema:

Teorema: Sea una población muestreada en 4 etapas, 1 primera etapa particionada en estratos y en las 3 etapas subsiguientes en conglomerados. Y en la última etapa se aplica MASSR para seleccionar \bar{h}_{ljk} conglomerados. Sea el parámetro de interés una característica que puede ser expresada como una proporción. Un estimador insesgado de P (Pérez, 2000) es

$$\hat{p} = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{\bar{j}_l} \sum_{k=1}^{\bar{k}_{lj}} \frac{1}{\bar{h}_{ljk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} \frac{1}{\bar{m}} \sum_{m=1}^{\bar{m}} A_{ljkhm}$$

Donde:

L : Número de provincias o comarcas (estratos).

\bar{j} : Número de distritos (conglomerados) seleccionados en la muestra.

\bar{k} : Número de corregimientos (conglomerados) seleccionados en la muestra.

\bar{h} : Número de áreas (conglomerados) seleccionados en la muestra.

\bar{m} : es la cantidad de Mypes (elementos) del área (tamaño del conglomerado).

El resto de los resultados se puede presentar en el corolario que enunciamos a continuación.

Corolario: Bajo el mismo diseño del teorema anterior son estimadores insesgados de las proporciones en las diversas etapas para los estratos:

$$\hat{P}_G = \sum_{l=1}^L W_l \hat{P}_l$$

Recordando que $\alpha_{ijkh} \sim B(\pi_{ijk})$ se debe analizar algunos aspectos de la distribución de probabilidad envuelta.

$$\alpha_{ijkh} = \begin{cases} 1 & \text{con probabilidad } \pi_{ijk} = \frac{\bar{h}_{ijk}}{H_{ijk}} \\ 0 & \text{con probabilidad } 1 - \pi_{ijk} = \frac{H_{ijk} - \bar{h}_{ijk}}{H_{ijk}} \end{cases}$$

Así que

$$\alpha_{ijkh}^2 = \begin{cases} 1 & \text{con probabilidad } \pi_{ijk} = \frac{\bar{h}_{ijk}}{H_{ijk}} \\ 0 & \text{con probabilidad } 1 - \pi_{ijk} = \frac{H_{ijk} - \bar{h}_{ijk}}{H_{ijk}} \end{cases}$$

Note que

$$\alpha_{ljkh} \alpha_{ljkh}^* = \begin{cases} 1 & \text{con probabilidad } \frac{\bar{h}_{ljk}(\bar{h}_{ljk} - 1)}{H_{ljk}(H_{ljk} - 1)} \\ 0 & \text{con probabilidad } 1 - \frac{\bar{h}_{ljk}(\bar{h}_{ljk} - 1)}{H_{ljk}(H_{ljk} - 1)} \end{cases}$$

Como tenemos la insesgadez del estimador en la 4 etapa el error viene dado por su varianza. Esta es:

$$\begin{aligned} V(\bar{p}_{ljk}) &= V\left(\frac{1}{\bar{h}_{ljk}} \sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljk h} \alpha_{ljk h}\right) \\ &= \frac{1}{\bar{h}_{ljk}^2} \left[\sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljk h}^2 V(\alpha_{ljk h}) + \sum_{h=h^*}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljk h} P_{ljk h^*} Cov(\alpha_{ljk h}, \alpha_{ljk h^*}) \right] \\ &= \frac{(H_{ljk} - \bar{h}_{ljk})}{H_{ljk}(\bar{h}_{ljk})} \left[\frac{\sum_{h=1}^{\bar{h}_{ljk}} P_{ljk h}^2 - H_{ljk} \bar{P}_{ljk}^2}{H_{ljk} - 1} \right] = \frac{(1 - f_{ljk})}{\bar{h} \bar{m}_{ljk}} S_{ljk b}^2 \end{aligned}$$

Entonces el error del estimador propuesto está dado en el teorema que se enuncia a continuación.

Teorema. Bajo el diseño analizado en el teorema anterior se tiene que la cuasivarianza de la proporción (Pérez, 2000) es:

$$\begin{aligned} S_b^2 &= \frac{\sum_i^L \sum_j^J \sum_k^K \sum_h^H \sum_m^{\bar{m}} (\bar{X}_h - \bar{X})^2}{H - 1} \\ &= \frac{\sum_i^L \sum_j^J \sum_k^K \sum_h^H \bar{m} * (\bar{X}_h - \bar{X})^2}{H - 1} = \frac{\bar{m}}{H - 1} \sum_h^H (P_h - P)^2 \end{aligned}$$

La varianza del estimador es:

$$V(\hat{p}) = (1 - f) * \frac{\bar{m}}{H - 1} \frac{\sum_i^L \sum_j^J \sum_k^K \sum_h^H (P_h - P)^2}{\bar{h} \bar{m}} = (1 - f) \frac{\sum_h^H (P_h - P)^2}{\bar{h}(H - 1)}$$

Donde:

L: Número de provincias o comarcas (estratos).

J: Número de distritos (conglomerados) de la población.

K: Número de corregimientos (conglomerados) de la población.

H: Número de áreas (conglomerados) de la población.

\bar{m} : es la cantidad de Mypes (elementos) del área (tamaño del conglomerado).

DISCUSIÓN

El estudio sistemático de los estimadores y su variabilidad ha dado como fruto el surgimiento de tres enfoques para la inferencia en el muestreo de encuestas: la inferencia basada en diseños, los modelos de predicción e inferencia asistida por modelos. Estos enfoques nacieron en correspondencia con dos de las tres fuentes de aleatoriedad que están presentes en el muestreo de encuestas (Sarndal, Carl., Swesson, Bengt. and Wretman, Jan., 1992):

- La estructura estocástica proveniente de la selección muestral.
- La estructura estocástica proveniente de la naturaleza de los datos.

Tomando en cuenta algunas de las críticas a nivel teórico realizadas sobre la inferencia en el primer enfoque, a saber:

- El no condicionamiento de la inferencia a la muestra extraída. Es decir, en la inferencia basada en diseño la inferencia se lleva a cabo sobre las probabilidades aportadas por el diseño muestral (recolección de datos) y no por las aportadas por la naturaleza de los datos. La siguiente cita es ilustradora: *“este enfoque ha sido criticado, sobre la base, que sus inferencias se refieren a repetidas muestras sobre la población encuestada, incluyendo todas las $s \in S$ y sus probabilidades asociadas $p(s)$, en lugar de sólo tomar en cuenta la particular s extraída.”* (Rao, and Bellhouse, 1990).
- El carácter no informativo de la función de verosimilitud de la inferencia basada en diseño que no permite realizar una inferencia fisheriana sobre los parámetros desconocidos. Es decir:

“El descubrimiento que en el muestreo de encuesta la función de verosimilitud es independiente del diseño muestral, y por lo tanto, de acuerdo al principio de verosimilitud (PV), la inferencia debe ser independiente de las probabilidades del diseño, dio impulso al desarrollo de la teoría del modelo. Esta última para implementar la conclusión del PV, restringe la inferencia y la estimación exclusivamente a las probabilidades dadas por un modelo de superpoblación.”(Godambe, 1988).

Hemos deseado en este artículo hacer uso de la noción de estrategia muestral porque:

- Permite plantear la discusión sobre la relevancia del enfoque probabilístico del muestreo, la muestra probabilística y la aplicabilidad del diseño de muestreo en el marco de los desarrollos posteriores en la teoría del muestreo de encuestas y las críticas arriba mencionadas.
- La validez de las inferencias basadas en diseño existe, sólo que hay que tener presente que se trata de inferencias procedentes de la forma particular del diseño muestral, es decir, que resultan de considerar todas las muestras posibles.
- La inferencia basada en diseño sirve de asiento y punto de partida para el enfoque asistido por modelo. Este último subsana las limitaciones del enfoque de diseño al vincular información auxiliar con la variable de interés.

El notable desarrollo y la utilidad de los conceptos de estrategia de muestreo, diseño muestral y técnicas de estimación para el estudio científico de las poblaciones humanas ha posicionado el campo del muestreo de encuestas como una línea de investigación de alta vigencia teórica y práctica en la ciencia estadística.

Incluso, ante la emergencia de disciplinas como la ciencia de datos, las ideas fundamentales del muestreo sirven de herramienta en procesos inherentes al big data como: la preparación de datos, la validación cruzada, entre otros. Adicionalmente, en áreas de aplicación como las

preferencias electorales y el control de calidad en manufacturas el muestreo es útil ante la existencia de restricciones económicas en: recursos humanos, tiempo, finanzas, infraestructura tecnológica y poder computacional.

CONCLUSIÓN

La estrategia de muestreo, el par $[p(\cdot), \hat{\theta}_\pi]$, constituye uno de los resultados principales de las ciencias formales al servicio del estudio de los procesos y fenómenos del contexto humano. Es una herramienta poderosa en la que se entrelazan diversos campos de la ciencia estadística. Por un lado, el muestreo como conjunto de técnicas y procedimientos inherentes a la recolección laboriosa y ordenada de datos e información; la estimación como el estudio organizado de la variabilidad de los estimadores. (Sarndal, Carl., Swesson, Bengt. and Wretman, Jan., 1992). Y la inferencia que es la teoría y la práctica de la estimación de las propiedades de una población mediante el uso de una muestra, fundamentándose en las probabilidades.

En los teoremas anteriormente presentados se formaliza la adaptación práctica de los estimadores lineales insesgados usados en la teoría del muestreo a un diseño de muestreo multietápico en el cual se tiene una primera (1era) etapa de estratificación y las tres siguientes etapas de conglomerado. Este diseño fue ideado siguiendo la estructura de la división política y administrativa del país (provincias o comarcas, distritos, corregimientos y áreas), con la finalidad de llevar a cabo la aplicación de una encuesta para estudiar características financieras de la MYPES.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Carlos Bouza de la Universidad de La Habana, Cuba, por su orientación en el estudio introductorio de la literatura elemental de la teoría del muestreo de encuestas y su guía en la redacción formal de diseños muestrales. También al Lic. Aarón Bracho por sus valiosos consejos para el manejo de fuentes científicas mediante el uso de asistentes digitales.

REFERENCIAS

Bouza-Herrera, C. N. (2008) '*Notas Iniciales Sobre Estimación Puntual En Poblaciones Finitas*'. Universidad de la Habana, Cuba. Available at: https://www.academia.edu/35111355/NOTAS_INICIALES_SOBRE_ESTIMACION_PUNTUAL_EN_POBLACIONES_FINITAS.

Cochran, W. (1971) *Técnicas de Muestreo*. 1era Español de la 2da en Inglés. México, DF: Compañía Continental.

Devlin, K. (2002) *El Lenguaje de las Matemáticas*. 2da edn. Barcelona, España: Robinbook.

Godambe, V. P. (1988) 'Survey Sampling'. *The Gold Medalist at the Statistical Society of Canada*, Victoria, Canada, June.

Gutierrez, H. A. (2016) *Estrategias de Muestreo*. Primera Edición. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

Pérez, C. (2000) *Técnicas de Muestreo Estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas*. Autorizada para México. México: Alfaomega Grupo Editor.

Rao, J. N. K. and Bellhouse, D. R. (1990) 'History and Developments of The Theoretical Foundations of Survey Based Estimation and Analysis.pdf', *Survey Methodology*, June, pp. 3-29.

Sandal, Carl, Swesson, Bengt. And Wretman, Jan. (1992) *ModelAssistedSurveySampling.pdf*. New York, United States of America: Springer-Verlag (Springer).

Recibido 20 enero 2021 y aceptado 15 septiembre 2021
Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho



IMPACTO DEL COBRE (Cu) Y CADMIO (Cd) EN SEDIMENTO DEL ESTERO FARFÁN, GOLFO DE MONTIJO, PANAMÁ.

¹Omar Tuñón, ²José Carlos Chang, ³Daniel Carneiro, ⁴Orlando Leone, ⁵Italo Goti & ⁶Juan A. Gómez H.

¹Universidad de Panamá, Maestría en Ecología de Zonas Costeras, CRU-Veraguas, Panamá. omartp05@gmail.com

²Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá. josecarloschangv@gmail.com

³Universidad de Panamá, Escuela de Biología, Sede Veraguas, Panamá. dcarneirobio@gmail.com

⁴Universidad de Panamá, Departamento de Química Analítica, Panamá. orlandoleone@gmail.com

⁵Universidad de Panamá, Centro Regional de Azuero, Panamá. italo.goti@up.ac.pa

⁶Universidad de Panamá, Departamento de Biología Marina y Limnología, Panamá. juanay05@hotmail.com

RESUMEN

Se cuantificaron los niveles de cobre (Cu) y cadmio (Cd) en los sedimentos del estero Farfán, localizado en el golfo de Montijo, Panamá. Se tomaron muestras de sedimento en seis estaciones, con nucleadores de PVC de 2" de diámetro y se midieron salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH del agua con una sonda multiparamétrica, muestreos mensuales, tres meses de temporada seca y tres lluviosa. La determinación de cobre y el cadmio en las muestras de sedimento fueron digestadas con ácido nítrico y leídas por espectrofotometría de absorción atómica con horno grafito. Se calcularon los índices de acumulación y de riesgo ecológico. El cobre presentó valores entre 5,1 y 151,5 $\mu\text{g/g}$, y el cadmio varió entre 0,01 y 0,18 $\mu\text{g/g}$. Se observaron diferencias significativas ($p = 0,0009$) entre las concentraciones de cobre y la temporada de colecta y relación con arena media y pH. La cantidad de cadmio no mostró relación con las variables estudiadas, sitio ni temporada de muestreo. Los valores encontrados fueron inferiores a los reportados para el Pacífico panameño.

PALABRAS CLAVES

Metales traza, contaminación, espectrofotometría de absorción atómica, arena media, Pacífico

COPPER (Cu) AND CADMIUM (Cd) CONCENTRATIONS IN ESTERO FARFÁN SEDIMENT, GOLFO DE MONTIJO, PANAMA.

ABSTRACT

The levels of copper (Cu) and cadmium (Cd) were quantified in the sediments of the Farfán estuary, located in the Gulf of Montijo, Panama. Sediment samples were taken in six stations, with 2" diameter PVC nucleators, and salinity, temperature, dissolved oxygen, and pH of the water were measured with a multiparametric probe, monthly samplings, three months of the dry season, and three of the rainy seasons. The determination of copper and cadmium in the sediment samples were digested with nitric acid and read by atomic absorption spectrophotometry with a graphite furnace. The accumulation and ecological risk indices were calculated. Copper presented values between 5.1 and 151.5 $\mu\text{g} / \text{g}$, and cadmium varied between 0.01 and 0.18 $\mu\text{g} / \text{g}$. Significant differences ($p = 0.0009$) were observed between copper concentrations and the collection season and the relationship with medium sand and pH. The amount of cadmium showed no relationship with the variables studied, site, or sampling season. The values found were lower than those reported for the Panamanian Pacific.

KEY WORDS

Trace metals, pollution, atomic absorption spectrophotometry, medium sand, Pacific.

INTRODUCCIÓN

La zona costera está expuesta permanentemente a efectos estresantes por descargas al medio, de origen natural y artificial, procedentes de la actividad portuaria, agrícola, industrial, pesca y navegación, que contribuyen con aporte de contaminantes. Martínez (2002) señala que la velocidad de los contaminantes que se vierten a dicha zona produce alteraciones en las condiciones naturales de los diferentes ecosistemas marinos; en ese sentido la composición química de estas descargas, se

acumulan en los sedimentos marinos por el aporte de metales traza y

dependen del origen de la cuenca hidrográfica, las características geológicas y oceanográficas (Sany *et al.*, 2013). Magesh *et al.* (2013) señalan que los procesos de adsorción de los iones metálicos a los sedimentos están relacionados con la composición granulométrica, la forma del grano, el contenido de materia orgánica y la presencia de carbonatos.

La variabilidad de los metales traza puede vincularse con la magnitud de los aportes de los contaminantes de origen no natural que producen efectos negativos y que afectan la fisiología y supervivencia de los organismos marinos (Vargas-González *et al.*, 2017) y pueden ser peligrosos para la biota acuática y el ser humano, además de desmejorar la calidad hídrica y ambiental (Senior *et al.*, 2015), lo cual provoca daños a las comunidades bénticas, sésiles, por el contacto directo con los sedimentos contaminados (Fuentes *et al.*, 2019), razón por la cual metales esenciales y no esenciales deben ser objeto de estudio, por la importancia que tienen con respecto a su toxicidad, cuando se encuentran en concentraciones elevadas.

Algunos metales traza, como cobre y cadmio, pueden alterar la condición de los sedimentos e incorporarse en organismos filtradores y detritívoros, de interés comercial, (Kiliç, 2020), al alcanzar concentraciones capaces de producir efectos biológicos, por la acción recíproca con la membrana plasmática que al penetrar a la célula altera el metabolismo por el efecto sobre diversas estructuras celulares (Castañe *et al.*, 2003), bioacumularse, al ser ingeridos a través de las branquias y distribuidos a los diferentes órganos como: gónadas, hígado y tejido muscular, por el torrente sanguíneo (Alquezar *et al.*, 2006) y provocar efectos deletéreos en los tejidos, utilizándolos como indicadores de contaminación para evaluar impactos antropogénicos en ambientes marino-costero (Páez-Osuna & Osuna-Martinez, 2011).

El estudio de los metales esenciales y no esenciales es importante por su condición cuando sus concentraciones superan los umbrales. En el caso del golfo de Montijo, caracterizado por ser una zona de intensa actividad pesquera, y la extracción de moluscos (Maté, 2005), además de ser un área de desarrollo agrícola con uso de agroquímicos que contienen metales traza (CATIE, 2014), que son vertidos a los cursos

de agua y que descargan en el sistema marino-costero, permite plantear como objetivo de la presente investigación conocer el comportamiento del cobre y cadmio en los sedimentos del estero Farfán.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el estero Farfán, localizado en el extremo oeste del golfo de Montijo, a $7^{\circ} 44' 25''$ N y $81^{\circ} 13' 32''$ O, zona caracterizada geológicamente por ser sedimentaria, principalmente areniscas, lutitas y aluviones, además posee afloramientos volcánicos, con basaltos, diabasa, andesita y piroclastos (Cedeño *et al.*, 2008), fuente natural de cobre, mientras que rocas fosfóricas y fosforitas de depósitos sedimentarios son fuente de cadmio (Castro & Melgar, 2006). El área de estudio posee un importante desarrollo agrícola y pecuario, con cursos de agua que irrigan al sector y producen aportes que descargan en la zona costera, área que, por su conformación geomorfológica protegida, mantiene una hidrodinámica propia de ese sector (Figura 1).

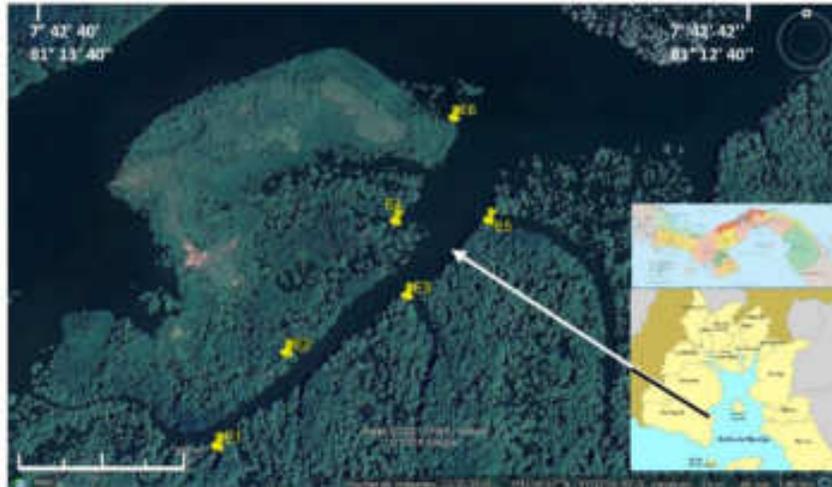


Fig. 1 Localización del Estero Farfán, Golfo de Montijo, Panamá Fuente Google Earth. Imagen TerraMetrics.

Seis estaciones de colecta fueron seleccionadas de acuerdo a las zonas de cultivo de arroz y a las áreas de mayor extracción de moluscos por los moradores de la comunidad aledaña; en estas se tomaron muestras mensuales de sedimento por triplicado, en febrero, marzo y abril (temporada seca) y mayo, junio y julio (lluviosa), mediante nucleador de PVC de 2" de diámetro, el cual se nucleó a una profundidad de 5 y 10 cm. Se determinó *in situ* los siguientes parámetros físico-químicos: salinidad en ups, temperatura en grados Celsius, oxígeno disuelto en mg/L y pH del agua, en cada estación con ayuda de una sonda multiparamétrica YSI, modelo ProQuatro. El análisis granulométrico se realizó con muestras de los puntos de colectas, sometidas a la desecación hasta temperatura constante y tamizadas por la serie de tamices USSM 10, 18, 35, 60, 120, 230 y fondo, que representan, grava, arena muy gruesa, arena gruesa, arena media, arena fina, arena muy fina y limo + arcilla de acuerdo a la metodología de tamizado en seco de Sugio (1973), se realizaron los cálculos gráfico-estadísticos según las ecuaciones de Folk & Ward (1957) con el programa Sysgran (Camargo, 2006).

Las muestras fueron procesadas mediante la metodología de Carmody *et al.* (1973) de modo de garantizar una metodología comparativa de estudios anteriores, deshidratadas en una estufa a 80 °C hasta peso constante. Se tomó un gramo y se sometió a digestión a temperatura ambiente con ácido nítrico concentrado, se le adicionaron 2 ml de peróxido de hidrógeno, se filtraron con papel Whatman N° 42 aforado a 25 ml con agua desionizada traspasadas a viales de 1 ml e incorporadas al auto muestreador. El contenido de metales traza se determinó por espectroscopia de absorción atómica, con atomización electrotérmica (horno grafito) en el Laboratorio de Absorción Atómica de la Universidad de Panamá. En la preparación de los estándares de calibración, se utilizaron patrones concentrados de 1 000 mg/l de la marca Merck (Single Element Standard Certipur for AAS) y se prepararon soluciones madres intermedias de 100 mg/l, 10 mg/l y 1 mg/l. Se tomaron alícuotas de 5 a 100 µg/l de cobre y de 0,5 a 10 µg/l de cadmio para preparar los estándares de lectura en el rango óptimo de concentración de cada elemento y se construyó la curva de calibración mediante un espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu 6800 con auto muestreador ASC-6100 con capacidad de 50 viales.

Se determinó la muestra electrotérmicamente en grafito acondicionado en Pd/reductor, y se corrigió la señal no atómica con lámpara de deuterio. Se aplicaron las longitudes de onda para cada metal, 324,7 nm para Cu y 228,8 nm en Cd. Se siguió la metodología establecida por el fabricante del equipo para su optimización y se siguió la metodología analítica del Standard Methods of Examination of Water and Wastewater Ed. 20. La precisión de la curva de calibración obtenida fue igual al 2 % y los límites de detección fueron Cu (1 µg/l), Cd (0,1 µg/l). La exactitud se evaluó mediante una muestra estándar certificada de sedimento de Environmental Resource Associates. Los errores totales fueron menores al 10 %, y los blancos determinados con cada conjunto de muestra, con valores por debajo del 1 % de la muestra. Los datos obtenidos fueron transformados y expresados a µg.g⁻¹ de peso seco (ps).

Se calculó el índice de geoacumulación (I_{geo}) (Müller 1986) para lo cual se tomaron los valores de referencia de fondo para lutita, citados por Turekian & Wedepohl (1961), el índice de carga de contaminación (PLI) (Suresh *et al.*, 2021), en el que se utilizaron los valores de concentración de cobre y cadmio de *Anadara tuberculosa* colectados en la misma zona (Tuñón *et al.*, 2020), el factor de enriquecimiento (EF%) se determinó de acuerdo a la metodología establecida por Jiao *et al.* (2018) por no contar con concentraciones base de aluminio, sílica ni hierro. Para el cálculo del factor de contaminación (C'_f) de acuerdo a Håkason (1980), se utilizaron los valores de referencia pre-industrial del mismo autor; finalmente, el grado de contaminación (C_d) (Loska *et al.* 1997) y el riesgo potencial ecológico (E_r) (Håkason, 1980), para el cual se usó el factor de respuesta tóxica de ambos metales indicados por Huang *et al.* (2020).

Los resultados se sometieron a análisis no paramétrico debido a que las pruebas de normalidad y homocedasticidad de los datos no mostraron homogeneidad de varianza. Se aplicó el análisis de Kruskal-Wallis y la prueba post test de Dunn para establecer si existe o no diferencias significativas entre las concentraciones de cobre y cadmio y los meses de colecta, entre las concentraciones de los metales y las estaciones de

muestreo. Por otro lado, se realizó la correlación de Spearman para tratar de establecer la posible relación entre los contenidos de cobre y

cadmio y las variables fisico-químicas, además la prueba U de Mann-Whitney para determinar si existe diferencias de concentración de metales entre las temporadas seca y lluviosa.

Se aplicó el análisis de conglomerado, de acuerdo al método ligación simple y distancia euclidiana para determinar similitud de concentración de metales entre estaciones (Pielou, 1984). Todos los análisis estadísticos se ejecutaron con el paquete estadístico BioEstat 5.3 (Ayres *et al.*, 2007).

RESULTADOS

La temperatura del agua presentó un promedio de $28,58 (\pm 0,64) ^\circ\text{C}$, con un intervalo de 27 a $32 ^\circ\text{C}$, la temperatura máxima se registró en abril y la mínima en mayo. La salinidad promedio fue de $19,58 (\pm 7,69)$ ups, el máximo valor en abril (29,6 ups) y el mínimo en julio (11,5 ups); mientras que el pH varió de 6,7 en febrero a 7,2 en julio con promedio $7,04 (\pm 0,14)$. El oxígeno disuelto mostró promedio de $5,24 (\pm 0,95)$ mg/L, con variación entre 6,13 mg/L en julio y más bajo en marzo (4,12 mg/L).

La granulometría se caracterizó por ser arena media ($M_z = 1,28 \pm 0,2455 \phi$), durante todo el período de muestreo, pobremente seleccionada ($\sigma_i = 1,34 \pm 0,1201$), y asimetría negativa ($Sk_i = -0,6225 \pm 0,1140$). En la temporada seca la mediana promedio fue de $1,40 \phi$ y el coeficiente de asimetría -1,23, mientras que en la lluviosa la mediana resultó ser $1,27 \phi$ y el coeficiente de asimetría -0,70 (Figura 2).

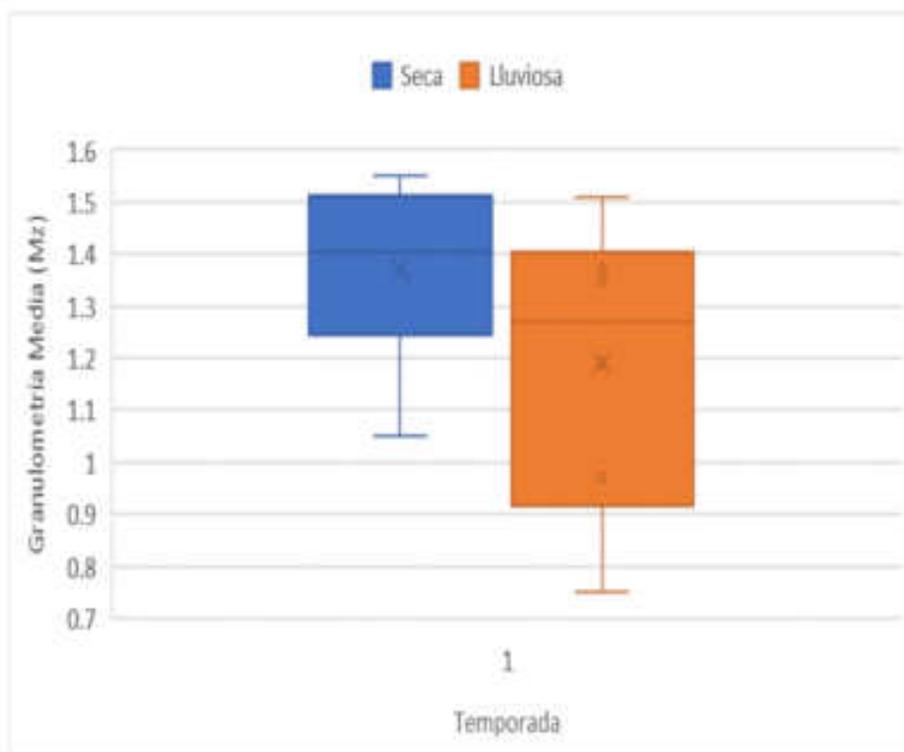


Fig. 2 Granulometría media (Mz) de temporada seca y lluviosa, Estero Farfán, Golfo de Montijo, Panamá.

El cobre presentó valores entre 5,1 y 151,5 $\mu\text{g/g}$, ambas en el mes de mayo, mientras que el cadmio varió entre 0,01 $\mu\text{g/g}$ en julio y 0,18 $\mu\text{g/g}$ en marzo (Figura 3).

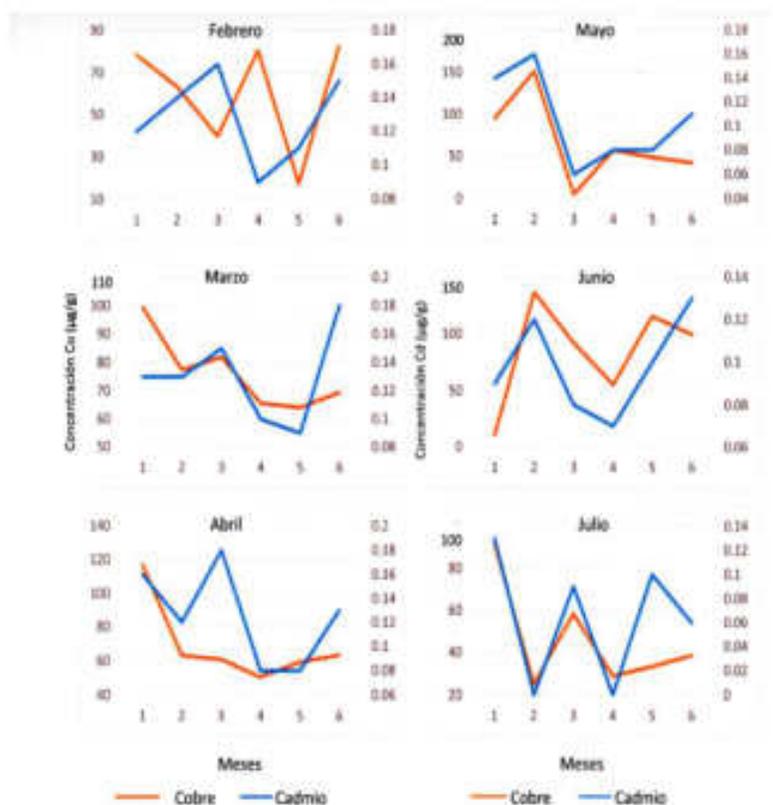


Fig. 3 Concentración mensual de cobre y cadmio en las estaciones de colecta, Estero Farfán, Golfo de Montijo, Panamá.

No se encontró relación estadística con ninguna variable físico-química, pero se observó relación del cobre directamente con la arena media (partículas de 0,25 mm de diámetro), fracción granulométrica predominante ($r^2 = 0,8771$, $p < 0,0001$) y leve con el pH ($r^2 = 0,5883$, $p = 0,0014$); el cadmio no presentó relación con ninguna variable.

La concentración de cobre mostró diferencia estadística altamente significativa con respecto a los meses de colecta ($H = 20,8142$ $p = 0,0009$), sin embargo, el cadmio no presentó diferencia entre ninguno de los meses ($H = 10,9447$ $p = 0,0525$).

Con respecto a las estaciones de colecta el cobre no mostró diferencias significativas ($H = 5,9773$ $p = 0,30$), mientras que el cadmio si

($H = 11,0718$ $p < 0,05$) que de acuerdo a la prueba de Dunn se produjo entre la estación 3 y 4 ($p = 0,0035$) y entre la 3 y la 5 ($p = 0,0185$). No obstante, el análisis de conglomerado, mostró que el cobre presentó diferencias de la estación 1 con respecto a las demás, y el cadmio en la estación 2 con relación a las otras estaciones (Figura 4).

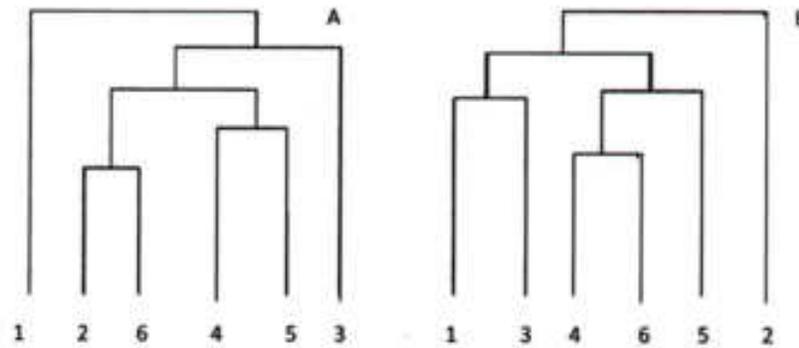


Fig. 4 Similaridad de concentración de Cobre (A) y Cadmio (B) por Estaciones, Estero Farfán, Golfo de Montijo, Panamá

La concentración de los metales del sedimento entre temporada seca y lluviosa, no presentó diferencias en el caso del cobre ($U = 156$, $p = 0,8494$) ni en cadmio ($U = 109$, $p = 0,0936$).

El índice de geoacumulación para cobre varió entre 0,11 lo que indica muestra no contaminada a 3,37, catalogada como muestra muy contaminada, mientras que el cadmio osciló entre 0,03 a 0,60 que representa muestras no contaminadas. El índice de carga de contaminación para ambos metales indicó valores muy bajos, 0,00054 para cobre y 0,02256 para cadmio. El factor de enriquecimiento fue de 22,63 % en cobre y 41,54 % en cadmio, el factor de contaminación, 2,75 en cobre, contaminación moderada y 0,09 en cadmio, que indica

contaminación baja. El índice grado de contaminación para ambos metales, 2,83 resultó ser bajo, igual que el riesgo potencial ecológico, cuyo valor obtenido fue de 16,38.

DISCUSIÓN

Los valores de cobre en el presente estudio coinciden dentro del ámbito de los reportados por Sadiq (1992) en sedimentos prístinos a nivel global, de 10 $\mu\text{g/g}$, en Bahía Damas, isla de Coiba, Panamá, Araúz *et al.*, (2013) reportan valores de 48,7 $\mu\text{g/g}$. y Gómez *et al.* (2006), en la estación del mercado público, Bahía de Panamá de 129 $\mu\text{g/g}$ y difieren de los reportados por Villarreal-Núñez *et al.* (2018), 155,5 $\mu\text{g/g}$, en la cuenca baja del río La Villa.

Niveles de cobre obtenidos en el estero Farfán pueden estar relacionados con las prácticas agrícolas propias de la región, con desarrollo de 11 265 ha de granos, tubérculos (MIDA, 2019). En Azuero, Villarreal-Núñez *et al.* (2018) encontraron elevadas concentraciones de Cu, atribuido al uso de fungicidas, producto de la gran actividad agrícola de la zona. En el caso particular del cobre y cadmio, la distribución de estos metales, de procedencia de actividades antrópicas producen acumulación de estos metales en el sedimento marino (Calderón & Valdés, 2012)

La característica geológica de la zona puede ser un factor del origen de los metales, a pesar que las rocas cúplicas son asociadas a eventos hidrotermales, es característico observar areniscas en yacimientos sedimentarios, basaltos y andesita, en yacimientos igneos, ricos en cobre (Tourtelot & Vine, 1976), mientras que la presencia de fosforitas en depósitos sedimentarios son fuente de cadmio (Cantera *et al.*, 2008); en ese sentido, Abrameto *et al.* (2014) indican que la fuente de las concentraciones de cobre puede provenir de la composición propia del sedimento, sujeto a procesos físicos y químicos. Carro *et al.* (2005) indican que este metal posee una alta movilidad geoquímica, partículas en suspensión pueden ser fuente de adsorción de los metales, las cuales ingresan a la matriz sedimentaria de las zonas estuarinas (Márquez *et al.* 2000), Martínez & Senior (2001) indican que el cobre puede precipitar a partir de partículas coloidales que flocculan hacia el sustrato cuando se da el proceso de incorporación de la cuña marina hacia los reservorios de agua dulce.

En la matriz, arena media (fracción granulométrica predominante), el proceso de adsorción del cobre demuestra una afinidad altamente significativa, con un comportamiento similar al indicado por Zafra *et*

al. (2007), sin embargo, este mismo autor señala que el cadmio muestra valores superiores en sedimento limo-arcilloso; Malla *et al.* (2007) señalan que hay mayor concentración de este metal en suelos arenosos, por otro lado, Lakhan *et al.* (2003) sugiere lo contrario, que hay mayor concentración de este metal en sedimentos finos.

Con relación a la granulometría, el diámetro de la partícula sedimentaria de los sustratos litorales guarda relación con el contenido de metales, debido a la alta relación superficie-volumen que aumenta la adsorción iónica de los granos finos (Rubio *et al.* 2000), además del efecto de la materia orgánica que facilita la movilidad de los metales (Marchand *et al.* 2011), la cual muestra una correlación directa con la granulometría fina (Pedrín Avilés *et al.* 2012), que se acumula en zonas de baja energía hidrodinámica (Fuentes, 2008).

La relación entre la concentración de cobre y el pH, se explica por la solubilidad de los metales en sedimento con tendencia ácida, González *et al.* (2009), señalan que estos pueden ser precipitados y retenidos. Cuizano *et al.* (2010) señalan la importancia de la molécula de agua para la estructuración de complejos con número de ligandos relacionados a cationes metálicos que dependen del potencial de hidrogeniones, estos finalmente se decantan hacia la matriz sedimentaria. García-Tomillo *et al.* (2019), en estudios de parcelas experimentales, indican aumento de la concentración de metales en relación a este potencial; sin embargo, Villarreal-Núñez *et al.* (2018) no encontraron correlación de estos metales y el pH, en sedimentos de la zona de incidencia marino costera del río La Villa, tanto en temporada seca como en lluviosa, al igual que el cadmio que mostró comportamiento parecido en el presente estudio.

El cadmio presenta valores menores a los obtenidos por Gómez *et al.* (2006), quienes informaron un contenido máximo de 0,58 $\mu\text{g/g}$ para las estaciones de la Rampa y Matasnillo, Bahía de Panamá; Araúz *et al.* (2013) en bahía Damas, isla Coiba, con intervalo entre 1,84 a 3,53 $\mu\text{g/g}$ y Villarreal Núñez (2018) con valor máximo de 0,81 $\mu\text{g/g}$ en la cuenca baja del río La Villa, la presencia de este metal puede estar relacionado a aguas de descargas, así como, al uso de fertilizantes en la agricultura. Baggio & Horne (2008) indican que el cadmio, entre otros metales, proviene del uso de agroquímicos producto de la agricultura,

y genera residuos metalorgánicos en el sedimento costero. Niveles elevados de este metal, puede bioacumularse, biomagnificarse y producir toxicidad, por no ser un metal esencial (Márquez *et al.*, 2012).

Este metal muestra diferencias significativas entre estaciones de colecta, Carro *et al.* (2005), señalan que la concentración de metales disminuye hacia las zonas internas de los estuarios, donde las fracciones que se adhieren a las partículas de sedimento están vinculadas a oxihidróxidos de manganeso, carbonato y sulfuros metálicos (Martínez & Senior, 2001)

Las concentraciones elevadas de ambos metales, en el mes de mayo, puede relacionarse con los aportes de los tributarios que descargan en las estaciones 3 y 4 en la temporada lluviosa, que induce a cambios en la estructura granulométrica y mineralógica del sedimento marino, Martínez Cedrún *et al.* (2013) indican que la presencia de arenas con alto contenido de cuarzo y pobre en carbonato, son propias de los aportes fluviales a los estuarios. En ese sentido se explica la variación de la concentración de estos metales en la temporada lluviosa en las estaciones antes mencionadas.

Aunque con los análisis estadísticos muestra diferencias de concentración de concentración variable de cobre entre los meses, el cadmio no lo hace. El análisis de conglomerado presenta la separación de la estación 1 para cobre y 2 para cadmio con respecto a las demás, lo cual podría ser explicado por la ubicación de estas dos estaciones en la parte interna del estero, que recibe aporte fluvial importante, la cual puede estar relacionada al cambio de la estructura granulométrica del sedimento por la variación de la temporada lluviosa en el periodo de estudio. Procesos como la escorrentía, el flujo de tributarios, transporte y la influencia antropogénica son factores que intervienen en los aportes de metales a los sedimentos costeros, a partir de la adsorción por parte de las partículas más finas, la cual aumenta durante los periodos de temporada lluviosa (Buccolieri *et al.*, 2006; Oribhabor & Ogbeibu, 2009).

Dadas las características de bioacumulación, frecuencia y persistencia del cobre metales en el sedimento marino y su inestabilidad, estas fracciones resultan ser potencialmente de alta toxicidad debido a los cambios en el ambiente (García-Rico *et al.* 2004). El nivel de contaminantes metálicos en los sedimentos superficiales de estuarios

está asociado con la disminución de las poblaciones de organismos marinos de interés comercial. Otro tipo de contaminantes como las pinturas utilizadas en las embarcaciones contienen compuestos antiincrustantes con alto contenido de cobre, cadmio y estaño los cuales provocan contaminación y efectos adversos en el ecosistema marino que al dispersarse en una amplia zona afecta la fracción sedimentaria (Castillo *et al.* 2005).

Estas fracciones y su distribución espacial de los metales depende de la capacidad de adsorción de los sedimentos, lo que ocasiona zonas más contaminadas, sin embargo, no se espera encontrar reparto espacial marcado en los sedimentos estuarinos (García-Céspedes *et al.* 2004). Espinosa *et al.* (2011) indican que la capacidad de desplazamiento y biodisponibilidad de los metales pueden generar modificaciones en la matriz sedimentaria y su relación con las condiciones físico-químicas del medio.

Páez Osuna (2005) señala que la distribución de los iones metálicos depende de la matriz ambiental la cual se adhiere el metal, además de la granulometría, la fuente de procedencia y de las actividades humanas, razones que en el presente estudio no registra un comportamiento de gradiente regular en el sedimento, ni con los parámetros ambientales.

El índice de geoacumulación en cobre es superior al obtenido en Coiba que varía de -0,7 a -0,47, mientras que en el cadmio son inferiores y oscilan entre 2,48 y 3,42 (Araúz *et al.*, 2013). Ruiz (2001) en la costa española obtiene valores entre 0 y 2,4 en cobre, valores dentro del ámbito de los obtenidos en la presente investigación, ambos estudios anteriores utilizan el mismo valor de referencia de fondo en la ecuación correspondiente. A pesar de la crítica hecha por Kowalska *et al.* (2018), al respecto de la variedad de valores de referencia de fondo

usados en la literatura, los utilizados aquí coinciden con los anteriores autores con la finalidad de facilitar la comparación.

El índice de carga de contaminación es inferior al obtenido por Priju & Narayana (2004) en lagunas costeras de India, con valores entre 2,2 y

3,7 debido a la cercanía de las fuentes de contaminación, y del reportado por Suresh *et al.* (2011), promedio de 4,03, en sedimento de río, también en India y en Bangladesh, varía de 1,7 a 7,0 (Islam *et al.*, 2015).

El factor de enriquecimiento propuesto por Jiao (2018), presenta valores dentro del ámbito de variación para ríos de China para cobre entre 5,91 y 93,9 % y de 1,19 a 97,6 % en cadmio.

El factor de contaminación es inferior para cobre, 0,5 a 1,5 y cadmio, 0,3 a 4,5 en Pakistán, en la zona continental (Raj *et al.*, 2008) y en Malasia, 0,5 a 1,5 en cobre y 0,3 a 4,5 en cadmio (Elias *et al.*, 2014), sin embargo, es superior que el reportado en cobre 0,054 a 0,315 y en el límite inferior para cadmio, 0,083 a 3,0 en India (Telave *et al.*, 2020)

El grado de contaminación fue inferior al reportado por Elias *et al.* (2014) en Malasia, que indica valores entre 7,5 y 43,2.

El riesgo potencial ecológico es inferior al reportado por Huang *et al.* (2020) en China, quienes indican valores entre 422 y 4854, pero se debe tomar en cuenta que en dicho estudio se calculó con ocho metales. Mientras que Wu *et al.* (2014), también en China, reportan valores entre 40 y 320 solo para los metales utilizados en la presente investigación.

CONCLUSIONES

Los valores de cobre encontrados están dentro del ámbito de los reportados para el Pacífico panameño. No se observa relación estadística de este metal con ninguna variable físico-química, a excepción del pH, pero sí con la arena media. Con respecto a la distribución temporal y espacial se observa diferencias entre meses, pero no entre estaciones de colecta.

El cadmio muestra concentraciones inferiores a los valores reportados en áreas aledañas y no guarda relación con ninguna variable físico-química, ni con la granulometría, además, no presenta diferencias entre meses, pero sí entre las estaciones.

Con relación a las temporadas seca y lluviosa, no se observa diferencias de ninguno de los metales.

La aplicación de los índices calculados muestra posible acumulación de cobre en algunas épocas del año en la zona de estudio, sin embargo, no son de alto riesgo ecológico.

REFERENCIAS

- Abrameto, M., T. Gibelli; B. Aldalur, M.I. & Gil. B. 2014. Geoquímica de sedimentos de agua dulce: Análisis multivariado e índices geoquímicos. En Marcovecchio, J.E., Botté, S.E. y Freije, R.H. (eds.). Procesos geoquímicos de la superficie en América Latina. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, 17-34 p.
- Alquezar, R., Markich, S.J. & Booth, D.J. 2006. Metal accumulation in the smooth toadfish, *Tetractenos glaber*, in estuaries around Sydney, Australia. *Env. Pollut.* 142: 123-131.
- Araúz, D., García, A.L. & Rodríguez, F. 2013. Nivel de contaminación y distribución espacial de metales pesados en sedimentos superficiales x2007. *Aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Bio-Médicas*. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamiraguá, Brasil. 364 p.
- Baggio, H. & Horne, H.A. 2008. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente no rio do formoso, município de Buritizeiro – MG. *GEONOMOS* 16(2): 91-98
- Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Dell'Atti, A., Di Leo, A. & Maci, A. 2006. Heavy metals in marine sediments of Tranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Mar. Chem.* 99:227-235.
- Calderón, C. & Valdés, J. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos en la bahía de San Jorge, Antofagasta, Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(1):1 21-133.
- Camargo, M.G. 2006. SYSGRAN: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Rev. Bras. Geol.* 363(2):371-378.

Cantera, V., Mateus, E., Muñoz, F., Montoya, C., Herrera, J. & Loy, J. 2008 Selección de la mejor alternativa para la industrialización de la roca fosfórica en el Departamento de Huila. Contrato de Consultoría No. 1364. Zeolitas AFL Ltd, 136 pp.

Carmody, O.J., Pearce, B. & Yasso, J. 1973. Trace metals in sediments of New York Bight. *Mar. Poll. Bull.*, 4: 132-135.

Carro, B., Borrego, J., López-González, N. & Lozano-Soria, O. 2005. Fraccionamiento de Fe y metales pesados en la materia en suspensión de la Ría de Huelva (SO de España). *Geogaceta*, 38: 155-158.

Castañé, P.M., Topalián, M.L., Cordero, R.R. & Salibián, A. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados em medio acuático como determinante de su toxicidad. *Rev. Toxicol.*, 20: 13-18.

Castillo I., Acosta, V., Martínez, G. & Núñez, M. 2005. Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón *Perna perna*, cultivado en la Ensenada Turpialito, Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. *Rev. Zootecnia Trop.* 23(2): 141-154.

Castro, L.N. & Melgar, R. 2018. Rocas fosfóricas. En Nielson, H. & Sarudianski, R. (eds.) *Minerales para la agricultura en latinoamérica*. Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires. Proyecto CYTED XIII-2, 1-29.

CATIE. 2014. Valoración económica de los manglares de David y el humedal golfo de Montijo. Informe Técnico, MarViva, 162 p.

Cedeño, V., Franco, A., Ortega, A. & Toral, J. 2008. Presentación del Atlas Nacional de Panamá. *Rev. Geogr.* 143:211-216.

Cuizano, N.A., Reyes, U.F., Dominguez, S., Llanos, B.P. & Navarro, A. 2010. Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Rev. Soc. Quim. Perú*, 76(2): 123-130.

Elias, M.D.S, Hamzah, M.S., Ab Rahman, S., Salim, N.A.A., Siong, W.B., Sanuri, E. 2014. Ecological risk assessment of heavy metal in

surface sediment collected from Tuanku Abdul Rahman National Park, Sabah. *AIP Conference Proceedings* 1584(1):196-206

Espinosa, L. F., Parra, J.P. & Villamil, C. 2011. Determinación del

contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la Ciénega Grande de Santa Marta, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 40(1): 7-23.

Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. A Study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27: 3-26.

Fuentes, M.V. 2008. Metales pesados Cu, Cr, Ni, Zn, Pb y Cd en los sedimentos del muelle pesquero de Güira, Estado Sucre, Venezuela. *Tecnociencia*, 10(2): 61-79.

Fuentes, M.V., Sanguinetti-Gamboa, O.A. & Rojas de Astudillo, L.L. 2019. Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco. *Rev. Int. Contam. Amb.*, 35(1): 101-114.

García-Céspedes, J., Acuña González, J. & Vargas Zamora, J.A. 2004. Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 52(Suppl. 2): 51 – 60.

García-Rico, L., Soto-Cruz, M.S., Jara-Marini, M.E. & Gómez-Álvarez, A. 2004. Fracciones geoquímicas de Cd, Cu y Pb en sedimentos costeros superficiales de zonas ostrícolas del estado de Sonora, México. *Rev. Int. Contam. Amb.*, 20(4): 159-167.

García-Tomillo, A., Dafonte, J., Paz-González, A. & Paz, J. 2019. Niveles de Cd, Cr, Ni y Pb extraídos mediante Mehlich-3 y DTPA en un suelo agrícola sobre sedimentos cuaternarios. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, 41: 47– 58.

González S.E., Retamal, M., Medina, V., & Ahumada, R. 2009. Enriquecimiento, disponibilidad y contaminación por metales traza (Cd, Cu, Pb y Zn) en sedimentos de lagunas urbanas de Concepción-Chile. *Quim. Nova*, 32(4): 902-907.

Gómez, J. A., Fuentes, M.V., Leone, O. & Vega, C.A. 2006. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Bahía de Panamá. *Tecnociencia*, 8(1): 113-132.

Håkanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001.

Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J. & Zheng, B. 2020. Risk

assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang river in south China. *Environ. Sci. Eur.* 32:1-9. <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-020-00305-w>

Islam, S., Ahmed, K. Raknuzzaman, M., Al Mamun, H. & Islam, K. 2015. Heavy metal pollution in surfage water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecol. Ind.* 48: 282-291.

Jiao, Z., Li, H., Song, M. & Wang, L. 2018. Ecological risk assessment of heavy metals in water and sediment of the Pearl River estuary, China. *Mater. Sci. Eng.*, 394: 1-13.

Kiliç, E. 2020. Infaunal community responses to the gradient of heavy-metals in Langstone Harbour, U.K. *Turkish J. Wat. Sci.* , 4(2):193-227.

Kowalska, J.B., Mazurek, R., Gasiorek, M. & Zaleski, T. 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review. *Environ. Geochem. Health*, 40(6): 2395–2420.

Lakhan, V.C., Cabana, K. & LaValle, P.D. 2003. Relationship between grain size and heavy metals in sediments from beaches along the coast of Guyana. *J. Coast. Res.*, 19(3):600-608

Magesh, N.S., Chandrasekar, N, Krishna Kumar, S. & Glory, M. 2013. Trace element contamination in the estuarine sediments along Tuticorin coast – Gulf of Mannar, southeast coast of India. *Mar. Poll. Bull.*, 79: 355-361.

Malla, R., Tanaka, Y, Mori, K. & Totawat, K.L. 2007. Effect of short-term sewage irrigation on chemical build up in soils and vegetables. *Agric. Eng. Int. CIGR E-J.*, 9(7): 1-6.

Marchand, C., Allenbach, M. & Lallier-Verges, E. 2011. Relationships between heavy metals distribution and organic matter cycling in mangrove sediments (Conception Bay, New Caledonia). *Geoderma*, 160:4 44-456.

Márquez, A., Senior, W. & Martínez, G. 2000. Concentraciones y comportamiento de metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. *Interciencia*, 25(6): 284-291.

Márquez A., García, O. Senior, W., Martínez, G. & González, A. 2012. Distribución de metales pesados en sedimentos superficiales del Orinoco Medio, Venezuela. *CIENCIA*, 20(1): 60-73.

Márquez, A. 2015. Evaluación de la distribución del contenido total y biodisponibles de los metales pesados, Cu, Cd, Pb y Hg en sedimentos superficiales del estero de Santa Rosa, Provincia de El Oro. *Foro Iberoam. Rec. Mar. Acuí.* 7: 253-265.

Martínez, G & Senior, W. 2001. Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu, Cr) en el material en suspensión de la pluma del Río Manzanares, Venezuela. *Interciencia*, 26(2): 53-61.

Martínez, G., Rodríguez, L. & Senior, W. 2002. Especiación de (Cd, Zn, Cr, y Pb) en núcleos de sedimentos de la Bahía de Bergantín, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Interciencia*, 27(4): 173-179.

Martínez Cedrún, P. Fernández Maroto, G.F. & Flor Blanco, G. 2013. Granulometría y composición mineralógica de los sedimentos arenosos de los sistemas de playa/dunas de la costa de Cantabria (NO de España). *Geotemas* 14: 95-98.

Maté, J.L. 2005. Análisis de la situación de la pesca en los golfos de Chiriquí y de Montijo. The Nature Conservancy, STRI, 68 p.

MIDA. 2019. Resumen según grupos cultivos con diferentes tecnologías de producción. Año agrícola 2018- 2019.

<https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2020/05/Cierre-Agr%C3%ADcola-2018-2019-2.pdf?csrt=6419987190275554775>

Müller, V.G. 1986. Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente als Schadstoffe. *Mitt. österr. geol. Ges.*, 79: 107-126.

Oribhabor, B.J. & Ogbeibu, A.E. 2009. Concentration of heavy metals in a Niger delta mangrove creek, Nigeria. *Global J. Environ. Sci.* 8(2):1-10.

Páez Osuna. 2005. *Fuentes de metales en la zona costera marina*. En Botello, A.V., Rendón von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.) Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental. 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología, 329-342.

- Paez-Osuna, F., & Osuna-Martinez, C. 2011. Biomonitoring of coastal pollution with reference to the situation in the Mexican coasts: a review on the utilization of organisms. *Hidrobiológica*, 21(3), 229-238.
- Pedrin-Avilés, S., López-Martinez, J. & Garcia-Hinostro, P. 2012. *Granulometría y materia orgánica de áreas pesqueras rastreables y no rastreables en la costa central de Sonora, México*.
- En Martínez, J.L. & Bojórquez, E.M. (eds.) Efecto de la pesca de arrastre en el Golfo de California, SAGARPA/CONACYT, México. 261-281.
- Pielou, E.C. 1984. The interpretation of ecological data. John Wiley & Sons. 263 p.
- Priju, C.P. & Narayana, A.C. 2004. Spatial and temporal variability of trace element concentrations in a tropical lagoon, southwest coast of India: Environmental implications. *J. Coast. Res.*, 39: 1053-1057.
- Raj, S.M., & Jayaprakash, M. 2008. Distribution and enrichment of trace metals in marine sediments of Bay of Bengal, off Ennore, south-east coast of India. *Environ. Geol.* 56: 207-217.
- Rubio B., Nombela, M.A. & Villas, F. 2000. La contaminación por metales pesados en las Rías Baixas gallegas; nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO de España). *Journal of Iberian Geology*, 26: 121-149.
- Ruiz, F. 2001. Trace metals in estuarine sediments from the southwestern Spanish coast. *Mar. Poll. Bull.* 42(6): 482-490
- Sadiq, M. 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker. INC. New York. USA. 389 pp.
- Sany, S.B.T., Salleh, A., Rezayi, M., Saadati, N., Narimay, L., & Tehrani, G.M. 2013. Distribution and contamination of heavy metal in the coastal sediments of Port Klang, Selangor, Malaysia. *Water Air Soil Pollut.*, 224(1476): 2-18.
- Senior, W., Valarezo, C., Sánchez, O., Jácome, N.C., Tobar-Ordóñez, J.A., Collaguazo-Yaguachi, A.F., Hernández, D., Rodríguez, G., Benitez, A., Fermin, I., De La Cruz, R. & Márquez, A. 2015. Evaluación de la distribución del contenido total de biodisponibles de los metales pesados, Cu, Cd, Pb, Hh en sedimentos superficiales del

estero de Santa Rosa, Provincia de El Oro, Ecuador. VII Foro iberoamericano de los recursos marinos y la acuicultura. 18 al 21 de noviembre de 2014, Machala, Ecuador. 253-266

Suguio, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. Editora Blucher/ Ed. Universidade de São Paulo. 317 pp.

Suresh, G., Ramasmy, V., Meenakshisundaram, V., Venkatachalapathy, R., Ponnusamy, V. 2011. Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide concentrations in the river sediments. *Applied Radiation and Isotopes*. 69:1466-1474.

Telave, A.B., Chandankar, S.R., Jagtap, A.S. & Pawar, G.P. 2020. Assessment of bioaccumulation potential of mangroves along the coast of Maharashtra, India using statistical indices. *Indian J. Geo Mar. Sci.* 49(8): 1372-1378.

Tourtelot, E.B. & Vine, J.D. 1976. Copper deposits in sedimentary and volcanogenic rocks. Geology and resources of copper. Geological Survey Professional Paper. 36 pp.

Tuñón-Pineda, O., Chang, J.C., del Cid, A., Goti, I. & Gómez, J.A. 2020. Concentración de metales pesados (Cu y Cd), en tejido gonadal de *A. tuberculosa* en el estero Farfán, Golfo de Montijo. *Tecnociencia*, 22(2): 227-243.

Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 72: 175-192.

Vargas-González, H. H., Arreola-Lizárraga, J.A., García-Hernández, J., García-Hernández, R.A., Zenteno-Savín, T. & Méndez-Rodríguez, L.C. 2017. Calidad de sedimentos asociada a actividades antrópicas en lagunas costeras semiáridas subtropicales de la costa central este del Golfo de California. *Rev. Int. Cont. Amb.*, 33: 7-22.

Villarreal-Núñez, J.E., Santo-Pineda, A., Villalaz-Pérez, J.A., Ballesteros, N. & Ramos-Zachrisson, I.A. 2018. Metales pesados en suelos y sedimentos en la cuenca del río La Villa-Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, 9: 41-65.

Wu, Q., Tam, N.F.Y., Leung, J.Y.S., Zhou, X., Fu, J., Yao, B., Huang, X. & Xia, L. 2014. Ecological risk and pollution history of heavy metals

in Nansha mangrove, south China. *Ecotox. Envi. Safty*, 104: 143-151.

Zafra, C.A., Temprano, J. & Tejero, J.I. 2007. Contaminación por escorrentía superficial urbana: metales pesados acumulados sobre la superficie de una vía. *Ingeniería e Investigación*, 27(1): 4-10.

Zafra, C.A., Temprano J. & Tejero, J.I. 2011. Concentración y distribución de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cd y Cr) en sedimentos viarios urbanos. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 58: 53-62.

Recibido 26 de mayo 2021 y aceptado 20 septiembre 2021
Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho



ESTRUCTURA NUMÉRICA DE LOS INSECTOS ACUÁTICOS EN LA DERIVA Y SU RELACIÓN CON LA COMUNIDAD BENTÓNICA, EN UN TRAMO DEL RÍO ZARATÍ, PROVINCIA DE COCLÉ, PANAMÁ

Cristie Rodríguez¹, Yarlenis Jurado¹ y Viterbo Rodríguez²

¹Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Coclé, Panamá.

²Universidad de Panamá, Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad en Coiba, (CCIMBIO-COIBA), Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá.

e-mail: n-lisbeth26@hotmail.com Cristie Rodríguez.

e-mail: yarlenys_jurado@hotmail.com Yarlenis Jurado

e-mail: viterbor@gmail.com Viterbo Rodríguez.

RESUMEN

Con la finalidad de determinar la estructura numérica de los insectos acuáticos en la deriva y su relación con la estructura numérica de la comunidad bentónica de insectos acuáticos, en un tramo del río Zaratí, Coclé, Panamá, se realizaron muestreos una vez por semana, durante los meses de junio a septiembre del 2019, dando un total de 12 muestreos en el tramo seleccionado. Para la recolecta de insectos acuáticos en la deriva, se utilizaron dos trampas de deriva, con un área de 0,176 m² y 500 µm de ojo de malla, colocadas contra corriente. Las trampas de deriva se mantuvieron sumergidas durante todo el periodo de muestreo y se desocuparon cada 12 horas: de 06:00 a 18:00 h. y de 18:00 a 06:00 h. Para la recolecta de los insectos bentónicos se utilizaron redes tipo D-Net. Se recolectó un total de 3 984 insectos acuáticos de los cuales 1 387 pertenecen a la deriva y 2597 para la comunidad bentónica. En la fracción de insectos acuáticos en la deriva los órdenes más abundantes fueron: Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera y Coleoptera. Mientras que la comunidad bentónica los órdenes más abundantes fueron: Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata y Heteroptera. Las mayores abundancias de insectos acuáticos en la deriva se obtuvieron en el periodo nocturno, lo que determina una deriva conductual y apoya la "hipótesis de deriva de insectos acuáticos como un mecanismo para evitar la depredación". El índice de similitud de Jaccard mostró un valor de similitud entre los géneros de insectos acuáticos en la deriva y los géneros de insectos acuáticos de la comunidad bentónica

de $J= 52 \%$. Esto indica que la mayor parte de los taxones se desplazan en la deriva y que la estructura numérica de la fracción derivante de los insectos acuáticos no es más que el reflejo de la estructura numérica de la comunidad bentónica.

PALABRAS CLAVES

Estructura numérica, insectos acuáticos, deriva, comunidad bentónica, río Zarati, periodicidad.

STRUCTURE OF DRIFTING AQUATIC INSECTS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE BENTHOS AQUATIC INSECT COMMUNITY, IN A SECTION OF THE ZARATÍ RIVER, PROVINCE OF COCLÉ, PANAMA.

ABSTRACT

Sampling was conducted to determine the numeric structure of drifting aquatic insects and their relationship with the benthic insect numeric structure, in a section of the Zarati River, Coclé, Panama. Field work took place once a week, during June to September 2019 for a total of 12 sampling campaigns in the selected river section. For collection of drifting insects, two traps with an area of 0,176 m² and 500 µm were used and placed against the current. Drifting traps remained submerged during the sampling period and were emptied every 12 hours from 06:00 to 18: 00 h and 18:00 to 06:00 h, while D-Nets were used for benthic insect collection. A total of 3 984 aquatic insects were collected, where 1 387 belonged to the drifting and 2 597 to the benthic groups, respectively. The most abundant orders of the drifting group were Ephemeroptera, Trichopteran, Diptera and Coleoptera, whereas the benthic group most abundant orders were Trichopteran, Ephemeroptera, Odonata and Heteropteran. The highest aquatic insect abundance in the drifting group was recorded during nocturnal periods implying behavioral drifting, supporting the hypothesis that drifting as a predation escape mechanism. Jaccard similarity index between aquatic insect genera in the drifting group and benthic group was $J = 52 \%$. This indicates that the largest part of taxa move through drifting and the fraction of drifting aquatic insect's numeric structure is a reflex of the benthic numeric structure.

KEY WORDS

Numerical structure, aquatic insects, drift, benthic community, Zarati river, periodicity.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades de insectos acuáticos bentónicos poseen adaptaciones morfológicas, fisiológicas y conductuales que les permiten resistir las fuerzas de la corriente, sin embargo, una fracción de la comunidad bentónica, entra en la columna de agua y participan de un fenómeno conocido como deriva. Este fenómeno descubierto por Needham, (1928) y definido por Waters (1972) como el transporte de organismos macroinvertebrados, mayores a 0.30 mm aguas abajo, organismos bentónicos sumamente abundantes y diversos, en los ecosistemas acuáticos, lo que les confiere gran importancia para el entendimiento de la dinámica funcional, estructural y energética de estos ambientes (Aguirre-Pabón et al., 2012; Sánchez-Hernández, 2011).

Existen tres tipos de deriva: la deriva catastrófica, la deriva conductual y la deriva constante o causal (Water, 1962; Allan, 1995), indistintamente al tipo de deriva al que se refiera, la dinámica del transporte de la fracción de los organismos bentónicos en la deriva, medido en términos de su abundancia, se convierte en un indicador de alteraciones en los ecosistemas acuáticos y por ende, en un indicativo de la salud ecológica o la calidad biológica del agua (Corigliano, et al., 1998; Sánchez-Hernández, 2011).

La periodicidad en la deriva exhibida por los organismos acuáticos, tanto en el trópico como en la zona templada, presenta un aumento en la abundancia de individuos durante el periodo nocturno y una reducción en su abundancia en el periodo diurno (Ramírez & Pringle, 1998; Quiñónez et al., 1998; Aguirre-Pabón et al., 2012; Tamaris-Turizo et al., 2013; Rodríguez & Duarte, 2019; Rodríguez & Otero, 2019). Este tipo de deriva llamada conductual o intencional por (Allan & Castillo, 2007), ocurre en respuesta a condiciones físicas, químicas o biológicas desfavorables o como una respuesta adaptativa inducida por la presión de los depredadores visuales, como los peces (Allan, 1995; Ramírez & Pringle 2001; Shearer et al., 2002).

Este mismo patrón en la periodicidad de la deriva fue encontrado por Flecker (1992) en ríos que históricamente presentan peces depredadores y una aperiodicidad en ríos que carecen de peces depredadores. La deriva nocturna como respuesta adaptativa a la depredación por parte de

peces, es apoyada por el hecho de que en la noche derivan las tallas más grandes de insectos, las cuales en el día serían más fácilmente detectadas por los depredadores visuales (Allan, 1984) y por el hecho de que los insectos que presentan deriva aperiódica son de tallas relativamente pequeñas, (Allan, 1978; Bello-González et al., 2015).

Sobre deriva de insectos acuáticos existe abundante literatura para zonas templadas (Brittain & Eikeland, 1988; Ramirez & Pringle, 1998; Flecker, 1990, 1992; Pringle & Ramirez, 1998), pero para la región Neotropical los estudios referentes a la composición, estructura y periodicidad son escasos y poco conocidos (Quiñones et al., 1998; Ramirez & Pringle, 1998, 2001; Rodríguez et al., 2006; Tamaris-Turizo, et al, 2013). Cabe destacar que en Panamá son muy limitados los registros de estudios sobre deriva, específicamente de insectos acuáticos (Rodríguez, 2018; Rodríguez & Duarte, 2019; Rodríguez & Otero, 2020), razón por la cual los objetivos principales de este estudio fueron: determinar la calidad del agua, la periodicidad de la deriva, la estructura numérica de la fracción de insectos acuáticos en la deriva, su relación con la comunidad bentónica de los insectos acuáticos en un tramo del río Zarati, provincia de Coclé, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la parte baja del río Zarati, específicamente en el balneario Las Mendozas, en el distrito de Penonomé, provincia de Coclé. El área ha sido clasificada según el índice bioclimático De Martonne, (1926), como un bioma per-húmedo. Se seleccionó un tramo, con una longitud de 40 m. y coordenadas 17 N 570802.3 y 942581.4 (UTM) 62 m s.n.m. (Fig. 1).



Fig. 1. Parte baja del río Zaratí, balneario Las Mendozas, Penonomé, República de Panamá.

El tramo fue seleccionado tomando en cuenta la mayor diversidad de hábitats posibles, para utilizar la técnica de muestreo de multi-hábitats, propuesta por Sermeño et al., (2010), para la recolecta de insectos acuáticos bentónicos. El muestreo se llevó a cabo entre los meses comprendidos entre junio y septiembre del 2019, dando un total de 12 campañas de muestreo. El esfuerzo de muestreo en el tramo estudiado fue de una hora para dos personas.

Método de recolección de los insectos acuáticos en la deriva.

Para la recolecta de insectos acuáticos en la deriva, se colocaron dos trampas de deriva al inicio del tramo, cada una con un área de $0,176 \text{ m}^2$ y una apertura de ojo de malla de $500 \mu\text{m}$, donde se mantuvieron siempre sumergidas y contra corriente. Las trampas de deriva se desocuparon cada 12 horas, durante un ciclo de 24 horas por día de colecta; (06:00 a 18:00 h. y de 18:00 a 06:00 h.). Su contenido era depositado en bolsas "ziploc", rotuladas y fijado con alcohol al 70% con cuatro gotas de glicerina.

Método de recolección de los insectos acuáticos en la comunidad bentónica

La recolecta de los insectos acuáticos bentónicos se realizó, aguas abajo de las trampas de deriva y se utilizó una red tipo D-Net de $500 \mu\text{m}$ de

ojo de malla, con la que se hicieron barridos en los bordes, fondos, corrientes y remansos, procurando recolectar a los insectos acuáticos

desde aguas abajo hacia aguas arriba evitando no intervenir con las trampas de deriva.

El contenido de la red, se vaciaba, en una bandeja de color blanco y luego “*in situ*” con ayuda de pinzas entomológicas se extraían los insectos acuáticos. Para registrar la mayor cantidad de taxa, se utilizaron también pinzas entomológicas para recolectar los organismos directamente del sustrato. Todos los insectos acuáticos recolectados fueron almacenados en envases plásticos de 150 ml., rotulados y fijados en alcohol al 70%, más dos gotas de glicerina para mantener blandas y flexibles las estructuras de los organismos. Todo el material recolectado fue transportado al laboratorio del Centro Regional Universitario de Coclé, Universidad de Panamá.

Tratamiento de muestras en laboratorio

Los insectos acuáticos fueron cuantificados e identificados hasta el nivel de género empleando las claves taxonómicas de Novelo-Gutiérrez, (1997a, 1997b); Roldán-Pérez (1988); Flowers & De La Rosa (2010); Ramírez (2010); Gutiérrez-Fonseca (2010); Springer (2006, 2010).

Análisis de la calidad biológica del agua: Índice EPT

El análisis EPT se realizó mediante la utilización de estos tres órdenes de insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) que son indicadores de buena calidad de agua, debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Para ello, se utilizó el método llamado EPT (%), el que se obtuvo dividiendo el número de individuos de estos órdenes presentes, entre el número total de individuos recolectados; el valor obtenido se multiplicó por cien y el resultado se comparó en una tabla de calificaciones de calidad de agua (Carrera y Fierro, 2001).

Análisis estadístico

Se aplicaron las pruebas de Mann-Whitney y Friedman, para comparar abundancia, y para determinar diferencias, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples por pares, mediante el procedimiento de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner. La diversidad se midió con el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') y se utilizó la t de Hutcheson, para determinar diferencias. El coeficiente de similitud de Jaccard, fue utilizado para medir la similitud entre las comunidades. Los datos fueron analizados en el software Past 3.16 (Hammer, Harper y Ryan,

2001) para Windows y en todas las pruebas estadísticas se utilizó un $\alpha \leq 0.05$.

RESULTADOS

Estructura numérica de la comunidad bentónica de insectos acuáticos en el tramo estudiado del río Zaratí.

En el Cuadro 1, se presentan los resultados de los órdenes, familias y géneros de insectos acuáticos, en la comunidad bentónica, reportados en Cárdenas, (2017). Se encontraron diferencias significativas en la abundancia de los insectos acuáticos entre el presente estudio y el de Rodríguez & Cárdenas, (2017), (Friedman, $Q= 9,87$, $gl= 2$, $p= 0.007$), (Cuadro 1).

Cuadro 1. Familias y géneros reportados por Rodríguez y Cárdenas (2017) en comparación con el presente estudio.

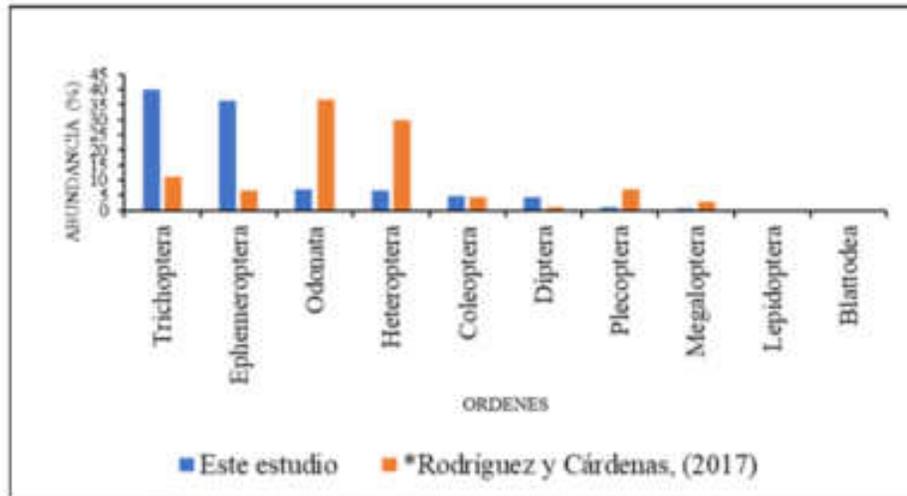
FAMILIAS	GENEROS	Rodríguez y Cárdenas, (2017) No. Individuos (%)	Presente estudio No. Individuos (%)
ORDEN: BLATTODEA			
Blaberidae	Blaberidae (*)	1 (0,25 %)	—
ORDEN: COLEOPTERA			
Dryopidae	<i>Emopartus</i>	13 (1,07 %)	—
Dryopidae	<i>Palaemonus</i>	4 (0,33 %)	—
Elmidae	<i>Cylopus</i>	1 (0,08 %)	—
Elmidae	Elmidae (*)	—	26 (1,0 %)
Elmidae	<i>Heterelmis</i>	—	11 (0,42 %)
Elmidae	<i>Holoechus</i>	—	1 (0,04 %)
Elmidae	<i>Micreelmis</i>	—	11 (0,42 %)
Elmidae	<i>Phanocerus</i>	—	1 (0,04 %)
Elmidae	<i>Xenelmis</i>	—	1 (0,04 %)
Gyrinidae	<i>Andagyrus</i>	7 (0,57 %)	—
Halpidae	<i>Halpina</i>	—	1 (0,04 %)
Lampyridae	Lampyridae (*)	—	1 (0,04 %)
Paepidae	<i>Paephanus</i>	12 (0,98 %)	70 (2,7 %)
Ptilodactylidae	<i>Achlytorius</i>	13 (1,07 %)	—
Staphylinidae	Staphylinidae (*)	2 (0,16 %)	—
ORDEN: DIPTERA			
Chironomidae	Chironomidae (*)	—	4 (0,15 %)
Empididae	<i>Empidus</i> (*)	—	4 (0,15 %)
Empididae	<i>Hemerodromus</i>	—	1 (0,04 %)
Simsiidae	<i>Simsia</i>	—	97 (3,74 %)
Tabanidae	Tabanidae (*)	—	1 (0,04 %)
Tipidae	<i>Heatomia</i>	9 (0,74 %)	2 (0,08 %)
Tipidae	<i>Tipula</i>	3 (0,25 %)	—
ORDEN: EPHEMEROPTERA			
Ephemeroptera (*)	Ephemeroptera (*)	—	1 (0,04 %)
Baetidae	<i>Americabaetis</i>	—	12 (0,46 %)
Baetidae	<i>Baetis</i> (*)	—	56 (2,5 %)
Baetidae	<i>Baetis</i>	5 (0,41 %)	12 (0,46 %)
Baetidae	<i>Baetodes</i>	—	6 (0,23 %)
Baetidae	<i>Camelobaetis</i>	—	126 (4,85 %)
Baetidae	<i>Cinepides</i>	—	3 (0,12 %)
Baetidae	<i>Gaigrobia</i>	—	29 (1,12 %)
Baetidae	<i>Paracloaseta</i>	—	2 (0,08 %)
Caenidae	<i>Caenis</i>	—	1 (0,04 %)
Euthyplocidae	<i>Euthyplocia</i>	28 (2,13 %)	—
Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	—	276 (10,63 %)
Leptohyphidae	Leptohyphidae (*)	—	23 (0,89 %)
Leptohyphidae	<i>Tricorythodes</i>	3 (0,25 %)	42 (1,62 %)
Leptohyphidae	<i>Trepida</i>	2 (0,16 %)	4 (0,15 %)
Leptohyphidae	<i>Tricholoba</i>	47 (3,86 %)	248 (9,55 %)
Leptohyphidae	<i>Ferrugia</i>	—	2 (0,08 %)
Leptohyphidae	<i>Traverella</i>	—	96 (3,7 %)
Leptohyphidae	<i>Umeritoides</i>	—	1 (0,04 %)
ORDEN: HETEROPTERA			
Belostomatidae	<i>Belostomat</i>	7 (0,57 %)	4 (0,15 %)
Gerridae	<i>Gerris</i>	78 (6,40 %)	—
Gerridae	<i>Neogerris</i>	5 (0,41 %)	—
Gerridae	<i>Tragobates</i>	35 (2,87 %)	—
Naucoridae	<i>Cryphoceros</i>	49 (4,02 %)	119 (4,58 %)
Naucoridae	<i>Ambrysus</i>	41 (3,36 %)	31 (1,19 %)
Naucoridae	<i>Limnoscus</i>	40 (3,28 %)	7 (0,27 %)
Naucoridae	<i>Naucoris</i>	—	4 (0,15 %)
Nepidae	<i>Careta</i>	2 (0,16 %)	—
Veliidae	<i>Microwelis</i>	2 (0,16 %)	—
Veliidae	<i>Rhinovelia</i>	99 (8,12 %)	—
Veliidae	<i>Strabivelia</i>	2 (0,16 %)	—

Naucoridae	<i>Ambrysus</i>	41 (3,36 %)	31 (1,19 %)
Naucoridae	<i>Limnocoera</i>	40 (3,28 %)	7 (0,27 %)
Naucoridae	<i>Naucora</i>	—	4 (0,15 %)
Nepidae	<i>Coricus</i>	2 (0,16 %)	—
Veliidae	<i>Mitrovalea</i>	2 (0,16 %)	—
Veliidae	<i>Rhagovalia</i>	99 (8,17 %)	—
Veliidae	<i>Sychevalia</i>	2 (0,16 %)	—
ORDEN: LEPIDOPTERA			
Crambidae	Crambidae (*)	—	2 (0,08 %)
Crambidae	<i>Pterophila</i>	5 (0,41 %)	2 (0,08 %)
ORDEN: MEGALOPTERA			
Corydalidae	<i>Corydalis</i>	33 (2,71 %)	12 (0,46 %)
ORDEN: ODONATA			
Calopterygidae	<i>Heterotia</i>	71 (5,82 %)	18 (0,69 %)
Coenagrionidae	<i>Argia</i>	150 (12,31 %)	100 (3,85 %)
Coenagrionidae	<i>Telebasis</i>	—	1 (0,04 %)
Gomphidae	<i>Agrionomphala</i>	7 (0,57 %)	2 (0,08 %)
Gomphidae	<i>Damogomphus</i>	—	5 (0,19 %)
Gomphidae	<i>Ephemeromphala</i>	3 (0,25 %)	5 (0,19 %)
Gomphidae	<i>Ptilogomphus</i>	24 (1,97 %)	—
Gomphidae	<i>Progomphus</i>	30 (2,46 %)	1 (0,04 %)
Libellulidae	<i>Brachymeria</i>	—	1 (0,04 %)
Libellulidae	<i>Dythemis</i>	33 (2,71 %)	—
Libellulidae	<i>Elanotarsus</i>	—	1 (4 %)
Libellulidae	<i>Elysi</i>	—	1 (0,04 %)
Libellulidae	<i>Dythemis</i>	7 (0,57 %)	—
Libellulidae	<i>Erythrodiplax</i>	44 (3,61 %)	24 (0,92 %)
Libellulidae	Libellulidae (*)	23 (1,89 %)	1 (0,04 %)
Libellulidae	<i>Macromia</i>	36 (2,95 %)	5 (0,19 %)
Libellulidae	<i>Parthenocera</i>	—	9 (0,35 %)
Megapodagrionidae	<i>Megapodagrion</i>	6 (0,49 %)	—
Odonata (*)	Odonata (*)	—	1 (0,04 %)
Platystichidae	<i>Platystichus</i>	10 (0,82 %)	2 (0,08 %)
Polythoridae	<i>Polythore</i>	2 (0,16 %)	—
Protonuridae	<i>Protonura</i>	1 (0,08 %)	—
ORDEN: PLECOPTERA			
Perlidae	<i>Anacronisura</i>	85 (6,97 %)	23 (0,89 %)
ORDEN: TRICHOPTERA			
Glossosomatidae	<i>Pratypella</i>	—	62 (2,39 %)
Hydropsychidae	<i>Calamopsycha</i>	—	6 (0,23 %)
Hydropsychidae	Hydropsychidae (*)	—	2 (0,08 %)
Hydropsychidae	<i>Lapromia</i>	47 (3,86 %)	34 (1,31 %)
Hydropsychidae	<i>Sarcodes</i>	35 (2,87 %)	694 (26,72 %)
Hydropsychidae	<i>Leucorhiza</i>	—	2 (0,08 %)
Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i>	4 (0,33 %)	—
Odentoceridae	<i>Mirisia</i>	—	1 (0,04 %)
Phlebotaridae	<i>Chimarra</i>	50 (4,1 %)	240 (9,24 %)
TOTAL		1219	2597

Fuente: Tomado y modificado de Rodríguez y Cárdenas (2017)

En el tramo estudiado del río Zarati se recolectaron un total de 2 597 insectos acuáticos en la comunidad bentónica, distribuidos en 9 órdenes, 28 familias (dos familias sin determinar) y 56 géneros (12 géneros sin determinar). En términos de mayor a menor abundancia los órdenes se distribuyeron de la siguiente manera: Trichoptera con 1 041 individuos, lo que representa el (40,08 %) de la comunidad bentónica de insectos acuáticos, seguido de Ephemeroptera con 940 (36,2 %), Odonata con 177 (6,82 %), Heteroptera con 168 (6,47 %), Coleoptera con 123 (4,74 %), Diptera con 109 (4,2 %), Plecoptera con 23 (0,89 %), Megaloptera

con 12 (0,46 %) y Lepidoptera 4 (0,15 %), (Fig. 2 y 6, Cuadro1).



Fuente: Tomado y modificado de Rodríguez y Cárdenas (2017)

Fig. 2. Porcentaje de abundancia de los órdenes de insectos acuáticos en la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati, comparado con el estudio de Rodríguez y Cárdenas, (2017).

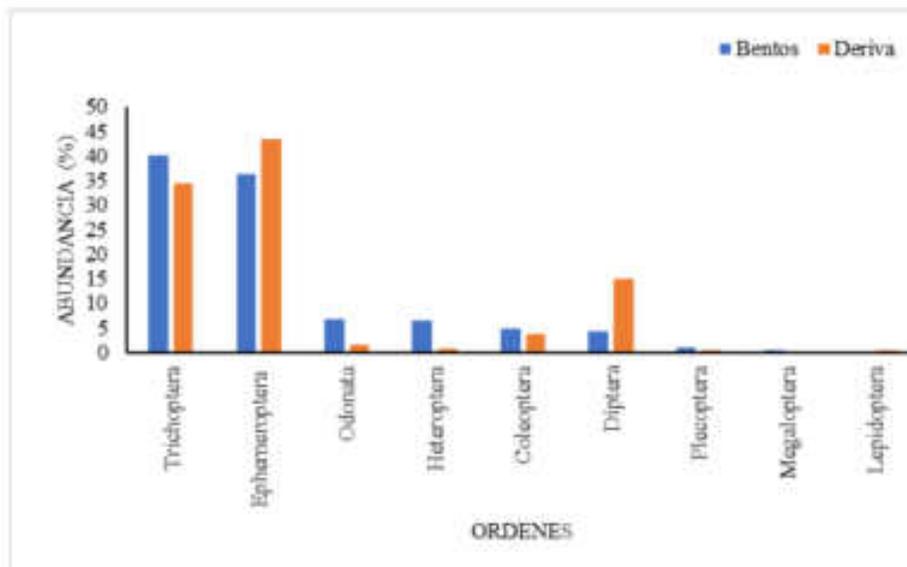


Fig. 3. Abundancia de los órdenes de insectos acuáticos en la deriva y en la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati.

Se encontró diferencias significativas en la abundancia del grupo EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) entre Rodríguez y Cárdenas (2017) y el presente estudio (Mann-Whitney, U Test, $p= 0,000$), (Fig. 3). El índice EPT calculado en el presente estudio fue de $68,71 \pm 14$ ($n = 12$), lo que indica una calidad biológica del agua, como muy buena.

Se encontraron en el tramo estudiado del río Zarati, del orden Ephemeroptera, los géneros: *Baetodes*, *Caenis*, *Camelobaetidius*, *Cloeodes*, *Farrodes*, *Guajirolus*, *Leptohyphes*, Leptohyphidae (sin determinar), *Paracloeodes*, Baetidae (sin determinar), *Traverella*, *Americabaetis*, Baetidae (sin determinar) y *Ulmeritoides*, géneros no encontrados por Rodríguez y Cárdenas (2017). Del orden Trichoptera encontramos los géneros *Calosopsyche*, Hydropsychidae (sin determinar), *Leucotrichia*, *Marilia* y *Protoptila* los cuales no fueron reportados por Rodríguez y Cárdenas (2017), (Cuadro 1).

Los órdenes Heteroptera, Odonata, Trichoptera y Ephemeroptera mostraron diferencias significativas en su abundancia, entre este estudio y el realizado por Rodríguez y Cárdenas (2017) (Mann-Whitney, U-test, $p < 0,05$). (Fig. 2). Dentro del orden Heteroptera, los géneros: *Curicta*, *Gerris*, *Neogerris*, *Rhagovelia*, *Stridulivelia* y *Trepobates*, y los géneros: *Dythemis* y *Erythemis* del orden Odonata no fueron colectados en el presente estudio. De los 89 géneros totales encontrados en ambos estudios el 55 % de los géneros corresponden a los reportados por Rodríguez y Cárdenas, (2017) y 76,4 % a los reportados en este estudio.

Las familias más abundantes de insectos acuáticos en la comunidad bentónica del tramo estudiado en el río Zarati fueron: Hydropsychidae, Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Baetidae, Philopotamidae, Naucoridae, Coenagrionidae, Simuliidae, Psephenidae, Glossosomatidae y Elmidae las que representan el 94,57 % de los individuos (Fig. 3), mientras que, las menos abundantes fueron: Libellulidae, Perlidae, Calopterygidae, Gomphidae, Corydalidae, Belostomatidae, Chironomidae, Empididae, Crambidae, Tipulidae, Platystictidae, Hydroptilidae, Haliplidae, Lampyridae, Empididae, Tabanidae, Caenidae, Ephemeroptera (sin determinar), Odonata (sin determinar) y Odontoceridae quienes representaron el 5,43 % del total de los individuos (Fig. 3. como otras).

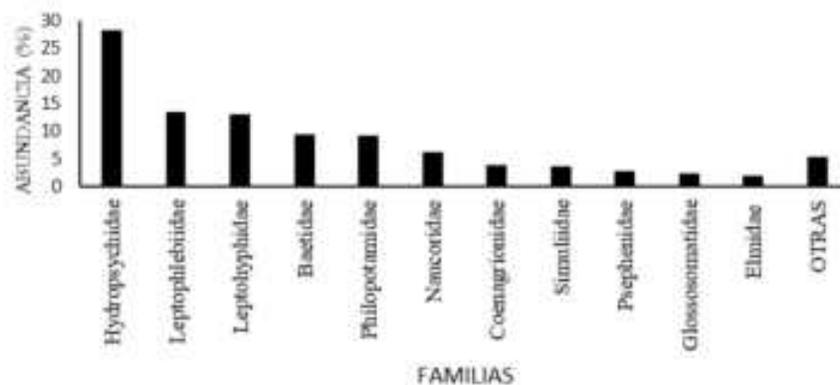


Fig. 4. Porcentaje de abundancia de las familias de insectos acuáticos en la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati, provincia de Coclé, Panamá.

En el tramo estudiado del río Zarati, los géneros de insectos acuáticos más abundante en la comunidad bentónica fueron: *Smicridea*, *Leptolophes*, *Thraulodes*, *Chimarra*, *Camelobaetidius*, *Cryphocricos*, *Argia*, *Simulium*, *Traverella*, *Psephenus*, *Protoptila*, *Tricorythodes*, Baetidae (género sin determinar), *Leptonema*, *Ambrysus*, *Guajirolus*, Elmidae (género sin determinar) y *Erythodiplax*, que representaron el 90,64 % del total de individuos recolectados (Fig. 4).

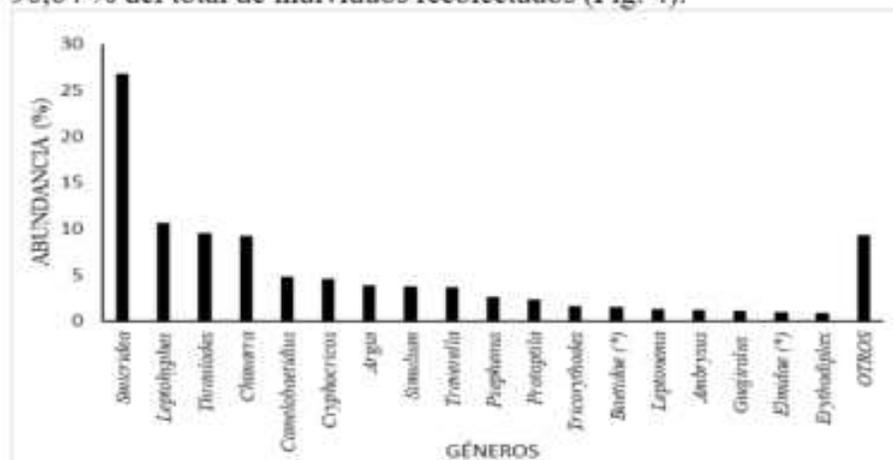


Fig. 5. Abundancia porcentual de los géneros de insectos acuáticos en la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati, provincia de Coclé, Panamá.

Mientras que, los géneros menos abundantes fueron: Leptohyphidae (género sin determinar), *Anacroneuria*, *Hetaerina*, *Prebaetodes*, *Baetis*, *Americabaetis*, *Corydalis*, *Heterelmis*, *Macrelmis*, *Perithemis*, *Linnocoris*, *Baetodes*, *Calosopsyche*, *Erpetogomphus*, *Desmogomphus*, *Macrothemis*, Chironomidae (género sin determinar), Empididae (género sin determinar), *Terpides*, *Belostoma*, *Naucoris*, *Cloeodes*, *Lethocerus*, *Hexatoma*, *Paracloeodes*, *Farrodes*, *Petrophila*, Crambidae (género sin determinar), *Agriogomphus*, *Palaemnema*, Hydropsychidae (género sin determinar), *Leucotrichia*, *Phanocerus*, *Xenelmis*, *Huleechius*, *Haliphus*, Lampyridae (género sin determinar), *Hemerodromia*, Tabanidae (género sin determinar), *Caenis*, *Ulmeritoides*, Ephemeroptera (género sin determinar), *Telebasis*, *Progomphus*, *Brachymesia*, Libellulidae (género sin determinar), *Elasmothermis*, *Elga*, Odonata (género sin determinar) y *Marilia* quienes representaron el 9,36 % de los individuos (Fig. 4, como otros).

Periodicidad en la deriva de insectos acuáticos en el tramo estudiado del río Zarati.

Durante las 12 giras de muestreos, en el tramo estudiado del río Zarati se recolectaron un total de 1 387 insectos acuáticos en la deriva, 206 individuos en el periodo diurno de 06:00 a 18: 00 h y 1 181 individuos en el periodo nocturno de 18:00 a 06:00 h. Se encontraron diferencias significativas en la abundancia de los insectos acuáticos presentes en la deriva entre el periodo diurno y nocturno, (Friedman, $Q= 3,8$, $gl= 1$, $p= 0,0001$). La prueba de comparaciones múltiples por pares, mediante el procedimiento de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Prueba bilateral; diferenció dos grupos de medianas homogéneas (06:00 a 18: 00 h.) y (18:00 a 06:00 h.). La mayor abundancia de insectos en la deriva en el tramo estudiado del río Zarati, se registró en el periodo nocturno de 18:00 a 06:00 h., (Fig. 5).

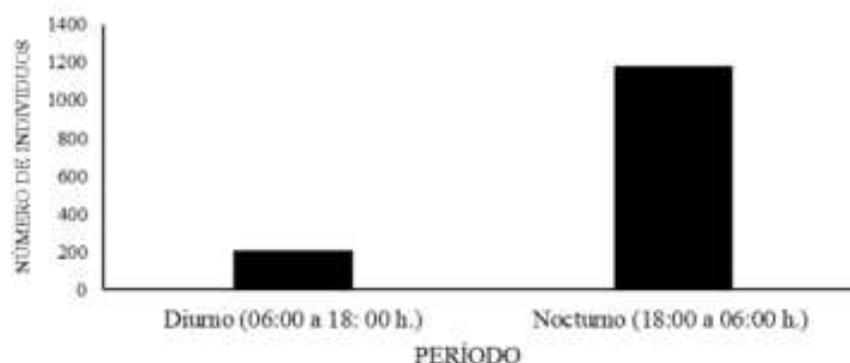


Fig. 6. Abundancia de insectos acuáticos en la deriva en los distintos periodos de muestreo, en el tramo estudiado del río Zarati, Coclé, Panamá.

El cálculo de la diversidad fue de $H' = 2,66$ ($J' = 0,81$ Taxa = 27) para el periodo de diurno de 6:00 -18:00 h. y de $H' = 2,61$ ($J' = 0,66$ Taxa = 51) para el periodo nocturno de 18:00-6:00 h. No se encontraron diferencias significativas en la diversidad para los distintos periodos de muestreo ($p = 0,928$; t de Hutcheson).

Estructura numérica de los insectos acuáticos en la deriva, en el tramo estudiado del río Zarati.

De forma general, la entomofauna acuática en la deriva estuvo agrupada en 9 órdenes; 30 familias, 43 géneros determinados y 10 géneros sin determinar. En términos de abundancia, los órdenes se distribuyeron de la siguiente manera: Ephemeroptera con 602 individuos, lo que representa el (43,4 %), Trichoptera con 478 (34,46 %), Diptera con 209 (15,07 %), Coleoptera con 52 (3,75 %), Odonata con 22 (1,59 %), Heteroptera con 10 (0,72 %), Lepidoptera con 6 (0,43 %), Plecoptera con 5 (0,36 %) y Megaloptera con 3 (0,22 %), (Fig. 6).

Las familias más abundantes en la fracción de insectos en la deriva, en el tramo estudiado del río Zarati fueron: Hydropsychidae, Baetidae, Leptohiphidae, Chironomidae, Hydroptilidae, Leptophlebiidae, Elmidae, Tabanidae, Haliplidae, Naucoridae, Coenagrionidae y Libellulidae, las cuales representaron el 96,76 % de los individuos (Fig. 7), mientras que, las menos abundantes fueron: Ephemeroptera (familia sin determinar), Crambidae, Perlidae, Simuliidae, Ceratopogonidae,

Corydalidae, Hydrophilidae, Scirtidae, Oligoneuriidae, Calopterygidae, Gomphidae, Glossosomatidae, Lampyridae, Psephenidae, Empididae, Caenidae, Leptoceridae y Odontoceridae familias que representaron el 3,24 % (Fig. 7, como otras).

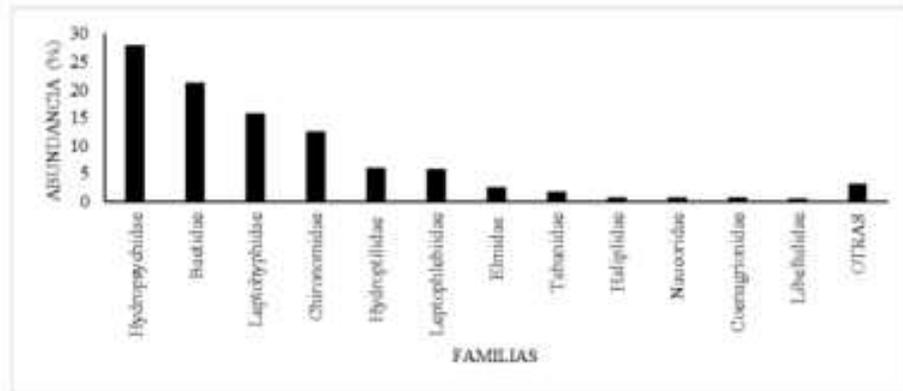


Fig. 7. Porcentaje de abundancia de las familias de insectos acuáticos en la fracción derivante, de la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati.

En la fracción de insectos acuáticos en la deriva, los géneros más abundantes fueron: *Smicridea*, *Leptohyphes*, Chironomidae (sin determinar), *Camelobaetidius*, *Leucotrichia*, Baetidae (*), *Guajirolus*, *Thraulodes*, *Terpides*, Tabanidae (*), *Americabaetis*, Baetidae (*), *Tricorythodes*, Elmidae (*), Leptohyphidae (*), *Paracloeodes*, *Leptonema*, y *Haliphus* géneros que representaron el 91,56 % de la deriva (Fig. 8). Los géneros menos abundantes fueron: *Macrelmis*, *Baetis*, *Cloeodes*, *Traverella*, Ephemeroptera (sin determinar), *Cryphocricos*, *Petrophila*, *Heterelmis*, *Farrodes*, *Anacroneuria*, *Phanocerus*, *Simulium*, *Stilobezzia*, *Baetodes*, *Naucoris*, *Corydalus*, *Erythodiplax*, *Macrothemis*, Hydrophilidae (sin determinar), *Elodes*, *Lachlania*, *Hetaerina*, *Epigomphus*, *Perithemis*, *Protoptila*, *Hexanchorus*, Lampyridae (sin determinar), *Psephenus*, Empididae (sin determinar), *Callibaetis*, *Caenis*, *Ambrysus*, *Neptopsyche* y *Marilia*, géneros que representan el 8,44 % de la deriva (Fig. 8, como otros).

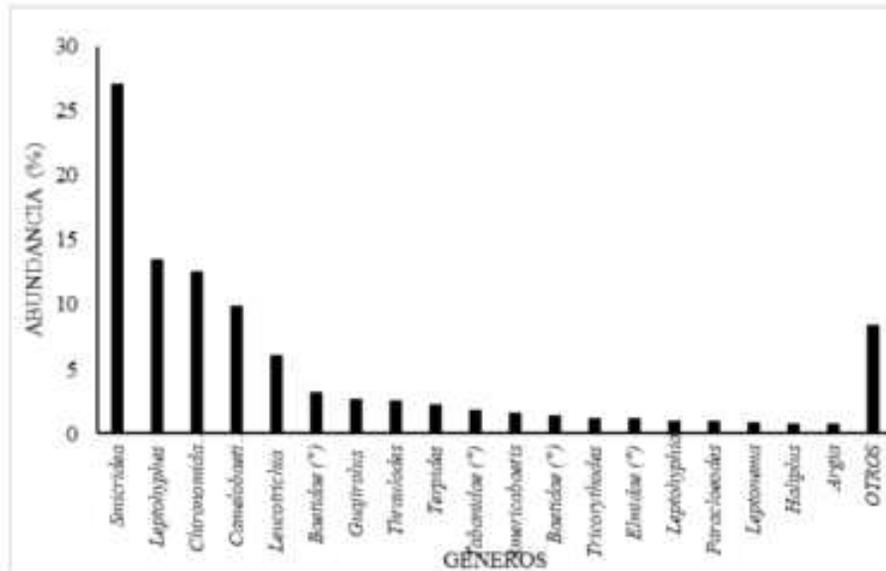


Fig. 8. Porcentaje de abundancia de los géneros de insectos acuáticos en la fracción derivante, de la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati.

Relación entre la comunidad bentónica de insectos acuáticos y la fracción de insectos acuáticos en la deriva.

El cálculo de la diversidad fue de $H' = 2,66$ ($J' = 0,67$, Taxa = 53) para la fracción de insectos acuáticos en la deriva y de $H' = 2,8$ ($J' = 0,66$, Taxa = 68) para la comunidad bentónica de insectos acuáticos. Se encontraron diferencias significativas en la diversidad entre la fracción en la deriva de insectos acuáticos y la comunidad bentónica en el tramo estudiado. La diversidad en la comunidad bentónica fue mayor que en la fracción de insectos en la deriva ($p = 0,002$; t de Hutcheson).

De los 53 géneros de insectos acuáticos capturados en las redes de deriva, 49 géneros (92,4 %) están presentes en la comunidad bentónica, del tramo estudiado, mientras que 26 (38,2 %) de los 68 géneros presentes en la comunidad bentónica no se capturaron en las redes de deriva. En la fracción de insectos acuáticos en la deriva se encontraron 8 (14,8 %) géneros, que no se capturaron en la comunidad bentónica del tramo estudiado del río Zarati. El índice de similitud de Jaccard mostró un valor de similitud entre la comunidad bentónica y la fracción de insectos acuáticos en la deriva de $IJ = 52$ %.

DISCUSIÓN

Comparación entre la estructura numérica de la comunidad bentónica de insectos acuáticos reportada por Rodríguez y Cárdenas, (2017) y la estructura numérica en el encontrada en el presente estudio, en el tramo estudiado del río Zaratí.

Rodríguez y Cárdenas (2017), registran en la comunidad bentónica del río Zaratí, 10 órdenes de insectos acuáticos, que coinciden con el presente estudio a excepción del orden Blattodea, que no fue colectado en este estudio. Según Rodríguez y Cárdenas (2017), los órdenes más abundantes, en tres tramos estudiados del río Zaratí fueron: Odonata, Heteroptera, Trichoptera, y Ephemeroptera los que representaron el 84,46 % de los insectos acuáticos recolectados, mientras que los más abundantes en este estudio fueron: Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata y Heteroptera los que representaron el 89,56 %, mismos órdenes que los encontrados por Rodríguez y Cárdenas (2017) como los más abundantes a excepción del orden Plecoptera.

Al encontrar diferencias significativas en la abundancia de los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata, Heteroptera y Trichoptera, entre Rodríguez y Cárdenas (2017) y el presente estudio, se debe principalmente a la aparición en este estudio de los géneros del orden Ephemeroptera: *Baetodes*, *Caenis*, *Camelobaetidius*, *Cloeodes*, *Farrodes*, *Guajirolus*, *Leptohyphes*, *Leptohyphidae* (sin determinar), *Baetidae* (sin determinar), *Traverella*, *Americabaetis*, *Baetidae* (sin determinar) y *Ulmeritoides*, géneros no encontrados por Rodríguez y Cárdenas (2017). También encontramos géneros del orden Trichoptera como: *Calosopsycha*, *Hydropsychidae* (sin determinar), *Leucotrichia*, *Marilia* y *Protophila* los cuales no fueron encontrados por Rodríguez y Cárdenas (2017). El índice EPT (%) calculado en el presente estudio fue de $68,71 \pm 14$ ($n = 12$), lo que indica una calidad biológica del agua, como muy buena, mientras que el calculado por Rodríguez y Cárdenas (2017) fue de $22,5 \pm 14,2$ ($n=30$), lo que indica una mala calidad de agua. La diferencia en la calidad biológica del agua, entre el estudio de Rodríguez y Cárdenas, (2017) y el presente estudio podría deberse al incremento de los géneros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) en el presente estudio y a la disminución en la abundancia de los órdenes Heteroptera y Odonata, órdenes abundantes en ríos con algún

grado de perturbación en la provincia de Veraguas (Rodríguez & Sánchez, 2001, Rodríguez & Mendoza, 2003, Lombardo & Rodríguez, 2007). Otra posibilidad que explicaría el cambio en la calidad biológica del agua podría deberse a que el río Zarati al encontrarse en un bioma per-húmedo (De Martonne, 1927), con registros históricos de precipitación de 3 738,8 mm al año (n=63 años) (ETESA, Open Data, estación Chirigui Arriba, código 105-002, 2016), las fuertes lluvias podrían arrastrar la contaminación y a la vez, alterar las condiciones físico-químicas del agua, y alterar la estructura de las comunidades bentónicas de insectos acuáticos e influir en la calidad biológica del agua, ya que perturbaciones naturales que incrementan la precipitación pueden afectar la química del agua (Schaefer et al., 2000; Blanco et al., 2003).

Periodicidad en la deriva de insectos acuáticos en el tramo estudiado del río Zarati.

Las mayores abundancias de insectos acuáticos en la deriva en el tramo estudiado del río Zarati, se obtuvieron en el periodo nocturno (18:00-06:00 h.). Se ha documentado, en Panamá patrones en la periodicidad de la deriva de insectos acuáticos, mostrando una deriva baja y constante durante el día, seguida por incrementos en el número de organismos durante la noche (Guerra, 2017; Tuñón, 2019; Rodríguez & Otero, 2020; Castillo & Rodríguez, 2020). En otras regiones también se ha documentado el mismo patrón en la periodicidad en la deriva (Waters, 1962; Ramirez & Pringle, 1998; Aguirre-Pabón, et al., 2012; Tamaris-Turizo, et al., 2013). Este tipo de deriva es llamada “conductual” por Allan y Castillo, (2007), ocurre generalmente en respuesta a condiciones desfavorables o responde a comportamientos evasivos ante el riesgo de depredadores (Shearer, et al., 2002). Estudios en la periodicidad de la deriva, en ríos de los Andes venezolanos donde históricamente no han existido depredadores, presentaron un patrón de deriva aperiódico (Flecker, 1992) y los insectos que presentaron deriva aperiódica son relativamente más pequeños, (Allan, 1978; Bello-González et al., 2015) parece apoyar la “hipótesis de deriva de insectos acuáticos como un mecanismo para evitar la depredación”.

Estructura numérica de los insectos acuáticos en la deriva, en el tramo estudiado del río Zarati.

En el tramo estudiado del río Zarati, la caracterización de la fracción de

insectos acuáticos en la deriva, en términos de abundancia, se encontró dominada por los órdenes: Ephemeroptera, Trichoptera, Díptera y Coleoptera, los que representaron el 96,7 % de la colecta. En la provincia de Veraguas los estudios realizados por Guerra (2017), Aparicio & Concepción (2017), Rodríguez & Duarte, (2019) y Rodríguez & Otero, (2010) reportan como los órdenes de insectos más abundantes en la deriva a: Ephemeroptera, Trichoptera, Díptera y Coleoptera, con porcentajes de abundancia de: 90,9 %; 94,4 %; 93,8 %; y 92,1 % respectivamente, coincidiendo con el presente estudio, lo que parece indicar que los órdenes: Ephemeroptera Trichoptera, Coleoptera y Díptera son los órdenes más propensos a desplazarse en la deriva. Tuñón (2019), en Veraguas y Castillo & Rodríguez (2020), en la provincia de Herrera, reportan a los órdenes: Ephemeroptera Trichoptera, Coleoptera y Plecoptera con una abundancia del 82,6 % y el 91 % respectivamente, de insectos acuáticos en la deriva, órdenes que coinciden con el presente estudio, como los órdenes más propensos a entrar en la deriva, a excepción del orden Plecoptera.

Estudios realizados en la fracción derivante de insectos acuáticos, concernientes a otras regiones neotropicales, como los de Aguirre-Pabón et al., (2012) documentaron, en términos generales, a los órdenes Díptera y Ephemeroptera como los que tienen mayor tendencia a derivar, y representaron el 93,4 % de la deriva. Callisto & Goulart, (2005) encontraron que los órdenes Díptera, Trichoptera y Ephemeroptera son los más propensos a entrar en la deriva y representaron el 87.9 % de la deriva total. Tamaris-Turizo et al., (2013), reportaron que los órdenes Díptera, Ephemeroptera y Trichoptera, son los que presentaron las mayores densidades en la deriva; mientras que, Rodríguez-Barrios et al., (2007), reportaron que los órdenes Díptera, Trichoptera y Ephemeroptera con las mayores densidades en la deriva. Ordenes que coinciden con el estudio como los más propensos a entrar en la deriva, a excepción de Coleoptera, que en el presente estudio se encuentra como un orden propenso a entrar en la deriva.

Relación entre la comunidad bentónica de insectos acuáticos y la fracción de insectos acuáticos en la deriva.

Al caracterizar la comunidad bentónica, en términos de abundancia, en el tramo estudiado del río Zaratí, los órdenes más abundantes fueron: Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata y Heteroptera los que

representaron el 89,77 % de la abundancia, mientras que, la caracterización de la comunidad de insectos acuáticos en la deriva, en términos de abundancia, se encontró dominada por los órdenes: Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera y Coleoptera. Aunque parece no existir un patrón en la composición taxonómica en cuanto a órdenes de insectos acuáticos en la deriva, todo parece indicar que los órdenes de insectos acuáticos más abundantes en la comunidad bentónica, corresponden a los mismos órdenes abundantes en la deriva. Matthaei, et al., (1998) y Ramírez & Pringle, (1998) reportaron que los órdenes con mayor abundancia en la deriva, son los mismos órdenes abundantes de la comunidad bentónica y pertenecen a los órdenes Diptera, Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera. Ramírez & Pringle (1998) documentan que la deriva y la comunidad bentónica están compuestos por grupos similares, pero con diferentes proporciones de abundancia. Los órdenes que dominan en abundancia, la fracción derivante, coinciden con los órdenes más abundantes en las comunidades bentónicas (Ríos, 2008).

El porcentaje de géneros de insectos acuáticos en la deriva, que están presente en la comunidad bentónica, en este estudio fue de 92,4 %, mientras que, Aparicio & Concepción (2017) y Rodríguez & Duarte (2019), reportan porcentajes de 70 %, y 90,4 %, respectivamente. El elevado porcentaje de géneros de insectos acuáticos de las comunidades bentónicas, capturados en la fracción derivante, indica que la mayor parte de los géneros de las comunidades bentónicas se desplazan en la deriva. Bello-González et al., (2015) encontraron en el río Bayate (Cuba), que el 74,3 % de los géneros encontrados en la comunidad bentónica fueron hallados también participando en la deriva. Sánchez-Hernández, (2011) comunica para el río Tormes (España) que los géneros más abundantes en la comunidad bentónica están representados en la deriva en mayor o menor medida. Es cierto, que todos los géneros de insectos de la comunidad bentónica tienen la misma posibilidad de entrar en la deriva, pero no todos tienen la misma predisposición a derivar, y por lo tanto la composición de la fracción de insectos en la deriva no sería exactamente igual al de la comunidad bentónica. Los géneros de los órdenes de Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera y Coleoptera tienen mayor posibilidad de ser transportados en la deriva, mientras que, los géneros de los órdenes de Lepidoptera, Plecoptera, Heteroptera, Odonata, Megaloptera y Blattodea, son los menos

propensos a derivar (Elliott, 1967, Corigliano et al., 1987).

El índice de similitud de Jaccard mostró un valor de similitud entre los géneros encontrados en la fracción de insectos acuáticos en la deriva y los géneros encontrados en la comunidad bentónica, en el tramo estudiado del río Zarati de $IJ= 52\%$. Mientras que, Rodríguez & Duarte, (2019) reportan un índice de similitud de $IJ= 75\%$, para el tramo estudiado del río Santa María. Las semejanzas entre las comunidades bentónicas y la fracción derivante, indica que la deriva es una expresión de la estructura de la comunidad bentónica, en concordancia con la hipótesis de denso-dependencia. Similar a lo comunicado por Gualdoni & Corigliano, (1999), y Zanotto-Arpellino et al., (2015) al encontrar una elevada similitud entre la estructura de la comunidad bentónica y de la fracción de insectos en la deriva, de 75% y 86% respectivamente. Por lo que las altas tasas de transporte en la deriva de los grupos dominantes corresponden a sus altas abundancias en la comunidad bentónica (Ríos, 2008).

La importancia de la densidad bentónica, como uno de los principales factores que inducen a los insectos a derivar, ha sido estudiada por diferentes autores, las conclusiones no siempre fueron concordantes. Mientras que, algunos autores encuentran una relación entre la fracción derivante y la densidad bentónica (Allan, 1978, Gualdoni & Corigliano, 1999, Zanotto-Arpellino et al., 2015), otros consideran que las dos fracciones presentan diferentes patrones de abundancia (Elliott, 1967, Corkum, 1978, Koetsier & Bryan, 1996, Principe & Corigliano, 2006), lo que parece indicar que son múltiples los factores que pueden influir sobre este fenómeno, y la densidad bentónica no es el único disparador (Gualdoni & Corigliano, 1999).

CONCLUSIONES

Las características estructurales de la fracción de insectos acuáticos en la deriva y la caracterización de las comunidades bentónicas, unido a las semejanzas entre las comunidades bentónicas y la fracción de insectos en la deriva, parece indicar al menos que, la deriva es una expresión de la estructura de la comunidad bentónica.

La tendencia a derivar, además de la densidad bentónica, puede estar asociada también, con algunos aspectos de la forma de vida de los organismos que integran la fracción derivante, como los son: la forma corporal hidrodinámica que determina la habilidad para nadar, las adaptaciones morfológicas y etológicas que favorecen la permanencia en el sustrato, el microhábitat preferencial y la velocidad de la corriente.

Los valores contrastantes en la abundancia de insectos acuáticos en la deriva, altos en el periodo nocturno y bajos en el periodo diurno, sugieren que la deriva en el tramo estudiado es periódica y fundamentalmente conductual e intencional. Los individuos entran a la columna de agua generalmente como parte de su comportamiento y no por accidente, lo que parece reducir el riesgo de depredadores visuales diurnos durante la movilización en la deriva.

REFERENCIAS

Aguirre-Pabón, J. Rodríguez-Barrios, J. & Ospina-Torres, R. (2012). Deriva de macroinvertebrados acuáticos en dos sitios con diferente grado de perturbación, río Gaira, Santa Marta-Colombia. *Intropica*. Vol. 7, (1), págs. 9-19.

Allan, J. D. 1978. Trout predation and the size composition of stream drift. *Limnology and Oceanography*. 23(6), 1231-1237.

Allan, J. D. 1984. The size composition of invertebrate drift in a Rocky Mountain stream. *Oikos*. 43, 68-76.

Allan, J.D. (1995). *Stream Ecology: Estructure and function of running waters*. Edit. Chatman y Hall. 388 pp.

Allan, J. D. & Castillo, M. M. (2007). Detrital energy sources. En J. Allan Y M. M. Castillo (Eds.). *Stream ecology structure and function of running waters*. (pp.135–161). Netherlands: Springer Dordrecht.

Aparicio, L. & Concepción, A. (2007). Estructura numérica y composición de la fracción derivante de insectos acuáticos en un tramo del río San Pedro, Rincón Sucio, Provincia de Veraguas, Republica de Panamá. Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de

Ciencias Naturales Exactas y Tecnología. Tesis de Grado. Biología. Panamá.

Bello-González, O. C., Curbelo, G. E., Fontenla, Y., Botello, F. D., Castillo, I. de la C., Santalla, M., & Benitez, R. (2015). Deriva de macroinvertebrados acuáticos en un afluente del río Bayate, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista Cubana de Zoología. Poeyana*. (501), 1-7.

Blanco, J.; Vásquez, G.; Ramírez, J. & Bavarrete, A. M. (2003). Variación de algunos parámetros fisicoquímicos en el río Pescador, Valle del Cauca, durante el ciclo El Niño 1997/1998 y La Niña 1998/1999. *Revista Actualidades Biológicas*. 25(78):59-69.

Brittain, J. E., & Eikelands, T. J. (1988). Invertebrate drift—a review. *Hydrobiologia* 166: 77–93.

Callisto, M. & Goulart, M. (2005). Invertebrate drift along a longitudinal gradient in a Neotropical stream in Serra do Cipó National Park, Brazil. *Hydrobiologia* (539), 47–56.

Carrera, C. y Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Fundación EcoCiencia. Quito. Ecuador.

Castillo, M. & Rodríguez, M. (2020). Estructura numérica de la fracción derivante de insectos acuáticos y su relación con el benthos en la reserva forestal el montuoso, distrito de Las Minas, provincia de Herrera. Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología. Tesis de Grado. Biología. Panamá.

Corigliano, M. C.; Gualdoni, A. M.; Oberto & Raffaini, G. B. (1998). Atributos estructurales de la deriva de invertebrados en el río Chocancharava, Córdoba, Argentina. *Ecología Austral*, (8), 5-12.

Corigliano, M. C.; Gualdoni, C. M. & Oberto, A. M. (1987). Deriva de macroinvertebrados en un tramo anastomosado de un río de llanura. *Revista Universidad Nacional de Río Cuarto* 7(1):89-98.

Corkum, L. D., (1978). The influence of density and behavioural type on the active entry of two mayfly species (Ephemeroptera) into the water column. *Canadian Journal of Zoology* 56(5):1201-1206.

De Martonne, E. (1927). Regions of Interior-Basin Drainage. *Geographical Review*, 17(3), pp. 397-414. doi:10.2307/208323

Elliott, J. M. (1967). The life histories and drifting of the Plecoptera and Ephemeroptera in a Dartmoor stream. *Journal of Animal Ecology*. Vol. (36), 343-362.

ETESA (2016). Open Data recuperado el 28 de julio de 2021 de <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>

Community structure in neotropical streams: fish feeding guilds, disturbance and influence of direct versus indirect effects of predators on their prey. Ph.D. thesis. University of Maryland, College Park, Washington, D.C. 218p.

Flecker, A.S. (1992), Fish Predation and The Evolution of Invertebrate Drift Periodicity: Evidence from Neotropical Streams. *Ecology*, 73: 438-448. <https://doi.org/10.2307/1940751>

Flowers, R.W. & De la Rosa, C. (2010). Capitulo 4: Ephemeroptera. *Revista Biología Tropical*. Vol. 58 (Supl.4): 63-93.

Gualdoni, C. M. y Corigliano, M. C. (1999). Deriva de insectos y su relación estructural con el bentos. *Idesia* (17), 57-71.

Guerra, B. (2017). Densidad y estructura numérica de la fracción derivante de insectos acuáticos en el Río Vigui, comarca Noggbe-Buglé. Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología. Tesis de Grado. Biología. Panamá

Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. En: Springer, M. & J.M. Sermeño Chicas (eds.). *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad*

ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 64 pp.

Hammer, Ø.; Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4(1), 1

Koetsier, P. & Bryan, C. F. (1996). Is macroinvertebrate drift a density dependence mechanism of the benthos in the lower Mississippi river? *Journal of Freshwater Ecology* 11(1),1-9.

Lombardo, R & Rodríguez, V. (2008). Calidad biológica del agua en la parte media-baja del Río Santa María, provincia de Veraguas, República de Panamá. *Tecnociencia*. 10(1):

Matthaei, C. D.; Werthmüller, D.; Frutiger, A. (1998). An update on the reliable quantification of stream drift. *Archiv. Fur Hydrobiologie*. 143(1),1–19. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/143/1998/1

Needham, P. R. (1928). A net for capture of stream drift organisms. *Ecology*. (9), 339-342.

Novelo-Gutiérrez, R. (1997a). Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México. Parte I. Zygoptera. *Dugesiana* 4:1-10.

Novelo-Gutiérrez, R. (1997b). Clave para la determinación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México. Parte II. Anisoptera. *Dugesiana* 4:31-40.

Principe, R. E. & Corigliano, M. C. (2006). Benthic, drifting and marginal macroinvertebrate assemblages in a lowland river: temporal and spatial variations and size structure. *Hydrobiologia* (553), 303-317

Pringle, C. & Ramírez, A. (1998). Use of both benthic and drift sampling techniques to assess tropical stream invertebrate communities along an altitudinal gradient, Costa Rica. *Freshwater Biology* 39: 359-375.

Quiñones, M.L., Ramírez, J. J. & Díaz, A. (1998). Estructura numérica de la comunidad de Macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona de ritral del río Medellín. *Actualidades Biológicas* 20(69): 75-86.

Ramírez, A. & Pringle, C. M. (1998). Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland tropical stream, Costa Rica. *Hydrobiologia* 386: 19-26.

Ramírez, A. & Pringle, C. M. (2001). Spatial and temporal patterns of invertebrate drift in streams draining a Neotropical landscape. *Freshwater Biology* 46: 47-62.

Ramírez, A. (2010). Capítulo 5: Odonata. *Revista Biología Tropical*. Vol. 58 (Supl.4): 97-136.

Rios, B. (2008). Comunidades de macroinvertebrados en un río altoandino: Importancia del hábitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposición. Tesis Doctoral, Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. Barcelona. España.

Rodríguez, B., Ospina-Torres, R., Berrío, M., Cepeda, B., Castellano, G., & Valencia, M. (2006). Variación diaria de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materia orgánica en la cabecera de un río tropical de montaña en el departamento de Nariño, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 11, suppl.1. 47-53.

Rodríguez, V. & Cárdenas, X. (2017). Estructura trófica de la entomofauna acuática y calidad del agua de los ríos Zaratí y La Chorrera, provincia de Coclé, república de Panamá. *Tecnociencia*. Vol. 19, N° 1.

Rodríguez, V. & Duarte, C. (2019). Estructura de la comunidad de insectos acuáticos en la deriva y su relación con la estructura bentónica de la comunidad de insectos, en un tramo del río Santa María, provincia de Veraguas, República de Panamá. *Visión Antataura*. Vol.3, No.1: 1-23

Rodríguez, V. & Mendoza, M. (2003). Entomofauna acuática asociada al río Agué, en el distrito de la Mesa, Veraguas, Panamá. *Tecnociencia* 5(2): 109-118.

Rodríguez, V. & Otero, N. (2019). Periodicidad en la deriva de insectos acuáticos, en un tramo del río Gatú, Veraguas, Panamá. *Revista Colón Ciencia y Tecnología*. 1, 1: 19-29.

Rodríguez, V. & Sánchez, N. (2001). Entomofauna acuática asociada al Río Santa Clara en Veraguas, República de Panamá. *Tecnociencia* 3(2):73-87.

Recibido 8 de abril 2021 y aceptado 24 de septiembre 2021
Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho



ETHOGRAM OF THE COMMON BEHAVIOR OF *Quiscalus mexicanus* (PASSERIFORMES: ICTERIDAE) IN THE REPUBLIC OF PANAMA

Ramy Jhasser Martínez¹, Ricardo Perez^{2,3}, Lariza Mendoza¹, Dora Isabel Quirós^{1,2}

¹Universidad de Panamá, Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Neotropical, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Panamá larymendoza_lm@gmail.com 
ramymartonez1009@gmail.com 

²Universidad de Panamá, Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá. dquros@gmail.com 

³Universidad de Panamá, Museo de Vertebrados, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá. ricardoj.perez@up.ac.pa 

ABSTRACT

In this study, the behavior of *Q. mexicanus* was recorded through observations from July to October 2020. The observations period was from 7:00 to 10:00 a.m. and from 2:00 a.m. at 5:00 p.m. Eastern Time (ET). During this study we were able to describe 29 specific behaviors that are grouped into nine main functional categories. These categories will be used to construct an ethogram that we hope will be useful to improve our knowledge about the behavior of *Q. mexicanus*, a bird that practically coexists with humans in the Republic of Panama.

KEY WORDS

Kleptoparasitism, tolerance, ecological relationships, social behavior.

RESUMEN

En este estudio se registró el comportamiento de *Q. mexicanus* a través de observaciones de julio a octubre de 2020. El periodo de estudio fue de 7:00 a 10:00 a.m. y de 2:00 a.m. a 5:00 p.m. hora del este (ET). Durante este estudio pudimos observar y describir 29 comportamientos específicos que se agruparon en nueve categorías funcionales principales. Estas categorías se utilizaron para construir un

etograma que esperamos sea útil para mejorar nuestro conocimiento sobre la conducta de *Q. mexicanus*, ave que prácticamente convive con los humanos en la República de Panamá.

PALABRAS CLAVES

Cleptoparasitismo, tolerancia, relaciones ecológicas, comportamiento social.

INTRODUCTION

Quiscalus mexicanus, known in Panama as “changos”, are birds of the family Icteridae, a species of strongly anthropogenic birds, with a high efficiency to track food in urban landscapes (Christensen 2000). They are sexually dimorphic, males are bluish-black, and females are brown, with long tails (Wehtje 2003). This species is native to Central America and northern South America; however, it is distributed throughout the American continent from Canada to Peru and in some Caribbean islands, its affinity for human communities has led it to be a tolerant and adaptable organism (American Ornithologists' Union 1998, Christensen 2000, Wehtje, 2003, Gurrola-Hidalgo et al. 2009).

Many organisms have a social structure with different hierarchical levels that are very well defined which frequently have conflicts between them, but that can contribute to the well-being of the population, so it is interesting to understand the social structure and the ethological characteristics of the different members of the colony (Kubitza et al. 2015). Previous studies on different aspects of the social behavior of *Q. mexicanus* have been of the interest of many researchers, such as vocal behavior (Kok 1971), physiological changes caused by rainfall (Yorzinski 2020), feeding behaviors (Grabrucker & Grabrucker 2010, Martinez et al. 2021) and behaviors exhibited in habitat use (King 2012).

Understanding how a species interacts with conspecific, heterospecific, humans, and the environment is necessary to implement effective conservation strategies both in situ and ex situ (Lichtenberg & Hallager 2008, Gokula 2011). Understanding animal behaviors helps us to better understand why animals need to survive and what behavior plays an important role in animal survival.

The purpose of this study was to propose an ethogram of the behaviors observed in *Q. mexicanus* as a tool for collecting data to help study their behavior in a systematic and standardized way so that it can be used to analyze quantitative data and prevent bias in observations.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was conducted in La Locería, Betania, Panama City, (O 8.9848644, E 79.5331006) from July to October 2020.

A total of 13 individuals were observed for this study. The flock consisted of three males, three chicks and seven females. The birds were observed in their natural environment. Observations were sampled during an interval of 20 minutes per hour for six hours, three times a week (Total = 120 men hours). The study period was from 7:00 to 10:00 a. M. and from 2:00 a.m. to 5:00 p.m. M., Eastern Time (ET). The average distances at which the birds were observed in their habitat was five meters from the observer to the areas where the birds carried out their activities. A table was prepared to illustrate (Table 1.) the types of behaviors were observed (Smith & Wassmer 2016).

Observations were recorded in a field notebook throughout the study, capturing a greater variety of daytime behaviors. To perform the ethogram, the Smith & Wassmer (2016) methodology was used with some modifications.

RESULTS

TABLE 1. Descriptions of behaviors exhibited by *Quiscalus mexicanus*

Functional behavior category	Behavior	Description
Sexual behavior	Courtship	Males with bright feathers seem to be more attractive to the opposite sex. During the breeding season, the alpha male defends his harem of females from other males and performs almost 90% of the mating. Females can mate with lower-ranking males when eating outside of their harem. The vocalization most frequently heard in the breeding season is the male's solicitation call, which indicates his interest and willingness to mate.
Parental behavior	Fight between members	The alpha female is very authoritative and tries to choose which chicks eat and which do not. Females fight each other to protect their young from other females and males of the same species, stealing food from each other for their young.
	Maternal care	The females are responsible for feeding the juveniles, each female is responsible for her offspring. They teach them to hunt, defend and groom themselves. Females feed their young with any type of available food.
	Show grief	When a gardener pruned a tree where there was nestlings the female was in distress, singing over the pile of pruned branches, looking everywhere, singing a desperate song and jumping all over the rubble looking despaired and in pain.
Antagonistic behavior	Threat screen	They are very territorial organisms, before any intruder the males raise their feathers completely, the females sing incessantly marking territory and move their wings to simulate an attack. Males and females were observed showing signs of threat.

Attack flight	The bird flies directly towards another bird in a fast, straight flight, causing the other bird to fly away without a fight. Both sexes were observed to displace other birds.	
Struggle	Birds make physical contact by hitting their beaks and pecking each other on the head and neck. The fights happen on power lines and end on the ground. Both genders were observed to participate in fights.	
Withdrawal	Some lower-ranking birds tend to retreat when attacked.	
Hierarchical relief	Two young adult males were observed confronting the alpha male by pecking and jumping after getting off the power line, onto the street, while the other members perched on the wire and emitted a "HAHH HAHH HAHH" sound. One of the males eventually faced off with the alpha male, until victory was achieved, at which point the alpha male threw away the food from his beak and withdrew.	
Meeting	The alpha female makes a "tiaaah tiaaah" sound of call and all members of the flock arrive.	
Sharing	Some members of the flock share food, puddles to bathe and objects to clean their beaks.	
Grooming	Maintenance	The bird cleans its beak using different objects, mainly the power line, its own wings, throat and area around the legs. The neck and abdomen are groomed by bending the neck back and approaching from above. The chest is fixed by tilting the head down. The upper part of the wing is smoothed and cleaned by spreading the wing, bending the head sideways and approaching from above. The lower part of the wing is fixed by lifting the wing and approaching from below.
Bathrooms	The birds flutter over puddles, sink their heads flapping their wings to spread the water all over their bodies, they do the	

		same when the rain falls on power lines
	Scratch	Birds use indirect scratching letting one wing drops and the foot on the same side is passed over the shoulder to scratch the head.
	Extension of body parts	A bird fans its tail and extends one leg and wing contralaterally and then extends the opposite wing and leg after retracting the first. A variation occurs when the bird gathers its wings along the back.
	Body Lint Removal / Feather Settling	Feathers are smoothed down quickly.
Ingestion/ egestion	Foraging	Birds forage for food on the ground or search inside containers (Craig 1989). When searching for food on the ground, the bird walks, jumps, runs or stands on the ground to find prey. Sometimes they carry the prey to the landing site (Fitzpatrick 1980). Birds move quickly with jumps or short flights as they perch in search of food.
	Eating	The food is caught with the beak, the head is raised and the food is consumed. The fruits are consumed right in the place where they are suspended.
	Drinking	The bird lowers its beak into the water and tilts its head up to swallow. The pattern repeats several times. Birds can also drink rainwater accumulated on objects in the open.
	Cleaning the beak	The bird rubs both sides of its beak on the power line or on they are standing after eating.
	Defecation	Vent feathers and undertail coverts inflate and the body leans forward as stool passes.
Movement	Flight	The bird uses short or quick wing movements to go through the air from one place to another.
	Jump	The bird moves from one place to another by propelling itself with its legs.
Vocalization	Singing	Occurs primarily in response to other individuals flying around, begins as soon as

5		birds begin to move from roosting, and is commonly heard early in the morning when flocks disperse for the day, or late afternoon when they return to their roosts.
	Onomatopoeia	At least nine different sounds were perceived during this study: Threat alert: "Gra Gra" Chicks asking for food: "Hahh, Hahh, Hahh" Arrival of a member: "Gri Gri Gri" Chicks playing: "Ihc Ihc Ihc" Flying together: "Ihg Igh Igh" Intraspecific fighting for food: "Iah Iah Iah" Interspecific fighting for food: "Jiah Jiah" Imminent danger (Predator): "Mtat Mtat Mtat" Marking territory: "Ah Ah Ah" with the beak open and the chest up.
Resting	Perching	The birds perch together for periods of around 5 minutes to rest after bathing or grooming. Birds hide their heads under their wings, close their eyes, and perch on one leg.
	Settling	The bird rests on the power line with its chest feathers erect but remains alert with its eyes open.
Interspecific interactions	Tolerance	Compete for nesting sites with other birds. It nests in the same trees with other species and there are frequent agonistic interactions. It alights with other species. It is frequently found in close association with humans, particularly in urban and suburban areas. Scavenge for food in human leftovers at garbage dumps and outdoor restaurants, perches and nests in courtyards and parks in densely populated areas. https://birdsoftheworld.org/ Forages in flocks, often with other icteridae, or other families of birds. In Panama they coexist peacefully with Psitacidae of the species <i>Brotogeris jugularis</i> (Müller, 1776). They were observed sharing food and hábitat with a

	flock of 26 <i>B. jugularis</i> that consisted of 10 couples and six singles.
Kleptoparasitism	They have been observed stealing or snatching food from other birds or members of their own species.
Predation	Although they are social, they sometimes attack other members of its species and other species of birds. Their attacks are by biting, pecking, scratching, and flying towards them. They eat the eggs and chicks of other birds, and sometimes kill and eat other adult birds. The breeding pair defend the territory around their nest by stalking, chasing, or throwing themselves to possible predators including humans.

As a result of this study, 29 observed behaviors (second column of Table 1) could be divided into nine main functional categories that correspond to the first column of Table 1. As in other studies, greater activity of males and females were observed in open areas, power lines, parking lots and garbage disposal areas during the day and are more evident and boisterous at sunrise and sunset. We describe and discuss here only those behaviors related to reproduction, feeding, parental care and grooming.

Q. mexicanus are sexually dimorphic and dichromatic. Males are up to 43 cm in length (with a tail almost if its body), weigh 230 g, and are black with an iridescent luster. Females are smaller; they measure up to 33 cm in length, weigh 125 g, and are brown. Males with bright feathers are more attractive to the opposite sex. During the breeding season, the alpha longer tail male defends his harem from other males and performs most of the matings. Females can mate with lower-ranking males when eating outside of their harem. Main sounds produced by *Q. mexicanus* are song, request for mating, alarm, and whistles. The most frequently heard vocalization in the breeding season is the requesting call of the male, which indicates his interest and willingness to mate. In this study we could discriminate at least 10 different vocalizations. Ten additional sounds were perceived during our observations and are described and interpreted in Table 1.

Q. mexicanus are territorial birds, males and females show various behaviors of threat and physical attack described in the Table 1 and generally the birds of lower hierarchy tend to withdraw when they are attacked so they can be displaced from the group. In some exceptional cases there is displacement of birds with a higher hierarchical rank such as an alpha male (Ficken 1963).

Despite the extreme territoriality, some members of the flock share food and objects to clean their beaks, in turn they also share the puddles to bathe. Grooming behavior is extensive and elaborate in these birds and has been described in the Table.

Females were observed taking care of their progeny and involved in collecting food for juvenile feeding. No males participated in these activities. As social birds, *Q. mexicanus* exhibits a varied repertoire of agonistic behaviors and a dominance-subordinance response.

Grooming to keep their feathers in the best condition consumes an important part of the *Q. mexicanus* time of the day. While preening, birds remove dust, dirt, and parasites from their feathers and align each feather in the optimum position. Most of them preens several times a day to keep themselves healthy.

The most elaborated behavior of *Q. mexicanus* are those related to foraging and drinking water. We described only three major behaviors (Table 1) that require a more extensive consideration.

DISCUSSION

During courtship males exhibit intimidating poses using their tails, and stretching out their necks backwards, flying up at each other and striking (Townsend 1927). We observed that size of males is an important cause for their success during courtship, but it is also likely that their calls are key to attract females and repel potentially competitive males (Townsend 1927, Kok 1971). Their extreme sexual dimorphism is partially a result of the sexually competitive environment (Bjorklund 1991). Sexual and individual recognition play an important role in relationships and social interactions between members of a colony. Recognition among the *Q. mexicanus* appears to be primarily through visual or auditory cues (Kok 1971).

The main vocalizations were song, request for mating, alarm, and whistles. Song is produced mostly by males to claim territory (Cok 1971). The vocalization that is heard most frequently in the breeding season is the requesting call of the male, which indicates his interest and willingness to mate. (Cok 1971, Johnson et al. 2000). The alarm sounds are repetitive in times of extreme danger. It occurs in response to strong disturbances in nesting colonies and perches. It is usually caused by the presence of humans and other potential predators, and by panic or due to hostility from other members of the group. The call is often given in flight when the bird flees from a source of danger (Kok 1971). The whistle is given mainly in response to other individuals flying around, it starts as soon as the birds begin to move from the roost and is commonly heard early in the morning when the flocks disperse for the day, or at the end of the day when they head back to.

The uniparental care observed in *Q. mexicanus* correlates with their social polygyny (Gregory 2019). The females are responsible for feeding the juveniles, teaching them to hunt, defend and groom themselves.

Agonistic behaviors consist of both aggressive and submissive actions within the context of a social interaction (Wilson 1975). Agonistic encounters are observed more frequently when relationships are unclear, such as the arrival of new individuals. Subordinate individuals in general, respond to aggressive behaviors performed by higher-ranking individuals with appeasement or submissive signals or just getting away.

Since there is a dominance relationship among members of *Q. mexicanus* flocks then predictable dominance-subordinance responses must occur between members and the occurrence of competitive conflicts between members of a social group should decrease. Submissive postures allow avoidance of combat (Seibert 2006).

Grooming is a common behavior in most birds, and we observed it frequently during our study period, especially after bathing. The *Q. mexicanus* regularly groomed other members of the group, female or

male, and during courtship. We frequently observe them grooming themselves, bathing in shallow water, and scratching. As in other

species of birds, sunbathing appears to be important in thermoregulation and care of feathers (Kennedy 1969, Perera & Kotagama 2013).

Five categories of feeding behavior were observed in which females are those that carry out the greatest activity. Birds forage for food on the ground or search inside containers (Craig 1989). When searching for food on the ground, the bird walks, jumps, runs, or stands on the ground to find prey. Sometimes they carry the prey to the landing site (Fitzpatrick 1980). We were able to determine that the main diet of this species is essentially based on human food leftovers that they extract from the garbage dumps of the surrounding buildings. Additionally, they consume seeds and insects found in the substrate. Even when there is no scientific evidence yet *Q. mexicanus* can be behaviorally flexible when looking for food. They can innovate when accessing food that requires the creation of a new behavior, usually involving the manipulation of a tool to drink such as bottle caps that can lift and steepening for drinking rainwater (Gregory 2019).

Although it has not been reported in the literature, we observed some *Q. mexicanus* submerging food in water before consuming it, such as rice, crackers, and pieces of bread. According to Morand-Ferron (2005) this action is carried out to facilitate the ingestion of hard food such as peanuts or certain insects, which suggests that the food found in these areas are not easy to ingest. Regarding the consumption of insects, previous works report these birds' removing insects from the license plates of vehicles, as if it were a kind of trap (Grabrucker & Grabrucker 2010), however, this behavior was not observed in this study.

Q. mexicanus appears to prefer urban habitats in contrast to forested habitats (Rappole et al. 1989). It competes for nesting sites with other birds, they nest in the same trees, and there are frequent agonistic interactions. It is frequently found in close association with humans, particularly in urban and suburban areas (Gregory 2019).

Regarding their interspecific behavior, they have been observed searching for food in flocks, often with other Icteridae, or other families of birds. Sometimes coexistence can end in kleptoparasitism as they can steal or take food from other birds or members of their own

species. Although they are very sociable, *Q. mexicanus* sometimes attacks other *Quiscalus* and other species of birds, pecking and aggressively flying towards them. They eat the eggs and chicks of other birds, and sometimes kill and eat other adult birds. The breeding pair defends the nest by stalking, chasing, or throwing themselves at predators, including humans.

Q. mexicanus exhibits a wide range of smart behaviors including learning and good memories and communication. They even can solve problems and use tools, both activities indicate more than just basic instinct. We conclude that *Q. mexicanus* possess high levels of intelligence and have behaviors that indicate that they feel things like we humans do (Barber 1993).

The rapid geographical expansion of *Q. mexicanus* provides an opportunity to study how sexual selection, individual vocal repertoire, and geographic variation in song of this species vary from one place to another. Data on the ecological success and rapid expansion of the range of *Q. mexicanus* are very important in understanding the precise effect of habitat alteration by humans and what behavioral traits determine the success of bird species. During this study we were able to observe and describe 29 specific behaviors that were grouped into nine main functional categories used to construct an ethogram that we hope will be useful to improve our knowledge about the behavior of this species, a bird that practically coexists with human beings in the Republic of Panama.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank to Dr. Daniel Cruz-Sáenz for reviewing the manuscript and for his valuable comments.

REFERENCES

American Ornithologists' Union., 1998. Checklist of North American Birds. 7th ed. American Ornithologists' Union Washington DC, US.

Barber TX., 1993. The human nature of birds: A scientific discovery with startling implications. St Martin's Press.

Björklund M., 1991. Coming of age in fringillid birds: heterochrony in the ontogeny of secondary sexual characters. *Journal of Evolutionary Biology* 4:83-92.

Christensen A.F., 2000. The fifteenth- and twentieth-century colonization of the Basin of Mexico by the Great-tailed Grackle (*Quiscalus mexicanus*). *Global Ecology and Biogeography* 9:415-420.

Craig R.J., 1996. Seasonal population surveys and natural history of a Micronesian bird community. *The Wilson Bulletin* 246-267.

Ficken R.W., 1963. Courtship and agonistic behavior of the Common Grackle, *Quiscalus quiscula*. *The Auk* 80:52-72.

Fitzpatrick J.W., 1980. Foraging behavior of Neotropical tyrant flycatchers. *The Condor* 82:43-57.

Grabrucker S. & Grabrucker A.M., 2010. Rare feeding behavior of great-tailed grackles (*Quiscalus mexicanus*) in the extreme habitat of Death Valley. *The Open Ornithology Journal* 3:101-104.

Gregory B.P., 2019. *Quiscalus mexicanus* vocalization pitch and traffic noise in breeding populations along the Cinta Costera highway and in downtown Gamboa, Panamá. SIT Graduate Institute/SIT Study Abroad. SIT Digital Collections

Gokula V., 2011. An ethogram of Spot-billed Pelican (*Pelecanus philippensis*). *Chinese Birds* 2: 183-192.

Gurrola-Hidalgo M.A., Sánchez-Hernández C. & Romero-Almaraz M.L., 2009. Novel food sources for *Quiscalus mexicanus* and *Cyanocorax sanblasianus* in Chamela, Jalisco coast, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* 25:427-430.

Johnson K., DuVal E., Kiehl M. & Hughes C., 2000. Male mating strategies and the mating system of great-tailed grackles. *Behavioral Ecology* 11:132-141.

King C., 2012. Habitat use and behavior of Great-tailed Grackles (*Quiscalus mexicanus*) in urban and peri-urban habitats of San Marcos.

M.Sc. Thesis Texas State University. Hays County, Texas, US.

Kok O.B., 1971. Vocal behavior of the Great-tailed Grackle (*Quiscalus mexicanus prosopidicola*). *The Condor* 73:348-363.

Kubitza R.J., Suhonen J. & Vuorisalo T., 2015. Effects of experimental perturbation of group structure on hierarchy formation and behaviour in house sparrows. *Ornis Fennica* 92:157.

Lichtenberg E. M. & Hallager S., 2008. A description of commonly observed behaviors for the kori bustard (*Ardeotis kori*). *Journal of Ethology* 26:17-34.

Martinez R.J., Herrera J.M., Wilson B., Araúz J. & Quirós D. I., 2021. FOUR REPORTS OF PREDATION OF *Quiscalus mexicanus* (PASSERIFORMES: ICTERIDAE) IN PANAMA CITY. *Teenociencia* 23v(2):36-45.

Morand-Ferron J., 2005. Dunking behavior in American Crows. *The Wilson Bulletin* 117:405-407.

Perera S.J. & Kotogama S.W., 2013. A descriptive ethogram for the behavior of Black Robin *Saxicoloides fulicatus leucopterus* (Linnaeus, 1766) in a semideveloped, intermediate zone habitat of Sri Lanka. *Siyoth* 3:49-57.

Rappole J.H., Ramos, M. A. & Winker K., 1989. Wintering Wood Thrush movements and mortality in southern Veracruz. *The Auk* 106:402-410.

Seibert L. M., 2006. Social behavior of psittacine birds. *Manual of parrot behavior*, 1.

Smith O. & Wassmer T., 2016. An ethogram of commonly observed behaviors of the endangered Bridled White-eye (*Zosterops conspicillatus*) in a Zoo Setting. *The Wilson Journal of Ornithology*, 128(3), 647-653.

Yorzinski J.L., 2020. Blinking behavior in great-tailed grackles (*Quiscalus mexicanus*) increases during simulated rainfall. *Ethology* 126:519-527.

Wethje W., 2003. The range expansion of the great-tailed grackle (*Quiscalus mexicanus* Gmelin) in North America since 1880. *Journal Biogeography* 30:1593-1607.

Wilson E.O., 1975. *Sociobiology*. Belknap Press, Cambridge, UK.

Recibido 10 de mayo 2021 y aceptado 24 de septiembre 2021
Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho



**NEORILEYA ALBIPES (HYMENOPTERA: EURYTOMIDAE):
PARASITOIDE DE HUEVOS DE ARILUS GALLUS
(HEMIPTERA: REDUVIIDAE) EN FORTUNA, CHIRIQUÍ,
PANAMÁ**

Alonso Santos-Murgas^{1,2,3}, Rubén Collantes González^{4,5}

¹Universidad de Panamá, Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Panamá.

²Universidad de Panamá Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación, Panamá.

³Universidad de Panamá, Centro de Recurso Bióticos, Panamá.
alonso.santos@up.ac.pa   

⁴Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), CIA Chiriquí – Estación Experimental de Cerro Punta, Panamá. rdcg31@hotmail.com 

⁵Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chiriquí – Panamá.

RESUMEN

La Reduviidae, incluye chinches depredadores como *Aريلus gallus* (Stål, 1872), que contribuyen con el control natural de plagas en agroecosistemas productivos y con el balance ecológico en áreas protegidas. Estos insectos tienen enemigos naturales, como el parasitoide de huevos *Neorileya albipes* Girault, 1913 (Hymenoptera: Eurytomidae). El propósito del presente estudio fue reportar la especie parasitoide de huevos de *A. gallus* encontrada en la Reserva Forestal Fortuna, Chiriquí, Panamá. Para ello, se recolectó un grupo de 125 huevos de *A. gallus*, adherido a una hoja seca que cubría un entrenudo de paja canalera (*Saccharum spontaneum* L.), en el borde del camino dentro de la Reserva. Se realizaron 25 muestreos a lo largo de siete (7) transectos de 1 kilómetro cada transecto; en un sendero de 7 kilómetros. Se observó y registró el tiempo de oviposición en el lugar (9:20 a. m.–2:30 p. m.) de la avispa parasitoide sobre los huevos de *A. gallus*. Además, se logró realizar observaciones conductuales, biológicas y ecológicas del parasitoide cuando estaba parasitando. Los huevos fueron trasladados al laboratorio y se logró obtener dos avispas parasitoides adultos; confirmando la identificación de *N. albipes*. Cada avispa eclosionó de un huevo de *A. gallus*, después de 38 días de la oviposición. No se obtuvo ni eclosión de ninfas de *A. gallus* ni de parasitoides de los otros 123 huevos. Este hallazgo confirma la importancia de conocer las interacciones tróficas tanto en agroecosistemas como en vegetación natural, más aún al contemplarse la implementación del Manejo Integrado de Plagas.

PALABRAS CLAVES

Avispa parasitoide, chinche depredador, control biológico.

NEORILEYA ALBIPES (HYMENOPTERA: EURYTOMIDAE): EGG PARASITOID OF *ARILUS GALLUS* (HEMIPTERA: REDUVIIDAE) IN FORTUNA, CHIRIQUI, PANAMA

ABSTRACT

The Reduviidae includes predatory bugs such as *Arilus gallus* (Stål, 1872), which contribute to the natural control of pests in productive agroecosystems and to the ecological balance in protected areas. These insects have natural enemies, such as the egg parasitoid *Neorileya albipes* Girault, 1913 (Hymenoptera: Eurytomidae). The purpose of this study was to report the parasitoid species of *A. gallus* eggs found in the Fortuna Forest Reserve, Chiriquí, Panama. For this, a group of 125 *A. gallus* eggs was collected, attached to a dry leaf that covered an internode of gutter straw (*Saccharum spontaneum* L.), on the edge of the road within the Reserve. 25 samplings were carried out along seven (7) transects of 1 kilometre each; on a 7-kilometre trail. Oviposition time at the site (9:20 am – 2:30 pm) of the parasitoid wasp on *A. gallus* eggs was observed and recorded. In addition, behavioral, biological and ecological observations of the parasitoid were made when it was parasitizing. The eggs were transferred to the laboratory, and it was possible to obtain two adult parasitoid wasps; confirming the identification of *N. albipes*. Each wasp hatched from an *A. gallus* egg, 38 days after oviposition. Neither nymph hatching of *A. gallus* nor parasitoids were obtained from the other 123 eggs. This finding confirms the importance of knowing the trophic interactions both in agroecosystems and in natural vegetation, even more so when considering the implementation of Integrated Pest Management.

KEY WORDS

Biological control, predatory bug, parasitoid wasp.

INTRODUCCIÓN

Arilus gallus (Stal, 1872), pertenece a la familia Reduviidae, llamada comúnmente chinches asesinas. Este taxón es considerado uno de los más diversos del orden Hemiptera, al comprender 1913 géneros y 6250 especies; presentando además hábitos depredadores y hematófagos (Ambrose, 1999, 2000; Maldonado, 1990; Giraldo et al., 2011).

En Reduviidae, algunas subfamilias presentan cierto grado de especialización en sus presas, mientras que otras son consideradas generalistas. Algunas especies son de importancia para la salud humana, como las del género *Rhodnius* (subfamilia Triatominae), importantes vectores del mal de Chagas (Lent y Wygodzinsky, 1979; Schuh y Slater, 1996). Otros géneros, como *Repipta*, *Arilus* y *Zelus* (subfamilia Harpactorinae), se han encontrado en el agroecosistema de café depredando insectos perjudiciales; sirviendo como aliados para el control biológico de plagas (Ramírez y Bustillo, 2008; Giraldo et al., 2011). Dicha situación también ha sido evidenciada en otros cultivos como uchuva, cítricos y cocotero, por citar algunos ejemplos (Collantes y Pitti, 2019; Collantes y Jerkovic, 2020; Collantes y González-Ochoa, 2021).

Las especies que se encuentran dentro del género *Arilus*, se caracterizan porque los adultos son relativamente grandes, miden entre 26-34 mm; presentan coloración oscura a grisácea, con textura pilosa en el cuerpo y la cabeza; las partes finales de las patas y las antenas son generalmente rojas, las alas son grises y en su tórax poseen una carina o cresta de dientes color gris (Figura 1). En el caso de las ninfas (Figura 2), la coloración del cuerpo es gris, con la misma textura del adulto, y con las patas y antenas rojas (Giraldo et al., 2011).



Figura 1. Hábito del adulto de *Arilus gallus*.



Figura 2. Hábito de la ninfa de *A. cristatus*. Fuente: Mead, 2017. Foto: Lyle J. Buss, Universidad of Florida.

Estudios biológicos del género *Arilus* son escasos y tampoco se cuenta con información detallada sobre sus enemigos naturales. Respecto a otros Harpactorinae, Swadener y Yonke (1973), señalaron el caso de una especie del género *Zelus*, cuyas hembras en condiciones de laboratorio colocaron cerca de 153 huevos, con una fertilidad del 94,5%, un periodo de incubación de nueve días y la fase ninfal duró alrededor de 52,6 días, con un periodo de duración de la fase huevo hasta adulto de 61,6 días.

Estos chinches pasan por cinco instares ninfales y la longevidad de las hembras es de 52,7 días, aproximadamente. Las posturas son de tipo grupal, alrededor de 15 huevos o más, estos son cilíndricos y de color marrón oscuro. Las ninfas y adultos conforman colonias, aunque generalmente las ninfas de últimos instares y los adultos cazan de modo solitario (Giraldo et al., 2011).

Por otro lado, en las avispas parasitoides de la familia Eurytomidae, se reconocen cerca de 87 géneros y 1400 especies. La subfamilia Rileyinae contiene seis géneros (*Rileyia*, *Platyrileyia*, *Dougiola*, *Austrophotismus*, *Boucekiana* y *Neorileyia*) y 69 especies. *Neorileyia* contiene seis especies distribuidas por el Nuevo Mundo, desde el suroeste de los Estados Unidos hasta Argentina (Gates, 2008).

Sin embargo, es poca la información biológica disponible sobre parasitoides como *Neorileya albipes* Girault, 1913 (Hymenoptera: Eurytomidae). En Mato Grosso, Brasil, Favetti et al. (2013), encontraron dicha especie junto con *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 y *Trissolcus urichi* Crawford, 1913 (Hymenoptera: Platygasteridae), parasitando huevos de *Edessa meditabunda* (Fabricius, 1794) (Hemiptera: Pentatomidae), en cultivos de lechuga. Los únicos registros de hospedantes conocidos para Panamá, son por datos de colecta, que indican su recuperación a partir de huevos de Heteroptera: Coreidae y Pentatomidae, obtenidos de la Zona del Canal de Panamá (Bruner, Scaramuzza y Otero, 1975; De Santis, 1979).

La provincia de Chiriquí es una de las principales zonas productoras en Panamá, diversa en climas y rubros, destacando el café, la caña de azúcar, los cítricos y las hortalizas. Además, cuenta con áreas protegidas como la Reserva Forestal Fortuna (RFF); la cual pertenece al Corredor Biológico Mesoamericano del Atlántico Panameño y al Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Panamá. Con 19 000 ha de bosques nubosos, alberga cerca de 2000 especies de animales y plantas, algunas de ellas endémicas o de distribución restringida. Cuenta además con 500 ha de zona de amortiguamiento, la cual está habitada por campesinos e indígenas dedicados a la agricultura básica. Es una región muy húmeda, con 16° C de temperatura promedio y 4000 mm de precipitación promedio anual. Adicionalmente, la reserva cuenta con un embalse de 1000 ha, el cual suministra el agua necesaria para el funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Fortuna, la mayor del país (Araúz, 2007; Martínez, Araúz y Mendieta, 2010; Reserva Forestal Fortuna, 2018).

Contar con este potencial contribuiría con el enriquecimiento de las interacciones tróficas y, por ende, con la sostenibilidad de los agroecosistemas. Considerando lo señalado previamente, es imperativo generar conocimiento actualizado sobre los hábitos de las especies insectiles asociadas tanto a cultivos como a vegetación natural. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue reportar el parasitoide de huevos de *A. gallus* observado en la RFF, Chiriquí, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio correspondió a una locación de la Reserva Forestal La Fortuna (8°45'41,2" N, 82°16'02,8" O, 1100 m s. n. m.) (Figura 3A). Se realizaron 25 muestreos a lo largo de siete (7) transectos de 1 kilómetro cada transecto; en un sendero de 7 kilómetros. En cada transecto se realizaban cinco horas de observación. Se observó y registró el tiempo de oviposición en el lugar de la avispa parasitoide sobre los huevos de *A. gallus* en uno de los muestreos. El 12 marzo de 2019, se colectó de una vaina seca que cubría un entrenudo de paja canalera (*Saccharum spontaneum* L.) (Figura 3B), un grupo de 125 huevos de *Ariilus gallus* (Hemiptera: Reduviidae); siendo parasitados por una avispa (Figura 3C). Se realizaron cinco horas de observación en el lugar (9:20 am – 2:30 pm). Se observó y registró el tiempo de oviposición de la avispa parasitoide sobre los huevos de *A. gallus*. Además, se logró realizar observaciones conductuales, biológicas y ecológicas del parasitoide cuando parasitaba los huevos. Se utilizó una cámara Nikon D7000 para la toma de fotografías en campo.

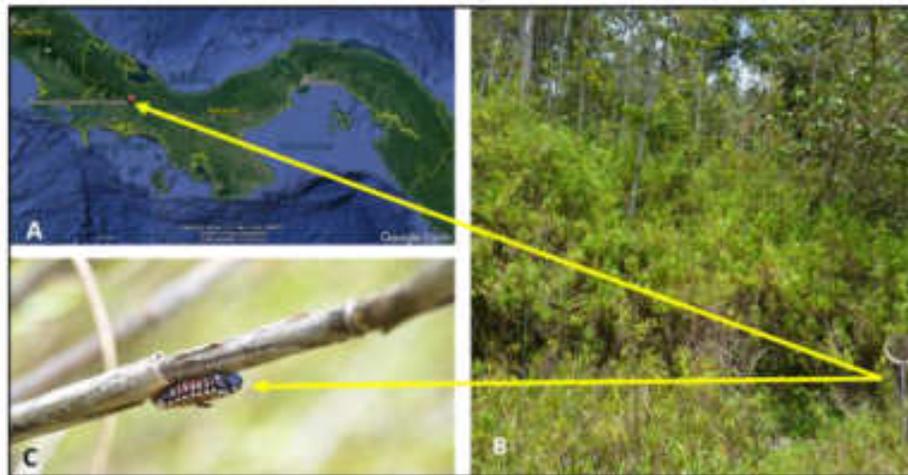


Figura 3: Área de estudio: A) Ubicación geográfica de la RFF. B) Vegetación donde se encontró huevos de *A. gallus*. C) Huevos de *A. gallus*, adheridos a *S. spontaneum* y siendo parasitados.

El material colectado fue trasladado al Museo de Invertebrados G.B. Fairchild, Universidad de Panamá (MIUP); para completar su desarrollo en una cámara de cría bajo condiciones controladas de temperatura y

humedad, que oscilaban en un rango de 25° C – 27° C y 70% - 80% HR. Posteriormente, se confirmó la identidad del parasitoide emergido con ayuda de las claves de identificación de Gates (2008). Todos los especímenes fueron montados en alfileres entomológicos y depositados en la Colección Nacional de referencia del MIUP.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados, se logró evidenciar el proceso cuando el parasitoide hembra introducía su aguijón de forma individual en varios huevos de *A. gallus* (Figura 4). El tiempo promedio que tomó desde la inserción del ovipositor en un huevo hasta la búsqueda de otro es de 3,5 a 4,7 minutos, tomando como referencia 11 observaciones realizadas durante cinco horas.



Figura 4. Huevos de *A. gallus* sobre *S. spontaneum* y dos avispas hembra de *N. albipes* parasitando en condiciones naturales de campo. En el laboratorio, se recuperaron dos avispas parasitoides emergidas de dos huevos de *A. gallus*; las cuales correspondieron a la especie *Neorileya albipes* Girault, 1913 (Hymenoptera: Eurytomidae); después de 38 días de la colecta u oviposición del parasitoide. De los otros 123 huevos, no se obtuvo ni eclosión de ninfas ni emergencia de parasitoides.

En algunas ocasiones, la hembra se posaba sobre un huevo, tomando un tiempo promedio entre 1,2 – 1,8 minutos y lo recorría explorándolo por toda la periferia sin introducir el aguijón. Los huevos tenían una longitud promedio de 3.0-3.6 mm y un ancho de 1.3-1.4 mm, (medidas en N=65 huevos). Este comportamiento fue evidenciado 16 veces durante el periodo de observación.

DISCUSIÓN

Es poco lo que se conoce sobre los hospedantes asociados a la subfamilia Rileyinae. Pero, los pocos trabajos que existen denotan que atacan exclusivamente a insectos formadores de agallas de la familia Cecidomiidae (Diptera); con la excepción de *Neorileya*, que ataca huevos expuestos de Heteroptera “chinchas” (Corrêa-Ferreira, 1981, 1986; Jones 1988). La distribución de las especies de *Neorileya* se encuentra principalmente en la región neotropical, pero una especie se extiende hasta el norte de California en la región central (Gates, 2008). Sobre la biología de las especies de *Neorileya* se ha documentado que son endoparasitoides aparentemente solitarios de huevos de Orthoptera (Tettigoniidae) y Hemiptera (Pentatomidae, Coreidae, Reduviidae). Además, pueden ser hiperparasitoides (Gates, 2008). Según Corrêa-Ferreira (1981, 1986) y Gates (2008), sólo dos géneros de la subfamilia Rileyinae, *Neorileya* y *Rileya*, tienen interés económico, como parasitoides de huevos de insectos plaga de importancia agrícola.

La única información que se tiene de *N. albipes* en Panamá, data de los trabajos de Bruner, Scaramuzza y Otero (1975) y De Santis (1979); los cuales mencionan que probablemente *N. Albipes* es parasitoide de huevos de Coreidae y Pentatomidae, en la Zona del Canal de Panamá; siendo lo último concordante con lo indicado por Favetti et al. (2013). Por lo expuesto, la presente investigación aporta información biológica y ecológica relevante de la especie, siendo un parasitoide de hábito específico, mas no de especie específica.

Una de las observaciones más interesantes fue que las dos hembras de *N. albipes* se encontraban sobre el grupo de huevos parasitando al mismo tiempo, sin demostrar reacciones agresivas ni disputas territoriales por colonizar o parasitar. Esto explicaría el tiempo que demora la hembra de *N. albipes* en explorar el huevo de *A. gallus*, antes

de introducir el ovipositor. Es posible que este comportamiento de exploración del huevo sea para determinar si el huevo ya está parasitado. En el caso de los insectos parasitoides, la competencia puede ser extrínseca si ocurre entre adultos que forrajean en busca de hospedantes, o intrínseca cuando se presenta entre estadios inmaduros que se desarrollan en el mismo hospedante (Godfray, 1994). Para reducir o prevenir la competencia intrínseca entre estadios inmaduros, algunos parasitoides son capaces de distinguir entre hospedantes parasitados y sin parasitar por otra especie o la misma especie, fenómeno llamado discriminación heteroespecífica u homoespecífica del hospedante (Turlings et al., 1985).

Es meritorio destacar que, contar con áreas protegidas donde se alberga tal biodiversidad, representa un potencial de enriquecimiento de las interacciones tróficas y, por ende, contribuiría con la sostenibilidad de agroecosistemas productivos en la provincia. Al respecto, J. Lezcano afirmó que la producción más importante de café en Chiriquí se da en los distritos de Boquete, Tierras Altas y Renacimiento (comunicación personal, 09-09-2021). Considerando que la RFF se extiende sobre los distritos de Gualaca y Boquete, sumado a lo afirmado por Giraldo et al. (2011), especies de Reduviidae como *Arilus gallus* son aliados en el control biológico natural de plagas en café; pudiendo además ser considerados en el marco de planes de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Si bien en este estudio se evidenció que *N. albipes* es parasitoide de *A. gallus*, también debe recordarse su capacidad de parasitar otras especies de Hemiptera que son plagas de cultivos importantes como la lechuga (Favetti et al., 2013); rubro destacado en el distrito de Tierras Altas. En el caso del distrito de Dolega, se concentra la principal zona productora de cítricos en Chiriquí; cultivos que merecen especial atención, dada la situación actual que confronta Panamá con la enfermedad conocida como Huanglongbing (HLB) y su vector, *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae), sobre lo cual Atencio, Aguilera y Arcia (2021), destacan el potencial de los depredadores y parasitoides, tanto nativos como introducidos, para el control de las poblaciones del insecto vector.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo, se confirma que la avispa parasitoide de huevos de *Arilus gallus* observada y colectada en la RFF, corresponde a *Neortileya albipes*, la cual además de parasitar esta especie de Reduviidae, también parasita otras especies de Hemiptera que son plagas agrícolas. Ambos insectos representan un potencial para el control biológico natural en agroecosistemas con cultivos como el café, los cítricos y la lechuga; todos estos producidos en la provincia de Chiriquí.

Se requiere dar continuidad a este tipo de investigaciones, a fin de contribuir con una base de conocimientos que facilite la toma de decisiones acertada, para el diseño adecuado de un plan de MIP, la protección del ambiente, el uso responsable de los recursos naturales y la sostenibilidad de los medios de vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Albert Thurman y su equipo de trabajo junto con otros investigadores de la Universidad de Florida y del Centro de McGuire para Lepidoptera & Biodiversidad del Museo de Historia Natural de Florida y el Mississippi Museo Entomológico en la Universidad Mississippi State, desde el 2010 han colaborado con la institución (MIUP-Universidad de Panamá) en la donación de equipo y patrocinio económico para realizar las giras a campo y poder obtener estos resultados de investigación entomológica.

REFERENCIAS

Araúz, J. (2007). La Reserva Forestal Fortuna y la conservación de la biodiversidad. *Tecnociencia*, Vol. 9, N° 2: 137-146. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/825/704>. Consulta: 09-09-2021.

Atencio, R.; Aguilera, V.; y Arcia, A. (2021). Actualidad de la Enfermedad del Huanglongbing (HLB) de los Cítricos en Panamá. *Actualidad agropecuaria*, N° 268: 8-18. https://www.researchgate.net/publication/354338664_Actualidad_de_la_Enfermedad_del_Huanglongbing_HLB_de_los_Citricos_en_Panam_a. Consulta: 10-09-2021.

Bruner, S.; Scaramuzza, L.; y Otero, A. (1975). Catálogo de los insectos que atacan a las plantas económicas de Cuba. Segunda Edición. Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Zoología, La Habana, CU. 399 pp.

Collantes, R.; y González-Ochoa, F. (2021). Artrópodos benéficos asociados al agroecosistema cocotero (*Cocos nucifera* L.) en Costa Abajo, Colón. *Ciencia Agropecuaria*, N° 32: 1-11. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/416/326>. Consulta: 09-09-2021.

Collantes, R.; y Jerkovic, M. (2020). Organismos plaga y benéficos asociados a cítricos de traspatio en Tierras Altas, Chiriquí, Panamá. *Aporte Santiaguino*, Vol. 13, N° 1: 48-58. <https://doi.org/10.32911/as.2020.v13.n1.680>.

Collantes, R.; y Pitti, J. (2019). Insectos asociados al aguaymanto en Cerro Punta, Chiriquí-Panamá. *Aporte Santiaguino*, Vol. 12, N° 2: 147-160. <https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n2.638>.

Corrêa-Ferreira, B. (1981). Ocorrência de parasitas em ovos e adultos de percevejos da soja. En Séptimo Congreso Brasileño de Entomología, 12-17 julio, 1981. Fortaleza, Ceara. (abstr.).

Corrêa-Ferreira, B. (1986). Ocorrência natural do complexo de parasitoides de ovos de percevejos da soja no Paraná. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, Vol. 15, N° 2: 189-199. <https://doi.org/10.37486/0301-8059.v15i2.420>.

De Santis, L. (1979). Catálogo de los Himénopteros Calcidoideos de América al sur de los Estados Unidos. Publicación Especial, Comisión de Investigaciones Científicas Provincia de Buenos Aires, AR. 488 pp.

Favetti, B.; Krinski, D.; Butnariu, A.; y Loiacono, M. (2013). Egg parasitoids of *Edessa mediatubunda* (Fabricius) (Pentatomidae) in lettuce crop». *Revista Brasileira de Entomologia*, Vol. 57, N° 2: 236-237. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262013005000014>.

Gates, M. (2008). Species revision and generic systematics of world Rileyinae (Hymenoptera: Eurytomidae). University of California Publications, Entomology, Vol. 27. 342 p.

Giraldo, M.; Galindo, L.; Benavides, P.; y Forero, D. (2011). Aprenda a conocer las chinches depredadoras de plagas del café. FNC, CENICAFÉ, CO. 8 p. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/338/1/avt0412.pdf>. Consulta: 09-09-2021.

Godfray, H. C. J. (1994). Parasitoids Behavioural and Evolutionary Ecology. Princenton University Press. N.J., USA.
Jones, W. (1988). World Review of the Parasitoids of the Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae). *Annals of the Entomological Society of America*, Vol. 81, N° 2: 262-273. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1069&context=entomologyother>. Consulta: 09-09-2021.

Lent, H.; y Wygodzinsky, P. (1979). Revision of the Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas' disease. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, Vol. 163, N° 3: 123-520. <http://hdl.handle.net/2246/1282>. Consulta: 09-09-2021.

Maldonado, J. (1990). Systematic catalogue of the Reduviidae of the World. *Caribbean Journal of Science*, Special publication, N° 1, University of Puerto Rico, Mayagüez-PR. 694 p.

Martínez, V.; Araúz, J.; y Mendieta, J. (2010). Valor de la Reserva Forestal Fortuna para la conservación de la biodiversidad. *Tecnociencia*, Vol. 12, N° 2: 123-138. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/911/776>. Consulta: 09-09-2021.

Mead, F. (2017). Wheel Bug, *Arilus cristatus* (Linnaeus) (Insecta: Hemiptera: Reduviidae). EENY086/IN243, Rev. 3/2017. EDIS 2017 (2). 5 p. <https://doi.org/10.32473/edis-in243-2017>.

Ramírez, H.; y Bustillo, A. (2008). La chinche de la Chamusquina del café *Monalonion velezangeli*, una nueva plaga del café en Colombia, p. 374- 380. En: Bustillo, A., *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana*. CENICAFÉ, Chinchiná-Caldas, CO. 466 p. https://www.researchgate.net/publication/340655593_Los_insectos_y_

su manejo en la caficultura colombiana_FNC -
Cenicafe Chinchina Colombia. Consulta: 09-09-2021.
Reserva Forestal Fortuna. (2018). Reserva Forestal Fortuna.
<https://www.reservaforestalfortuna.com/>. Consulta: 09-09-2021.

Schuh, R; y Slater, J. (1996). True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera). Classification and natural history. Cornell University Press, NY-US. 336 p.

Swadener, S.; y Yonke, T. (1973). Immature stages and biology of *Zelus socius* (Hemiptera: Reduviidae). The Canadian Entomologist, Vol. 105, N° 2: 231- 238. <<https://doi.org/10.4039/Ent105231-2>.

Turlings, T.C.J.; van Batenburg, F.D.H.; y van Strien-van Liempt, W.T.F.H. (1985). Why is there no interspecific host discrimination in the two coexisting larval parasitoids of *Drosophila* species; *Lepyopilina heterotoma* (Thomson) and *Asobara tabida* (Nees). Oecologia, Vol. 67, N° 3: 352-359. <https://doi.org/10.1007/BF00384940>.

Recibido 15 julio 2021 y aceptado 20 octubre 2021
Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho



INFLUENCIA DE HELADAS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE CEBADA EN LA SIERRA DE PERÚ

Rubén D. Collantes G.¹ y Luz R. Gómez-Pando²

¹Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Estación Experimental de Cerro Punta, Panamá. rdcg31@hotmail.com   

²Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Programa de Cereales y Granos Nativos. luzgomez@lamolina.edu.pe   

RESUMEN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), es un cultivo estratégico para las comunidades alto andinas, dado que, es poco exigente en suelo, tolera bien las bajas temperaturas y se le puede aprovechar tanto para la alimentación humana como animal. Las heladas, por otro lado, son fenómenos que suelen presentarse en Los Andes y pueden afectar el desarrollo adecuado de los cultivos. La presente investigación pretende ilustrar la influencia de las heladas en el rendimiento y calidad de la cebada en la sierra central de Perú. Para ello, se escogieron dos localidades: Valle del Mantaro (11°50'33" S 75°22'45" O, 3200 m s.n.m.) y Ñahuimpuquio (12°19'35" S 75°04'00" O, 3630 m s.n.m.). Se registró una helada meteorológica durante el estudio. Se evaluaron cuatro cultivares mejorados, comparando siete variables de rendimiento y tres de calidad. Se empleó un diseño de bloques completos al azar por localidad. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa SAS. Los resultados obtenidos reflejaron que, la ocurrencia de dicha helada durante la floración comprometió el desarrollo adecuado de los cultivares en Ñahuimpuquio; mientras que, en el Valle del Mantaro, no hubo afectaciones al ocurrir durante el crecimiento vegetativo. En conclusión, las heladas ocurridas en etapas sensibles del cultivo pueden comprometer el rendimiento, la calidad y, por consiguiente, la soberanía alimentaria.

PALABRAS CLAVES

Calidad, Cebada, helada, rendimiento, soberanía alimentaria.

FROST INFLUENCE ON YIELD AND QUALITY OF BARLEY IN THE SIERRA DE PERU

ABSTRACT

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is a strategic crop for the Andean communities because it is not very demanding on soil conditions, tolerates low temperatures and can be used for both human and animal consumption. Frosts, on the other hand, are phenomena that usually occur in the Andes and can affect the proper development of crops. This research aims to illustrate the influence of frost on the yield and quality of barley in the central highlands of Peru. For this, two locations were chosen: Valle del Mantaro (11°50'33" S 75°22'45" W, 3200 m asl) and Ñahuimpuquio (12°19'35" S 75°04'00" W, 3630 m asl). A meteorological frost was recorded during the study. Four cultivars were evaluated, comparing seven yield variables and three quality variables. A randomized complete block design by locality was used. Statistical analyses were performed using the SAS program. The results obtained reflected that the occurrence of said frost during flowering compromised the adequate development of cultivars in Ñahuimpuquio; while, in Valle del Mantaro, there were no effects when it occurred during vegetative growth. Frosts that occur in sensitive stages of the crop can compromise yield and quality, as well as food sovereignty.

KEY WORDS

Barley, food sovereignty, frost, quality, yield.

INTRODUCCIÓN

Para alimentar a la población mundial (6,8 billones de personas), se requiere una superficie dedicada a agricultura y ganadería del tamaño de Suramérica; proyectándose para el 2050 la necesidad de un área adicional equivalente a Brasil. Por ello, existe una demanda creciente de prácticas de cultivo más sostenibles, que optimicen el aprovechamiento de los recursos naturales para alimentación humana y animal (cebada de doble propósito), en áreas con suelos deficitarios en nutrientes, representen oportunidades de empleo locales incorporando nuevas zonas productivas y que contribuyan a mitigar el cambio climático (Windes *et al.*, 2019; Despommier, 2020).

Los cereales y los granos andinos son de gran importancia económica, social y cultural en Perú; país en el cual, cerca del 95% de la superficie cultivada con trigo y cebada corresponde a la sierra, que forma parte de la cordillera de Los Andes. La cebada destaca por ser un cultivo rústico, de ciclo vegetativo corto, con capacidad de adaptación y buen rendimiento (1,1 t/ha en promedio), ser parte de los sistemas productivos y servir como alimento tanto para consumo humano como animal. Entre

los factores que afectan la producción, el clima es de suma importancia (Quispe, 2007; MINAG, 2011; Llacsá et al., 2020).

El daño que pueden producir las bajas temperaturas extremas en los cereales, depende del estado de desarrollo del cultivo en el momento en que se presentan. Los cultivos de trigo y cebada tienen una buena adaptación a las bajas temperaturas durante gran parte de su ciclo de desarrollo, pero los cambios bruscos de temperatura pueden afectar los tejidos en crecimiento activo, como es el caso de los órganos florales (Agropal, 2021).

Por todo lo expuesto, el objetivo del presente estudio es ilustrar la influencia de las heladas meteorológicas (temperatura $\leq 0^{\circ}$ C), en el rendimiento y calidad de la cebada cultivada en la sierra central de Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en dos localidades de la sierra central, Perú (Figura 1):

Instituto Rural de Desarrollo de Sierra (IRD-Sierra, UNALM). Ubicado en el Fundo San Juan de Yanamuclo, Valle del Mantaro, Distrito de San Lorenzo, Provincia de Jauja, Departamento de Junín ($11^{\circ}50'33''$ S $75^{\circ}22'45''$ O, 3200 m s.n.m.).

Campo de productor. En el Distrito de Ñahuimpuquio, Provincia de Tayacaja, Departamento de Huancavelica ($12^{\circ}19'35''$ S $75^{\circ}04'00''$ O, 3630 m s.n.m.).



Figura 1. Localidades de estudio. Fuente: Google Earth Pro (2021).

De acuerdo con el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite aplicado por SENAMHI (2020), de los 38 tipos de clima presentes en el Perú, el área de estudio presenta un clima semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. C (r) B'. Esta región presenta durante el año, en promedio temperaturas máximas de 21°C a 25°C y temperaturas mínimas de 7°C a 11°C. Los acumulados anuales de lluvias en estas zonas pueden alcanzar valores desde los 700 mm hasta los 2000 mm aproximadamente.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la Estación Meteorológica "La Victoria", Huancayo-Junin (3231 m s.n.m.), del Centro Internacional de la Papa, para el periodo de estudio comprendido entre diciembre de 2006 y julio de 2007. El 17 de febrero de 2007, se registró una helada meteorológica de -0,3° C en Huancayo, estimada en -3° C en Ñahuimpuquio.

Siguiendo la metodología de Collantes (2007), se estableció diseño de bloques completos al azar por localidad, considerando cuatro tratamientos y tres repeticiones (bloques). Los tratamientos correspondieron a cuatro cultivares mejorados de cebada: 'Centenario', 'UNA La Molina 96', 'Moronera-INIA' y 'UNA 80'. Estos materiales fueron seleccionados por su resistencia a enfermedades, el rango de adaptabilidad a la altitud y rendimiento potencial. Para la instalación del ensayo, se contó con el apoyo del Programa de Cereales y Granos Nativos y del IRD-Sierra de la UNALM. Se tomó datos periódicamente

(Figura 2). Se evaluó rendimiento y calidad de cuatro cultivares de cebada que sufrieron la influencia de heladas meteorológicas en dos localidades de la sierra central de Perú; siendo las variables de estudio el rendimiento (kg/ha), peso de mil granos (g), número de espigas por metro cuadrado, número de granos por espiga, altura de planta (cm), días a la floración, días a la madurez, peso hectolítrico (kg/hl), tamaño de grano, contenido de proteína. Los análisis estadísticos (ANOVA, Prueba de Duncan al 5% y análisis de correlación), se realizaron mediante el programa SAS.



Figura 2. Toma de datos, Valle del Mantaro, Junin, Perú. Foto: J. Falconi.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados, no se encontraron diferencias significativas entre los cultivares evaluados a nivel de localidad, en cuanto al rendimiento y la altura de planta. Sin embargo, al comparar el rendimiento y la altura promedio entre el Valle del Mantaro (5177,78 kg/ha; 122,92 cm) y Nahuimpuquio (459,78 kg/ha; 80,17 cm), lo obtenido en esta última representa el 8,88% de lo cosechado en la primera y el 65,22% de altura. Tampoco se encontró diferencias significativas entre los tratamientos por localidad, en el número de espigas por metro cuadrado (612 en el Valle del Mantaro y 558 en Nahuimpuquio) ni en el contenido de proteína (10,91% en el Valle del Mantaro y 12,29% en Nahuimpuquio); pero, al comparar los valores

promedio, se observa que en Ñahuimpuquio hubo un 8,82% menos espigas por área. En ambos casos, el contenido de proteína es adecuado para la industrialización.

En cuanto a los días a la floración, sólo se encontró diferencias significativas en Ñahuimpuquio, siendo su valor promedio de 72,5 días. La prueba de Duncan formó dos grupos de datos: A) 'Moronera' (75,67 días) y 'Centenario' (74,33 días); B) 'UNA LM 96' (70 días) y 'UNA 80' (70 días). Por otro lado, en los días a la madurez, se encontró diferencias altamente significativas en ambas localidades, con valores promedio de 148 días en el Valle del Mantaro y 152,5 días en Ñahuimpuquio. Destaca el hecho de que 'UNA 80', maduró antes de lo previsto en ambos lugares, siendo un cultivar tardío y en ambos casos, la prueba de Duncan lo situó en el grupo B (140 días y 146,7 días).

Respecto al número de granos por espiga y al peso de 1000 granos, se encontró diferencias altamente significativas entre los cultivares evaluados en el Valle del Mantaro, destacando 'UNA 80' con 27,33 granos por espiga, pero 'Centenario' fue superior con 60,50 g por 1000 granos; y en ambos casos, la prueba de Duncan conformó dos grupos. En Ñahuimpuquio, no se encontró diferencias significativas, siendo el número promedio de granos por espiga de 2,5 (14,4% de lo obtenido en el Valle del Mantaro) y el peso de 1000 granos de 34,55 g (67% de lo obtenido en el Valle del Mantaro).

Del peso hectolitrico y granos de primera, se encontró diferencias significativas entre los cultivares evaluados en el Valle del Mantaro, con un valor promedio de 64,12 kg/hl y un 96,02% de granos de primera; destacando en ambos casos 'Moronera', con 66,22 kg/hl y 98,80%, respectivamente (cuadro 1). En Ñahuimpuquio, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, obteniéndose promedios de 45,22 kg/hl y 67,62% (alrededor del 70% de lo obtenido en el Valle del Mantaro para ambas variables evaluadas).

Del análisis de correlación desarrollado entre el rendimiento y las demás variables de estudio, no se encontró significancia en el Valle del Mantaro. Sin embargo, en Ñahuimpuquio sólo se encontró significación estadística entre el rendimiento y días a la madurez (Cuadro 2), con un coeficiente de correlación (r) de $-0,9578$.

Cuadro 1. Prueba de Duncan (al 5%) de granos de primera (%) y peso hectolitrico (kg/hl) de cebada evaluada en el Valle del Mantaro.

Cultivar	Granos de Primera (%)	Grupo	Peso (kg/hl)	Grupo
Moronera	98,80	A	66,22	A
Centenario	98,54	A	65,53	A
UNA 80	90,43	B	63,48	AB
UNA LM 96	93,50	B	61,23	B

Cuadro 2. Análisis de correlación (r) entre el rendimiento (kg/ha) y las demás variables evaluadas en Ñahuimpuquio

Rendimiento (kg/ha)	Altura (cm)	Días a la floración	Días a la madurez	Espigas/m ²	Granos/espiga
r	-0.6795	-0.6795	-0.9578*	-0.5664	0.8560
Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos (g)	Proteína (%)	Peso hectolitrico (kg/hl)	Granos de Primera (%)	
r	0.5510	-0.6135	0.4890	0.8959	

*Significación al 0,05 de probabilidad.

DISCUSIÓN

Considerando lo señalado por Agropal (2021), respecto a que cambios bruscos en la temperatura pueden ocasionar daños en los tejidos en crecimiento; esto concuerda con los datos generados durante la investigación; dado que, el rendimiento promedio obtenido en Ñahuimpuquio es menos del 10% de lo obtenido en el Valle del Mantaro; lo cual a su vez refleja que, los cultivares evaluados no lograron expresar todo su potencial. Todo ello puede guardar relación con factores como:

Periodo del cultivo. Desde la siembra hasta la cosecha, la cebada en el Valle del Mantaro permaneció cinco meses y medio, de los cuales tres correspondieron a crecimiento vegetativo; mientras que en Ñahuimpuquio, de los siete meses que duró el ciclo del cultivo, la fase vegetativa duró dos. Esto concuerda con Dofing (1997), quien indicó que un mayor periodo de pre-espigado, junto con una tasa de llenado de grano rápida mejoran el rendimiento, al desarrollar un número adecuado

de granos por espiga y número de hojas para proveer fotosintatos durante el llenado de grano.

Suelo. Los suelos arcillosos y compactos de Ñahuimpuquio, no son favorables para el cultivo de cebada, dado que dificultan la germinación, limitan el desarrollo de la fase vegetativa, son susceptibles al anegamiento y al poseer contenido de materia orgánica bajo, esto explicará el hecho de que la duración de esta etapa fuese menor, en comparación con el Valle del Mantaro, que posee suelos francos y contenido de materia orgánica medio (Collantes, 2007).

Temperatura. De acuerdo con la información meteorológica obtenida durante el estudio, las temperaturas promedio en el Valle del Mantaro, durante el periodo de estudio fueron: Promedio = 12° C, Máxima = 20° C y Mínima = 6° C; mientras que, para Ñahuimpuquio se estimó: Promedio = 9,3° C, Máxima = 17,3° C y Mínima = 3,1° C. Las condiciones del Valle del Mantaro son más favorables, dado que Briggs (1978), señaló que la temperatura mínima que requiere la cebada para germinar es justamente 6° C, la mínima para que ocurra floración es de 16° C y la mínima para madurar 20° C.

Heladas. La helada registrada durante el mes de febrero, ocurrió cuando el cultivo en Ñahuimpuquio se encontraba en floración; mientras que, en el Valle del Mantaro, aún estaba en fase vegetativa. Adicionalmente, se registraron dos heladas en los meses de junio y julio, cuando en Ñahuimpuquio aún se encontraba el cultivo establecido en campo y en el Valle del Mantaro ya había sido cosechado.

Radiación solar. A mayor altitud, la radiación solar se incrementa. Al ser una planta C3, según Lira (1994), la cebada alcanza fácilmente la saturación lumínica a una concentración constante de CO₂ (0,03%) Por ello, incrementos en la radiación solar lejos de ser benéficos, pueden provocar estrés en la planta, sumado a afectaciones durante la polinización.

Todo lo expuesto anteriormente sugiere que, al presentarse una helada durante una etapa tan sensible, como es la floración, en conjugación con otros factores limitantes, pueden llegar a comprometer hasta en más de un 90% el rendimiento esperado; además de limitar la expresión de atributos propios de cada cultivar. Al respecto, Corró *et al.* (2016),

señalaron que, el efecto de las bajas temperaturas puede reducirse si las plantas pasan por un proceso de aclimatación; mientras que, cuando la helada es precedida por altas temperaturas, los daños serían mayores.

Si bien uno de los usos más conocidos de la cebada es para elaborar licores como la cerveza y el whiskey, en las regiones alto andinas representa un cultivo estratégico; sobre lo cual Llacsa *et al.* (2020), han hecho énfasis mediante la evaluación de cultivares promisorios también en la sierra central de Perú.

Por otro lado, en Ecuador, el trabajo de Coronel y Jiménez (2011), destaca la importancia estratégica de este cultivo para la sostenibilidad de los medios de vida, así como la seguridad y soberanía alimentaria.

Desarrollar una agricultura climáticamente inteligente, puede contribuir a favorecer transiciones hacia sistemas productivos sostenibles y el establecimiento de un sector agrícola resiliente (Banco Mundial, CIAT y CATIE, 2014).

CONCLUSIONES

Del presente trabajo, se concluye que, las heladas ocurridas en etapas sensibles del cultivo como la floración, en conjugación con otros factores restrictivos, pueden comprometer el rendimiento esperado hasta en más de un 90%; además de limitar la expresión de los caracteres de interés en cultivares mejorados. Se requiere continuar con estas investigaciones, a fin de contribuir con la seguridad y soberanía alimentaria del Perú y otros países andinos; en aras de una intensificación productiva sostenible en estos agroecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros del Programa de Cereales y Granos Nativos y del IRD-Sierra de la UNALM, por todo el apoyo brindado durante la ejecución de los ensayos en campo. Al Ingeniero José Falconi y a la Ingeniera Martha Ibáñez, por las recomendaciones dadas durante la ejecución de la investigación. Al Ingeniero Vicente Rojas, por su asesoramiento durante los análisis estadísticos. A la Fundación Backus, por financiar el presente trabajo.

REFERENCIAS.

Agropal. (2021). Los efectos de la baja temperatura en el cultivo de cereal. http://www.agropalse.com/servicios_noticias_d.shtml?Idboletin=891&idarticulo=145116&idseccion=4430. Consulta:17-noviembre-2021.

Banco Mundial; CIAT; CATIE. (2014). Agricultura climáticamente inteligente en el Perú. Serie de Perfiles nacionales de agricultura climáticamente inteligente para América Latina. Washington D.C. 12 p. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/52994/CSA-en-Peru.pdf?sequence=8&isAllowed=y>.

Briggs, D. E. (1978). Barley. Fletcher and Son, Ltd., Norwich. 612 p.
Collantes, R. (2007). Comparativo del rendimiento y calidad de cultivares mejorados de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en dos localidades de la Sierra Central de Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. 107 p. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3970.7281>.

Coronel, J.; y Jiménez, C. (2011). Guía práctica para los productores de cebada de la Sierra Sur. INIAP, Estación Experimental del Austro, Boletín Divulgativo N° 404, Cuenca, Ecuador. 12 p. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1106/1/404.PDF>.

Corró, A.; Pérez, J.; Figueruelo, A.; Funaro, D.; Cabo, S.; y Olguin, R. (2016). Daño por frío en cereales de invierno. Informe Técnico, INTA, Argentina. <https://inta.gob.ar/documentos/dano-por-frio-en-cereales-de-invierno>, 9p

Despommier, D. (2020). The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century. Picador, A Thomas Dunne Book. St. Martin's Press, New York. 346 p.

Dofing, S. (1997). Ontogenetic Evaluation of Grain Yield and Time Maturity in Barley. Agronomy Journal, Vol. 89, N° 4: 685-690. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900040023x>.

Lira, R. (1994). Fisiología Vegetal, Capítulo 11: El proceso fotosintético en las plantas, p. 159-177. Editorial Trillas, México D. F., México.

Llacsá, J.; Gamarra, J. A.; Gómez, C. A.; Martínez, A.; Gómez, L. R.; Viera, M. A. (2020). Evaluación de genotipos promisorios de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Andes centrales de Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(2): e17856. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17856>.

MINAG (Ministerio de Agricultura, PE). (2011). Manejo y Fertilidad de Suelos: Cereales y Granos Nativos. Manual Técnico. 47 p. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/MIDAGRI/395/1/Cereales%20y%20granos%20Minagri.pdf>. Consulta: 17 – noviembre – 2021.

Quispe, G. (2007). Evaluación del Sistema del Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Comunidad Campesina de Aramachay (Sincos, Jauja, Junín). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. 97 p.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2020). Mapa climático del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>. Consulta: 18 – noviembre – 2021.

Windes, S.; Carrijo, D.; Curwen-McAdams, C.; Hayes, P. (2019). Improving the Sustainability of Malting Barley Production: Prospects for Perennial and Annual Growth Habit Varieties. *Crop Science*, 59:2289–2296. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2018.12.0747>.

Recibido 15 julio 2021 y aceptado 20 octubre 2021

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho



ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA DETERMINACIÓN DE ALUMINIO, SILICIO, VANADIO Y SODIO EN “FUEL OIL” POR ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN ATÓMICA DE PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-AES)

Dayhán A. Poveda R.¹, Gerardo Cáceres M.¹

¹Universidad de Panamá, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, profcaceres@gmail.com.  

RESUMEN

Se realizó un estudio exhaustivo y a la vez el desarrollo de una metodología de fácil aplicación para la estimación de la incertidumbre en el análisis de metales presentes en el “fuel oil” utilizando el ICP-AES y el método IP 501. Si bien el método IP 501 es normalizado, este solamente incluye parámetros básicos de control estadístico. La metodología desarrollada se aplicó para la determinación de aluminio, y se consideraron las cuatro principales fuentes de incertidumbre: las involucradas en la curva de calibración del equipo, las atribuidas al pesaje de la muestra, las debidas a las mediciones de volúmenes y las atribuidas a las operaciones de dilución. Mediante el análisis de los coeficientes de sensibilidad se estableció que la principal fuente de incertidumbre es la concentración determinada por el equipo, por lo que un laboratorio de hidrocarburos que desee mejorar la confiabilidad en sus mediciones por ICP-AES deberá monitorear y controlar permanente esta fuente de incertidumbre.

PALABRAS CLAVES

Incertidumbre, “fuel oil”, ICP-AES, curva de calibración, material de referencia certificado (MRC).

ESTIMATION OF UNCERTAINTY ASSOCIATED WITH THE DETERMINATION OF ALUMINUM, SILICON, VANADIUM AND SODIUM IN FUEL OIL BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-ATOMIC EMISSION SPECTROSCOPY (ICP-AES)

ABSTRACT

This work focuses on conducting an exhaustive study and at the same time developing an easy-to-apply methodology for estimating uncertainty in the analysis of metals present in fuel oil using the ICP-AES and the IP 501 method. Although the IP 501 method is standardized, it only includes basic statistical control parameters. The methodology developed was applied for the determination of aluminum, and the four main sources of uncertainty were considered: those involved in the equipment calibration curve, those attributed to the weighing of the sample, those due to volume measurements and those attributed to dilution operations. Through the analysis of the sensitivity coefficients, it was established that the main source of uncertainty is the concentration determined by the equipment, so a hydrocarbon laboratory that wishes to improve the reliability of its ICP-AES measurements should permanently monitor and control this source of uncertainty.

KEY WORDS

Uncertainty, fuel oil, ICP-AES, calibration curve, certified reference material (CRM).

INTRODUCCIÓN

El aceite residual o también conocido como “fuel oil” es un producto residual de la destilación del petróleo que puede proceder de una sola etapa de destilación, o de la mezcla de productos procedentes de distintas etapas, a fin de ajustar las características a las diferentes especificaciones en función del tipo de “fuel oil” a producir.

En general, el “fuel oil” es un sistema heterogéneo complejo formado por:

- Hidrocarburos líquidos cuyo número de átomos de carbono es mayor a 20.
- Hidrocarburos sólidos emulsionados en la fase líquida.
- Hidrocarburos gaseosos disueltos o emulsionados en la fase líquida.
- Agua emulsionada en la fase líquida.
- Sales metálicas disueltas en el agua emulsionada.

- Metales ocluidos.
- Compuestos organometálicos formados, parte de la fase líquida o de los sólidos emulsionados.
- Compuestos de Azufre (Bertomeu, R., 2020)

Los últimos cinco puntos constituyen lo que se denomina impurezas del “fuel”, y dan lugar a diferentes tipos de corrosiones en el circuito de gases al utilizar el “fuel oil” como combustible.

El agua emulsionada, generalmente está saturada de cloruro de sodio y suele contener también, pequeñas cantidades de carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio.

Los metales presentes pueden estar en forma atómica, de óxidos o como sales de ácidos orgánicos o inorgánicos y son muy variados además del sodio, calcio y magnesio ya mencionados. Los más importantes, tanto por su implicación en los procesos de corrosión como por su abundancia son: vanadio, níquel, hierro, aluminio, zinc y silicio (Kittiwake, 2020).

Utilizando la espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) se puede obtener información cualitativa y cuantitativa acerca de la muestra. En general, la información cuantitativa (concentración) está relacionada a la cantidad de radiación electromagnética que es emitida o absorbida, mientras que la información cualitativa (determina los elementos que están presentes) está relacionada a la longitud de onda a la cual la radiación es absorbida o emitida (Perkin Elmer, 2018). El método utilizado en este trabajo es el IP 501 (Institute of Petroleum, 2019) que se fundamenta en la determinación de aluminio, silicio, vanadio, níquel, hierro, sodio, calcio, zinc y fósforo en muestras de combustibles residuales por ICP-AES, utilizando el método IP 501, el cual es normalizado. Sin embargo, se hace necesario incluir otros aspectos de control estadístico de los resultados como lo es la incertidumbre.

En general, para evaluar si un resultado de análisis es apto para el propósito al cual se lo destinará, es importante realizar una estimación de la incertidumbre de medición y compararla con los requerimientos correspondientes. El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM-CEM, 2012) define *incertidumbre* como un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, con base en la

información utilizada. También define *exactitud* como proximidad de concordancia entre un valor medido de la magnitud y el valor verdadero del mensurando; y *precisión* como proximidad de concordancia entre valores medidos obtenidos por mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas. Por lo tanto, el resultado de cualquier medición no es un valor puntual aislado, sino que lleva implícito una incertidumbre resultante de todos los pasos seguidos y de los materiales usados a lo largo del método utilizado.

En este artículo, se identifican las potenciales fuentes individuales de incertidumbre que están presentes en la determinación de los metales presentes en el “fuel oil” por ICP-AES y que pueden incidir tanto en la exactitud como en la precisión de los resultados. Luego, se cuantifican las principales fuentes de incertidumbre, para finalmente obtener la incertidumbre total asociada a la medición de cada metal considerado y se analiza el impacto de cada fuente de incertidumbre sobre la incertidumbre total.

MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los materiales de referencia empleados (para preparar las soluciones patrones de los metales Al, Si, V, Na) son certificados (MRC) y marca SCP Science, Canadá. Los demás reactivos empleados en el análisis fueron de calidad puro para análisis (PA) marca Merck, Alemania; difenilamina sulfonato de sodio de la Fluka, Suiza. Espectrómetro ICP marca Perkin Elmer, modelo Optima 4300 DV. La cristalería y materiales volumétricos utilizados fueron de clase A.

En la **Fig. 1** se muestra el esquema general de procedimiento IP 501. Una porción pesada de la muestra es quemada, y el carbón remanente es removido por calentamiento en una mufla. El residuo es fundido con una mezcla de tetraborato de dilutio/fluoruro de litio y luego es digerido con una solución de ácido tartárico y ácido clorhídrico. Después de una dilución con agua, la muestra es aspirada dentro del plasma de un espectrómetro de plasma acoplado por inducción y la emisión de radiación de las líneas de resonancia de los elementos en análisis es medida, y comparada con una curva de calibración construida a partir soluciones de patrones de calibración.



Fig. 1. Esquema de procedimiento del método IP 501.

Se debe describir de manera clara lo que se está midiendo, incluyendo las relaciones que existen entre el mensurando y las cantidades de entrada de las cuales este depende, por ejemplo: constantes, valores estándares de calibración, cantidades medidas, etc. En este caso es la relación masa-volumen (mg/L) o partes por millón (ppm ó mg/kg) de Al, Si, V y Na. El procedimiento básicamente consiste en realizar una

curva de calibración que es ajustada por regresión lineal y se calcula la concentración de la muestra leída mediante la siguiente fórmula normalizada para el Método IP 501 (Institute of Petroleum, 2019):

$$X = \frac{C_0 V d}{m} \quad (1)$$

Donde:

X: Concentración del metal en la muestra analizada, en mg/L ó ppm.

C₀: Es la concentración de la solución directamente leída del equipo en mg/L.

d: Es el factor de dilución es calculado de los volúmenes y las alícuotas tomadas para producir la solución que es analizada. El factor de dilución es necesario cuando la concentración del analito está fuera de los puntos de calibración. Para este caso, este factor corresponde el valor constante de uno (1), debido a que en las muestras analizadas no se ha registrado una concentración de analito que este fuera del rango de la calibración.

V: Es el volumen al que se afora la muestra fundida con el “flux” y la mezcla de ácido tartárico/ácido clorhídrico. Se utilizan matraces de 100 mL por lo que este será el valor que toma esta variable.

m: Es la masa de muestra que se va a analizar en gramos, (para el caso del estudio aquí desarrollado fue de 20.7900 g).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describe el procedimiento para la determinación de las incertidumbres de manera práctica para el caso del aluminio, debido a que para los demás metales el procedimiento es similar.

La **Fig. 2** muestra las cuatro principales fuentes de incertidumbre: la debida a la curva de calibración, la medida del volumen de la muestra analizada, y las dos mediciones de peso (masa) que fueron el de la muestra y el de la tara de la balanza. La dilución si bien está en el

diagrama, no se considera en los cálculos por lo anteriormente descrito. Cada una de las principales fuentes tiene a su vez sus propias fuentes de incertidumbres asociadas las cuales están señaladas en el diagrama de Ishikawa.

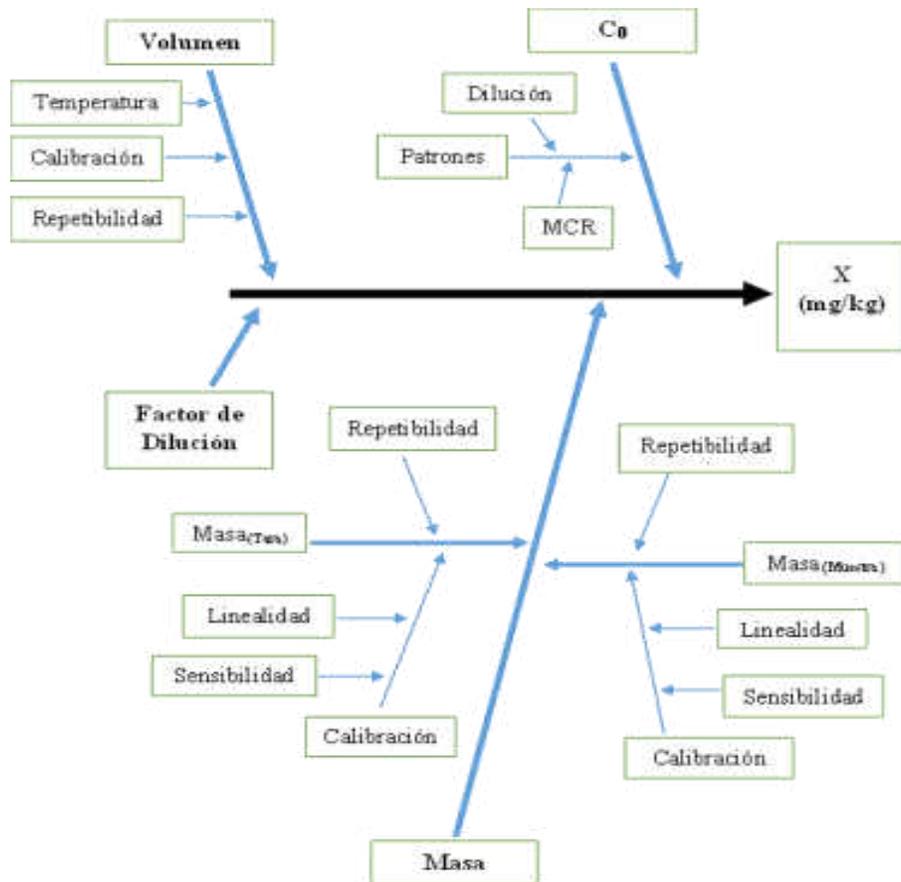


Fig. 2. Diagrama de Causa-Efecto o de Ishikawa para el método IP 501.

Debido a que la incertidumbre para el modelo matemático utilizado (**Ecuación 1**) está definida como la raíz de la suma cuadrática de las incertidumbres individuales multiplicadas por los coeficientes de sensibilidad, se tendrá como resultado la ecuación:

$$u(X) = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial C_0}\right)^2 u_{C_0}^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial V}\right)^2 u_V^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial m}\right)^2 u_m^2} \quad (2)$$

Donde:

$u(X)$: es la incertidumbre combinada de la medición.

u_{C_0} ; u_V ; u_m : son las incertidumbres individuales de cada una de las variables que afecta la medición (concentración, volumen y masa).

$\frac{\partial X}{\partial C_0}$; $\frac{\partial X}{\partial V}$; $\frac{\partial X}{\partial m}$: son las derivadas parciales de las variables o coeficientes de sensibilidad que se interpretan como la contribución de cada una con respecto al resultado.

Para obtener el valor de los coeficientes de sensibilidad, se debe derivar cada una de las variables con respecto a X del modelo matemático propuesto (**Ecuación 2**). A continuación, se muestran las ecuaciones resultantes para calcular los coeficientes de sensibilidad:

$$\frac{\partial X}{\partial C_0} = \frac{Vd}{m} \quad (3)$$

$$\frac{\partial X}{\partial V} = \frac{C_0d}{m} \quad (4)$$

$$\frac{\partial X}{\partial V} = -\frac{C_0Vd}{m^2} \quad (5)$$

Después de realizar estos cálculos y para obtener el valor final de la incertidumbre expandida a un 95%, $U(X)$, se multiplica la incertidumbre estándar obtenida uX por un factor de cobertura de 2, ($k = 2$), de manera que:

$$U(X) = k \times u(X) = 2 \times u(X) \quad (6)$$

Cuantificación de las fuentes de incertidumbre

1. Incertidumbre estándar debida al cálculo de la concentración del analito a partir de una curva de calibración.

El ajuste de la curva de calibración se realiza por ajuste de mínimos cuadrados de los datos. Al hacer estos ajustes a la

gráfica, hay una incertidumbre asociada, $u(\text{ajuste})$, la cual se calcula por medio de (Miller y Miller, 2018):

$$u(\text{ajuste}) = \frac{S_{y/x}}{b} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(y_0 - y_{\text{promedio}})^2}{b^2 \sum_i (x_i - x_{\text{promedio}})^2}} \quad (7)$$

Donde:

n : número de puntos o estándares medidos en la curva de calibración.

m : número réplicas de cada punto.

b : pendiente de la recta realizado por mínimos cuadrados.

y_0 : señal de la concentración de la muestra medida por el equipo.

y_{promedio} : promedio de las señales de los patrones de calibración utilizados durante la realización de la curva de calibración.

x_{promedio} : promedio de las concentraciones de los patrones de calibración utilizados durante la realización de la curva de calibración.

$S_{y/x}$: desviación estándar de los residuales, que a su vez es definida como:

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - y_{\text{promedio}})^2}{n - 2}} \quad (8)$$

Para el estudio del Aluminio, se obtuvieron los datos mostrados en la **Tabla 1**, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9997$ y se estimó una incertidumbre de $u(\text{ajuste}) = \pm 0.4816$ mg/L para un valor de $C_0 = 5.256$ mg/L. El tratamiento de datos se realizó utilizando una hoja de cálculo de Excel, y también fueron verificados manualmente para validar que la hoja de cálculo.

Tabla 1. Datos de la curva de calibración para el Aluminio y de la muestra

Concentración (mg/L)	Señal del ICP (-)
0	1360.6
6.01	205861.6
10.02	329339.7
20.04	658591.2
40.08	1330388.1
60.12	1945523.8
Muestra (X)	178443.3

2. Incertidumbre estándar de los materiales de referencia certificados (MRC) de Al.

Los certificados de los MRC declaran un valor de incertidumbre con un nivel de confianza es de 95%. Por lo tanto, para obtener la incertidumbre estándar de cada MRC se hace de la siguiente manera:

$$u_{MRC} = \frac{U_{MRC}}{2} \quad (9)$$

3. Incertidumbre estándar debida a la preparación de los patrones utilizados en la curva de calibración.

A excepción del patrón de 60 mg/L, los demás patrones no se preparan directamente del material de referencia, sino que se prepara una solución madre de 100 mg/L y de esta se preparan posteriormente los estándares de 6, 10, 20 y 40 mg/L. Estos estándares tendrán dos diluciones en su preparación, por lo que es necesario tomar en cuenta la incertidumbre de cada dilución. Cada dilución tiene asociada la incertidumbre de la pipeta con la cual se toma la alícuota y del matraz donde se afora. Para ambos volúmenes (matraz y pipeta) es necesario tomar en cuenta sus incertidumbres asociadas (repetibilidad, calibración y temperatura). En lo que sigue se desarrolla la estimación de la incertidumbre de la solución patrón de 100 mg/L de aluminio.

Repetibilidad en el aforo del matraz

Se obtiene a partir de calcular la desviación estándar (s) debida a la medida de un volumen de un matraz de 100 mL diez veces incluyendo a los cinco analistas del laboratorio, como resultado se obtuvo una desviación estándar de ± 0.0260 mL, la cual puede ser utilizada directamente como la incertidumbre estándar:

$$u_{\text{rep}} = s = \pm 0.0260 \text{ mL} \quad (10)$$

Calibración del matraz

Para obtener esta componente, se asume la incertidumbre especificada por el fabricante (matraz volumétrico de 100 mL de clase A, ± 0.08 mL) y se asume que la misma tiene una distribución triangular, por lo tanto:

$$u_{\text{cal}} = \frac{\pm 0.08}{\sqrt{6}} = \pm 0.0327 \text{ mL} \quad (11)$$

Temperatura

Se tomó del registro de las condiciones ambientales (variación de la temperatura) durante una semana. La variación de la temperatura durante el periodo de análisis es de ± 1.274 °C. Además, se sabe que el agua tiene un coeficiente de expansión térmica de 2.1×10^{-4} °C⁻¹, por lo que, asumiendo una distribución rectangular para la variación de temperatura (Ec.12), se tiene:

$$u_{\text{temp}} = \frac{\pm(100 \times 1.274 \times 2.1 \times 10^{-4})}{\sqrt{3}} = \pm 0.0154 \text{ mL} \quad (12)$$

En la **Tabla 2** se resume los valores de la incertidumbre calculada para cada uno de los factores en el caso de la medida final del volumen; los cuales se calcularon empleando los métodos Tipo A o Tipo B respectivamente.

Tabla 2. Incertidumbre debida al aforo de volumen de 100 mL para solución madre.

Incertidumbre	Tipo, Distribución	Valor (mL)
Repetibilidad	Tipo A. 10 Experimentos	± 0.0260
Calibración	Tipo B. Triangular	± 0.0327
Temperatura	Tipo A. Registro	± 0.0154

Por lo tanto, la incertidumbre estándar asociada al volumen del matraz donde se prepara la solución madre se calcula resolviendo la siguiente ecuación:

$$u(V_{madre}) = \sqrt{(u_{rep})^2 + (u_{cal})^2 + (u_{temp})^2} = \pm 0.0445 \text{ mL} \quad (13)$$

Una vez se obtiene la incertidumbre del volumen matraz aforado, se procede a calcular la incertidumbre del volumen tomado con la pipeta (alícuota) de la misma manera como se realizó para el matraz. En la **Tabla 3** se muestran los resultados obtenidos para la alícuota de 10 mL utilizados para preparar la solución madre de 100 mg/L.

Tabla 3. Incertidumbre debida a la medida de volumen la alícuota del MRC de 10 mL para la preparación de solución madre de 100 mg/L.

Incertidumbre	Tipo	Valor (mL)
Repetibilidad	Tipo A. 10 Experimentos	± 0.0026
Calibración	Tipo B. Triangular	± 0.0082
Temperatura	Tipo A. Registro	± 0.0015

Por lo tanto, la incertidumbre asociada a la alícuota del MRC es:

$$u(V_{al\ MRC}) = \sqrt{(u_{rep})^2 + (u_{cal})^2 + (u_{temp})^2} = \pm 0.0087 \text{ mL} \quad (14)$$

Dado que la ecuación asociada al cálculo de una dilución es:

$$C_{madre} = \frac{V_{al\ MRC} \times C_{MRC}}{V_{madre}} \quad (15)$$

Donde:

C_{madre} : Concentración de la solución madre en mg/mL.

$V_{al\ MRC}$: Volumen de la alícuota tomado del MRC, en mL.

C_{MRC} : Concentración del material de referencia certificado en mg/L.

V_{madre} : Volumen final al que fue aforado la solución madre, en mL.

Basándose en las reglas para combinar incertidumbres (EURACHEM/CITAC, 2012), la incertidumbre asociada a la preparación solución madre estándar de 100 mg/L de Al, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$u_{C_{madre}} = C_{madre} \sqrt{\left(\frac{u_{V_{madre}}}{V_{madre}}\right)^2 + \left(\frac{u_{al\ MRC}}{V_{al\ MRC}}\right)^2 + \left(\frac{u_{C_{MRC}}}{C_{MRC}}\right)^2} = \pm 0.1792\ mg/L \quad (16)$$

Este valor de incertidumbre de la solución madre, es el que se utiliza para realizar el cálculo para las soluciones patrones de 10, 20 y 40 mg/L. Por lo tanto, utilizando el mismo juego de ecuaciones se calculan las incertidumbres para los patrones de 10, 20 y 40 mg/L a partir de la solución madre.

Para el caso del patrón de 60 mg/L, el cual se prepara directamente del MRC se tiene en cuenta que la incertidumbre de la solución patrón es la propia del MRC.

En la **Tabla 4** se muestra el resumen de los patrones y las incertidumbres estimadas para cada uno de ellos.

Tabla 4. Patrones con sus respectivas incertidumbres.

Patrón (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
6.01	± 0.0233
10.02	± 0.0204
20.04	± 0.0394
40.08	± 0.2178
60.12	± 0.2258

Finalmente, se obtiene la incertidumbre debida a la calibración (C_0) agrupando la incertidumbre del ajuste línea de la curva de calibración más las asociadas a los patrones empleando la ecuación:

$$u_{C_0} = \sqrt{u_{0,inter}^2 + u_{6\text{ mg/L}}^2 + u_{10\text{ mg/L}}^2 + u_{20\text{ mg/L}}^2 + u_{40\text{ mg/L}}^2 + u_{60\text{ mg/L}}^2} \quad (17)$$

$$u_{C_0} = \pm 0.5770 \text{ mg/L}$$

4. Incertidumbre asociada a la preparación de la muestra.

Volumen

La siguiente fuente de incertidumbre que se calculó es la asociada con el volumen (V) al que se afora la muestra luego de la dilución con la solución ácido tartárico/ácido clorhídrico. La muestra es aforada en un matraz volumétrico, lo que significa que el cálculo para esta incertidumbre es similar al realizado en el aforo del matraz en la preparación de los patrones. Como se mencionó anteriormente, las variables que afectan en la medida de un volumen son la temperatura, la repetitividad del analista y la calibración del matraz. De manera que la incertidumbre del volumen V es expresada como:

$$u(V) = \sqrt{(u_{rep})^2 + (u_{cal})^2 + (u_{temp})^2} = \pm 0.0445 \text{ mL} \quad (18)$$

Se utilizó la misma repetibilidad debido a que son los mismos analistas involucrados, la incertidumbre de calibración es dada por el certificado de calibración y la incertidumbre asociada a la temperatura es la misma que se calculó para el caso de la preparación de los patrones debido a que todo se realiza en el mismo laboratorio.

Masa

La masa es la cantidad de muestra que se toma al inicio del método y es a la cual se le determina la cantidad de metales presente, por lo tanto, es muy importante que la balanza que se utilice sea lo más exacta y precisa posible. Con respecto a la medición de la masa, se consideran las incertidumbres asociadas a la lectura (número de cifras significativas), la repetibilidad y la calibración de la balanza, en esta última se incluyen la sensibilidad y la linealidad (ver **Tabla 5**). Además, es necesario

resaltar que se toman en cuenta dos veces el aporte de la incertidumbre del peso, debido a que la tara y el peso de la muestra son dos observaciones distintas.

Tabla 5. Valores obtenidos para la calibración y para la repetibilidad de la balanza.

Incertidumbre	Tipo, Distribución	Valor (g)
Repetibilidad	Tipo A. 20 Experimentos	± 0.0001
Calibración	Tipo B. Dist. Normal	± 0.0004

Para obtener el valor de la repetitividad se realizó un experimento donde los cinco analistas pesaron un patrón de masa de 20 g (El más cercano al peso utilizado de muestra, el cual es de aproximadamente 20 g, generalmente) cinco veces y se le calculó la desviación estándar la cual equivale a la repetibilidad.

La incertidumbre de calibración se obtuvo del último certificado de calibración de la balanza. Por lo tanto:

$$u(m) = \sqrt{2(u_{cal})^2 + 2(u_{rep})^2} = \pm 0.0006 \text{ g} \quad (19)$$

ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE COMBINADA

Al calcular los valores de los coeficientes de sensibilidad (**Ecs. 3, 4 y 5**) estos proporcionan información sobre que variable influye más en la incertidumbre combinada. En la **Tabla 6** se observa que la variable con mayor coeficiente de sensibilidad es la concentración que se lee directamente del equipo (C_0).

Tabla 6. Resumen de las incertidumbres estándares calculadas y sus coeficientes de sensibilidad.

Variable	Descripción	Valor medido	Incertidumbre estándar	Coefficiente de Sensibilidad
C ₀	Concentración leída en el ICP (mg/L)	5.256	± 0.5770	4.8100
V	Volumen (mL)	100	±0.0445	0.2528
m	Masa de muestra analizada (g)	20.790 0	±0.0006	1.2160

Se calcula la incertidumbre combinada mediante la **Ecuación. 2**:

$$u(X) = \sqrt{(4.8100)^2(0.5770)^2 + (0.2528)^2(0.0445)^2 + (1.2160)^2(0.0006)^2}$$

$$u(X) = \pm 2.78 \text{ mg/L}$$

Luego, utilizando la **Ecuación. 6** expresamos el valor la incertidumbre con un 95% de confianza para la muestra considerada:

$$U = 2 \times (\pm 2.78 \text{ mg/L})$$

$$U = \pm 5.55 \approx \pm 6 \text{ mg/L}$$

Finalmente se reporta el valor del mensurando con incertidumbre expandida a un intervalo de confianza del 95%:

Concentración de Al en la muestra estudiada = (25 ± 6) mg/L

Adicionalmente, en la **Tabla 7** se presenta un resumen de los resultados de los otros metales analizados en la misma muestra.

Tabla 7. Resumen de los valores y sus incertidumbres estimadas para los metales evaluados en la muestra.

Elemento	Concentración (mg/L)	Incertidumbre estándar Combinada (mg/L)	Incertidumbre Expandida al 95% de Confianza (mg/L)
Al	25	±2.78	±6
Si	28	±3.48	±7
V	42	±2.32	±5
Na	7	±1.63	±3

CONCLUSIONES

La estimación de la incertidumbre de las mediciones es un parámetro que debe ser implementado, para lograr una mayor confiabilidad de los resultados obtenidos y así cumplir con el requisito establecido en la norma ISO/IEC 17025:2017. Por lo anterior, en este artículo se desarrolló una metodología simple para el cálculo de la incertidumbre de mediciones por ICP-AES realizadas según el método normalizado IP 501 para la determinación de metales residuales en combustibles.

Al estimar la incertidumbre para el método IP 501, se observa que la fuente con mayor influencia es la proveniente de los procesos correspondientes a la obtención de la curva de calibración (C_0 , con aproximadamente el 99% en la contribución total de la incertidumbre).

Por lo tanto, las variables asociadas al proceso de obtención de esta curva deben ser los más controlados durante la realización del método.

Con respecto a las variables de masa (m) y volumen (V) asociadas a la muestra, tiene un aporte poco relevante a la incertidumbre combinada. Sin embargo, estas variables no deben dejar de monitorearse periódicamente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Laboratorio del Departamento de Oil, Gas and Chemical (OG & C) de SGS de Panamá, en el cual se realizaron los experimentos aquí descritos.

REFERENCIAS.

Bertomeu, R. (25 de mayo de 2020). *Estudios y trabajos técnicos realizados por "rbbertomeu"*. <http://www.rbbertomeu.es/dossiers/AP-HEstudios%20Tecnicos.pdf>

EURACHEM/CITAC - Ellison, S L R. (2012). *Guía para la Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas*. EURACHEM/CITAC. 1ª edición en español. Eurolab Editores.

Institute of Petroleum. (2019). Determination of aluminum, silicon, vanadium, nickel, iron, sodium, calcium, zinc and phosphorus in residual fuel oil by ashing, fusion and inductively coupled plasma emission spectrometry - *Método IP 501 2005, última revisión del 2019*. 8 págs.

ISO/IEC 17025:2017. (2017). *Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Ginebra, Suiza. 33 págs.

Kittiwake. Página Web Oficial. *Oil Analysis*. (15 de junio de 2020). http://www.kittiwake.com/bunke_fuel_cat_fines.

Miller, J. N. y Miller, J. C. (2018). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. 7ª edición, Pearson Ed.

Perkin Elmer. (2018). *Manual del equipo para ICP: ICP-Optima y Winlab Course*. 569 págs.

VIM - CEM. (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM), 3ª edición en español*. Centro Español de Metrología. 86 págs.

Recibido 12 octubre 2021 y aceptado 30 noviembre 2021
Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho