

e-ISSN 2477 - 9148

**REVISTA ECUATORIANA
DE MEDICINA Y
CIENCIAS BIOLÓGICAS**

REACB

VOLUMEN XLI - Nº 2 - NOVIEMBRE 2020

Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas
Volumen XLI Número 2 - Noviembre - 2020
e-ISSN 2477 - 9148

Centro de Publicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Dir: Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, Quito, Ecuador

Diseño y diagramación:



Fotografía de portada: Los Silphidae son una familia de coleópteros muchos de los cuales se alimentan de carne muerta. Entierran pequeños trozos de carne donde sus huevos son depositados por esta razón son conocidos como escarabajos enterradores.

REVISTA ECUATORIANA DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS REMCB

DIRECTORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Rector: Dr. Fernando Ponce León S.J.

Sociedad Ecuatoriana de Biología

Presidente: Lic. Ricardo Zambrano

Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión

Presidente: Sr. Camilo Restrepo Guzmán

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Doris Vela Peralta (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador)

Dr. Rommel Montúfar Galárraga (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador)

Dra. Catalina Quintana (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador)

CONSEJO CIENTÍFICO

Dr. Hugo Romero-Saltos (Universidad Yachay Tech, Ecuador)

Dr. Enrique Terán (Universidad San Francisco de Quito, Ecuador)

Dr. Oliver Dangles (Institut de Recherche pour le Développement, Francia)

Dr. Santiago Espinosa (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)

La Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas (REMCB) es un órgano de difusión científica auspiciada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), la Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión (CCE), y la Sociedad Ecuatoriana de Biología (SEB).

La REMCB publica trabajos originales fruto de la investigación científica y experimental en todas las áreas de la Medicina y las Ciencias Biológicas y está dirigida a los científicos nacionales e internacionales así como a estudiantes de las Ciencias de la Vida.

La REMCB se encuentra incluida en el Latindex, la versión impresa (p-ISSN 2477-9113) se publica a través del Centro de Publicaciones de la PUCE y la versión electrónica (e-ISSN 2477-9148) se difunde en la página web www.remc.com. La REMCB mantiene un sistema de revisión por pares, su publicación es semestral, su contenido es de libre acceso y se distribuye bajo una licencia *Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License*. El contenido de los artículos científicos y de las publicaciones que aparecen en la revista son responsabilidad exclusiva de sus autores

CONTENIDO

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Evidencias entomológicas al servicio de la justicia: Protocolo de actuación enmarcado a la legislación de Ecuador 85

Ana B. García-Ruilova, Emilia Moreno, Álvaro Barragán, Verónica Cáceres, Freddy Sánchez Polit, David A. Donoso

Hongos marinos lignícolas en ecosistemas de manglar: Estado del conocimiento y perspectivas de investigación en Ecuador 95

Ricardo Tamayo-Cevallos

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Calidad del agua del Río Oglán mediante bioindicadores fitoplanctónicos en la Estación Científica Juri Juri Kawsay 109

Elizabeth Yolanda Pérez Alarcón, María Verónica Maila Álvarez, Jenny Myreya Morillo Palacio, José Ricardo Romero Quinaluisa, José Bolívar Villarreal Yazán

Cambios en las frecuencias de inversiones cromosómicas en poblaciones experimentales de *Drosophila pseudoobscura* 125

Victor M. Salceda

Efectos de la radiación sobre la fecundidad en poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster* 133

Victor M. Salceda

Evaluation of anthropometric indices as metabolic syndrome predictors in Ecuadorian Military Personnel 141

Germán Muñoz, Alberth Muñoz

Antiagregantes y anticoagulantes en el manejo de ectasia coronaria con flujo lento, una revisión de reportes de caso 149

Anthony D. Barreno, Nicole C. Bustamante

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Artículo de Revisión

Evidencias entomológicas al servicio de la justicia: Protocolo de actuación enmarcado a la legislación de Ecuador

Entomological evidence at the service of justice: Action protocol framed to legislation of Ecuador

Ana B. García-Ruilova^{1,2*}, Emilia Moreno^{3,4}, Álvaro Barragán³, Verónica Cáceres⁵,
Freddy Sánchez Polit⁶ y David A. Donoso^{2,7}

¹ Universidad Internacional del Ecuador, Programa de Maestría en Criminalística, Quito, Ecuador.

² Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Biología, Quito, Ecuador.

³ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Ciencias Biológicas, Quito, Ecuador.

⁴ Universidad de Buenos Aires, Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias (IFIBYNE), CONICET, Buenos Aires, Argentina. emiliamorenoc@gmail.com

⁵ Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Laboratorio de Biología Forense. Ambato, Ecuador.

⁶ Policía Nacional del Ecuador, Departamento de Criminalística, Guayaquil, Ecuador.

⁷ Universidad Tecnológica Indoamérica, Centro de Investigación de la Biodiversidad y Cambio Climático, Quito, Ecuador.

* abgarcia18@gmail.com

DOI: 10.26807/remcb.v41i2.233

Recibido 21-04-2020 ; Aceptado 30-10-2020

RESUMEN.- El trabajo interdisciplinario de ciencias como criminalística de campo, medicina legal, biología forense, entomología forense, permiten lograr una investigación técnico-científica más objetiva y eficaz al momento de analizar un hecho delictivo. El presente trabajo se enfoca en la labor de la entomología forense en la investigación de un proceso judicial abarcando sus técnicas de actuación, manejo de muestras entomológicas (e.g., colección, preservación y almacenaje), y normas jurídicas del Ecuador en las que el personal encargado debe regirse para que las evidencias sean auténticas, legales y científicamente válidas. Es por ello que el presente estudio, expone los principales lineamientos del análisis de muestras entomológicas para una correcta labor forense.

Palabras claves: entomofauna cadavérica, escena del crimen, estándares legales, manejo de evidencia entomológicas

ABSTRACT.- The interdisciplinary work of sciences such as field criminalistics, legal medicine, forensic biology, forensic entomology, allows achieving a more objective and effective technical-scientific investigation when analyzing a criminal act. This work focuses on the role of forensic entomology in the investigation of a judicial process, covering its techniques of action, handling of entomological samples (eg, collection, preservation and storage), and legal regulations of Ecuador in which the personnel in charge must be governed so that the evidence is authentic, legal and scientifically informative. This study sets out the main guidelines for the analysis of entomological samples for correct forensic work.

Keywords: cadaveric entomofauna, crime scene, legal standards, management of entomological evidence.

INTRODUCCIÓN

La investigación técnico-científica idealmente debe ser integral e interdisciplinaria. Para el correcto análisis de un caso delictivo se requiere del trabajo conjunto de las distintas ramas de las ciencias forenses como lo es la criminalística de campo, medicina legal, entomología forense, antropología forense, dactiloscopia, balística, entre otras (Vargas 2010; Sotelo y Pachamé 2014). La entomología como ciencia forense se practica hace más de 800 años con resultados que aportan significativamente a la investigación tanto del lugar de los hechos como los sucesos del delito (Catts y Goff 1992; García y Donoso 2015). Esto se debe a que es una herramienta muy útil, que ayuda principalmente a la determinación del intervalo post-mortem, con más precisión cuando el cadáver se encuentra en avanzado proceso de descomposición, incluso hay estudios donde se menciona que la información de los insectos es más certera que los métodos tradicionales pasadas las 72 horas del deceso (Anderson y Van Laerhoven 1996; Dadou et al. 2001). Un cuerpo en descomposición, heridas, manchas de sangre son escenarios que ofrecen las condiciones adecuadas para que distintos procesos biológicos se desarrollen como por ejemplo la puesta de huevos, desarrollo de larvas, la depredación y la cópula; además, brindan refugio como hábitat temporal para muchas especies de insectos oportunistas (Centeno et al. 2002; Battán-Horenstein et al. 2005; Moreno y Barragán 2015; Ramon y Donoso 2015; García-Ruilova et al. 2020).

La entomofauna asociada a cadáveres también nos da indicios acerca de la posible ubicación del lugar de la muerte, ya que muchas especies de insectos están presentes únicamente en algunas zonas biogeográficas o asociadas a ciertas condiciones ambientales (ej. especies endémicas o casos de especímenes sinantrópicos asociadas a edificaciones) (Moreno et al. 2020). Estas características también aportan con información sobre los orígenes geográficos y rutas de traslado de sustancias ilícitas (Arnaldos et al. 2006). Además, los estadios tempranos de ciertas especies nos permiten determinar tóxicos y estupefacientes presentes en el cuerpo, así como casos de miasis y parasitosis; mientras que la presencia de individuos adultos evidencian circunstancias de maltrato y negligencia en el cuidado de niños o adultos mayores (Arnaldos et al. 2006; García y Donoso 2015). Es por ello que el análisis de los insectos contribuye determinantemente en casos judiciales y su uso es cada vez más frecuente en la práctica forense (García y Donoso 2015).

En el Ecuador, un proceso judicial tiene como finalidad resolver las controversias o conflictos que se suscitan entre las partes, llevando a cabo procedimientos de investigación dirigidos por la Fiscalía General del Estado como determina el Art. 195, de la Constitución, “la Fiscalía dirigirá, de oficio o a petición de parte, la investigación preprocesal y procesal penal”. Estos procedimientos de investigación técnico-científica se realizan mediante un agente fiscal, cuerpo pericial, y elementos materiales probatorios (COIP 2014); los cuales deben cumplir los criterios de valoración mencionados en el artículo 457 del Código Orgánico Integral Penal (COIP), “La valoración de la prueba se hará teniendo en cuenta su legalidad, autenticidad, sometimiento a cadena de custodia y grado actual de aceptación científica y técnica de los principios en que se fundamenten los informes periciales”. Además, los elementos probatorios se resguardan por la cadena de custodia para garantizar su autenticidad e incluir cada cambio realizado en las muestras. Esto señala el artículo 456 del COIP “Se aplicará cadena de custodia a los elementos físicos o contenido digital materia de prueba, para garantizar su autenticidad, acreditando su identidad y estado origina”. En estas circunstancias, es cuando los insectos como evidencia física de un caso delictivo llegan a ser una herramienta científica que brinda información veraz para esclarecer los hechos de un crimen (Keh 1985).

De igual manera, que otras muestras biológicas como fluidos corporales (sangre, semen, saliva), cabellos, huellas o fibras, las muestras entomológicas deben ser manipuladas de forma adecuada tanto en el lugar de los hechos como durante la autopsia; siendo colectadas, procesadas, almacenadas y conservadas de manera apropiada y dentro de los estatutos legales. (Lord y Burguer 1983; Lord et al. 1990; Haskell et al. 2001).

Frente a ello, el presente trabajo se enfoca en la labor de la entomología forense en la investigación de un proceso judicial abarcando sus técnicas de actuación, manejo de muestras entomológicas y normas jurídicas a las que el personal encargado debe regirse, para que las evidencias sean legales y auténticas.

DISCUSIÓN

Protocolo de actuación para el manejo de muestras entomológicas en casos delictivos.- Los procedimientos aquí expuestos, se basan en estándares internacionales y siguiendo las

normativas que se contemplan en la Constitución de la República del Ecuador y el COIP; se toman en cuenta únicamente los artículos relacionados a esta investigación.

Ante una escena del delito, es importante atender al artículo 458 del COIP, que hace mención a la preservación de la escena del hecho o indicios, donde establece que los servidores públicos o particulares que intervengan o tengan contacto con una escena del crimen tienen la responsabilidad de preservarla hasta contar con la presencia del personal especializado. Asimismo, es importante el artículo 457 (COIP, antes mencionado) con el fin de que los elementos probatorios puedan ser considerados en la investigación del proceso legal. Frente a ello es conveniente realizar los procedimientos aplicando los siguientes aspectos:

1. Localización de las muestras entomológicas.-

El entomólogo forense o personal especializado que realice la búsqueda de insectos debe tener presente normativas del COIP como el artículo 460, numeral 5 “la fijación y recolección de las evidencias, huellas, vestigios encontrados en el lugar ingresarán en cadena de custodia para la investigación a cargo de la o el fiscal, quien dispondrá las diligencias pertinentes”. Así como también el artículo 461, numeral 2 que habla de realizar el reconocimiento exterior del cadáver registrando la orientación, posición, vestimenta y descripción de lesiones. Es necesario emplear técnicas de observación

y análisis del lugar, encargándose de investigar minuciosamente toda el área en especial zonas con mayor luz solar y humedad. También es importante registrar en la ficha técnica todos los datos cadavéricos, ambientales y del entorno para los análisis posteriores de los indicios entomológicos. Antes del levantamiento del cadáver, se debe revisar los orificios naturales del cuerpo ya que generalmente es el primer lugar donde los insectos llegan a ovipositar, cualquier otro lugar donde se encuentren huevos o larvas en estadios tempranos probablemente sea una señal de la presencia de heridas (Wolff y Pérez 2003; Gennard 2007).

2. Recolección de muestras entomológicas.-

En este punto de la investigación se considera la disposición del o la fiscal expuesta en el artículo 461, numeral 3 “Los peritos tomarán las muestras correspondientes, las cuales serán conservadas”. Además, de los artículos 457, 460 (antes mencionado) y 463 del COIP, donde se establece la forma de obtención de las muestras de fluidos corporales, componentes orgánicos y genéticos-moleculares. La evidencia física de una escena será parte de la investigación pericial solamente si es manejada y procesada de manera correcta, con su respectiva cadena de custodia. La fijación de las muestras se realiza de forma fotográfica y planimétrica con anterioridad para que su localización sea precisa y útil para una posterior reconstrucción en cada caso (Amendt et al. 2007; Ramos-Pastrana et al. 2012).

Tabla 1. Materiales para la recolección de especímenes y para la toma de datos ambientales.

MATERIALES PARA LA RECOLECCIÓN DE ESPECÍMENES	MATERIALES PARA LA TOMA DE DATOS AMBIENTALES
• Lápiz • Pinzas entomológicas • Pinceles de pelo delgado • Cucharas plásticas • Red entomológica • Frascos o envases plásticos con etanol puro • Cámara fotográfica • Bolsas de plástico herméticas • Pala de mano • Frascos mortales (frasco de vidrio con corcho y acetato de etilo)	• Termómetro de lectura rápida • Dos dispositivos de medición de temperatura (data loggers): 1) Se mantiene siempre con las muestras durante el transporte 2) Permanece fijo en el entorno de la escena del crimen durante dos a seis días después de la inspección. • Cuerda para asegurar el dispositivo

Para la toma de muestras se requiere materiales como los mencionados en la tabla 1. Se colectan insectos tanto de la escena del hecho como del cadáver (o restos del cuerpo) en descomposición, y sus alrededores. Usualmente de lugares como heridas traumáticas, zonas debajo del cadáver, vestimenta, objetos en los que se encontraba envuelto el cuerpo o la bolsa en la que los restos cadavéricos se han almacenado hasta el momento de la autopsia (Haskell 2001; Arnaldos et al. 2006). La colecta se realiza de forma homogénea, recabando especímenes de todos los tamaños y abarcando la mayor cantidad de especies posibles, se utiliza diferentes viales y etiquetas para cada tipo de insecto, tamaño y zona corporal del muestreo (ver descripción de ficha técnica, tabla 3); no se debe limitar a las larvas o individuos más grandes o a las zonas con mayor concentración de insectos, sino más bien coleccionar alrededor de todo el cuerpo y el lugar de los hechos. Se recomienda usar traje de bioseguridad, guantes, cubre calzado, gorro, mascarilla 3M con el fin de evitar agentes infecciosos o contaminación por parte del personal de investigación (Lord y Burger 1983; COIP 2014). Se debe completar todos los ítems de la ficha técnica para muestras entomológicas (tabla 3) ya que la toma de datos y la suficiente cantidad de etiquetas es muy importante para las pericia a realizar (tabla 2).

Para la recolección de muestras en necropsias es importante realizar una exhaustiva búsqueda e indagación en la bolsa donde fue trasladado el cuerpo, se debe revisar muy bien las prendas de vestir, zapatos y accesorios, especialmente pliegues y zonas humedecidas, ya que pueden contener insectos en diferentes estados de desarrollo. En cuanto al cadáver, se debe tener en cuenta los orificios naturales, cráneo, cabellos, cuero cabelludo, cuello, axilas, heridas, tracto respiratorio, áreas genitales (ver descripción de ficha técnica, tabla 3).

3. Almacenaje y conservación de las muestras entomológicas.- Para el almacenaje y conservación de las muestras se debe tener claro cómo llevar a cabo la cadena de custodia, los criterios de valoración, también las posibles alteraciones de evidencias y elementos de prueba. Criterios que se encuentran tipificados en el COIP dentro de los artículos 456, 457 (antes mencionados), y el art. 292 que determina que “La persona o la o el servidor público, que altere o destruya vestigios, evidencias materiales u otros elementos de prueba para la investigación de una infracción, será sancionado con pena privativa de

libertad de uno a tres años”. Lo que revela el valor de evitar cualquier contaminación y considerar el buen manejo de las muestras desde su colecta hasta su almacenamiento.

Huevos y larvas: Separar los frascos en dos tipos de muestras (vivas y en alcohol). Se clasifican por área del cuerpo de donde fueron colectadas (ver descripción de ficha técnica, tabla 3) ya que así resulta más fácil la organización para el posterior análisis y conservación de los especímenes.

Pupas: Para permitir la emergencia de los individuos adultos se debe mantener en condiciones controladas, por ejemplo colocar las pupas en un frasco suficientemente ancho sin sustrato alimenticio sino más bien un papel absorbente humedecido dentro del frasco para evitar el desecamiento de las muestras, debidamente cubierto con algún material que permita la entrada de aire (puede ser gasa). Mientras que las pupas que no serán necesarias para la cría se las someterá directamente a alcohol al 80% para conservar sus características morfológicas y su ADN.

Individuos adultos: Después de haber colocado los especímenes en el frasco de muerte con el acetato de etilo (ver descripción de ficha técnica), estos deben ser montados usando alfileres y cajas entomológicas, evitando que el material sea destruido por insectos necrófagos.

4. Embalaje de muestras entomológicas.- Una vez que las muestras han sido recolectadas, almacenadas, y preservadas deben ser debidamente etiquetadas según el formato establecido (tabla 2), utilizando una etiqueta dentro del frasco escrita con algún material que no se corra ya que entrará en contacto con el alcohol. Además, se debe utilizar una etiqueta externa con todos los datos necesarios para su buena identificación.

Para un embalaje seguro y efectivo de las muestras es necesario tener presente un embalaje primario que llega a ser el envase de almacenamiento que mantiene contacto directo con los especímenes o indicios; también es necesario un embalaje secundario que representa generalmente la funda de papel que contiene el embalaje primario. Y finalmente se coloca un embalaje terciario que es el empaque que sujeta todos indicios o muestras colectadas, puede ser una bolsa de plástico o cartón. También se recomienda utilizar la nevera portátil en donde se transportan los especímenes a una temperatura controlada, intentando que lleguen

al laboratorio lo antes posible.^o

5. Descripción de la ficha técnica para la recolección de muestras entomológicas.- Es fundamental para la investigación de los indicios entomológicos registrar en la ficha técnica datos como tipo de escena, temperatura, precipitación, posición del cadáver, características físicas del cadáver, entre otros ya que son determinantes para los análisis posteriores de los especímenes. A continuación se explica la información relevante al momento de llenar la ficha técnica:

a) Datos ambientales.- Se registra la temperatura del lugar de los hechos ya que influye directamente en el desarrollo de los insectos y es imprescindible para el cálculo del Intervalo Post-Morten (IPM). Se programa e instala un equipo de medición de temperatura ambiental (i.e., *data logger*) en un área segura y cercana a la escena del crimen, por ejemplo atado a un árbol o poste cercano. También, es necesario registrar información térmica de la superficie entre el cuerpo y el sustrato en el que reposa para poder obtener mejores resultados.

Por otro lado, la presencia de agua (lluvia) influye en la actividad de vuelo de los insectos adultos y también puede arrastrar las larvas presentes en el cuerpo. Por ello se registra los eventos de lluvia antes o durante el levantamiento del cadáver.

b) Características del cadáver.- Las condiciones en las que se encuentra el cuerpo determinan la entomofauna presente y a su vez los tiempos de descomposición, por lo que se registra las características físicas del cadáver, el estado de descomposición, su vestimenta y todo aquello que en momento sea aparentemente importante.

c) Posición del cadáver.- La posición en la que se encuentra el cadáver es crucial al momento de localizar los especímenes ya que depende de ello donde se encuentre mayor contacto con el sustrato en el que repose, mayor humedad o más pliegues en la piel o ropa, sustrato que se colecte, lo que por consecuencia puede influir en la composición de las comunidades de insectos presentes.

d) Ubicación del cadáver.- Es fundamental describir la ubicación del cuerpo o el tipo de escena en el que se encuentre porque este factor afecta o no el acceso de los insectos a la escena, por lo general los escenarios cerrados (viviendas, vehículos) impiden o retrasan la colonización de los insectos descomponedores de cadáveres.

e) Vegetación.- Muchas especies de insectos se encuentran asociadas a ciertos tipos de vegetación, y su presencia o ausencia se ve influenciada tanto por la vegetación del entorno como por el tipo de sustrato en el que descansa el cuerpo.

f) Maniobras de ocultación.- Los intentos por ocultar el cadáver pueden influenciar tanto en los tiempos de descomposición como en la presencia de ciertas especies.

g) Alteraciones del cadáver y/o del entorno.- Las posibles heridas en el cuerpo agilizan la oviposición de los insectos especialmente de los especímenes del orden Diptera, por lo cual es típico encontrar masa de larvas en heridas abiertas. Dentro de esta sección también es importante mencionar la posibilidad de alteraciones con productos químicos.

h) Recolección de muestras entomológicas.- Para la recolección de los especímenes es necesario una búsqueda exhaustiva de los insectos. Los orificios naturales como ojos, nariz, boca, oídos, ano y zona genital, también los pliegues de la vestimenta y las heridas expuestas son los lugares preferidos por los insectos para depositar sus huevos. Basándose en el esquema de localización de masas de larvas, etiquetar los distintos frascos para la recolección en: 1) *Muestras de larvas vivas* y 2) *Muestras de larvas en alcohol* (tabla 2), recordando que para el frasco de *muestras de larvas vivas* es necesario coleccionar mayor cantidad de larvas, ya que estas se utilizarán para la cría en laboratorio para su posterior identificación y como evidencia. En las etiquetas de todos los frascos debe constar correctamente la zona de actividad de donde provienen las muestras, y la temperatura de cada masa de larvas para lo cual es fundamental utilizar el termómetro y registrar según corresponda en cada etiqueta.

En esta fase del proceso es muy importante coleccionar todos los insectos, aunque estos parezcan similares, así como también no mantener las muestras con vida a temperaturas desconocidas porque esto puede afectar directamente en el análisis de las mismas. Para coleccionar en las masas de larvas, se puede utilizar la cuchara plástica y recoger una porción de larvas para cada frasco o viales. Las diferentes masas de larvas se pueden encontrar en diversas zonas del cuerpo, lo que posiblemente indique que son especies distintas.

i) Recolección de insectos adultos.- Utilizando las pinzas, recoger todos los insectos que se encuentren encima, debajo y a los lados del cuerpo, colocarlos

en el frasco con la etiqueta: *Insectos adultos no voladores en alcohol*. Para coleccionar las moscas adultas que se encuentren encima del cuerpo y en los alrededores utilice la red entomológica. Desde la red acomode las moscas coleccionadas en el frasco mortal con acetato de etilo con la etiqueta *Moscas adultas (red)* (tabla 2). Este compuesto químico se evapora con rapidez y es nocivo para la salud, por lo que debe cerrar el frasco y esperar hasta que las moscas mueran antes de abrirlo otra vez.

j) Recolección de muestras de tierra, hojarasca o sustrato.- Las larvas de insectos son móviles y cambian de estadios juveniles a adultos después de haber pasado por una fase inmóvil llamada pupa, las cuales generalmente se entierran para buscar protección y oscuridad antes de emerger como adultos. Teniendo al cuerpo como referencia, de cada punto cardinal se recoge una muestra de tierra, hojarasca o sustrato de 10 a 20 cm de profundidad

utilizando la pala; posteriormente colocarlas en las fundas plásticas previamente etiquetadas como *Muestras de sustrato* (tabla 2). Además es importante transportar todas las muestras en la nevera portátil, con el equipo de registro de temperatura (*data logger*) destinado para las muestras.

CONCLUSIONES

Tras el descubrimiento de un delito donde los insectos pueden ser usados como herramienta de investigación, la aplicación de la entomología forense debe ser sistemática con técnicas y procedimientos estándar a los que se recurra al momento de la recolección, transporte y procesamiento de muestras entomológicas. De esta manera poder aprovechar todo tipo de rastro, elementos probatorios o evidencias físicas que sean útiles en la investigación (Lord y Burger 1983; Amendt et al. 2007; Ramos-Pastrana et al. 2012). La validez de la evidencia entomológica recolectada

Tabla 2. Etiquetas para muestras entomológicas

MUESTRA DE LARVAS VIVAS		M. DE LARVAS EN ALCOHOL	
Nombre del cadáver _____		Nombre del occiso _____	
Caso N° _____		Caso N° _____	
Fecha _____		Fecha _____	
Hora _____		Hora _____	
Procedencia(part. cuerpo) _____		Procedencia (part. cuerpo) _____	
Temperatura _____		Temperatura _____	
Localidad _____		Localidad _____	
Tipo de escena _____		Tipo de escena _____	
Colector _____		Colector _____	
INSEC. ADULTOS NO VOLADORES EN ALCOHOL		MOSCAS ADULTAS (red)	
Nombre del occiso _____		Nombre del occiso _____	
Caso N° _____		Caso N° _____	
Fecha _____		Fecha _____	
Hora _____		Hora _____	
Procedencia (part. cuerpo) _____		Procedencia (part. cuerpo) _____	
Temperatura _____		Temperatura _____	
Localidad _____		Localidad _____	
Tipo de escena _____		Tipo de escena _____	
Colector _____		Colector _____	
MUESTRAS DEL SUSTRATO		DATA LOGGER	
Nombre del occiso _____		Nombre del occiso _____	
Caso N° _____		Caso N° _____	
Fecha que inicia la cría _____		Fecha _____	
Hora _____		Hora _____	
Procedencia (part. cuerpo) _____		Escena _____	
Temperatura _____		Localidad _____	
Localidad _____		Responsable _____	
Tipo sustrato _____			
Criador _____			

Tabla 3. Ficha técnica para muestras entomológicas

FICHA TÉCNICA PARA MUESTRAS ENTOMOLÓGICAS		
NOMBRE DEL RESPONSABLE _____		
NOMBRE DEL CADÁVER _____		
N° DEL CASO _____		
FECHA _____		
FISCAL ENCARGADO _____		
a) DATOS AMBIENTALES		
Utilizando el termómetro de lectura rápida, registrar la temperatura del cadáver, de la superficie entre el sustrato y el cuerpo, y de las masas larvales (en etiquetas). Colocar el equipo de medición de temperatura (data logger, previamente programado) en el lugar de los hechos. Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas.		
Hora de registro _____	Temperatura ambiente _____	
Temperatura entre el sustrato y el cuerpo _____		
Precipitación: Si _____ No _____	Cuantos días antes _____	
Soleado: Si _____ No _____	Cuantos días antes _____	
b) CARACTERÍSTICAS DEL CADÁVER		
Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas.		
1) Enterrado _____	2) Semi-enterrado _____	
3) Cubierto _____	3a) Completo _____	3b) Parcialmente _____
4) Sumergido _____	4a) Agua Dulce _____	4b) Agua Marina _____
5) Vestido _____	5a) Totalmente _____	5b) Parcialmente _____
6) Expuesto al sol _____	6a) Zona expuesta al sol _____	
Hora de la observación in situ _____		
c) POSICIÓN DEL CADÁVER		
Describa la posición anatómica del cuerpo, su vestimenta, artículos, objetos extraños, zonas del cuerpo donde se encuentren insectos.		
Descripción _____		
ESQUEMA DE LA POSICIÓN DEL CADÁVER		
Dibujar de manera sencilla la posición y ubicación del cadáver con respecto al suelo. Si existe alguna referencia extra (árboles, vehículos, estructuras, etc.) dibujarlas también. Además señalar con una X el lugar o zona del cuerpo donde se encuentren insectos (SE PUEDE DIFERENCIAR CADA ZONA CON UN NÚMERO O UNA LETRA EJEMPLO 1, 2, 3 Ó A, B, C)		
d) UBICACIÓN DEL CADÁVER		
Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas y llenar los espacios en blanco.		
1) Exterior _____		
2) Interior de vivienda _____	a) Ventanas _____	b) N° _____
	c) Cerradas _____	d) Abiertas _____
	e) Otros lugares de ingreso _____	
	f) Cerrado _____	g) Abierto _____
3) Interior de vehículo _____	a) Ventanas _____	b) N° _____
	c) Abiertas _____	d) Cerradas _____
	e) Otros lugares de ingreso _____	
	f) Cerrado _____	g) Abierto _____
	h) Motor en funcionamiento _____	
e) VEGETACIÓN		
Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas y llenar los espacios en blanco.		
Tipo de vegetación _____		
Árboles _____	Arbustos _____	
Otros _____		
Tipo de cobertura del suelo _____		
Vegetación (hojas, ramas, algas) _____	Plástico _____	Tejidos _____
Describir _____		
f) MANIOBRAS DE OCULTACIÓN		
Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas y llenar los espacios en blanco.		
Enterramiento artificial _____	Envuelto _____	
Tipo de envoltorio _____		
Otros _____		
g) ALTERACIONES DEL CADÁVER Y/O ENTORNO		
Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas y llenar los espacios en blanco.		
Heridas _____		
Describir _____		
Actividad carroñera _____		
Describir _____		
Productos químicos _____		
Describir _____		

Continuación Tabla 3

h) RECOLECCIÓN DE MUESTRAS ENTOMOLÓGICAS
 Nota: TRANSPORTAR LAS MUESTRAS EN LA NEVERA PORTATIL SIEMPRE CON EL EQUIPO DE REGISTRO DE TEMPERATURA PARA MUESTRAS (DATA LOGGER)

Con una X marcar en las líneas que cumplan las condiciones mencionadas.

Cabeza _____	Orificios naturales _____	Pelo _____
Cuero cabelludo _____	Vestimenta _____	Heridas o lesiones _____
Otros _____		

1. RECOLECCIÓN DE MASAS DE LARVAS
 Esquema de localización de masa de larvas
 Etiquetar los frascos para recolectar: MUESTRAS DE LARVAS VIVAS Y MUESTRAS DE LARVAS ALCOHOL por cada zona con actividad, recordar que: el frasco de MUESTRAS DE LARVAS VIVAS se necesita mayor cantidad de larvas, para cría y evidencias. Utilizando el termómetro, TOMAR LA TEMPERATURA DE CADA MASA DE LARVA, Y ANOTAR SEGÚN CORRESPONDE EN CADA ETIQUETA. Con la cuchara, recoger una porción de larvas de cada masa y colocarlas en sus frascos respectivos.
 Nota: REGISTRAR CORRECTAMENTE EN LA ETIQUETA DE CADA FRASCO LA ZONA DE ACTIVIDAD DE LA QUE PROVIENEN LAS MUESTRAS (diferenciar cada zona con un número o una letra ejemplo 1, 2 ,3 ó a, b, c).

2. RECOLECCIÓN DE INSECTOS ADULTOS
 Nota: COLECTAR TODOS LOS INSECTOS, AUNQUE ESTOS PAREZCAN SIMILARES.
 Utilizando los guantes, las pinzas y el pincel, recoger todos los insectos que se encuentren encima, debajo y a los lados del cuerpo, y colocarlos en el frasco frasco
 INSECTOS ADULTOS NO VOLADORES EN ALCOHOL. Para coleccionar las moscas adultas utilice la red entomológica. Desde la red coloque las moscas colectadas en el frasco mortal MOSCAS ADULTAS (red). Este frasco tiene ACETATO DE ETILO, compuesto que se evapora con rapidez, y es nocivo para la salud, por lo que debe cerrar al frasco y esperar hasta que las moscas mueran antes de abrirlo otra vez.
 Moscas adultas _____
 Otros _____
 Enumerar: _____

3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE TIERRA U HOJARASCA
 Utilizando la pala, recoger muestras de tierra u hojarasca (10 - 20 cm de profundidad) de cada punto cardinal teniendo al cuerpo como referencia y colocarlas en las fundas plásticas previamente etiquetadas como MUESTRAS SUSTRATO.
 Cantidad _____
 Observaciones (tipo de suelo, presencia de vegetación, rocas, etc) _____

en el lugar de los hechos dependerá del nivel de organización, comprensión y aceptación por parte de todos los involucrados, así como del conocimiento sobre las ventajas y los limitantes de esta herramienta (Greenberg 1991; Benecke 2001; Gennard 2007; Amendt et al. 2011; Byrd y Castner 2010; Amendt et al. 2011; Rivers y Dahlem 2014). Los datos expuestos en el presente estudio brindan un soporte técnico y científico para el manejo de muestras entomológicas colectadas en el lugar de los hechos. Información significativa a la hora de trabajar con cadáveres en descomposición y a partir del cual se puede llegar a resolver dudas en casos judiciales. Estos resultados son detalles que el entomólogo forense o el personal especializado y solicitado por el fiscal, debe tomar en cuenta para que los especímenes recabados sean tomados como prueba en un caso. El uso de evidencias entomológicas genera un alto impacto en la investigación de la escena del crimen ya que es información innovadora con fundamentos científicos, metodológicos y estandarizados

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al convenio interinstitucional entre la FGE y la PUCE, al convenio marco cooperación interinstitucional EPN y la FGE, y al personal de la Escuela de Fiscales de la FGE por su contribución para realizar de esta investigación. Agradecemos a Wagner Chavez por sus comentarios y revisiones. A Diego y Luciana por su apoyo constante en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amendt J, Campasso C, Gaudry E, Reiter C, Leblanc H, Hall M. 2007. Best practise in forensic entomology - standards and guidelines. International Journal of Legal Medicine. 121(2): 90–104.

Amendt J, Richards C, Campobasso C, Zahner R, Hall M. 2011. Forensic entomology: applications and limitations. Forensic Science, Medicine and Pathology. 7:379–392.

Anderson G, Van Laerhoven S. 1996. Inicial Studies

- on Insect Succession on Carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 41(4): 617–625.
- Arnaldos MI, Luna AU, Presa JJ, López-Gallego E, García MD. 2006. Entomología forense en España: hacia una buena práctica profesional. *Ciencia Forense*. 8: 17–38.
- Battán-Horenstein MB, Arnaldos MI, Rosso B, García MD. 2005. Estudio preliminar de la comunidad sarcosaprófaga en Córdoba (Argentina): aplicación a la entomología forense. *An Biol*. 27: 191–201.
- Benecke M. 2001. A Brief History of Forensic Entomology. *Forensic Science International*. 120: 2–14.
- Byrd J, Castner J. 2010. Collection of entomological evidence during death investigations. (J, H, Byrd, J, I, Castner, eds, *Forensic entomology: the utility of arthropods in legal investigations*.) Boca Raton: CRC Press
- Lord WD, Catts EP, Haskell NH. 1990. *Entomology and death procedural guide*. Clemson: Joyce's Print shop.
- Catts E, Goff M. 1992. Forensic Entomology in criminal investigations. *Annual Entomology Journal*. 37: 253–272.
- Centeno N, Maldonado M, Oliva A. 2002. Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasses in Buenos Aires Province (Argentina). *Forensic Science International*. 26: 63–40.
- Constitución de la República de Ecuador. 2016. [Const.] Editoriales Legales.
- Código Orgánico Integral Penal. 2014. 2da edición. Lexis Finder.
- Código Orgánico Integral Penal. 2014. Artículo 456. [Cadena de custodia]. 2da edición. Lexis Finder.
- Dadour IR, Cook DF, Fissioli JN, Bailey WJ. 2001. Forensic Entomology: Application, Education and Research in Western Australia. *Forensic Science International*. 120(1-2): 48–52.
- García-Ruilova AB, Barragán AR, Ordoñez SC, García JF, Mazn JD, Cueva R, Donoso D. 2020. First records of Diptera associated with human corpses in Ecuador. *Neotropical Biodiversity*. 6:1, 197-20.
- García A, Donoso D. 2015. Casos sin resolver y la entomología forense en Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas-Número especial de Ciencias Forenses*. 36(1): 59–64.
- Gennard D. 2007. *Forensic Entomology: An Introduction*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Greenberg B. 1991. Flies as Forensic indicators. *Journal of Med. Entomol*. 28(5): 565–577.
- Haskell et al. 2001. Collection of entomological evidence during death investigations (Byrd JH, Castner JL (ed) *Forensic entomology—the utility of arthropods in legal investigations*). Boca Raton: CRC Press.
- Keh B. 1985. Scope and Applications of Forensic Entomology. *Ann Rev Entomol*. 30: 137–54.
- Lord W, Burger J. 1983. Collection and preservation of forensically important entomological materials. *Journal of Forensic Sciences*. 28: 936–994.
- Moreno EA, Amat E, Meneses PE, Donoso D, Barragán AR. 2020. Green bottles flies (Calliphoridae, Luciliinae) of Ecuador geographic distribution, checklist and DNA barcodes, *Neotropical Biodiversity*, 6:1, 117-126.
- Moreno EA, Barragán A. 2015. Breve historia de la colaboración entre la Fiscalía General del Estado y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*. 36(1): 33–38.
- Ramón G, Donoso DA. 2015. The Role of ants (Hymenoptera: Formicidae) in forensic entomology. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*. 36(1): 17–24.
- Ramos-Pastrana Y, Pujol-Luz J, Wolff M, I. 2012. Técnicas para la recolección de evidencias entomológica de interés forense para la determinación del intervalo postmortem (IPM). *Momentos de Ciencia*. 9(1): 38–45.
- Rivers D, Dahlem G. 2014. *Science of Forensic Entomology*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.

Sotelo N, Pachamé J. 2014. Módulo I: Método Científico, metodología científica aplicada a la investigación criminal, La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Vargas E. 2010. Medicina Legal. México: Trillas.

Wolff M, Pérez P. 2003. Métodos para la recolección de insectos como evidencia entomológica en determinación del intervalo postmortem (iPM), Casos forenses en medicina legal. 16: 43–52.

Artículo de Revisión

Hongos marinos lignícolas en ecosistemas de manglar: Estado del conocimiento y perspectivas de investigación en Ecuador

Lignicolous marine fungi in mangrove ecosystem: State of knowledge and research perspective in Ecuador

Ricardo Tamayo-Cevallos^{1*}

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Código postal: 471, Ecuador

*ricardo.tamayoc@ug.edu.ec

DOI: 10.26807/remcb.v41i2.234

Recibido 18-08-2020; Aceptado 30-10-2020

RESUMEN.- Los hongos marinos corresponden a un grupo de organismos adaptados a los ecosistemas marinos y estuarinos, cumpliendo un importante rol como descomponedores de sustratos orgánicos, principalmente residuos lignocelulósicos. A pesar de los grandes avances en el estudio de los hongos marinos, las investigaciones realizadas en Sudamérica, son escasas o inexistentes para varios ecosistemas costeros. En Ecuador, la mayor parte de investigaciones no han sido formalmente publicadas, por lo que la presencia de estos organismos en nuestro país no ha sido catalogada. En esta revisión se describe el rol fundamental de estos microorganismos en ecosistemas de manglar, así como su taxonomía y ecología. Además, se provee una lista actualizada con las especies descritas para los manglares del Ecuador, así como también se revisa los vacíos de información existentes sobre la biología de éstos en el país y se plantean investigaciones futuras con la finalidad de expandir el conocimiento de los hongos marinos lignícolas en el Ecuador.

Palabras claves: Ascomycota; Manglares; Ecuador, Lista de especies, Hongo marino.

ABSTRACT.- Marine fungi correspond to a group of organisms adapted to marine and estuarine ecosystems, fulfilling an important role as decomposers of organic substrates, mainly wood. Despite the great advances in the study of marine fungi, research carried out in South America is scarce or non-existent for several coastal ecosystems. In Ecuador, most of the research has not been formally published, therefore, the presence of these organisms in our country has not been cataloged. This review describes the fundamental role of these microorganisms in mangrove ecosystems, as well as their taxonomy and ecology. In addition, an updated list of species described for the mangroves of Ecuador is provided. A review of the existing information gaps on their biology in the country and future research plans in order to expand the knowledge of lignicolous marine fungi in Ecuador are also presented.

Keywords: Marine fungi; Mangroves; Ecuador; Ascomycota; List of species.

INTRODUCCIÓN

1. Generalidades de los Manglares

El término manglar en la actualidad es empleado para agrupar a distintas especies de árboles, arbustos y una especie de palma que pertenecen a un diverso grupo de familias no relacionadas

taxonómicamente, características de áreas costeras y estuarinas (Cornejo 2014; Robertson et al. 2020). Este tipo de vegetación se encuentra en zonas con inundaciones periódicas, aguas saladas a salobres y un sustrato inestable, estas condiciones hacen que los manglares hayan desarrollado adaptaciones

morfológicas y fisiológicas a su hábitat. Algunas especies presentan raíces adventicias, raíces aéreas con geotropismo negativo (neumatóforos) y la gran mayoría posee semillas vivíparas (Cornejo 2014; Sarma y Hyde, 2001).

Los manglares son típicos de ecosistemas tropicales a subtropicales que se encuentran en las zonas intermareales, mayormente en los márgenes estuarinos. Poseen un importante rol al mantener las comunidades planctónicas y bentónicas, así como también contribuir al reciclamiento de nutrientes (Nambiar y Raveendran 2009a). Además, cumplen otras funciones ecosistémicas como reducir la corriente de marea, causar la deposición de lodo y limo, así como también proveer superficies en donde los organismos marinos puedan fijarse (Odum 1971). Estos bosques son considerados la “interface” entre hábitats terrestres y zonas costeras estuarinas (Lugo y Snedaker 1974). La importancia de los ecosistemas de manglar radica en la producción y descomposición de detritus orgánico, que provee de nutrientes a los productores primarios y su vez mantiene una rica fuente de energía que sustenta las actividades pesqueras (Sarma 2012).

El detritus que mantiene la producción en los manglares proviene de distintas fuentes, sin embargo, la mayoría es producida in situ; es así como hojas, ramas, restos de animales, pneumatóforos, semillas entre otros, son las principales fuentes de material orgánico y demás sustratos son arrastrados y depositados en estos hábitats a través de las corrientes de agua dulce (Nambiar y Raveendran 2009a). Los restos vegetales lignificados son considerados como la mayor fuente de detritus en estos ecosistemas, y a pesar de que su degradación se realiza lentamente, es un componente fundamental en las redes tróficas y reciclamiento de nutrientes en los ecosistemas acuáticos (Maria, Sridhar y Barlocher 2006).

La descomposición de los restos vegetales se realiza a través de dos fases que comprenden una fragmentación física y degradación biológica mediada por bacterias y hongos (Wong et al. 1998). El proceso de degradación realizada por estos microorganismos produce detritus con alto contenido proteico, no obstante, los hongos a diferencia de las bacterias son considerados como los principales contribuyentes en este aumento del contenido en proteínas (Odum y Heald 1972; Sarma y Vittal 2000). Dentro de este último contexto, los hongos marinos poseen un importante papel en la producción de detritus orgánico en los ecosistemas

de manglar (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979), como degradadores de material vegetal lignificado y demás material orgánico en descomposición, aportando así al ciclo de reciclamiento de nutrientes dentro de ecosistemas marinos, mismo que se encuentra muy bien documentado (Nambiar y Raveendran 2009b; Sarma 2012; Hyde et al. 1998; Raghukumar et al. 1994; Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979).

2. Taxonomía y ecología de hongos marinos lignícolas en los Bosques de manglar

Definición de hongo marino.- Los hongos marinos corresponden a un conjunto de organismos que presentan varias adaptaciones fisiológicas y morfológicas a ecosistemas marinos y estuarinos, lo que les ha permitido dominar frente a otros organismos emparentados. Si bien los hongos marinos corresponden a un grupo ecológico y fisiológico, más que a uno taxonómico (Hyde, Sarma y Jones 2000), a lo largo del avance de la micología marina varias definiciones se han postulado con base en distintos enfoques. Johnson y Sparrow (1961) sugirieron que el término “marino” debe ser aplicado a aquellos que presentan la capacidad de desarrollarse en agua de mar; o en ciertas concentraciones de cloruro de sodio (Meyers 1968). Sin embargo, durante varios años la definición más aceptada fue la postulada por Kohlmeyer y Kohlmeyer (1979), en la que establecen dos grupos: hongos marinos obligados y hongos marinos facultativos.

Los hongos marinos obligados son aquellos que se desarrollan en hábitats marinos y estuarinos y además tienen la capacidad de esporular en este ambiente, a diferencia de los facultativos que provienen de ecosistemas terrestres, pero no son capaces de esporular en un medio marino o estuarino. Según Jones et al. (2015) esta definición es muy restrictiva, planteando la interrogante de que si todos los hongos marinos estaban adaptados y eran metabólicamente activos en ambientes marinos. Pang et al. (2016) realizaron un nuevo consenso, proponiendo una nueva definición: “cualquier hongo que es registrado de manera repetitiva en un ecosistema marino debido a que: 1) es capaz de desarrollarse y esporular (sobre un sustrato) en un ambiente marino; 2) forma una relación simbiótica con cualquier otro organismo marino; 3) muestra adaptación y evolución a nivel genético o es metabólicamente activo en un ambiente marino”.

Número de hongos marinos.- Jones et al. (2019) estimaron un total 1257 especies de hongos marinos distribuidos en 539 géneros. Dentro de esta cifra,

la mayor parte de especies pertenecen al filum Ascomycota, con alrededor de 943 ascomicetos marinos dentro de 353 géneros. Los Ascomicetos marinos pertenecen a ocho clases distintas, de estas los Dothideomycetes y Sordariomycetes son los grupos más amplios (Jones et al. 2012). En los Dothideomycetes el cuerpo fructífero se desarrolla en un ascostroma plurilocular; las ascas son bitunicadas con o sin cámara ocular y un anillo apical que puede ser conspicuo o no; las ascosporas pueden ser hialinas y de coloración marrón, así como también poseer varios septos (Suetrong et al. 2009; Hyde et al. 2013). Los hongos marinos pertenecientes a esta clase comprenden 199 especies en 102 géneros y la mayoría pertenecen al orden Pleosporales (Pleosporomycetidae) (Jones et al. 2015). La subfamilia Dothideomycetidae comprende dos órdenes (Capnodiales y Dothideales) y los demás órdenes son clasificados dentro de Dothideomycetes *incertae sedis* (Jones et al. 2009; Suetrong 2009; Jones et al. 2015).

Los Sordariomycetes se caracterizan principalmente por presentar un cuerpo fructífero de tipo peritecial, algunas especies de tipo cleistotecial y poseer ascas unitunicadas sin opérculo (Alexopoulos et al. 1996; Maharachchikumbura et al. 2016). En la actualidad se ha reportado un total de 283 especies de hongos marinos pertenecientes a esta clase (Jones et al. 2009; Pang et al. 2010; Pang 2012), que se han establecido dentro de 12 órdenes basándose únicamente en características morfológicas. Sin embargo, de acuerdo a Jones et al. (2015) y Maharachchikumbura et al. (2016) este grupo ha sido clasificado basándose en características morfológicas y datos moleculares. Entre ellas los órdenes Lulworthiales y Koralionastetales son exclusivamente marinas (Dayarathne et al. 2015).

Hongos marinos lignícolas en ecosistemas de manglar. - Los estudios de estos hongos en ecosistemas de manglar comenzaron con el reporte de *Leptosphaeria paucispora* en partes sumergidas de árboles de mangle en Australia (Cribb y Cribb 1955); a partir de este primer reporte la mayoría de trabajos en áreas de manglar fueron principalmente de carácter taxonómico con el reporte de nuevas especies (Kohlmeyer 1966, 1969a, 1969b; Kohlmeyer y Kohlmeyer 1971, 1977). En el trabajo realizado por Kohlmeyer and Kohlmeyer (1979) se listan un total de 42 especies de hongos marinos filamentosos creciendo sobre madera de mangle, mientras que Schmit and Shearer (2003) provee un estimado de 625 taxas, a pesar de que tal número abarque hongos terrestres y hongos que

se desarrollan en las partes aéreas de los mangles. En la actualidad un total de 287 especies creciendo sobre sustratos sumergidos de mangles han sido registrados (Alias, Zianuddin y Jones 2010).

Los hongos marinos lignícolas (HML) se desarrollan sobre una variedad de sustratos como madera, ramas, plántulas, semillas de mangle, neumatóforos, raíces, raíces adventicias, algas y sustratos calcáreos, aunque los estudios enfocados en hongos marinos colonizando sustratos sólidos han sobrepasado a los demás (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979). Puesto que cualquier fragmento de madera que se encuentre sometido a inundaciones periódicas en zonas marinas y estuarinas es colonizado por estos organismos. Los mangles son considerados como el segundo hospedero de hongos marinos más importante después de los fragmentos de madera flotante (Hyde, Sarma y Jones 2000), por lo que se ha estimado que representan el segundo grupo ecológico más grande de HML (Hyde y Jones 1988). Los HML poseen una amplia distribución tanto en manglares del viejo y nuevo mundo (Océano Atlántico, Pacífico e Índico) (Jones 2011). Esto se debe a que han desarrollado ascosporas ornamentadas para mejorar la estabilidad en la columna de agua y la fijación al sustrato, además poseen pequeños cuerpos fructíferos para soportar la abrasión de las mareas (Figura 1) (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979).

El estudio de estos organismos colonizando madera de mangle puede ser realizado a través de la observación de las fases reproductoras sin la necesidad de emplear cualquier otra técnica de cultivo (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979). La mayoría de investigación en bosques de manglar se han realizado principalmente en el sudeste de Asia (Hyde 1988a,b, 1989, 1990; Hyde et al. 1993; Jones et al. 1988); en el Océano Pacífico (Hyde 1992; Kohlmeyer 1984; Kohlmeyer y Volkmann-Kohlmeyer 1987a,b, 1993); zonas tropicales del Océano Atlántico (Aleem 1980; Kohlmeyer 1980, 1981; Kohlmeyer y Volkmann-Kohlmeyer 1988); Océano Índico (Borse 1988; Hyde 1986; Hyde y Jones 1988, 1989; Jones y Hyde 1990). Además, abundante información acerca de la ecología de HML ha sido publicada: frecuencia de ocurrencia (Alias y Jones 2000a; Nambiar y Raveendran 2009a,b; Sarma y Vittal 2000; Sarma y Hyde 2001; Samón-Legrá, Lavandera y Gonzales 2014; Awaluddin et al. 2015); distribución vertical (Hyde 1988a; Hyde 1990; Alias y Jones, 2000b); especificidad al sustrato y hospederos (Leong, Tan y Jones, 1988; Nambiar y Raveendran, 2009b); así

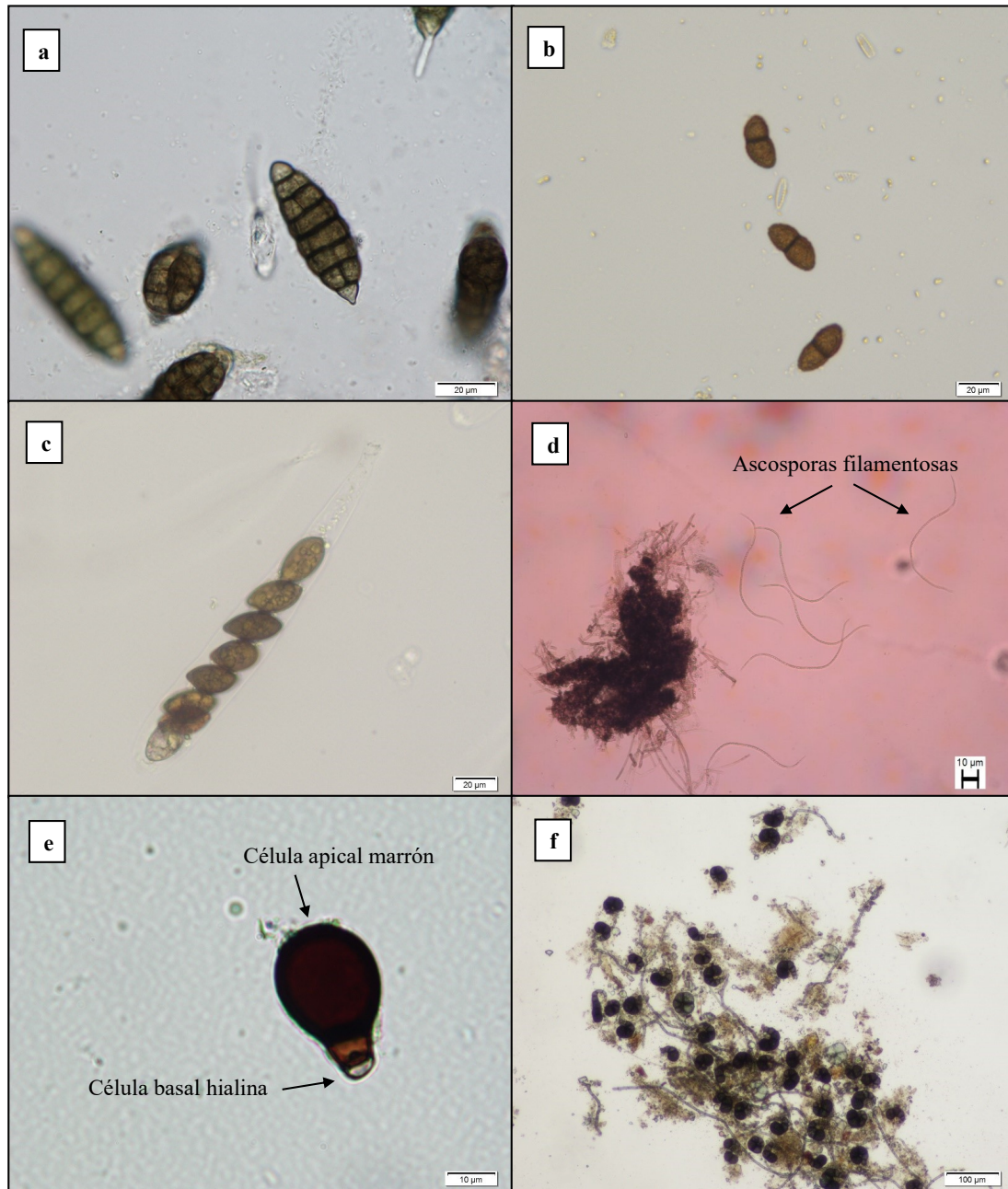


Figura 1. Morfología de las ascosporas de hongos marinos filamentosos: a) Dictióspora de *Aigialus parvus*. b) Didimospora de *Verruculina enalia*. Observe la pared de la célula con pequeñas verrugas. c) Asca conteniendo las amerozoosporas de un Ascomiceto no identificado. d) Ascosporas filamentosas de *Lulworthia* sp. Hongos mitospóricos: e) Conidio de *Trichocladium nypae*. f) Montaje en placa de los conidios de *Cirrenalia* sp.

como su biodiversidad (Ananda y Sridhar 2004; Alias, Zainuddin y Jones 2010; Awaluddin et al. 2015; Jones et al. 2006; Mehdi y Saifullah 2000; Pang, Jheng y Jones 2011; Sarma y Vittal 2000; Sridhar y Mangalagangothri 2009; Vittal y Sarma 2006).

Dentro de los factores que influyen la diversidad de HML según Hyde y Lee (1995) se encuentran: a) la edad del manglar; b) la diversidad de la flora de mangle existente en el ecosistema; c) la diversidad de flora terrestres y los varios microhábitats que el ecosistema puede proveer. La distribución vertical de estos organismos está directamente relacionada con la forma de liberar sus esporas al medio, morfología del cuerpo fructífero y de sus esporas, por ejemplo: Ascomicetos con la pared del ascocarpo carbonáceo se encuentran por encima de la amplitud de la marea, mientras que aquellos con pared membranacea están ubicados a lo largo del rango de marea además; la ubicación de Ascomicetos con esporas ornamentadas es por encima del rango de marea a diferencia de aquellos con esporas hialinas envainadas que se encuentran por todo el rango de marea (Hyde y Lee 1995).

Por otro lado, la salinidad y la temperatura son los principales parámetros que influyen la diversidad de estos hongos (Jones 2000). Según Ananda y Sridhar (2004) un descenso en la salinidad (0 - 1.05 ‰) puede aumentar el porcentaje de ocurrencia de taxas terrestres, debido a las fuertes lluvias que en general ocurren durante los meses de junio-noviembre en los manglares de la India, resultando en la descarga de sustratos que provienen de río arriba, lo que incrementa la colonización de hongos terrestres como *Arthrimum* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. que compiten por el sustrato con los HML. Hyde (1992) reporta un total de 19 hongos marinos sobre la especie de mangle *Kandelia candel* en la India en donde la salinidad fluctúa de 3 a 24 ‰, indicando la tolerancia a amplias variaciones de salinidad de estos hongos. Otro factor relacionado a la salinidad es la producción de enzimas lignocelulolíticas. Se ha determinado que altas concentraciones de salinidad disminuye la producción de celulasas, mientras que las enzimas peroxidasas se ven favorecidas, en cambio la productividad de lacasas es mayor en bajas concentraciones (Jones 2000; Pointing et al. 1998; Pointing et al. 1999).

En lo que respecta a los efectos de la temperatura, la mayoría de los trabajos se han enfocado en su influencia en el crecimiento a 25 °C (Jones 2000).

Sin embargo, las investigaciones realizadas por Molina y Hughes (1982) y Torzili (1997) demostraron que existe una interrelación entre la temperatura y la salinidad, por ejemplo, el hifomiceto marino *Zalerium maritimum* exhibe un aumento en su requerimiento de salinidad para su crecimiento al elevarse la temperatura. No obstante, Hyde y Lee (1995) y Jones (2000) mencionan una escasez de trabajos enfocados en la influencia de estos parámetros y cómo se ve afectado el crecimiento y diversidad de los hongos en la naturaleza. Trabajos actuales relacionados al efecto de la salinidad en el crecimiento han sido realizados sobre hongos pertenecientes a los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Fusarium* que, a diferencia de los hongos tratados aquí, son de medio terrestre y al mencionarlos como marinos se hace referencia al medio del cual fueron aislados más no a su ecología.

3. Hongos marinos lignícolas en Ecuador

Para el año 2012 los bosques de manglar en el país tenían un estimado entre 93 574 y 155 957 ha (Hamilton et al. 2018), distribuidas en las bocas de ríos estuarinos y deltas, formando una amplia extensión a lo largo del Golfo de Guayaquil, y en la mayor parte del noreste entre los ríos Mataje y Cayapas (Cornejo 2014). De acuerdo con Cornejo (2014) las especies de mangle dominantes en estas zonas son *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. x harrisonii*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*.

La primera descripción de HML en el país fue realizada por Kohlmeyer and Volkmann-Kohlmeyer (1987a) en las Islas Galápagos en Santa Cruz y Genovesa, donde se describen 10 especies. A partir de esta fecha no se realizaron investigaciones en este campo en ningún otro lugar de las islas ni para el Ecuador continental. Posteriormente, después de 23 años, Panchana (2008) en su trabajo reporta a *Phialophorophoma litoralis* y cinco géneros en el manglar de Palmar en la Provincia de Santa Elena, investigación que fue ampliada por Álvarez (2011) describiendo un género y siete especies en la misma zona. Más tarde, un trabajo realizado en un área de la Reserva Ecológica Manglares Churute determinó la presencia de 12 especies de HML (Álvarez et al. 2019).

Todas las investigaciones anteriormente mencionadas se enfocaron en la descripción de taxas creciendo sobre fragmentos de mangle y madera en descomposición, por lo que datos ecológicos acerca de la frecuencia de ocurrencia, estacionalidad, distribución vertical, especificidad

Tabla 1. Hongos marinos lignícolas reportados para el Ecuador

Clasificación	Sustrato	Lugar de colecta	Referencia
Ascomycota			
<i>Aigialus mangrovei</i> Borse, 1987	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Aniptodera mangrovei</i> K.D. Hyde, 1986	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Arenariomyces trifurcatus</i>	Madera intermareal sumergida	Isla Genovesa, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
<i>Corrollospora maritima</i>	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Álvarez (2011)
<i>Dactylospora haliotrepha</i> (Kohlm. & E. Kohlm.) Hafellner, 1979	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Álvarez (2011)
<i>Halosphaeria quadricornuta</i> Cribb & J.W. Cribb, 1956	Madera intermareal sumergida	Isla Genovesa, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
<i>Helicascus kanaloanus</i> Kohlm., 1969	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Leptosphaeria</i> sp.	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Panchana (2008)
<i>Leptosphaeria australiensis</i> (Cribb & J.W. Cribb) G.C. Hughes, 1969	Madera intermareal sumergida	Isla Genovesa, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
<i>Lignicola tropica</i> Kohlmeyer, 1984	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Lignicola</i> sp.	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Panchana (2008)
* <i>Lineolata rhizophorae</i> (Kohlm. & E. Kohlm.) Kohlm. & Volkm.-	Madera intermareal sumergida	Isla Genovesa, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
<i>Sammeyersia grandispora</i> S.Y. Guo, E.B.G. Jones, & K.L. Pang	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Álvarez (2011)
<i>Lulworthia</i> sp.	Madera intermareal sumergida y raíces adventicias de <i>R. mangle</i>	Isla Genovesa y Santa Cruz, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
<i>Massarina thalassiae</i> Kohlm. & Volkm.-Kohlm., 1987	Madera intermareal sumergida	Isla Genovesa, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
<i>Neptunella longirostris</i> (Cribb & J.W. Cribb) K.L. Pang & E.B.G.	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Payosphaeria</i> sp.	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Panchana (2008)
<i>Rhizophila</i> sp.	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Panchana (2008)
<i>Saccardoella</i> sp.	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Álvarez (2011)
<i>Tirisporea</i> sp.	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena	Panchana (2008)
<i>Torpedospora radiata</i> Meyers, 1957	Raíces adventicias de <i>R. mangle</i>	Isla Santa Cruz, Galápagos	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987)
* <i>Verruculina enalia</i>	Madera intermareal, madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987); Álvarez et al. (2019)

Continuación Tabla 1. Hongos marinos lignícolas reportados para el Ecuador

Clasificación	Sustrato	Lugar de colecta	Referencia
Hongos anamorfos			
<i>Cirrenalia tropicalis</i> Kohlm., 1968	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>C. pygmaea</i> Kohlm., 1966	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Periconia prolifica</i>	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez (2011); Álvarez et al. (2019)
<i>Trichocladium achrasporum</i>	Madera intermareal, madera de mangle	Isla Genovesa, Galápagos; Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987); Álvarez (2011); Álvarez et al. (2019)
* <i>T. alopallonellum</i> (Meyers & R.T. Moore) & Volkm.-Kohlm., 1995	Madera intermareal, madera de mangle	Isla Genovesa, Galápagos; Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena.	Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987); Álvarez (2011)
<i>T. nypae</i> K.D. Hyde & Goh, 1999	Madera de mangle	Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez et al. (2019)
<i>Zalerium maritimum</i>	Madera de mangle	Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute	Álvarez (2011); Álvarez et al. (2019)

*Estas especies fueron descritas por Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) con nombres que pasaron a ser sinónimos según Jones et al. (2009). *L. rhizophorae* fue descrita como *Didymosphaeria rhizophorae*, *V. enalia* con el nombre de *Didymosphaeria enalia* y *T. alopallonellum* como *Humicola alopallonella*

al sustrato, influencia de la salinidad y temperatura, así como su biodiversidad no han sido realizados. En la tabla 1 se mencionan los géneros y especies de hongos marinos lignícolas descritos hasta la fecha en Ecuador, así como también su lugar de colecta y el sustrato de donde fue aislado. *Halocyphina villosa* ha sido observado creciendo sobre madera de mangle en descomposición (obs. pers.) por tanto, un trabajo que lo reporte formalmente para el país es necesario. Por otro lado, el hongo *Arenariomyces trifurcatus* es una especie arenícola (se desarrolla sobre los granos de arena en las zonas de playa), su presencia está asociada a la cercanía de estos ecosistemas costeros a los bosques de manglar. La degradación de la madera de mangle realizada por HML está restringida a las capas externas, por lo que su actividad genera un pre acondicionamiento del sustrato para que larvas de la familia Teridinidae se fijen a éste (Kohlmeyer, Bebout y Volkmann-Kohlmeyer 1995). Los Teridinidae son organismos que han sido extensamente estudiados en las zonas estuarinas y costeras del Ecuador (Cruz 1986, 1992; Cruz, Torres y Villamar 1989; Arias 2012), es por

esto que investigaciones que abarquen la actividad sinérgica en la descomposición del material lignificado mediada por estos moluscos y HML en bosques de manglar son imprescindibles para entender el funcionamiento del sistema. De igual forma, teredos y HML causan daños en estructuras de madera ubicadas en zonas portuarias (Cruz 1986; Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979), estableciendo otro tópico que necesita ser estudiado en el país.

La importancia de hongos microscópicos en la alimentación de organismos marinos se encuentra restringida a unas pocas especies (Kohlmeyer y Bebout 1986); es así como el papel de fuente nutricional y ayudante digestivo (liberación de enzimas degradadoras de celulosa) en gasterópodos y demás organismos en zonas manglicolas debe ser revisado. Este tema fue estudiado por Kohlmeyer and Bebout (1986), reportando la importancia de estos microorganismos como alimento para el molusco *Littorina angulifera* típico de manglares del Atlántico.

Por otro lado, los HML poseen importantes aplicaciones dentro del campo biotecnológico en distintas áreas. El hongo *Verruculina enalia* produce dos compuestos fenólicos denominados Enalin A (1) y B (2) que pueden ser empleados como antidiabéticos, antifúngicos, antimicrobianos y fitotóxicos; de igual forma *Aigialus parvus* exhibe actividad antitumoral y antimalárica al producir dos policétidos hipotemicina y aigialomicina (Lin et al. 2002; Vongvilai et al. 2004). Los ascomicetos *Corrollospora maritima* y *V. enalia* y los hongos mitosporicos *Periconia prolifica*, *Trichocladium achrasporum* y *Zalerion maritimum* han demostrado la capacidad de desarrollarse en un medio elaborado con agua de mar y suplementado con hexadecano como única fuente de carbono (Kirk y Gordon 1988).

Las enzimas lignocelulolíticas son importantes en la degradación de la lignina y frecuentemente empleadas en procesos que implican la biorremediación de polutantes in vitro. Sarma (2018) realizó una investigación sobre las principales enzimas de hongos marinos, reportando la presencia de hemicelulasas, lacasas y celulasas para la mayor parte de HML, lo que los posiciona como candidatos a ser empleados en procesos que impliquen la remediación con microorganismos. Una de las principales características de los hongos es la producción de antimicrobianos, es así como Zainuddin et al. (2010) describe actividad de este tipo contra las bacterias patógenas *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes* y *Staphylococcus aureus* por el hongo *V. enalia*. Todas las especies anteriormente nombradas a excepción de *A. parvus* se han reportado para el Ecuador.

CONCLUSIÓN

Tan solo el 10 % de los HML han sido reportados para los manglares del país, a pesar de su importancia dentro de los procesos de formación de detritos, por lo que obtener datos relacionados a su ecología y generar registros sobre su diversidad en estos ecosistemas para contribuir al conocimiento de la microbiota es de suma importancia. Además, cuantificar la abundancia de estos microorganismos en los bosques de manglar es de carácter imperativo, así como también la obtención de cultivos monospóricos a través del uso de técnicas de cultivo, enfocados a la conservación de estos organismos ex situ y al establecimiento de estudios a nivel genético, molecular, bioquímico y a futuras aplicaciones que podrían aportar al desarrollo del Ecuador dentro del campo biotecnológico.

AGRADECIMIENTOS

A Paulina Sepa por sus acertados comentarios que ayudaron a la correcta redacción del documento, al PhD. Xavier Álvarez por introducirme en el campo de la micología marina y a Dayanna Almedia por las microfotografías mostradas en la figura 1.

REFERENCIAS

Aleem AA. 1980. Distribution and ecology of marine fungi in Sierra Leone (Tropical West Africa). *Botanica Marina* 23: 679-688.

Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M. 1996. *Introductory mycology*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons.

Alias SA, Jones EG. 2000a. Colonization of mangrove wood by marine fungi at Kuala Selangor mangrove stand, Malaysia. *Fungal Diversity*, 5, 9-21.

Alias SA, Jones EG. 2000b. Vertical distribution of marine fungi on *Rhizophora apiculata* at Morib mangrove, Selangor, Malaysia. *Mycoscience*, 41(5), 431.

Alias SA, Zainuddin N, Jones EG. 2010. Biodiversity of marine fungi in Malaysian mangroves. *Botanica Marina*, 53(6), 545-554.

Álvarez X. 2011. Aislamiento e identificación de hongos marinos del manglar de Palmar Provincia de Santa Elena, y establecimiento del banco de cepas fúngicas (Tesis de Maestría). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Álvarez X, Tamayo R, Almeida D, Robles S, y Moscoso A. 2019. Ascomicetos marinos manglicolas de la reserva ecológica manglares churute. *Manglares de América*, 68-77.

Ananda K, Sridhar KR. 2004. Diversity of filamentous fungi on decomposing leaf and woody litter of mangrove forests in the southwest coast of India. *Current science*, 1431-1437.

Arias Cedeño E. 2012. Estado actual de la diversidad de moluscos bivalvos perforadores de madera en la Puntilla de Santa Elena (Salinas). Tesis para optar el grado de Biólogo. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Awaluddin HH, Nor NAM, Nor HM, Sharuddin SS, Pang KL, Mohamad-Fauzi et al. (2015). Biodiversity of marine lignicolous fungi from

mangroves of Sulu Sea. *MJS*, 34(1), 43-57.

Borse BD 1988. Frequency of occurrence of marine fungi from Maharashtra coast, India. *Indian Journal of Marine Sciences* 17: 165-167.

Cornejo X. 2014. Plants of the South American Pacific Mangrove Swamps (Colombia, Ecuador, Perú) Editorial Eduquil. Universidad de Guayaquil.

Cribb AB, Cribb W 1955. Marine fungi from Queensland-I. University of Queensland Papers, Department of Botany 3: 77-81.

Cruz M. 1986. Efectos de los moluscos incrustantes en maderas no tratadas en los puertos de Esmeraldas, Manta, Salinas, Posorja y base naval. (Ecuador). *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR—Ecuador, 3, 1J.

Cruz M, Torres G y Villamar F. 1989. Estudio Comparativo de los moluscos Bivalvos Perforadores de las Maderas más resistentes (Laurel, Moral, Palo de vaca) y la más “Atacada” (Mangle) en la Costa Ecuatoriana., *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR. 5 (1): 49-55.

Cruz M. 1992. Moluscos incrustantes de maderas en el mar ecuatoriano. *Acta oceanográfica del Pacífico*, 7(1), 69-80.

Dayarathne MC, Jones EG, Maharachchikumbura SN, Devadatha B, Sarma VV, Khongphinitbunjong K., ..., Hyde KD. 2020. Morpho-molecular characterization of microfungi associated with marine based habitats. *Mycosphere*, 11(1), 1-188.

Hamilton SE and Friess DA. 2018. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nat. Clim. Chang* 8(3):240–244.

Hyde KD. 1986. Frequency of occurrence of lignicolous marine fungi in the tropics. In: *The Biology of Marine Fungi* (ed. S.T. Moss). Cambridge University Press, Cambridge, UK: 311-322.

Hyde KD. and Jones EG. 1988. Marine mangrove fungi. *Marine Ecology*, 9(1), 15-33.

Hyde KD. 1988a. Observations on the vertical distribution of marine fungi on *Rhizophora* spp. at Kg. Danau mangrove, Brunei. *Asian Marine Biology* 5: 77-81.

Hyde KD. 1988b. Studies on the tropical marine fungi of Brunei. *Botanical Journal of the Linnean Society* 98: 135-151.

Hyde KD. 1989. Ecology of tropical marine fungi. *Hydrobiologia* 178: 199-208.

Hyde KD, Jones EG. 1989. Marine fungi from Seychelles VIII. *Rhizophila marina*, a new ascomycete from mangrove prop roots. *Mycotaxon* 34: 527-533.

Hyde KD. 1990. A comparison of the intertidal mycota of five mangrove tree species. *Asian Marine Biology* 7: 93-107.

Hyde KD. 1992a. Intertidal mangrove fungi from the West Coast of Mexico, including one new genus and two new species. *Mycological Research* 96: 25-30.

Hyde KD. 1992b. The effect of incubation on the occurrence of marine fungi on randomly collected lignocellulose samples. *Sydowia*, 44, 131-136.

Hyde KD, Chalermpongse A., Boonthavikoon T. (1993). The distribution of intertidal fungi on *Rhizophora apiculata*. In: *The Marine Biology of the South China Sea*. Proceedings of the First International Conference on the Marine Biology of Hong Kong and South China Sea, Hong Kong 1990 (ed. B. Morton), University of Hong Kong Press, Hong Kong: 643-652.

Hyde KD, Lee SY. 1995. Ecology of mangrove fungi and their role in nutrient cycling: what gaps occur in our knowledge? *Hydrobiologia*, 295(1-3), 107-118.

Hyde KD, Jones EG, Leñaño E, Pointing SB, Poonyth AD, Vrijmoed LL. 1998. Role of fungi in marine ecosystems. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1147-1161.

Hyde KD, Sarma VV, Jones BG. 2000. Morphology and taxonomy of higher marine fungi. In *Marine mycology: a practical approach*, 172-204.

Hyde KD, Jones EG, Liu JK, Ariyawansa H, Boehm E, Boonmee S, Braun U, Chomnunti P, Crous W, Dong-Qin Dai et al. 2013. Families of dothideomycetes. *Fungal diversity*, 63(1), 1-313.

Johnson TW, Sparrow FL. 1961. Fungi in oceans and estuaries, J. Cramer, New York.

- Jones EG, Uyenco FK, Follosco MP. 1988. Fungi on driftwood collected in the intertidal zone from the Philippines. *Asian Marine Biology* 5: 103-106.
- Jones EG, Hyde KD. 1990. Observations on poorly known mangrove fungi and a nomenclature correction. *Mycotaxon* 37: 197-201.
- Jones EG. 2000. Marine fungi: some factors influencing biodiversity. *Fungal Diversity*, 4(193), 53-73.
- Jones EG, Pilantanapak A, Chatmala I, Sakayaroj J, Phongpaichit S and Choeyklin R. 2006. Thai marine fungal diversity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 28, 687-708.
- Jones EG, Sakayaroj J, Suetrong S, Somrithipol S, Pang KL. 2009. Classification of marine Ascomycota, anamorphic taxa and Basidiomycota. *Fungal Diversity*, 35(1), 187.
- Jones EG. 2011. Are there more marine fungi to be described? *Botanica Marina*, 54(4), 343-354.
- Jones EG, and Pang KL. (Eds.) 2012. Marine fungi: and fungal-like organisms. Walter de Gruyter.
- Jones EG, Hyde KD, Pang KL, Suetrong S. 2012. Phylogeny of the Dothideomycetes and other classes of marine Ascomycota. Marine fungi and fungal-like organisms. De Gruyter, Berlin, 17-34
- Jones EG, Suetrong S, Sakayaroj J, Bahkali AH, Abdel-Wahab MA, Boekhout T, Pang KL. 2015. Classification of marine ascomycota, basidiomycota, blastocladiomycota and chytridiomycota. *Fungal Diversity*, 73(1), 1-72.
- Kirk PW, Gordon AS. 1988. Hydrocarbon degradation by filamentous marine higher fungi. *Mycologia*, 80(6), 776-782.
- Kohlmeyer J. 1966. Neue Meerespilze on Mangroven. *Berichte Deutsche Botanische Gesellschaft* 79: 27-37.
- Kohlmeyer J. 1969a. Marine fungi from Hawaii including a new genus *Helicascus*. *Canadian Journal of Botany* 47: 1469-1487.
- Kohlmeyer J. 1969b. Ecological notes on fungi in mangrove forests. *Transactions of the British Mycological Society* 53: 237-250
- Kohlmeyer J, Kohlmeyer E. 1971. Marine fungi from tropical America and Africa. *Mycologia* 63: 831-861.
- Kohlmeyer J, Kohlmeyer E. 1977. Bermuda marine fungi. *Transactions of the British Mycological Society* 68: 207-219.
- Kohlmeyer J, Kohlmeyer E. (Eds.). 1979. Marine Mycology. The Higher Fungi. New York, San Francisco, London: Academic Press.
- Kohlmeyer J. 1980. Tropical and subtropical filamentous fungi of the western Atlantic Ocean. *Botanica Marina* 23: 529-540.
- Kohlmeyer J. 1981. Marine fungi from Martinique. *Canadian Journal of Botany* 59: 1314-1321.
- Kohlmeyer J. 1984. Tropical mangrove fungi. *PSZNI Marine Ecology* 5: 329-378.
- Kohlmeyer J, Bebout B. 1986. On the occurrence of marine fungi in the diet of *Littorina angulifera* and observations on the behavior of the periwinkle. *Marine Ecology*, 7(4), 333-343.
- Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B. 1987a. Marine fungi from Aldabra, the Galapagos, and other tropical islands. *Canadian Journal of Botany* 65: 571-582.
- Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B. 1987b. Marine fungi from Belize with a description of two new genera of ascomycetes. *Botanica Marina* 30: 195-204.
- Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B. 1988. *Ophiodeira* gen. nov. (Halosphaeriales) and a survey of higher marine fungi from Saint Croix (Virgin Islands). *Canadian Journal of Botany* 66: 2062-2067.
- Kohlmeyer J and Volkmann-Kohlmeyer B. 1993. Biogeographic observations on Pacific marine fungi. *Mycologia* 85: 337-346.
- Kohlmeyer J, Bebout B, Volkmann-Kohlmeyer B. 1995. Decomposition of mangrove wood by marine fungi and teredinids in Belize. *Marine Ecology*, 16(1), 27-39.
- Leong WF, Tan TK, Jones EG. (1988). Lignicolous marine fungi of Singapore. *Canadian Journal of Botany* 66: 2167-2170

- Lin Y., Wu X., Deng Z., Wang J., Zhou S., Vrijmoed LP., Jones EG. 2002. The metabolites of the mangrove fungus *Verruculina enalia* No. 2606 from a salt lake in the Bahamas. *Phytochemistry*, 59(4), 469-471.
- Lugo AE, Snedaker SC 1974. The ecology of mangroves. *Annu Rev Ecol Syst* 5:39-64
- Maria GL, Sridhar KR, Bärlocher F. 2006. Decomposition of dead twigs of *Avicennia officinalis* and *Rhizophora mucronata* in a mangrove in southwestern India. *Botanica marina*, 49(5/6), 450-455.
- Maharachchikumbura SS, Hyde KD, Jones EG, McKenzie EH, Bhat JD, Dayarathne MC, Huang SK, Norphanphoun C, Indunil C et al. 2016. Families of sordariomycetes. *Fungal Diversity*, 79(1), 1-317.
- Meyers SP 1968. Observations on the physiological ecology of marine fungi. *Bull Misaki Mar Biol Inst Kyoto*, 12, 207-225.
- Mehdi FS, Saifullah SM. 2000. Species diversity and seasonal occurrence of fungi on seedlings of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(2), 265-268.
- Molina FJ, Hughes GC. 1982. The growth of *Zalerion maritimum* (Linder) Anastasiou in response to variation in salinity and temperature. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 61: 147-156.
- Nambiar GR, Raveendran K. 2009a. Manglicolous marine fungi of Kerala, South India. *Botany Research International*, 2(3), 206-210.
- Nambiar GR, Raveendran K. 2009b. Manglicolous marine fungi on *Avicennia* and *Rhizophora* along Kerala coast (India). *Middle East J Sci Res*, 4, 48-51.
- Wong KM, Goh TK, Hodgkiss J, Hyde KD, Ranghoo VM, Tsui KC, Ho WH, Wong SW Yuen TK. 1998. Role of fungi in freshwater ecosystems. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1187-1206
- Odum EP. 1971. Fundamentals of mycology. W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA
- Odum WE, Heald EJ. 1972. Trophic analyses of an estuarine mangrove community. *Bulletin of Marine Science*, 22(3), 671-738.
- Pang KL, Alias SA, Chiang MWL, Vrijmoed LLP, Jones EG 2010. *Sedecimiella taiwanensis* gen. et sp. nov., a marine mangrove fungus in the Hypocreales (Hypocreomycetidae, Ascomycota). *Bot Mar*; 53:493 – 498.
- Pang K.L, Jheng JS, Jones EG. 2011. Marine mangrove fungi of Taiwan. Keelung, Taiwan: National Taiwan Ocean University.
- Pang KL. 2012. Phylogeny of the marine Sordariomycetes. In Marine fungi and fungal-like organisms. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin/Boston, 35-47.
- Pang KL, Overy DP, Jones EG, da Luz Calado, M Burgaud, G, Walker AK et al. 2016. 'Marine fungi' and 'marine-derived fungi' in natural product chemistry research: toward a new consensual definition. *Fungal Biology Reviews*, 30(4), 163-175.
- Panchana Tircio, H. E. 2009. Identificación de hongos marinos en el manglar de Palmar, provincia de Santa Elena—Ecuador (Tesis de Licenciatura, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena).
- Pointing SB, Vrijmoed LP, Jones EBG. 1998. A qualitative assessment of lignocellulose degrading enzyme activity in marine fungi. *Botanica Marina*, 41(1-6), 293-298.
- Pointing BS, Buswell JA, Jones EG, Vrijmoed LP. 1999. Extracellular cellulolytic enzyme profiles of five lignicolous mangrove fungi. *Mycological Research* 103: 690-700.
- Raghukumar, S., Sharma, S., Raghukumar, C., Sathe-Pathak, V., & Chandramohan, D. 1994. Thraustochytrid and fungal component of marine detritus. IV. Laboratory studies on decomposition of leaves of the mangrove *Rhizophora apiculata* Blume. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 183(1), 113-131.
- Robertson AI., Dixon P, Daniel PA, Zagorskis, I. 2020. Primary production in forests of the mangrove palm *Nypa fruticans*. *Aquatic Botany*, 167, 103288.
- Sarma VV. 2012. Diversity and distribution of marine fungi on *Rhizophora* spp. in mangroves. In Biology of Marine Fungi (pp. 243-275). Springer, Berlin, Heidelberg.

Sarma VV. 2018. Obligate marine fungi and bioremediation. In *Mycoremediation and environmental sustainability* (pp. 307-323). Springer, Cham.

Sarma VV, Hyde KD. 2001. A review on frequently occurring fungi in mangroves. *Fungal Divers*, 8, 1-34.

Samón-Legrá E, Lavandera ED, González MC. 2014. Frequency of Occurrence of Marine Fungi in Mangrove Forests of Zapata Swamp Biosphere Reserve (South of Cuba). *Global Journal of Environmental Research* 8 (1): 11-16.

Sarma VV, Vittal PR. 2000. Biodiversity of mangrove fungi on different substrata of *Rhizophora apiculata* and *Avicennia spp.* from Godavari and Krishna deltas, east coast of India. *Fungal Diversity*, 5, 23-41.

Schmidt JP, Shearer CL. 2003. A checklist of mangrove-associated fungi, their geographical distribution and known host plants. *Mycotaxon* 85:423–477

Suetrong S, Schoch LC, Spatofora W, Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B, Sakayaroj J, Phongpaichit S, Tanaka K, Hirayama K, Jones EG. 2009. Molecular systematics of the marine Dothideomycetes. *Studies in Mycology*, 64, 155-173

Sridhar KR, Mangalagangotri M. 2009. Fungal diversity of Pichavaram mangroves, Southeast coast of India. *Nature and Science*, 7(5).

Torzili AP. 1997. Tolerance to high temperature and salt stress by a salt marsh isolate of *Aureobasidium pullulans*. *Mycologia* 89: 786-792.

Vittal PR and Sarma VV. 2006. Diversity and ecology of fungi on mangroves of Bay of Bengal region-An overview. *Indian Journal of Marine Species*, 35 (4), 308-317

Vongvilai P, Isaka M, Kittakoop P, Srikitikulchai P, Kongsaree P and Thebtaranonth, Y. 2004. Ketene Acetal and Spiroacetal Constituents of the Marine Fungus *Aigialus parvus* BCC 5311. *Journal of natural products*, 67(3), 457-460.

Zainuddin N, Alias SA, Lee CW, Ebel R, Othman NA, Mukhtar MR, Awang K. 2010. Antimicrobial activities of marine fungi from *Malaysia*. *Botanica Marina*, 53(6), 507-513

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Artículo de Revisión

Calidad del agua del Río Oglán mediante bioindicadores fitoplanctónicos en la Estación Científica Juri Juri Kawsay

Water quality of the Oglán River at the Juri Juri Kawsay Scientific Station using phytoplanktonic bioindicators

Elizabeth Yolanda Pérez Alarcón^{1*}, María Verónica Maila Álvarez¹, Jenny Myreya Morillo Palacio¹, José Ricardo Romero Quinaluisa² y José Bolívar Villarreal Yazán³

¹ Universidad Central del Ecuador, Dirección de Investigación, Quito, Ecuador.

² Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias Exactas, Sangolquí, Ecuador.

³ Unidad Educativa Antisana, Distrito Educativo 17D08, Píntag, Ecuador.

*eyperez@uce.edu.ec

DOI:10.26807/remcb.v41i2.246

Recibido 19-08-2020; Aceptado 21-10-2020

RESUMEN.- La Estación Científica Juri Juri Kawsay (Pastaza, Ecuador), recibe cada año gran cantidad de visitantes, cuya actividad genera desechos que afectan al entorno natural, constituyéndose el Río Oglán en uno de los agentes de evacuación de los mismos. El presente estudio se desarrolló con el objetivo de evaluar la calidad del agua del Río Oglán en la zona de influencia de la Estación Científica Juri Juri Kawsay a través de bioindicadores fitoplanctónicos. Se analizaron los resultados de los componentes biológico, físico y químico del agua obtenidos durante dos muestreos realizados en la estación científica, que se diferenciaron por el número de visitantes, 20-80 respectivamente. Se describieron las comunidades de fitoplancton y perifiton por estación de muestreo. Además, se analizó la relación temperatura, total de sólidos disueltos, caudal y visitantes frente a fosfatos. Entre los géneros bioindicadores de polución orgánica se registran *Navicula*, *Gomphonema*, *Euglena*, *Anabaena*, *Chlamydomonas* y *Oscillatoria*. Los análisis estadísticos para las características físicas y químicas del agua determinan que la relación entre el número de visitantes y de fosfatos es inversa, en tanto que la relación caudal y temperatura con el número de fosfatos es directa. Los resultados evidencian que el agua del tramo analizado del Río Oglán se encuentra alterado.

Palabras claves: Bioindicación, fitoplancton, limnología, microalgas, Oglán.

ABSTRACT.- The Juri Juri Kawsay Scientific Station (Pastaza, Ecuador), receives a large number of visitors each year whose activity generates waste, affecting the natural environment, with the Oglán River becoming one of its evacuation agents. This study was developed with the objective of evaluating the water quality of the Oglán River in the area of influence of the Juri Juri Kawsay Scientific Station through phytoplankton bioindicators. The results of the biological, physical and chemical components of the water obtained during two samplings carried out at the scientific station were analyzed and differentiated by the number of visitors, 20-80 respectively. Phytoplankton and periphyton communities were described by sampling station. In addition, the relationship among temperature, total dissolved solids, flow rate and visitors was analyzed against phosphates. Among the bioindicator genera of organic pollution are *Navicula*, *Gomphonema*, *Euglena*, *Anabaena*, *Chlamydomonas* and *Oscillatoria*. Statistical analyses for the physical and chemical characteristics of water determine that the relationship between the number of visitors and phosphates is inverse, while the flow and temperature relationship with the number of phosphates is direct. The results show that the water in the analysed section of the Oglán River is altered.

INTRODUCCIÓN

En el año 2001 se creó la Estación Científica “Juri Juri Kawsay” (Pastaza, Ecuador), gracias a un convenio entre la Universidad Central del Ecuador y la Comunidad Etnoecológica Pablo López del Oglán Alto, con el objetivo de realizar acciones para la protección del medio ambiente (Universidad Central del Ecuador 2006).

La cuenca alta del Río Oglán, se ha visto amenazada por la actividad antropogénica creciente en los últimos años. Este fenómeno se produce por la afluencia de grupos humanos integrados hasta por 90 personas que en calidad de investigadores, visitantes, pasantes o estudiantes producen contaminación de los ecosistemas incluyendo paisajes riparios y lacustres. Entre las actividades de impacto realizadas por los visitantes se citan la preparación de alimentos, lavado de vestimentas, uso de jabón de tocador, shampoo, detergentes y generación de aguas grises. Estas actividades ocasionan efectos negativos sobre la condición del río y la composición de las comunidades planctónicas.

Poco se conoce sobre la biodiversidad y la estructura de la comunidad planctónica en la Estación Científica “Juri Juri Kawsay”, pues solo se registran dos trabajos en los cuales se describe parcialmente la comunidad de perifiton y de fitoplancton (Maila et al. 2011) y se analiza la calidad del agua en zonas aledañas a la estación (Vinueza et al. 2017).

El plancton es uno de los parámetros biológicos que permite determinar la calidad ecológica de un cuerpo de agua y está compuesto por una comunidad de microorganismos que viven en el seno del agua, cuyo tamaño oscila entre unos pocos micrómetros hasta unos pocos milímetros y se caracterizan por su limitada o inexistente capacidad de locomoción, razón por la que son arrastrados por las corrientes de agua. Entre los organismos que conforman la comunidad planctónica de sistemas dulceacuícolas están las microalgas cuya comunidad es conocida como fitoplancton (González 1988).

Esta investigación se centra en el análisis de los organismos fitoplanctónicos como bioindicadores, debido a sus altos niveles de sensibilidad frente a las modificaciones del entorno y su breve período de vida (Quiroz et al. 2004). Su presencia y abundancia, advierten procesos y estados de la calidad del agua (Pinilla 2000). Así también, el fitoplancton constituye la base de la cadena trófica acuática, cumpliendo varias funciones ecológicas

y representando alimento para los organismos de niveles tróficos superiores (Roldán 1992). Características que, permiten advertir de manera temprana cambios en las condiciones ambientales de los ecosistemas.

Entre los factores químicos determinantes de la productividad de los ecosistemas acuáticos se encuentra el fósforo. Este elemento al igual que el nitrógeno tiene el carácter de limitante para la producción primaria (Aubriot et al. 2016). El incremento significativo del fósforo ocasiona el aumento de la biomasa, con la consecuente variación del estado trófico del ecosistema acuático (Schindler et al. 2008), generando el fenómeno denominado eutrofización.

La presente investigación tiene como objetivo determinar la calidad del agua del Río Oglán en su zona de influencia de la Estación Científica “Juri Juri Kawsay”, para lo cual se identificó a nivel de género y familia a los organismos fitoplanctónicos y se determinó la calidad del agua del río con base a parámetros biológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio corresponde a un trabajo de investigación de campo, descriptivo y con enfoque cualitativo. Los datos biológicos, físicos y químicos se tomaron de manera directa de las aguas del Río Oglán para el análisis de la composición de las comunidades planctónicas en sus diferentes categorías taxonómicas así como para la determinación de las condiciones físicas y químicas del agua.

Área de estudio.- El área de estudio fue la Estación Científica “Juri Juri Kawsay” ubicada en la Provincia de Pastaza, Ecuador, Cantón Arajuno, Comunidad Etnoecológica Pablo López de Oglán Alto (CEPLOA) en la cuenca alta del Río Oglán.

La superficie analizada comprendió 1 km del trayecto del cuerpo de agua del Río Oglán, cuyos puntos de muestreo estuvieron distribuidos en tres sectores denominados: Estación 1 “Control”, ubicada 500 m aguas arriba del punto de influencia directa de la estación científica. Estación 2 “Zona de influencia”, sector de influencia directa y estación 3 “Después de la zona de influencia”, 500 m aguas abajo del punto de influencia.

Las estaciones fueron georeferenciadas con el empleo de un equipo de posicionamiento global (GPS) marca Garmin eTrex 30. Las coordenadas y



Figura 1. Mapa de Arajuno, Pastaza-Ecuador (Fuente: maps.google.com.ec)

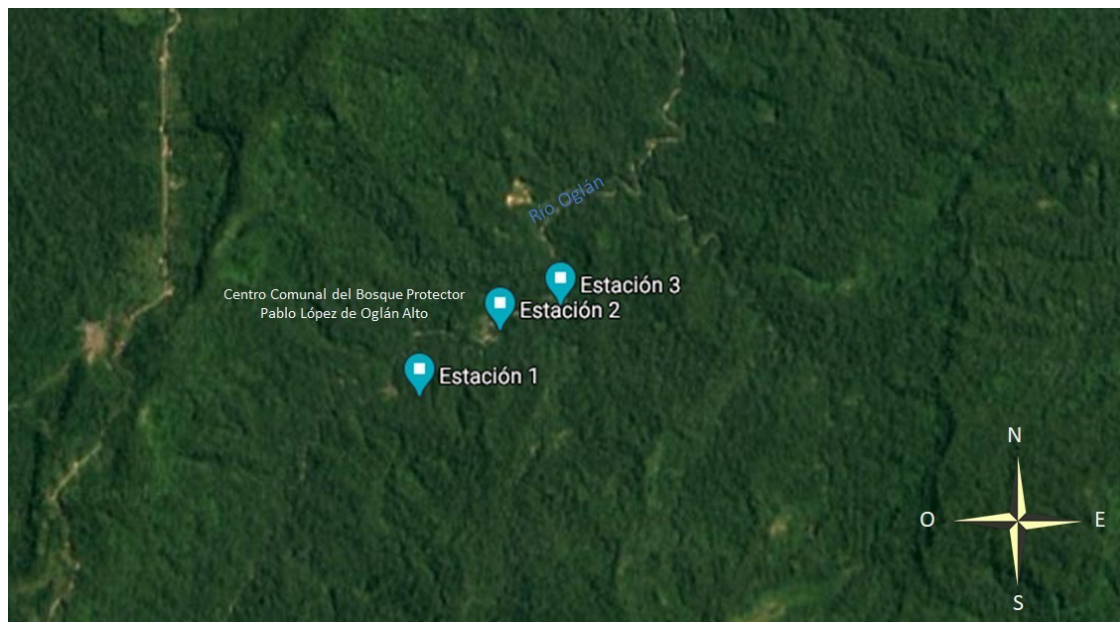


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo a lo largo del Río Oglán (Fuente: maps.google.com.e. Modificado por Calvopiña G, 2019)

altitudes registradas fueron: Estación 1 “Control” 77° 41’ 34,2” - 01° 19’ 38,5” a 623 m s. n. m. Estación 2 “Zona de influencia” 77° 41’ 18,8” - 01° 19’ 25,0” a 581 m s. n. m. y estación 3 “Después de la zona de influencia” 77° 41’ 06,4” - 01° 19’ 20,3” a 572 m s. n. m.

Muestreo.- El muestreo se realizó en dos temporadas, la primera con afluencia de 20 visitantes (septiembre de 2017) y la segunda con afluencia de 80 visitantes (enero de 2018). En cada estación de muestreo se colectaron cuatro muestras de sitios referenciales que presentaron relevancia ecológica del ecosistema. Se colectó una muestra a través de la técnica de filtrado con una red cónica de 30 μ m de poro y tres muestras mediante el raspado en piedra. Las muestras fueron aforadas a 100 mL y después divididas en dos frascos colectores por separado en un volumen de 50 mL. Una de las alícuotas de cada muestra fue aforada a 100 mL con el preservante Transeau (6:3:1 agua destilada, alcohol potable y formol), en tanto que los frascos que contenían la muestra en vivo no se aforaron para su posterior análisis directo en el laboratorio.

La identificación de fitoplancton se realizó con las muestras en vivo. De cada frasco colector se extrajo el sedimento aforándolo a 10 mL en un tubo Vacutainer. El recuento de los organismos fitoplanctónicos se realizó a través del microscopio compuesto marca Laboval, siguiendo el método de Recuento Celular Total, realizando un barrido de placa. La diversidad se calculó de acuerdo al índice de Shannon-Wiener.

De manera simultánea a la toma de muestras fitoplanctónicas y mediante el uso de un kit multifactorial marca HANNA, se registraron indicadores físicos in situ como: potencial de hidrógeno (pH), temperatura en grados Celcius (°C), total de sólidos disueltos (TDS) en partes por millón (ppm), conductividad en microsiemens (μ S). Además, se colectaron 2L de agua en cada punto para el análisis químico en el Laboratorio de Oferta, Servicios y Productos (OCP) de la Universidad Central del Ecuador. Los parámetros analizados fueron demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) medida en miligramos de oxígeno por litro (mgO_2/L), demanda química de oxígeno (DQO) medida en mgO_2/L , fosfatos (mg/L), nitratos (mg/L) y nitritos (mg/L). Para el análisis físico químico del agua se consideró la información de Índices de Calidad y de Contaminación del Agua de Fernández y Solana (2007), Registro Oficial de la República del Ecuador N° 387 (2015) y Maza

(2017) en los cuales se incluyen parámetros para los estudios limnológicos.

Otro factor estudiado in situ fue el caudal del río. Este componente se lo determinó por el método de velocidad superficial que consiste en multiplicar el área (ancho por profundidad) por la velocidad (distancia sobre tiempo). El ancho se midió en metros mediante el uso de una piola extendida de orilla a orilla en tanto que para la medición de la profundidad, se incrustó a cada metro un madero siguiendo el ancho del río. El tiempo se calculó empleando un recipiente plástico vacío de 120 mL que se dejó flotar una distancia de 26 m (Correa 2012).

Con los géneros registrados se determinó la diversidad de organismos plactónicos a través del índice de diversidad de Shannon-Wiener. El procesamiento de los datos físicos y químicos se realizó mediante el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Se aplicó la prueba Kolmogorov-Smirnov (KS) con una significancia del 5 % para determinar si existe una distribución normal de los datos y realizar la correlación de Pearson y su regresión lineal. Para el análisis comparativo entre los datos recolectados en las dos muestreos, se aplicó la prueba ANOVA.

RESULTADOS

Caracterización física y química del agua.- Las características sobresalientes por estación y por muestreo indican que en el primer monitoreo, en la estación 1 “Control” el total de sólidos disueltos (TDS), la conductividad y fosfatos registran un nivel superior al permitido. Los TDS determinan que el cuerpo de agua está ligeramente contaminado y la conductividad pone en evidencia a un cuerpo de agua pobre. En la estación 2 “Zona de influencia” así como en la estación 3 “Después de la zona de influencia” dos parámetros se encuentran fuera de rango, la conductividad y fosfatos que superan el límite permitido.

En el segundo muestreo, en la estación 1 “Control”, la conductividad está fuera del límite permitido. En la estación 2 “Zona de influencia”, la cantidad de fosfatos está en el límite superior permitido. Finalmente, en la estación 3 “Después de la zona de influencia” el parámetro que se ve incrementado es el nivel de fosfatos el mismo que, a diferencia del punto anterior, excede el límite.

Caracterización de la comunidad planctónica.- Con respecto al componente fitoplanctónico, se

registró un total de 227 individuos distribuidos en 32 géneros y 29 familias. Las familias más diversas lo constituyen Oscillatoriaceae con tres géneros (*Lyngbya* C. Agardh ex Gomont, 1892, *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont, 1892 y *Phormidium* Kützing ex Gomont, 1892) y Amphipleuraceae con dos géneros (*Amphipleura* Kützing, 1844 y *Frustulia* Rabenhorst, 1853). Los géneros con mayor número de individuos corresponden a *Anabaena* Kützing, 1843 con 68, *Leptolyngbya* Anagnostidis & Komárek, 1988 con 34 y *Euglena* Ehrenberg, 1830 con 15 individuos.

En relación al componente de perifiton, el total de individuos asciende a 2403 distribuidos en 42 géneros y 35 familias. La familia más diversa es Oscillatoriaceae con tres géneros (*Lyngbya*, *Oscillatoria* y *Phormidium*). Los géneros con mayor número de individuos pertenecen a *Navicula* Bory, 1822 con 650, *Gomphonema* Ehrenberg, 1832 con 432 y *Achnanthyidium* Kützing, 1844 con 288 individuos.

El análisis de diversidad durante el primer muestreo indica que en la estación 1 “Control” se encontraron 28 organismos de fitoplancton agrupados en 10 géneros y una familia en cada género. Los géneros con mayor número de individuos son *Euglena* con

ocho, seguido de *Leptolyngbya* con siete. En la estación 2 “Zona de influencia”, hay un total de 111 individuos de fitoplancton agrupados en 20 géneros y 19 familias. La familia más diversa corresponde a Oscillatoriaceae con dos géneros (*Oscillatoria* y *Phormidium*). El género con mayor número de individuos es *Anabaena* con 68 organismos. En la estación 3 “Después de la zona de influencia” se registran 53 organismos, distribuidos en 17 géneros y 15 familias. Destaca la familia Oscillatoriaceae con los géneros *Lyngbya*, *Oscillatoria* y *Phormidium*. El género más frecuente es *Leptolyngbya* con 20 individuos.

Respecto a la diversidad de perifiton, en la estación 1 “Control” se encontraron 91 organismos, los que se agrupan en 18 géneros y 17 familias. La familia Achnanthidiaceae sobresale por su diversidad con *Achnanthidium* y *Planothidium* Round & L. Bukhtiyarova, 1996.

Los géneros más numerosos corresponden a *Navicula* y *Leptolyngbya* con 16 y 15 organismos respectivamente. En la estación 2 “Zona de influencia” se registran 1927 organismos distribuidos en 29 géneros y 27 familias, de las cuales las familias más diversas son Bacillariaceae con los géneros *Hantzschia* Grunow, 1877 y

Tabla 1. Características físicas y químicas del agua de las estaciones de muestreo

Estación de muestreo	Primer muestreo			Segundo muestreo		
	Control	Zona influencia	Después de la zona influencia	Control	Zona influencia	Después de la zona influencia
¹ pH	7.13	6.65	6.76	7.05	7.34	7.37
² T °C	21.65	22.72	22.43	21.07	21.28	21.2
³ TDS (ppm)	41	20.17	21	19	18.17	18.5
Conductividad ⁴ (us)	50.5	40.33	43.17	40.83	36.17	37.67
⁵ DBO5 mgO ₂ /L	<5	<5	<5	<5	<5	<5
⁶ DQO mgO ₂ /L	13.5	11	14	8	<8	8
Fosfatos (P-PO ₄ ³⁻) mg/L	0.45	0.5	0.5	0.1	0.25	0.45
Nitratos (N-NO ₃ ⁻) mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.45	0.45	0.45
Nitritos (N-NO ₂ ⁻) mg/L	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010

¹pH= Potencial de Hidrógeno; ²T= Temperatura en grados centígrados; ³TDS= Total de sólidos disueltos en partes por millón; ⁴us= Conductividad expresada en microsiemens; ⁵DBO5= Demanda bioquímica de oxígeno medida en miligramos de oxígeno por litro; ⁶DQO= Demanda química de oxígeno medida en miligramos de oxígeno por litro.

Tabla 2. Organismos de fitoplancton registrados en el Río Oglán por muestreo y estaciones de muestreo

Nº	Familia	Género	Especie	1er muestreo			2do muestreo			Total
				E1	E2	E3	E1	E2	E3	
1			<i>Nitzschia</i> sp.1 Hassall, 1845			1				1
2	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> sp.2 Hassall, 1845		4					4
3			<i>Nitzschia</i> sp.4 Hassall, 1845				2			2
4			<i>Achnanthes</i> sp.1 Kützing, 1844	2						2
5	Achnanthesaceae	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i> sp.4 Kützing, 1844			1				1
6			<i>Achnanthes</i> sp.6 Kützing, 1844					1		1
7			<i>Cymbella</i> sp.1 C. Agardh, 1830		1					1
8	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema</i> sp.2 Ehrenberg, 1832	1		1			1	3
9			<i>Gomphonema</i> sp.3 Ehrenberg, 1832		2					2
10			<i>Eunotia</i> sp.2 Ehrenberg, 1837		2					2
11	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria</i> sp.1 Lyngbye, 1819	1	2	2				5
12			<i>Fragilaria</i> sp.2 Lyngbye, 1819						1	1
13			<i>Ulnaria</i> sp.1 (Kützing) Compère, 2001		2					2
14	Achnanthesaceae	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i> sp.2 Bory, 1822	1						1
15			<i>Achnanthes</i> sp.4 Bory, 1822			2				2
16			<i>Achnanthes</i> sp.5 Bory, 1822					2		2
17	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura</i>	<i>Amphipleura</i> sp.7 Bory, 1822			1		1		2
18			<i>Amphipleura</i> sp.1 Kützing, 1844		1					1
19			<i>Frustulia</i> sp.1 Rabenhorst, 1853			1				1
20	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp.1 Bory, 1822	1						1
21			<i>Navicula</i> sp.2 Bory, 1822	2						2
22			<i>Navicula</i> sp.4 Bory, 1822					1		1
23	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp.5 Bory, 1822							0
24			<i>Navicula</i> sp.6 Bory, 1822					1		1
25			<i>Navicula</i> sp.10 Bory, 1822							0
26	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	<i>Navicula</i> sp.11 Bory, 1822		6					6
27			<i>Navicula</i> sp.14 Bory, 1822		1				1	2
28			<i>Pinnularia</i> sp.3 Ehrenberg, 1843		1					1
29	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	<i>Pinnularia</i> sp.4 Ehrenberg, 1843			1	2			3
30			<i>Rhopalodia</i> sp.1 O. Müller, 1895			1				1
31			<i>Surirella</i> sp.3 Turpin, 1828	1		1				2
32	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	<i>Surirella</i> sp.4 Turpin, 1828		1					1
33			<i>Surirella</i> sp.5 Turpin, 1828						1	1
34			<i>Surirella</i> sp.8 Turpin, 1828					2		2
35			<i>Surirella</i> sp.9 Turpin, 1828					1		1

Continuación **Tabla 2.** Organismos de fitoplancton registrados en el Río Oglán por muestreo y estaciones de

Fitoplancton			1er muestreo					2do muestreo				
Nº	Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	Total	E1	E2	E3	Total	Total
36	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	<i>Closterium</i> sp.4 Nitzsch ex Ralfs, 1848				0			1	1	1
37			<i>Cosmarium</i> sp.2 Corda ex Ralfs, 1848		1		1				0	1
38	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium</i> sp.7 Corda ex Ralfs, 1848		2		2				0	2
39			<i>Cosmarium</i> sp.8 Corda ex Ralfs, 1848		1		1				0	1
40	Zygnemataceae	Aff. <i>Zygnema</i>	Aff. <i>Zygnema</i> sp.1 C. Agardh, 1817				0		1		1	1
41	Chlamydomonadaceae	Aff. <i>Chlamydomonas</i>	Aff. <i>Chlamydomonas</i> sp.1 Ehrenberg, 1833			1	1		3		3	4
42			<i>Oedogonium</i> sp.1 Link ex Hirn, 1900	1			1				0	1
43	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i>	<i>Oedogonium</i> sp.2 Link ex Hirn, 1900	1			1	1		1	2	3
44			<i>Oedogonium</i> sp.3 Link ex Hirn, 1900			2	2				0	2
45	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus</i> sp.1 Meyen, 1829	2			2				0	2
46	No determinada	Morpho 3	Morpho 3			2	2				0	2
47	No determinada	Morpho 4	Morpho 4		1		1				0	1
48	Cladophoraceae	<i>Cladophora</i>	<i>Cladophora</i> sp.2		1	1	2				0	2
49	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena</i> sp.1 Kützinger, 1843		68		68				0	68
50	Scytonemataceae	<i>Scytonema</i>	<i>Scytonema</i> sp.2 C. Agardh ex É. Bornet & C. Flahault, 1886		1	3	4	2			2	6
51	Gomontiellaceae	Aff. <i>Komvophoron</i>	Aff. <i>Komvophoron</i> sp.2 K. Anagnostidis & J. Komárek, 1988			2	2				0	2
52			<i>Lyngbya</i> sp.1 C. Agardh ex Gomont, 1892			1	1				0	1
53		<i>Lyngbya</i>	<i>Lyngbya</i> sp.2 C. Agardh ex Gomont, 1892				0			1	1	1
54			<i>Lyngbya</i> sp.3 C. Agardh ex Gomont, 1892			1	1				0	1
55			<i>Oscillatoria</i> sp.1 Vaucher ex Gomont, 1892			1	1				0	1
56	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.3 Vaucher ex Gomont, 1892		4		4				0	4
57			<i>Oscillatoria</i> sp.4 Vaucher ex Gomont, 1892			1	1				0	1
58			<i>Phormidium</i> sp.1 Kützinger ex Gomont, 1892		1		1				0	1
59			<i>Phormidium</i> sp.2 Kützinger ex Gomont, 1892			2	2				0	2
60	Leptolyngbyaceae	<i>Leptolyngbya</i>	<i>Leptolyngbya</i> sp.1 Anagnostidis & Komárek, 1988	7	4	20	31		2	1	3	34
61	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	<i>Euglena</i> sp.1 Ehrenberg, 1830	8			8	7			7	15
62	Peranemidae	<i>Peranema</i>	<i>Peranema</i> sp.1 Dujardin, 1841		2		2				0	2
63	Vaucheriaceae	Aff. <i>Vaucheria</i>	Aff. <i>Vaucheria</i> sp.1 A.P. de Candolle, 1801			1	1				0	1
64	Tetramitidae	Aff. <i>Tetramitus</i>	Aff. <i>Tetramitus</i> sp.1 Perty, 1852		1		1			1	1	2
Total			29 familias 2 no determinadas	28	111	50	189	14	13	11	38	227
			32 géneros 2 no determinados	62 especies 2 no determinadas								

Tabla 3. Organismos de perifiton registrados en el Río Oglán por muestreo y estaciones de muestreo

N°	Familia	Género	Perifiton Especie	1er muestreo				2do muestreo				Total
				E1	E2	E3	Total	E1	E2	E3	Total	
1		<i>Hantzschia</i>	<i>Hantzschia</i> sp.1 Grunow, 1877		1		1			0	1	
2			<i>Nitzschia</i> sp.1 Hassall, 1845			1	1	1		1	2	
3	Bacillariaceae		<i>Nitzschia</i> Hassall, 1845		2		2		1	1	3	
4			<i>Nitzschia</i> sp.3 Hassall, 1845		8		8			0	8	
5			<i>Nitzschia</i> sp.4 Hassall, 1845					0	4	2	6	
6			<i>Achnanthydium</i> sp.2 Kützing, 1844		4	83		87	1	1	2	89
7			<i>Achnanthydium</i> sp.3 Kützing, 1844		120	32	152			0	152	
8			<i>Achnanthydium</i> sp.5 Kützing, 1844	4	16		20	1		1	21	
9		<i>Achnanthydium</i>	<i>Achnanthydium</i> sp.6 Kützing, 1844		11		11	1	4	3	19	
10			<i>Achnanthydium</i> sp.7 Kützing, 1844		2		2			0	2	
11	Achnanthaceae		<i>Achnanthydium</i> sp.8 Kützing, 1844		5		5			0	5	
12			<i>Planothidium</i> sp.1 Round & L.Bukhtiyarova, 1996	4			4			0	4	
13		<i>Planothidium</i>	<i>Planothidium</i> sp.2 Round & L.Bukhtiyarova, 1996	1			1	2		2	3	
14			<i>Planothidium</i> sp.3 Round & L.Bukhtiyarova, 1996				0		5	5	5	
15			<i>Rhoicosphenia</i> sp.1 Grunow, 1860			1	1			0	1	
16	Bacillariophyceae		<i>Rhoicosphenia</i> sp.2 Grunow, 1860				0		3	3	3	
17			<i>Rhoicosphenia</i> sp.3 Grunow, 1860				0		3	3	3	
18	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella</i> sp.1 C. Agardh, 1830	1	6	1	8			0	8	
19			<i>Gomphonema</i> sp.1 Ehrenberg, 1832	1		1		0	1	0	1	
20			<i>Gomphonema</i> sp.2 Ehrenberg, 1832	2	108	2	112		17	17	129	
21			<i>Gomphonema</i> sp.3 Ehrenberg, 1832		112		112			0	112	
22			<i>Gomphonema</i> sp.4 Ehrenberg, 1832		17		17		3	3	20	
23			<i>Gomphonema</i> sp.5 Ehrenberg, 1832		32	1	33			0	33	
24	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema</i> sp.6 Ehrenberg, 1832		5		5			0	5	
25			<i>Gomphonema</i> sp.7 Ehrenberg, 1832		106	3	109			0	109	
26			<i>Gomphonema</i> sp.8 Ehrenberg, 1832		6		6			0	6	
27			<i>Gomphonema</i> sp.9 Ehrenberg, 1832		6		6			0	6	
28			<i>Gomphonema</i> sp.10 Ehrenberg, 1832		8		8			0	8	
29			<i>Gomphonema</i> sp.11 Ehrenberg, 1832				0	1	2	3	3	
30			<i>Eunotia</i> sp.1 Ehrenberg, 1837		155	1	156			0	156	
31	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia</i> sp.2 Ehrenberg, 1837		30		30		3	3	33	
32			<i>Eunotia</i> sp.3 Ehrenberg, 1837		1		1			0	1	

Continuación Tabla 3. Organismos de perifiton registrados en el Río Oglán por muestreo y estaciones de

N°	Familia	Género	Especie	Perifiton			1er muestreo			2do muestreo			Total
				E1	E2	E3	Total	E1	E2	E3	Total		
33	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria</i> sp.1 Lyngbye, 1819					90				0	90
34	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>	<i>Ulnaria</i> (Kutzing) Compère, 2001					34				0	34
35				7								0	7
36			<i>Achnanthes</i> sp.1 Bory, 1822			3	3					0	3
37			<i>Achnanthes</i> sp.3 Bory, 1822									0	0
38	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i> sp.4 Bory, 1822						1			1	1
39			<i>Achnanthes</i> sp.5 Bory, 1822							1		1	2
40			<i>Achnanthes</i> sp.6 Bory, 1822		1	3	4		1			1	5
41			<i>Achnanthes</i> sp.8 Bory, 1822					0		1		1	1
42		<i>Amphipleura</i>	<i>Amphipleura</i> sp.1 Kützing, 1844		2		2					0	2
43			<i>Frustulia</i> sp.1 Rabenhorst, 1853			1	1					0	1
44	Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i>	<i>Frustulia</i> sp.2 Rabenhorst, 1853	4			4	2				2	6
45			<i>Frustulia</i> sp.3 Rabenhorst, 1853							1		1	1
46		<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma</i> sp.1 Hassall, 1845					0		1		1	1
47			<i>Navicula</i> sp.1 Bory, 1822	4	22	9	35		22			22	57
48			<i>Navicula</i> sp.2 Bory, 1822		9		9		2			2	11
49			<i>Navicula</i> sp.3 Bory, 1822		43		43				2	2	45
50			<i>Navicula</i> sp.4 Bory, 1822		165		165	7	2			9	174
51			<i>Navicula</i> sp.5 Bory, 1822	1	119		120		5			5	125
52			<i>Navicula</i> sp.6 Bory, 1822	7	70	1	78				5	5	83
53	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp.7 Bory, 1822		28		28					0	28
54			<i>Navicula</i> sp.8 Bory, 1822		5		5					0	5
55			<i>Navicula</i> sp.9 Bory, 1822			1	1					0	1
56			<i>Navicula</i> sp.10 Bory, 1822	4	97	9	110					0	110
57			<i>Navicula</i> sp.11 Bory, 1822		2		2					0	2
58			<i>Navicula</i> sp.12 Bory, 1822				0	2				2	2
59			<i>Navicula</i> sp.13 Bory, 1822				0		5	1		6	6
60			<i>Navicula</i> sp.14 Bory, 1822				0			1	1	1	1
61			<i>Pinnularia</i> sp.1 Ehrenberg, 1843		1		1					0	1
62			<i>Pinnularia</i> sp.2 Ehrenberg, 1843		25		25					0	25
63	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia</i> sp.4 Ehrenberg, 1843		22		22					0	22
64			<i>Pinnularia</i> sp.5 Ehrenberg, 1843		3		3					0	3
65			<i>Pinnularia</i> sp.6 Ehrenberg, 1843			1	1					0	1
66	Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i>	<i>Pinnularia</i> sp.7 Ehrenberg, 1843				0			1		1	1
			<i>Sellaphora</i> sp.1 Mereschowsky, 1902		24		24					0	24

Continuación Tabla 3. Organismos de perifiton registrados en el Río Oglán por muestreo y estaciones de

N°	Familia	Género	Especie	Perifiton			1er muestreo				2do muestreo			Total
				E1	E2	E3	Total	E1	E2	E3	Total			
67	Rhopodiaceae	<i>Epithemia</i>	<i>Epithemia</i> sp.1 Kützing, 1844	1			1						0	1
68			<i>Surirella</i> sp.1 Turpin, 1828		10			10					0	10
69			<i>Surirella</i> sp.2 Turpin, 1828		1			1					0	1
70			<i>Surirella</i> sp.3 Turpin, 1828				1						0	1
71	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	<i>Surirella</i> sp.4 Turpin, 1828		1		1					0	1	
72			<i>Surirella</i> sp.5 Turpin, 1828		8		8					0	8	
73			<i>Surirella</i> sp.6 Turpin, 1828		6		6					0	6	
74			<i>Surirella</i> sp.7 Turpin, 1828		1		1					0	1	
75			<i>Surirella</i> sp.10 Turpin, 1828							1			1	1
76			Melosiraceae	<i>Melosira</i>	<i>Melosira</i> sp.1 C.Agardh, 1824		13	20	33					0
77	<i>Melosira</i> sp.2 C.Agardh, 1824				5		5					0	5	
78	No determinada	Morpho 2			1		1					0	1	
79			<i>Closterium</i> sp.1 Nitzsch ex Ralfs, 1848		2		2					0	2	
80	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	<i>Closterium</i> sp.2 Nitzsch ex Ralfs, 1848		4		4					0	4	
81			<i>Closterium</i> sp.3 Nitzsch ex Ralfs, 1848		4		4					0	4	
82			<i>Closterium</i> sp.5 Nitzsch ex Ralfs, 1848		1		1					0	1	
83			<i>Actinotaenium</i> sp.1 (Nägeli) Teiling, 1954				0			1		1	1	1
84			<i>Cosmarium</i> sp.1 Corda ex Ralfs, 1848		43		43			3		3	46	
85			<i>Cosmarium</i> sp.2 Corda ex Ralfs, 1848		22		22					0	22	
86	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium</i> sp.3 Corda ex Ralfs, 1848		2		2					0	2	
87			<i>Cosmarium</i> sp.4 Corda ex Ralfs, 1848		16		16		1		1	17	17	
88			<i>Cosmarium</i> sp.5 Corda ex Ralfs, 1848		1		1				0	1	1	
89			<i>Cosmarium</i> sp.6 Corda ex Ralfs, 1848									0	1	
90			<i>Cosmarium</i> sp.9 Corda ex Ralfs, 1848	1	36		36			5		5	41	
91	Peniaceae	Aff. <i>Penium</i>	Aff. <i>Penium</i> sp.1 Brébisson ex Ralfs, 1848		5		5					0	5	
92			<i>Mougeotia</i> sp.1 C.Agardh, 1824		3		3					0	3	
93	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>	<i>Mougeotia</i> sp.2 C.Agardh, 1824									2	2	
94	Chlamydomonadaceae	Aff. <i>Chlamydomonas</i>	Aff. <i>Chlamydomonas</i> sp.1 Ehrenberg, 1833	1	6	2	9	1	1	13	15	24	24	
95			<i>Oedogonium</i> sp.1 Link ex Him, 1900		8		8		1		1	9	9	
96			<i>Oedogonium</i> sp.2 Link ex Him, 1900		4		4			4		4	8	
97	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i>	<i>Oedogonium</i> sp.3 Link ex Him, 1900		24		24					0	24	
98			<i>Oedogonium</i> sp.4 Link ex Him, 1900						1			1	1	
99	Microsporaceae	<i>Microspora</i>	<i>Microspora</i> sp.1 Thuret, 1850		4		4					0	4	
100	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus</i> sp.2 Meyen, 1829	1			1					0	1	

Continuación Tabla 3. Organismos de perifiton registrados en el Río Oglán por muestreo y estaciones de

N°	Familia	Género	Especie	Perifiton			1er muestreo				2do muestreo			Total
				E1	E2	E3	Total	E1	E2	E3	Total			
101	Oocystaceae	Aff. <i>Oocystis</i>	Aff. <i>Oocystis</i> sp.1 Nägeli ex A.Braun, 1855			2	2				0	2		
102			<i>Cladophora</i> sp.1 Kützing, 1843		30		30				0	30		
103	Cladophoraceae		<i>Cladophora</i> sp.2 Kützing, 1843		1		1				0	1		
104			<i>Cladophora</i> sp.3 Kützing, 1843					0	1		1	1		
105	Scytonemataceae	<i>Scytonema</i>	<i>Scytonema</i> sp.1 C.Agardh ex É.Bornet & C.Flahault, 1886			22	22				0	22		
106			Aff. <i>Komvophoron</i> sp.1 K.Anagnostidis & J.Komárek, 1988			1	1				0	1		
107	Gomontiellaceae	Aff. <i>Komvophoron</i>	Aff. <i>Komvophoron</i> sp.2 K.Anagnostidis & J.Komárek, 1988	3	5	4	12				0	12		
108			Aff. <i>Komvophoron</i> sp.3 K.Anagnostidis & J.Komárek, 1988			2	2				0	2		
109		<i>Lyngbya</i>	<i>Lyngbya</i> sp.1 C.Agardh ex Gomont, 1892	5	5	2	12				0	12		
110			<i>Lyngbya</i> sp.2 C.Agardh ex Gomont, 1892		1		1				0	1		
111			<i>Oscillatoria</i> sp.1 Vaucher ex Gomont, 1892		4	9	13				0	13		
112	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.2 Vaucher ex Gomont, 1892		15		15				0	15		
113			<i>Oscillatoria</i> sp.3 Vaucher ex Gomont, 1892		1		1				0	1		
114			<i>Oscillatoria</i> sp.4 Vaucher ex Gomont, 1892			6	6				0	6		
115		<i>Phormidium</i>	<i>Phormidium</i> sp.3 Kützing ex Gomont, 1892			4	4				0	4		
116	Leptolyngbyaceae	<i>Leptolyngbya</i>	<i>Leptolyngbya</i> sp.1 Anagnostidis & Komárek, 1988	15	6	10	31	1	19	10	30	61		
117	Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena</i>	<i>Pseudanabaena</i> sp.1 Lauterborn, 1915	2		2	2				0	2		
118	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	<i>Euglena</i> sp.1 Ehrenberg, 1830			1	1				0	1		
119	No determinada	Morpho 5	Morpho 5				0		2		2	2		
120	Anisomonidaceae	<i>Anisomonema</i>	<i>Anisomonema</i> sp.1 Dujardin, 1841	12			12			1	1	13		
121			<i>Anisomonema</i> sp.2 Dujardin, 1841				0			1	1	1		
122	Peranemidae	<i>Peranema</i>	<i>Peranema</i> sp.1 Dujardin, 1841	2	1	3	6				0	6		
123	Tetramitidae	Aff. <i>Tetramitus</i>	Aff. <i>Tetramitus</i> sp.1 Perty, 1852	4	25	2	31	15		18	33	64		
Total				91	1927	162	2180	46	122	55	223	2403		
35 Familias				121 Especies										
2 no determinadas				2 no determinados										

Nitzschia Hassall, 1845 y la familia Oscillatoriaceae con los géneros *Lyngbya* y *Oscillatoria*. Los géneros con mayor representatividad son *Navicula* con 560 individuos, seguido de *Gomphonema* con 400. La estación 3 “Después de la zona de influencia” presenta 162 individuos agrupados en 20 familias. La familia Oscillatoriaceae presenta la mayor diversidad en géneros con *Lyngbya*, *Oscillatoria* y *Phormidium*. Los géneros más notables corresponden a *Achnanthes* y *Scytonema* C. Agardh ex É. Bornet & C. Flahault, 1886 con 32 y 22 individuos respectivamente.

En el segundo muestreo, la estación 1 “Control” registró 14 organismos de fitoplancton agrupados en cinco géneros y cinco familias, todas representadas con un género. El género con mayor número de individuos es *Euglena* con siete. En la estación 2 “Zona de influencia”, hay un total de 13 individuos de fitoplancton agrupados en seis géneros y seis familias. No destaca ninguna familia en su diversidad por géneros, pues todas constan de un género. El género con mayor número de individuos es *Chlamydomonas* Ehrenberg, 1833 con tres organismos. En la estación 3 “Después de la zona de influencia” se registran 11 organismos, distribuidos en 10 géneros y 10 familias. Al igual que el punto anterior, no sobresale ninguna familia por su diversidad, similar situación ocurre con los géneros que a excepción de *Navicula* que incluye dos individuos, los géneros restantes constan de uno solo.

Respecto a la diversidad de perifiton, en la estación 1 “Control” se encontraron 46 organismos, que se agrupan en 13 géneros y 12 familias. La familia Achnanthesiaceae sobresale por su diversidad con *Achnanthes* y *Planorbulina*. Los géneros más numerosos corresponden a Aff. *Tetramitus* Perty, 1852 y *Navicula* con 15 y 11 organismos

respectivamente. En la estación 2 “Zona de influencia” se registran 122 organismos distribuidos en 17 géneros y 14 familias, de las cuales las familias más diversas son Achnanthesiaceae (*Achnanthes* y *Planorbulina*), Naviculaceae (*Gyrodinium* Hassall, 1845 y *Navicula*) y Desmidiaceae (*Actinotaenium* (Nägeli) Teiling, 1954 y *Cosmarium* Corda ex Ralfs, 1848) con dos géneros cada una. Los géneros con mayor representatividad son *Navicula* con 34 individuos, seguido de *Gomphonema* con 22. En la estación 3 “Después de la zona de influencia” se encontraron 55 individuos agrupados en seis géneros y seis familias. No se registra riqueza en géneros de ninguna de las familias. Los géneros más notables corresponden a Aff. *Tetramitus* seguido de Aff. *Chlamydomonas* con 18 y 13 organismos respectivamente.

La diversidad de Shannon-Wiener para el fitoplancton y perifiton evidencia que no hay variación entre zonas de muestreo y tampoco entre los dos períodos de monitoreo, pues las categorías de diversidad tienen tendencia a mantenerse entre calificación de media y alta.

En cuanto a los géneros dominantes, en el primer muestreo se registran *Navicula*, *Gomphonema*, *Oscillatoria*, *Euglena* y *Anabaena* como géneros bioindicadores de polución orgánica (Ramírez 2000). En el segundo muestreo se reconocen los géneros bioindicadores *Navicula*, *Gomphonema*, *Chlamydomonas* y *Euglena*.

Los géneros bioindicadores de polución orgánica comunes en los dos períodos de muestreo por estación son: “Control”, *Navicula* y *Euglena*, “Zona de influencia” *Navicula*, *Gomphonema*, *Anabaena* y *Chlamydomonas*; y en la zona “Después de la influencia” *Oscillatoria* y *Chlamydomonas*.

Tabla 4. Diversidad de plancton según índice Shannon-Wiener

Estación de muestreo	Primer muestreo			Segundo muestreo		
	Perifiton (P)	Fitoplancton (F)	Diversidad P-F	Perifiton (P)	Fitoplancton (F)	Diversidad P/F
Control	4.10	3.03	Alta-Alta	3.43	1.98	Alta-Media
Zona de influencia	5.06	2.60	Alta-Media	4.12	2.87	Alta-Media
Después de la zona de influencia	4.09	3.58	Alta-Alta	2.6	3.46	Media-Alta

Tabla 5. Dominancia de géneros en cada estación de muestreo

Estación de muestreo	Primer muestreo				Segundo muestreo			
	Perifiton	f	Fitoplancton	f	Perifiton	f	Fitoplancton	f
Control	<i>Navicula</i>	16	<i>Euglena</i>	8	Aff. <i>Tetramitus</i>	15	<i>Euglena</i>	7
	<i>Leptolyngbya</i>	15	<i>Leptolyngbya</i>	7	<i>Navicula</i>	11		
	<i>Anisonema</i>	12	<i>Navicula</i>	3	<i>Achnanthydium</i>	5		
Zona de influencia	<i>Navicula</i>	560	<i>Anabaena</i>	68	<i>Navicula</i>	34	<i>Achnanthes</i>	3
	<i>Gomphonema</i>	400	<i>Navicula</i>	7	<i>Gomphonema</i>	22	Aff. <i>Chlamydomonas</i>	3
	<i>Achnanthydium</i>	237			<i>Leptolyngbya</i>	19	<i>Surirella</i>	3
Después de la zona de influencia	<i>Achnanthydium</i>	32	<i>Leptolyngbya</i>	20	Aff. <i>Tetramitus</i>	18		
	<i>Scytonema</i>	22			Aff. <i>Chlamydomonas</i>	13		
	<i>Oscillatoria</i>	15			<i>Leptolyngbya</i>	10		

f: frecuencia

Análisis de la calidad del agua. - Mediante la correlación de Pearson se obtuvo dos correlaciones directamente proporcionales formadas por el caudal-fosfatos y temperatura-fosfatos con un 84,5 % de correlación determinando una correlación fuerte. Mientras que la correlación entre los habitantes-fosfatos es inversamente proporcional, es decir que a medida que aumentan el número de habitantes disminuye el número de fosfatos con un 84,5 % de correlación. El análisis de la significancia se mantiene con el 0,155 para todas las correlaciones, lo cual indica que existe un 15,5 % de error al realizar una correlación entre las variables, esto es normal dentro del estudio debido a la limitada cantidad de datos obtenidos.

Los modelos de regresión lineal que se generaron en base a las correlaciones fueron: 1) Fosfatos = $0,583 - 0,004 \times$ número de habitantes. Esto significa que la pendiente de la recta disminuye en 0,4 % es decir que mientras la población aumenta, el número de fosfatos disminuye, con un 71 % de pronóstico, lo que indica que es un modelo cuyas estimaciones se ajustan bastante bien a la variable real. 2) Fosfatos = $-1,002 + 0,485 \times$ cantidad de caudal. Esto significa que la pendiente de la recta aumenta en 48,5 % es decir que mientras el caudal aumenta, el número de fosfatos aumenta también, con un 71,4 % de pronóstico, lo que indica que es un modelo cuyas estimaciones se ajustan bastante bien a la variable real. 3) Fosfatos = $-3,371 + 0,170 \times$ temperatura. Esto significa que la pendiente de la recta aumenta en un 17 % es decir que mientras la temperatura aumenta, el número de fosfatos aumenta también, con un 71,4 % de pronóstico, es decir que es un modelo cuyas estimaciones se ajustan bastante bien a la variable real.

El análisis comparativo que emite la prueba ANOVA de un factor, generó los siguientes resultados: A medida que aumenta el número de habitantes la media del número de fosfatos disminuye. A medida que aumenta el caudal la media del número de fosfatos aumenta y a medida que aumenta la temperatura la media del número de fosfatos aumenta. El valor de F es 5,00 con una significancia del 0,155 que es mayor de 0,05 de significancia de acuerdo a la prueba de ANOVA. Esto demuestra que las diferencias de media de los fosfatos con respecto a las medias de habitante, caudal y temperatura no son estadísticamente significativas entre los dos muestreos.

DISCUSIÓN

De los 12 géneros registrados como dominantes, siete son bioindicadores de contaminación orgánica. De acuerdo a la escala del Índice de Polución Orgánica de Palmer, donde uno (1) indica menor contaminación y cinco (5) mayor contaminación orgánica, *Gomphonema* y *Phormidium* tienen el valor de 1, *Navicula* un valor de 3, *Chlamydomonas* el valor de 4, *Oscillatoria* y *Euglena* un valor de 5 (Ramírez 2000).

Escobar et al. (2013) corroboran la bioindicación antes citada al describir a *Euglena* como habitante propio de los canales de drenaje agrícolas, *Gomphonema* como bioindicador de contaminación orgánica y zonas donde hay presencia de nitratos, *Navicula* bioindicador de aguas ligeramente contaminadas y a *Oscillatoria* como parte de aguas con contaminación orgánica. Se cita también a *Anabaena* como bioindicador de toxicidad por metales pesados.

Resalta la “Zona de influencia”, pues además de las microalgas bioindicadoras de polución orgánica, registra un mayor número de agentes bacterianos y sarcodarios (de manera exclusiva amebas desnudas). La presencia de bacterias de vida libre evidencian un sistema sobrecargado orgánicamente y un ambiente extremadamente contaminado (Guillén et al. 2012). Similar bioindicación presentan las amebas e incluso su dominancia se asocia con situaciones de una elevada concentración de la materia orgánica (Isac et al. 1994). Esta condición particular de la zona de muestreo se explicaría por las descargas de aguas grises que sin previo tratamiento se vierten de manera directa en el cuerpo de agua.

Otro aspecto que demuestra la alteración del segmento de agua estudiado es el incremento de los niveles de fosfatos, cuyos límites establecidos se encuentran excedidos en todas las zonas de monitoreo y durante los dos muestreos. La producción de los compuestos fosfatados puede estar relacionado con la actividad antrópica, pues el uso de detergentes que contienen fosfatos inorgánicos en su composición como alcalinizadores es una de las fuentes de dichos compuestos (Guarín 2011).

Al comparar los resultados de la investigación con estudios realizados a nivel de fitoplancton y macroinvertebrados en la determinación de la calidad del agua del Río Oglán, se evidencia que los resultados se contradicen. El estudio sobre la composición fitoplanctónica realizado en cuatro microcuencas que confluyen en el Río Oglán, determina que los cuatro ríos tributarios muestreados se encuentran en estados oligotróficos (Vinueza et al. 2017), lo que se interpreta como condición de sanidad del río. La descripción citada es corroborada por Carranco (citado en Cerón et al. 2007) quien a través del estudio de macroinvertebrados señala que el agua del río de la Estación Científica es de buena calidad.

Las razones por las que se tienen distintos resultados podrían estar relacionadas con el tipo de indicador biológico, diferente micro ecosistema, época y año en que se realizaron las investigaciones y otros parámetros como calidad trófica y polución orgánica, considerados en cada estudio. Además, la evolución de la calidad del agua del Río Oglán en la zona de influencia podría deberse no solo a la intervención directa de los visitantes, sino a la actividad de los pobladores cuyos asentamientos rebasan los límites de la extensión de la zona de estudio (Universidad Central del Ecuador 2006)

La determinación de la calidad del agua a través de organismos fitoplanctónicos también ha sido considerada en la evaluación de las aguas del Río Topo y Pilaló. Los resultados son similares a los hallados en el Río Oglán, pues en los tres sistemas lóticos se determina el deterioro de la calidad de agua por la presencia de materia orgánica. Situación que es evidenciada por la presencia de algas comunes a los tres cuerpos de agua analizados como *Navicula*, *Oscillatoria*, *Phormidium* y *Euglena*. (Maila y Pérez 2016; Maila et al. 2017). La similitud en la alteración de la calidad del agua se atribuye a la presencia de asentamientos humanos en el transcurso del cauce de los ríos.

La relación inversamente proporcional entre las variables cantidad de fosfatos y número de personas, es un fenómeno que no se ajusta a la condición esperada, pues el fósforo al igual que el nitrógeno, en condiciones naturales se encuentran en menor concentración en el agua, constituyéndose en nutrientes que limitan el crecimiento de los organismos (Aubriot et al. 2016). La disminución de fosfatos en relación al mayor número de visitantes, se explicaría por el incremento del caudal generado por la precipitación al momento de la colecta de muestras. Al ser la precipitación uno de los factores climáticos que no puede ser controlado surge influencia determinante en los resultados, razón por la cual la cantidad de fosfatos, en relación al primer monitoreo, no aumentó pese al incremento de personas en el lugar de estudio.

Los resultados obtenidos permiten deducir un deterioro del cuerpo de agua en las zonas analizadas, no obstante, es necesario realizar un mayor número de monitoreos y en diferentes periodos hidrológicos, a fin de tener una visión más objetiva sobre los factores que están afectando la calidad del agua del Río Oglán, pues a más de la influencia antrópica, la abundancia, composición y distribución del fitoplancton pueden ser alteradas principalmente por el factor hidrológico en un mismo sector cada año (Reynolds 1997).

La difusión de los resultados obtenidos permitirá a la comunidad Pablo López de Oglán Alto, tomar medidas de conservación y/o mitigación para resguardar el recurso hídrico de la Estación Científica “Juri Juri Kawsay”. Así también, conservar la actividad turística propiciando un vínculo de desarrollo sustentable con el ambiente. Ignorar la situación de desmejoramiento del Río Oglán, lo pone en riesgo de mayor deterioro, dado que el aumento del nivel de fosfatos incide en el

incremento de la población algal al constituirse en su principal fuente de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente estudio dejan constancia de su gratitud a la Comunidad Etnoecológica Pablo López de Oglán Alto, por la confianza depositada en los trabajos de investigación que emprende la Universidad Central del Ecuador.

A la Dirección de Investigación de la Universidad Central, por la orientación técnica, administrativa y el financiamiento para la ejecución del proyecto.

A la doctora Miriam Steinitz Kannan Ph.D., Northern Kentucky University. Department of Biological Sciences, por el asesoramiento en la identificación de los microorganismos colectados en el Río Oglán.

Finalmente, a la Dirección de la Estación Científica Juri Juri Kawsay, en las personas del doctor Marco Altamirano Ph.D, ex director de la estación y al licenciado Fernando Pico, ex coordinador general, por el apoyo en la gestión de vinculación con la Comunidad Pablo López, así como por la apertura que brindaron para el desarrollo de trabajos de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aubriot L, Conde D, Chalar G. & Gorga J. 2016. Nutrientes. En: Arocena R, editor. Principios y métodos de limnología: ejemplos de Uruguay. Montevideo: Dirac. p. 95-116.

Cerón CE, Reyes CI, Montalvo C & Vargas M. 2007. La cuenca alta del río Oglán, Pastaza-Ecuador: diversidad, ecología y flora. Quito: Editorial Universitaria. 184 p.

Correa-Díaz, W. 2012. Calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad. Trujillo: Tesis de Biólogo. Universidad Nacional de Trujillo.

Escobar MJ, Terneus E & Yáñez P. 2013. El plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas: Análisis de caso. *Qualitas*. 5: 17-37.

Fernández N & Solana F. 2007. Índices de calidad (ICAS) y de contaminación (ICOS) del agua de importancia mundial. En: Índices de calidad y de contaminación del agua. Colombia: Universidad de

Pamplona. p. 43-113.

González A. 1988. Plancton de las aguas continentales. Caracas: Universidad Central de Venezuela. 130 p.

Guarín-Meza, L. 2011. Estandarización de las técnicas de fosfatos y cloruros en aguas crudas y tratadas para el laboratorio de la asociación municipal de acueductos comunitarios (amac) en el Municipio de Dosquebradas. Colombia: Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira.

Guillén V, Teck H, Kohlmann B, & Yeomans J. 2012. Microorganismos como bioindicadores de la calidad del agua. *Tierra tropical: Sostenibilidad, ambiente y sociedad*. 8(1): 65-93.

Isac L, Rodríguez E, Salas MD, Fernández N. 1994. Protozoos en el fango activo. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. 68 p..

Maila V, Pérez E, Apolo B, Alvarado E y García N. 2011. Estudio preliminar cualitativo de perifiton en el Río Oglán-Arajuno. Informe técnico. Quito: Dirección de la Estación Científica Juri Juri Kawsay. Universidad Central del Ecuador.

Maila MV & Pérez EY. 2016. Estudio preliminar del componente biológico planctónico de pasivos mineros en la micro-cuenca del Río Pilaló, Pujilí-Cotopaxi. *Cinchonia*. 14(1): 151-170.

Maila MV, Pérez EY & Romero JR. 2017. Comunidad fitoplanctónica del Río Topo, Tungurahua-Ecuador. *Cinchonia*. 15(1): 127-140.

Maza-Lema, J. 2017. Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de fosfato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador. Cuenca: Trabajo en ingeniería. Universidad Politécnica Salesiana.

Pinilla G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica. [Internet]. Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; [citado 2019 Ene 14]. Disponible de: <https://bit.ly/2BjdaEz>

Quiroz H, Solís O, Mora ML, Molina AI & García RJ. 2004. Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el Lago de Chapala Jalisco México. *Acta Universitaria*. 14(1): 1-25.

Ramírez JJ. 2000. Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Antioquia: Universidad de Antioquia. 207 p.

Registro Oficial de la República del Ecuador: Edición Especial N° 387. [Internet]. 2015. Ecuador: Registro Oficial de la República del Ecuador. [Bajado 2019 Jul 23]. Disponible de: Internet: <https://bit.ly/2qJVY6m>. Consultada 23-julio-2019.

Reynolds CS. 1997. Vegetation processes in the pelagica: model for ecosystem theory. Germany: Ecology Institute. 371p.

Roldán G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia. 529 p.

Schindler DW, Hecky RE, Findlay DL, Staiton MP, Parker BR, Paterson MJ, Beaty KG, Lyng M & Kasian SE. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 105(32): 11254-11258.

Vinueza R, Vargas C, Aguirre J & Yáñez J. 2017. Estudio comparativo de cuatro microcuencas del Río Oglán en función a la estructura y composición fitoplanctónica. *CienciAmérica*. [Internet]. [citado 2019 Jun 15]; 6(2): 1-9. Disponible de: <https://bit.ly/35PDeBs>

Universidad Central del Ecuador. 2006. Plan de manejo para el Bosque Protector de Oglán Alto-Arajuno. Informe técnico. Quito: Dirección de la Estación Científica Juri Juri Kawsay. Universidad Central del Ecuador.

Artículo Científico

Cambios en las frecuencias de inversiones cromosómicas en poblaciones experimentales de *Drosophila pseudoobscura*

Changes in the frequencies of chromosome inversions in experimental populations of *Drosophila pseudoobscura*

Victor M. Salceda^{1*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Departamento de Biología, Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, Ocoyoacac, Edo. de México, C.P. 52750. MÉXICO

*victor.salceda@inin.gob.mx

DOI: 10.26807/remcb.v41i2.119

Recibido 11-07-2020; Aceptado 21-10-2020

RESUMEN.- Se determinaron las fluctuaciones temporales en cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila pseudoobscura*; a partir de cromosomas politénicos se determinaron los genotipos y frecuencias relativas durante 4-6 muestreos mensuales. Poblaciones de ésta especie muestran 2-3 inversiones principales con frecuencias conjuntas del 90% del total y de 4-7 secundarias que completan la muestra. Los cambios se presentan fundamentalmente en los componentes principales, provocando oscilaciones a través del tiempo. Se obtuvieron los cambios siguientes: población Tulancingo, la inversión TL (Tree Line) pasa de 54 a 70% y su contraparte CU (Cuernavaca) de 34 a 17%. Población Zirahuén, SC (Santa Cruz) de 34 a 36%, TL de 25 a 30% y CU de 23 a 5% y de los secundarios OA (Oaxaca) de 10 a 5% y EP (Estes Park) de 3 a 12%. Población Xochimilco CU de 51 a 16%, TL de 33 a 44%, EP de 8 a 10% con un máximo intermedio de 17% y OL (Olympic) de 1 a 18%. Población Nevado de Colima SC de 65 a 45% con oscilación máxima de 74%, TL de 20 a 29% y un mínimo de 16%, OL de 5 a 17%. En general en las cuatro poblaciones el resto de las inversiones secundarias fluctuaron en promedio dos por ciento.

Palabras claves: *Drosophila pseudoobscura*, polimorfismo cromosómico, cambios temporales.

ABSTRACT.- Temporal fluctuations in four experimental populations of *Drosophila pseudoobscura* were determined, from polytene chromosome genotypes and relative frequencies were calculated during 4-6 monthly samplings. Populations of this species show 2-3 main inversions with joint frequencies of 90% of the total and of 4-7 secondaries that complete the sample. The changes occur mainly in the main components, causing oscillations through time. The following changes were obtained: Tulancingo population, TL investment (Tree Line) goes from 54 to 70% and its counterpart CU (Cuernavaca) from 34 to 17%. Population Zirahuén, SC (Santa Cruz) from 34 to 36%, TL from 25 to 30% and CU from 23 to 5% and from the secondary OA (Oaxaca) from 10 to 5% and EP (Estes Park) from 3 to 12%. Population Xochimilco CU from 51 to 16%, TL from 33 to 44%, EP from 8 to 10% with an intermediate maximum of 17% and OL (Olympic) from 1 to 18%. Nevado de Colima SC population from 65 to 45% with maximum oscillation of 74%, TL from 20 to 29% and a minimum of 16%, OL from 5 to 17%. In general, in the four populations the rest of the secondary investments fluctuated on average two percent.

Keywords: *Drosophila pseudoobscura*, chromosomal polymorphism, temporal changes

INTRODUCCIÓN

El polimorfismo cromosómico es un fenómeno ampliamente estudiado en varias especies de *Drosophila*. En *Drosophila pseudoobscura* este polimorfismo se presenta básicamente en el tercer cromosoma con al menos 40 diferentes variantes cromosómicas. Independientemente del interés particular de los investigadores por algún tema relacionado con el polimorfismo, probablemente el aspecto más estudiado es el referente a la determinación de frecuencias relativas de los diferentes morfos presentes en poblaciones naturales, esto en un elevado número de localidades, a este respecto y solo como antecedentes tenemos los trabajos de Dobzhansky y Epling (1944) y Powell (1992) en poblaciones de Estados Unidos y para poblaciones mexicanas los de Olvera et al. (1979) y Salceda et al. (2015), otros estudios relacionados son por ejemplo los de Inoue (1979), Solé et al. (2002), Ananina et al. (2004), Santos et al. (2004), Schaeffer (2008), Singh y Singh (2008), Singh y Banerjee (2009) Kapun et al. (2014) quienes relacionan el cambio en frecuencia de inversiones con la posición geográfica de las poblaciones muestreadas o con aquellas experimentales bajo condiciones de laboratorio muy similar a lo que ahora exponemos. También ha sido preocupación de los investigadores determinar los cambios en las frecuencias relativas de los diferentes arreglos cromosómicos en un elevado número de localidades a lo largo de la distribución geográfica de las especies, asimismo se han preocupado en observar en algunos sitios los cambios de esas frecuencias a través de considerables periodos y en menor número los interesados en observar el comportamiento de las poblaciones cuando se observan en condiciones controladas en el laboratorio y aún en este caso con miras a elucidar otros aspectos de la genética. En cuanto a los cambios que ocurren en poblaciones sujetas a condiciones de laboratorio, que es el caso que ahora nos preocupa, se tienen como ejemplo los estudios realizados por Dobzhansky (1949, 1961), Spiess (1966), Watanabe et al. (1970), Anderson, Dobzhansky y Pavlovsky (1972), Frutos (1978), Singh (1982) y Singh y Singh (2008). En ésta ocasión muestras de cuatro poblaciones naturales de *D. pseudoobscura* originarias de México y con frecuencias relativas propias de las respectivas localidades se transfirieron al laboratorio, donde mantenidas en condiciones controladas de temperatura y humedad se dejaron progresar para en periodos mensuales obtener muestras a fin de determinar los cambios en frecuencia relativa de las diferentes inversiones presentes en cada población.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las poblaciones se establecieron a partir de colectas de la naturaleza, de las cuales cada hembra colectada fue incubada individualmente y a la emergencia de larvas se extrajo una de cada cultivo, se hizo la disección para sacar las glándulas salivales, se tiñeron y determinó su genotipo a fin de determinar las frecuencias relativas de las inversiones presentes en cada muestra, mismas que servirán de base para las comparaciones posteriores. A los ocho días posteriores a la siembra de las moscas originales, estas se trasvasaron a una caja de población al igual que sus descendientes de la primera generación cuyas frecuencias fungirán como frecuencias iniciales. Una vez montadas las poblaciones cada mes se realizó un muestreo para mediante la preparación de laminillas obtener las correspondientes frecuencias relativas de cada sucesiva generación, las laminillas se hicieron extrayendo a cada larva de tercer estadio las glándulas salivales, teñirlas por 2-3 minutos con aceto-orceína al 5 %, y hacer el aplastamiento para la extensión de los cromosomas politénicos y facilitar su identificación cariotípica y determinación de las inversiones portadas, esto se facilitó con la ayuda de un atlas fotográfico del laboratorio y las figuras reportadas por Kastritsis y Crumacker (1966, 1967). Las cajas de población se mantuvieron con alimento a base de agar-agar, harina de maíz, levadura de cerveza, azúcar y ácido propiónico y tegosept como bactericida y fungicida de uso común en el laboratorio, mantenidas a temperatura constante de 25 ± 1 °C y humedad relativa de 65 %. Una vez obtenidas las frecuencias relativas de las diferentes inversiones presentes se construyeron las tablas y gráficas para su posterior análisis e interpretación. En cuanto a la posición geográfica de las poblaciones estudiadas se tiene la siguiente información: Tulancingo 20° 06' 37" N, 90° 21' 02" E y una altura sobre el nivel medio del mar (asnm) de 2150m; Zirahuén 19° 30' N, 101° 46' 45" E y asnm de 2100m; Xochimilco 19° 15' 04" N, 99° 06' E y una asnm de 2243m; Nevado de Colima 19° 33' 48" N, 103° 36' 31" E y colectada la muestra a una asnm de 2300m.

RESULTADOS

El estudio comprende el análisis de 5219 terceros cromosomas. Se observaron once diferentes inversiones a saber: Tree Line (TL), Cuernavaca (CU), Santa Cruz (SC), Estes Park (EP), Olympic (OL), Oaxaca (OA), Hidalgo (HI), Pikes Peak (PP), Chiricahua (CH), Tarasco (TA), Michoacán (MI) y Amecameca (AM), no todas ellas presentes en las cuatro poblaciones y asimismo con frecuencias relativas diferentes para cada localidad y su respectiva

caja de población. Claramente se vio en todas ellas la presencia de 2-3 inversiones dominantes y de 4-6 secundarias así como dos de ellas muy raras. Aunque todas variaron sus frecuencias a lo largo del estudio las que presentaron mayor variación fueron las raras, siendo estas las que en la mayoría de los casos compensaban las fluctuaciones de las principales. En las Tablas I-IV se muestran los cambios sucesivos de las frecuencias relativas a partir de la cuantificación original de la naturaleza, generación parental (GP).

Así, en la población Tulancingo (Tabla 1) cuyos arreglos principales son TL y CU estos alternaron sus frecuencias pues TL paso de un 54% al 70% en solo tres generaciones, en tanto que CU disminuyó aproximadamente a la mitad, de las inversiones menores EP fue la que tuvo cambios pues de estar ausente en la GP paso a una frecuencia cercana al 5%, las restantes cuatro inversiones detectadas no presentaron cambios notables.

En cuanto a la población Zirahuén (Tabla 2), en la que se detectaron 10 inversiones, tres son las dominantes, SC, TL y CU, las dos primeras mostraron fluctuaciones del orden del 5%, en tanto que CU redujo su presencia inicial a un mínimo de 5%; esta disminución se vio compensada por un incremento en las inversiones menores OL y EP que, estando ausente en la generación parental pasó a un 9% y la segunda de 3% al 12%, y OA decreció de 10% a la mitad, las restantes cuatro inversiones mostraron pequeñas fluctuaciones.

En la población Xochimilco (Tabla 3) observamos ocho arreglos cromosómicos diferentes, aquí como en la población Tulancingo las dos inversiones dominantes fueron TL y CU y su comportamiento fue similar, ya que TL incrementó su presencia en un 10% en tanto que CU la disminuyó del 51% al 16%; por otra parte EP casi se mantuvo constante con un alza del dos por ciento de su valor inicial pero teniendo cambios que alcanzaron el doble de

Tabla 1. Frecuencias relativas de inversiones cromosómicas observadas en la población Tulancingo.

Inversión/ generación	TL	CU	EP	OL	SC	HI	OA	n
GP	54.0	34.0	0.0	6.0	4.0	1.0	1.0	100
F1	61.1	37.6	0.65	0.0	0.0	0.65	0.0	306
F2	69.3	21.6	2.6	5.6	0.0	0.6	0.0	300
F3	70.4	17.2	4.1	6.7	0.6	0.6	0.6	314
promedio	63.7	27.6	1.8	4.6	1.2	0.7	0.4	1020

GP= generación parental; F1, F2, F3 = generaciones 1, 2,3.

TL= Tree Line; CU = Cuernavaca; EP = Estes Park; OL= Olympic; SC = Santa Cruz;

HI = Hidalgo; OA = Oaxaca.

Tabla 2. Frecuencias relativas de inversiones cromosómicas observadas en la población Zirahuén.

Inversión/ generación	SC	TL	CU	OL	OA	PP	EP	CH	TA	AM	n
GF	34.1	25.0	23.9	0.0	10.2	1.1	3.4	1.1	1.1	0.0	88
F1	38.4	31.3	12.3	1.8	6.0	0.4	6.3	0.0	3.5	0.0	284
F2	38.0	35.5	6.3	5.3	5.3	0.0	6.7	0.0	3.0	0.0	300
F3	41.3	28.7	9.7	5.3	5.0	0.0	8.0	0.3	1.7	0.3	300
F4	36.9	30.1	4.9	8.7	5.8	0.0	12.1	0.0	1.5	0.0	206
promedio	37.7	30.1	11.4	4.2	6.5	0.3	7.3	0.3	2.2	0.06	1178

GP= generación parental; F1, F2, F3, F4 = generaciones 1, 2, 3, 4.

SC = Santa Cruz; TL= Tree Line; CU = Cuernavaca; OL= Olympic; OA = Oaxaca; PP= Pikes Peak; EP = Estes Park; CH = Chiricahua; TA= Tarasco; AM= Amecameca.

Tabla 3. Frecuencias relativas de inversiones cromosómicas observadas en la población Xochimilco.

Inversión/ generación	CU	TL	EP	SC	PP	OL	HI	OA	n
GP	51.5	33.2	8.4	5.7	0.4	0.4	0.4	0.0	262
F1	51.5	31.8	10.6	1.5	0.0	3.0	0.0	1.5	66
F2	45.7	37.9	10.6	0.0	0.0	3.6	0.9	0.6	330
F3	38.5	35.8	17.8	2.6	0.0	3.9	0.3	0.9	304
F4	43.3	37.5	12.1	6.7	0.0	2.9	1.3	2.1	240
F5	20.1	62.3	7.5	15.1	0.0	0.0	0.0	0.05	324
F6	16.0	44.5	10.0	7.0	0.0	18.0	4.5	0.0	200
promedio	38.1	40.4	11.0	4.7	0.05	4.5	1.1	0.7	1464

GP= generación parental; F1, F2, F6 = generaciones 1, 2, 6

CU = Cuernavaca; TL= Tree Line; EP = Estes Park; SC = Santa Cruz; PP= Pikes Peak; OL= Olympic; HI = Hidalgo; OA = Oaxaca.

ese valor, similarmente SC subió de 5% al 7% con un valor máximo del triple del inicial; OL tuvo un cambio drástico pues de casi cero pasó a 18%; las tres restantes presentaron pequeñas fluctuaciones.

Finalmente, en la población Nevado de Colima (Tabla 4) representada por nueve inversiones, dos de ellas como primarias, SC y TL, aquí pudimos observar que SC tuvo un incremento inicial del diez por ciento y disminución paulatina hasta un valor de 20% menor que el inicial, su contraparte TL paso de 20% inicial a 29% al término; de los arreglos secundarios son notorios los cambios de OL que pasó de 5.8% a 17.8% con un mínimo de 3.7% en la primera generación filial y CU que al principio se incrementó de 5.3% al 8.5% se redujo al 3.0% como valor final; las restantes cinco inversiones no tuvieron cambios significativos.

DISCUSIÓN

En nuestras poblaciones de diferentes localidades dentro del área de distribución de *D. pseudoobscura*, se ha visto que ellas difieren en su polimorfismo cromosómico, lo más frecuente de éstas son los cambios cuantitativos, es decir, los mismos morfos pero con frecuencias relativas diferentes, aunque también ocurren cambios cualitativos es decir un arreglo presente en una localidad no se encuentra en otra, de ésta forma el polimorfismo cromosómico da origen mediante gradientes a razas geográficas lo que demuestra la alta diversidad orgánica de la especie. Ahora bien, la abundancia de datos obtenidos por observaciones a largo plazo han permitido detectar los cambios estacionales que presentan las frecuencias relativas en varias localidades y con ello un mejor entendimiento de la dinámica poblacional. Experimentalmente se

Tabla 4. Frecuencias relativas de inversiones cromosómicas observadas en la población Nevado de Colima.

Inversión/ generación	CU	TL	EP	SC	PP	OL	HI	OA	n
GP	51.5	33.2	8.4	5.7	0.4	0.4	0.4	0.0	262
F1	51.5	31.8	10.6	1.5	0.0	3.0	0.0	1.5	66
F2	45.7	37.9	10.6	0.0	0.0	3.6	0.9	0.6	330
F3	38.5	35.8	17.8	2.6	0.0	3.9	0.3	0.9	304
F4	43.3	37.5	12.1	6.7	0.0	2.9	1.3	2.1	240
F5	20.1	62.3	7.5	15.1	0.0	0.0	0.0	0.05	324
F6	16.0	44.5	10.0	7.0	0.0	18.0	4.5	0.0	200
promedio	38.1	40.4	11.0	4.7	0.05	4.5	1.1	0.7	1464

GP= generación parental; F1, F2, F6 = generaciones 1, 2, 6

CU = Cuernavaca; TL= Tree Line; EP = Estes Park; SC = Santa Cruz; PP= Pikes Peak; OL= Olympic; HI = Hidalgo; OA = Oaxaca.

han establecido cajas de población tomando como generación progenitora moscas descendientes de una muestra poblacional de un determinado sitio y de la cual se determina su constitución genética y a partir de ella observar a través del tiempo que ocurre con las frecuencias o bien utilizar cepas de configuración cromosómica conocida y ponerlas en competencia y así determinar en el primer caso los cambios y oscilaciones que se llevan a cabo y en el segundo los valores de adaptación de cada cepa ante condiciones de laboratorio. Los datos así obtenidos indican que dependiendo de las condiciones experimentales, básicamente temperatura, los diferentes arreglos cromosómicos ensayados cambian sus frecuencias hasta alcanzar un equilibrio y así permanecen indefinidamente, por ejemplo (Dobzhansky 1961), el arreglo AR en competencia con CH pasó de 20% inicial a 62% final en tanto que CH de un valor inicial de 80% terminó con 38%; de forma similar ST contra CH paso de 67% a 20% final y CH cambio de 20% a 80%, ambos casos muestran la adaptación que sufren las diferentes variantes, estos datos se obtuvieron en un lapso de 270 días con periodos de muestreo mensuales y se continuaron por 1240 días sin que las frecuencias sufrieran cambios adicionales, estudios similares se han llevado a cabo con poblaciones de diferente origen. En nuestro caso, aunque con un número menor de muestreos constatamos que todos los cambios observados muestran las adaptaciones de cada inversión al pasar de condiciones naturales con cambios ambientales regulados por las estaciones a las constantes del experimento.

A partir de los resultados podemos inferir la posible existencia de dos razas geográficas, una representada por las poblaciones de Zirahuén y Nevado de Colima con tres morfos principales dos de ellos comunes TL y SC y el tercero diferente ya sea OL o CU. La otra raza con dos componentes principales TL y CU en las poblaciones de Tulancingo y Xochimilco. Ahora bien el comportamiento fue diferente, así comparando Zirahuén con Nevado de Colima la inversión SC presenta un promedio de 37.7% en Zirahuén contra 62.1% en Nevado de Colima lo que confirma que las adaptaciones de dicha inversión son diferentes dependiendo de la zona geográfica. Comportamiento diferente es el de TL el cual, siendo componente principal en las cuatro poblaciones muestra en todas ellas un promedio de 30%. En tanto CU, OL y EP son inversiones que en ocasiones son primarias y en otras secundarias sin embargo se comportan en forma regular con frecuencias muy similares en todos los casos, lo mismo sucede con las restantes inversiones.

Datos referentes a otras poblaciones, fundamentalmente de California, presentan comportamientos similares aun teniendo en cuenta que los estudios se realizaron empleando mayor tiempo de observación experimental, así nuestras observaciones considerando tiempo menor de acondicionamiento, si los datos recabados muestran similitud entre sus componentes primarios y una persistencia muy regular de los secundarios. Se confirma con todo lo anterior la adaptabilidad que confieren los polimorfismos observada por otros autores. Finalmente consideramos necesario poner en competencia por pares aquellos arreglos principales y de origen diferente entre sí con miras a obtener sus respectivos valores de adaptación en las diferentes localidades o bien en diferentes condiciones de laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a las Autoridades del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares su continuo apoyo durante el desarrollo de las diferentes actividades relacionadas con su desempeño en el Instituto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ananina G, Peixoto AA, Bitner-Mathe BC, Souza WW, Basso da Silva L, Valente VLS, Klaczko LB. 2004. Chromosomal inversion polymorphism in *Drosophila mediopunctata*: seasonal, altitudinal and latitudinal variation. *Genet. Mol. Biol.* 27 (1) : 61-69.

Anderson WW, Dobzhansky Th, Pavlovsky O. 1972. A natural population of *Drosophila* transferred to laboratory environment. *Heredity* 25: 101-107.

Balanyá J, Huey R.B, Gilchrist GW, Serra L. 2009. The chromosomal polymorphism of *Drosophila subobscura*: a micro-evolutionary weapon to monitor global change. *Heredity* 103: 364-367.

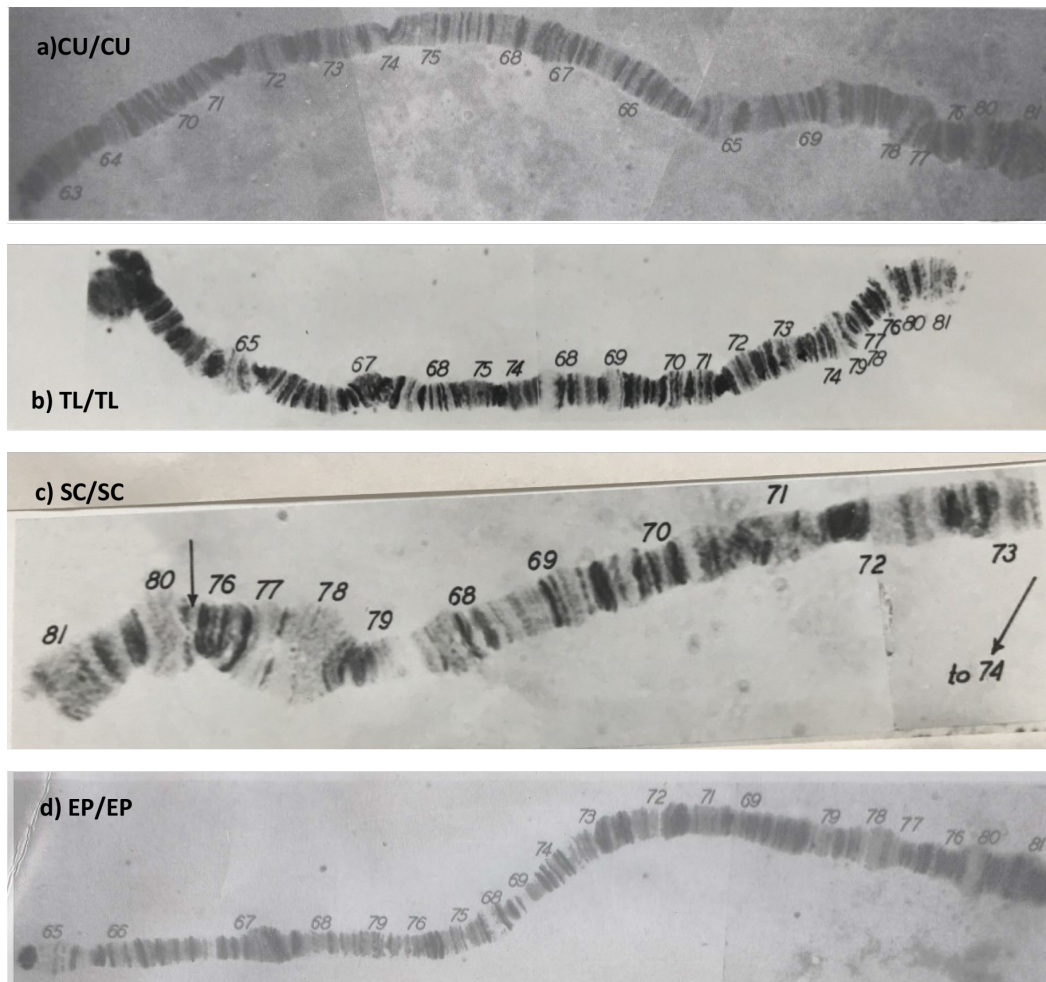
Dobzhansky Th. 1947. Adaptive changes induced by natural selection in wild populations of *Drosophila*. *Evolution* 1 (1 y 2): 1-16.

Dobzhansky Th. 1949. Observations and experiments on natural selection in *Drosophila*. *Proceedings of the Eighth Inter. Congress of Genetics, Hereditas, Suppl.*: 210-224.

Dobzhansky Th. 1961. On the dynamics of chromosomal polymorphism in *Drosophila*. En J. S. Kennedy (ed.) *Insect Polymorphism*. Royal Entomological Society. 30-42. London.

- Dobzhansky Th. and Epling C. 1944. Contribution to the genetics, taxonomy and ecology of *Drosophila pseudoobscura* and its relatives. Carnegie Institution of Washington, Publication 554, 183p.
- Frutos R. 1978. Changes of chromosomal polymorphism in experimental cage populations of *Drosophila subobscura*. *Genetica* 49 (2 y 3): 139-151.
- Inoue Y. 1979. The fate of polymorphic inversions of *Drosophila melanogaster* transferred to laboratory conditions. *Japan. J. Genet.* 54 (2) : 83-96.
- Kapun M, Schalkwyk HV, McAllister B, Flatt T, Schlottener C. 2004. Inference of chromosomal inversion dynamics from Pool-seq data in natural and experimental laboratory populations of *Drosophila melanogaster*. *Mol. Ecol.* 23: 1813-1827.
- Olvera O, Powell JR, de la Rosa ME, Salceda VM, Gaso MI, Guzmán J, Anderson WW y Levine L. 1978. Population genetics of Mexican *Drosophila*. VI. Cytogenetics aspects of the inversion polymorphism in *Drosophila pseudoobscura*. *Evolution* 33: 381-395.
- Powell JR. 1992. Inversion polymorphism in *Drosophila pseudoobscura* and *Drosophila persimilis*. En: Krimbas CB and Powell JR (eds.) *Drosophila Inversión Polymorphism* 73-126. CRC Press, Boca Raton, Ann Harbor, London, Tokyo.
- Salceda VM, Guzmán J, de la Rosa ME and Olvera O. 2015. Four decades of inversion polymorphism in *Drosophila pseudoobscura* from Mexico. *Genetika* 47 (3): 959-966. (Serbia).
- Santos M, Céspedes W, Balanyá J, Trotta V, Calboli F.C. F, Fontdevila A. and Serra L. 2004. Temperature related genetic changes in laboratory populations of *Drosophila subobscura* :evidence against simple climatic-based explanations for latitudinal clines. *Am- Nat.* 165 :258-273.
- Schaeffer SW. 2008. Selection in heterogeneous environments maintains the gene arrangements polymorphism in *Drosophila pseudoobscura*. *Evolution* 62: 3082-3099,
- Solé, E, Balanyá J, Sperlich D, Serra L. 2002. Long-term changes in the chromosomal inversion polymorphism of *Drosophila subobscura*. I . Mediterranean populations from southern Europe. *Evolution* 56 (4) : 830-835.
- Singh BN. 1982. Persistence of chromosomal polymorphism in various strains of *Drosophila ananassae*. *Genetica* 59 (2): 151-156.
- Singh P and Singh BN. 2008. Population genetics of *Drosophila ananassae*: variants in the degree of genetic divergence in populations transferred to laboratory conditions. *Zoological Studies* 47 (6): 1-20.
- Singh BN and Banerjee R. 2009. Increase of the degree of inversion polymorphism in *Drosophila bipunctata* populations transferred to laboratory conditions. *J. Zoological Systematic and Evolutionary Research* 35 (4) 153-157.
- Spieß EB. 1966. Chromosomal fitness in experimental populations of *Drosophila persimilis* from the timberline of Sierra Nevada. *Evolution* 20: 82-91.
- Watanabe T, Anderson WW, Dobzhansky Th, Pavlovsky O. 1970. Selection in experimental populations of *Drosophila pseudoobscura* with different initial frequency of chromosomal variants. *Genetic Research* 15 (1):123-129.

ANEXO



Anexo 1-Arreglos cromosómicos más frecuentes en las poblaciones estudiadas. a) Cuernavaca, b) Tree Line, c) Santa Cruz, d) Estes Park

Artículo Científico

Efectos de la radiación sobre la fecundidad en poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*

Effects of radiation on fertility in experimental populations of *Drosophila melanogaster*

Víctor M. Salceda^{1*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Departamento de Biología. Carretera México-Toluca S/N. La Marquesa. Ocoyoacac. México C.P.52750.

*victor.salceda@inin.gob.mx

DOI: 10.26807/remcb.v41i2.97

RESUMEN.- Se estudió el efecto de la radiación sobre la fecundidad en cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*, tres de ellas fueron irradiadas crónicamente a diferentes dosis parciales hasta alcanzar una dosis absorbida total de 1128.06 Gy (Grays), la cuarta población fungió como testigo. Después de un período de recuperación sin radiación se extrajeron un total 1461 segundos cromosomas mediante la técnica CyL/Pm, ampliamente usada en *Drosophila* en experimentos similares; dependiendo de la dosis el número de genes normales, deletéreos y letales varió en cada población y a ellos se refiere este estudio. Los cromosomas se agruparon en libres y portadores de genes letales, así como producidos por mutación inducida o espontánea, estas agrupaciones son la base de las comparaciones hechas mediante la prueba “t” de Student. Para ello se obtuvo la fecundidad promedio de cada población y a partir de este se constituyeron categorías de fecundidad. Cada cromosoma fue adscrito a una de ellas obteniéndose así las frecuencias relativas para cada categoría. En todos los casos en que se compararon cromosomas portadores de genes letales o libres de ellos, las diferencias favorecieron a los libres de letales. En cuanto al efecto debido a la radiación ésta causó disminuciones en los valores de fecundidad cuando fueron comparadas con el testigo. Al fraccionar la fecundidad promedio en categorías no fue posible determinar un patrón de distribución que nos indique cual es el efecto de la radiación y se propone que la causa de ello es que las poblaciones expuestas aún no alcanzaron un equilibrio de recuperación para su estructura genética posterior al daño originado por la radiación y que la mayoría de los genes que están en ésta dinámica son de tipo poligénico cuya acción es pleiotrópica y aún están en proceso de ser seleccionados con lo cual se restablecería el equilibrio.

Palabras claves: *Drosophila*, genes letales, radiación, fecundidad.

ABSTRACT.- In order to find out the effect of radiation on the fecundity of four experimental populations of *Drosophila melanogaster*, three of them were irradiated chronically at different absorbed dose until reach a total of 1128.06Gy (Grays), the fourth one was the control. After a recuperation period, we extracted a total of 1461 second chromosomes of which we are going to refer; the extraction was done by means of the CyL/Pm technique, broadly use in similar experiments. The normal, deleterious and lethal genes from each population and its proportion varied among populations. Chromosomes were classified as carriers and non-carriers of lethal genes as well those originated naturally or induced by radiation, this grouping is the basis of our comparisons done using a “t” Student test. Average fecundity for each population was calculated and from them different categories of fecundity were stablished. Each chromosome assigned to a corresponding category in such a way to obtain the relative average frequency for each category. On every case, comparisons among chromosomes, carriers and non-carriers of lethal genes, differences always favoured those free of lethal. For radiation affect viability values and when compared with the control

population they are different. When we split the average fecundity into categories was not possible to determine a pattern of distribution, that allowed us to indicate a radiation effect and we suggest as a possible cause of it, that the irradiated populations have not completely recovered and has prevented them to reach an equilibrium for their genetic structure after the damage originated by radiation, since most of these genes are in a dynamic process and are polygenic and its action is pleiotropic, they are in a process of being selected before reach a new equilibrium.

Keywords: *Drosophila*, lethal genes, radiation, fecundity.

INTRODUCCIÓN

Algunos postulados básicos de la genética de poblaciones son aparentemente evidentes por si mismos al grado de ser en general aceptados con un mínimo soporte experimental, sobresale a este respecto el considerar el efecto desfavorable, sobre la fecundidad de infinidad de mutaciones, ya que un alto porcentaje de los genetistas asumen que la mayoría de las mutaciones son detrimentales para sus portadores, éste supuesto se apoya principalmente en observaciones realizadas en cepas de varios organismos experimentales portadores de diferentes mutaciones y considerando que los individuos normales son el producto de una larga y continua selección natural. Se sabe que las mutaciones son los cambios producidos en un gen ya sea en forma espontánea o bien por inducción con diferentes agentes tanto químicos como físicos, ejemplos de estos últimos son los diferentes tipos de radiación.

Asimismo, se sabe que el uso de las radiaciones ionizantes, provocan, entre otros, cambios genéticos en los individuos expuestos a este tipo de agentes. Estas radiaciones, tanto en forma natural como artificial, inducen mutaciones en los diferentes genes, un vasto número de mutaciones muestran efectos detrimentales, deletéreos y aún letales en los individuos portadores de dichos genes y bajo una continua presión de selección, esas mutaciones deletéreas se acumulan en las poblaciones, por lo tanto, las poblaciones que han sido expuestas a la radiación serán dañadas por la continua exposición a la radiación, es decir su adecuación en promedio se verá reducida en mayor o menor grado

Considerable atención se ha puesto a los mecanismos involucrados en el mantenimiento de la variabilidad genética presente en poblaciones con apareamiento al azar y se ha sugerido teóricamente que la interacción de genes o cromosomas puede ser significativa en la conservación de la variabilidad genética de las poblaciones.

Con miras a esclarecer parcialmente el mecanismo que permita mantener la variabilidad genética en

poblaciones naturales, varios investigadores han estudiado los efectos de las mutaciones inducidas por la radiación sobre la fecundidad de los individuos portadores de esos genes o cromosomas tanto en condición homocigota como heterocigota., Band (1963 y 1964), Band e Ives (1963), da Cunha (1968) y Carson (1969). En ésta ocasión se presentan los resultados del fraccionamiento de la fecundidad en poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*, en un intento para determinar la relativa distribución de diferentes clases de genes y de cómo afectan dicha fecundidad. Como meta nos propusimos realizar comparaciones para determinar tanto en condición homocigota como heterocigota, similarmente a los estudios de Kitagawa (1967), Sánchez et al. (1974), Mitchel (1977), Simmons et al. (1978); Fowler et al. (1997), Petit y Nouaud (1984), Yamazaki (1984) y Gardner et al. (2005), así como los efectos de mutaciones inducidas por radiación en contraste con aquellas de origen espontáneo, como los producidos por diferente razón de dosis, todo ello tanto dentro de cada población como entre poblaciones con diferente tratamiento como señalan Wallace (1951), Wallace y King (1951), Mukai et al. (1966) y Salceda (1967 y 1985), Pimentel et al. (2003) y Salceda (2005) empleando radón en poblaciones experimentales de *D. melanogaster*, Barnes et al. (2008) relacionando la fecundidad con la alimentación y edad en hembras de *D. melanogaster*, Abolhasan (2012) el efecto de la temperatura sobre la viabilidad y la fertilidad en poblaciones de *D. melanogaster*, Mazzetto et al. (2015) el efecto de hembras infectadas con XXXy su fecundidad en poblaciones de *D. suzukii*, Rauser et al. (2016) el efecto de la edad tardía sobre la fecundidad en *D. melanogaster* y Curtsinger (2019) la fecundidad y postura en poblaciones longevas de *D. melanogaster*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster* de la cepa Oregon-R y se mantuvieron durante toda la fase experimental en cajas de población hechas de lucita con 12 recipientes para suministrar alimento, éste consiste en un preparado a base de harina de maíz, azúcar, levadura

de cerveza y agar además de ácido propiónico y Tegosept como fungicida y bactericida, todo ello de uso común en el laboratorio y manteniendo los cultivos a temperatura constante de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ y humedad relativa de 60 %. Las poblaciones fueron denominadas "A" para la testigo y sus derivadas "B", "C" y "D" como experimentales y que fueron irradiadas crónicamente con 18.8 Gy, 37.6 Gy y 56.4 Gy de dosis absorbida respectivamente por generación hasta el momento en que cada una de ellas alcanzó una dosis total acumulada de 1128.06 Gy, lo que aconteció para la población "B" en la generación 60, para la "C" en la 40 y para la "D" en la 30, esto corresponde en forma indirecta a la razón de dosis. Al alcanzar la dosis total y durante el tratamiento diferentes estudios fueron realizados por Sankaranarayan (1966) y las poblaciones se mantuvieron posteriormente en relajamiento con respecto a la radiación. La radiación se suministró mediante el empleo de una fuente de rayos-X de dos tubos compuestos y con dosis de salida de 2183 r por minuto colocándose el blanco a 20.75 cm del tubo superior y a 18.35 cm del inferior.

Transcurridas de 19 a 45 generaciones de relajación, se determinó para cada población el monto de la carga genética que no es más que el cúmulo de genes letales y detrimentales recesivos presentes en cada población, ésta puede ser observada para cada cromosoma, en nuestro caso se hizo en el segundo cromosoma dado que para ello se cuenta con una cepa con los marcadores genéticos apropiados. La carga genética se determinó mediante una serie de cruza mendelianas que se representan de la siguiente manera:

P 3 hembras CyL/Pm X 1 macho +1/+2 de la población.
 F1 3 hembras CyL/Pm X 1 macho CyL/+1
 F2 5 hembras CyL/+1 X 5 machos CyL/+1
 F3 CyL/CyL; CyL/+1; +1/+1 (generación de prueba)
 Homocigoto (muere); heterocigoto; homocigoto

Para la realización de estas cruza se emplea la cepa de laboratorio con los marcadores genéticos apropiados para el segundo cromosoma (II): Curly (Cy)=las alas curvas; Lobe (L)= ojos con una escotadura; Plum (Pm)= ojos color ciruela, los tres genes marcadores están asociados a un gene letal lo que permite la uniformidad de genotipo y fenotipo y que además se mantiene en forma balanceada, la cepa se simboliza CyL/Pm.

El objetivo de éstas cruza es aislar un sólo segundo cromosoma proveniente de cada macho de prueba originario de las poblaciones en estudio y en

generaciones sucesivas multiplicarlo de forma tal que en la tercera generación se obtienen, por las características de la cepa, sólo dos genotipos CyL/+ y +/+, donde el símbolo + representa uno de los dos cromosomas II silvestres del macho analizado. Ahora bien éste cromosoma puede ser normal o ser portador de un gen letal recesivo, o cualquier otra mutación, y se manifestará fenotípicamente o bien morirá, en cuanto a su origen puede ser en nuestro caso producto de mutación espontánea (población testigo) o inducido por radiación (poblaciones "B", "C" y "D").

Por tratarse de cruza mendelianas, los dos genotipos emergentes se distribuyen en la descendencia en proporción $2\text{CyL}/+ : 1+/+$ y que corresponden respectivamente uno al heterocigoto y el otro al homocigoto y que nos permiten realizar algunas comparaciones.

Para definir si un cromosoma dado es portador de un gen normal o letal, en la tercera generación de las cruza antes señaladas, se hace la suma de los individuos obtenidos en esa descendencia y se observa que proporción se tiene, determinándose así, el monto de la carga genética. A partir de esa información se seleccionan de nuestras notas (se tiene una hoja por cada individuo probado donde se tienen los conteos de individuos nacidos) los dos tipos de cromosomas normales y portadores de genes letales para cada población. Después para cada población se obtiene el número total de individuos, según su constitución genética y origen y se calcula su media y desviación estándar y con ésta información se construyen las diferentes tablas. El número de descendientes de cada cruza indica el valor de la fecundidad correspondiente al portador de un determinado cromosoma y la suma de ellos así como su promedio son indicativos de la fecundidad promedio de la población. Una vez obtenidos los valores promedio y en base a una jerarquización de las fecundidades individuales con respecto al promedio de la población, y estamos en posibilidad de obtener una tabla de distribución de frecuencias para las diferentes categorías de fecundidad, estas categorías están representadas en la Tabla 1. (Tabla 1, aquí).

Los valores de las diferentes categorías se obtienen a partir los resultados de la extracción de cada cromosoma, es decir, en la tercera generación de la cruza CyL/Pm X +/+ se espera una proporción de 2:1 de individuos CyL/+ : +/+ (fenotipo silvestre), sin embargo, no siempre se tiene obtiene ésta proporción pero se puede calcular el porciento de

Tabla 1. Criterios para determinar las diferentes categorías de fecundidad

% de descendientes	Categoría
0-14	Letal
15-29	Semiletal
30-49	Subvital
50-69	Subnormal
70-85	Quasinormal
86-114	Normal
115 ó más	Supernormal

individuos con este fenotipo, dicho porcentaje corresponde a las categorías representadas en la Tabla 1. Con los datos así obtenidos se construyeron las diferentes tablas para facilitar el análisis estadístico mediante la prueba de “t” de Students.

RESULTADOS

El estudio comprende el análisis de 400.904 individuos repartidos en 1461 segundos cromosomas extraídos de las diferentes poblaciones y que corresponden respectivamente 451 a la población testigo “A” en la que se detectó un 13.29% de genes letales y/o semiletal, en tanto que para las poblaciones expuestas estos valores fueron respectivamente: para la población “B” 373 cromosomas extraídos con un 29.75% de genes deletéreos, para la población “C” 310 cromosomas con 48.06% de genes deletéreos y para la población “D” 327 cromosomas con 45.55% de genes deletéreos, según reportado por Salceda (1967), ésta información es la base para éste estudio.

El primer paso consistió en determinar si los cromosomas libres de letales están mejor adaptados que los cromosomas portadores de letales, lo cual se determina en términos de viabilidad en número de descendientes lo cual se representa en la Tabla 2 y que muestra asimismo las comparaciones dentro de las poblaciones. De forma similar se condujeron comparaciones entre las diferentes poblaciones y las diferencias se muestran en las Tablas 3 y 4.

El otro aspecto considerado en nuestro análisis es el fraccionamiento de la viabilidad en diferentes categorías de acuerdo al monto de descendientes por cada cromosoma aislado para así de ésta forma determinar las frecuencias de genes en cada una de las categorías según la metodología empleada por Wallace y Madden (1953), éstas clases o categorías se distribuyen según la Tabla 1 y el resultado de éste análisis se muestra en la Tabla 5.

DISCUSIÓN

El análisis de los datos presentados en las Tablas 2, 3 y 4 nos muestra que en las tres comparaciones la población testigo presenta una mejor adaptabilidad en contraste con las poblaciones irradiadas cuando la comparación se refiere a los cromosomas libres de letales Tabla 3 y lo mismo sucede en las comparaciones referentes a cromosomas portadores de genes letales como puede ser observado en la Tabla 4.

Ahora bien, al analizar la Tabla 2 en la cual se comparan los cromosomas normales contra los letales se observa en todos los casos una mejor adaptabilidad de los cromosomas portadores de genes normales contra los portadores de genes letales independientemente de que hayan sido producto o no de la radiación. Lo anterior es controversial pues Wallace (1956 y 1958) observó que tanto cromosomas portadores y no portadores de genes letales cuando provienen de poblaciones irradiadas presentan mejor adaptabilidad. Sin embargo, los estudios de Falk y Ben.Zeev (1966) y Salceda (1985) muestran que las poblaciones irradiadas presentan una disminución en los valores de adaptabilidad en los casos por ellos analizados. Por su parte Mukai et al. (1966) encontraron sólo una ligera diferencia favoreciendo a los cromosomas provenientes de poblaciones sujetas a radiación, en estas referencias todos los estudios se refieren a resultados provenientes de experimentos realizados con la misma técnica empleada por nosotros, la CyL/Pm ya descrita, lo que permite las comparaciones.

Otros estudios como el de Ayala (1967) muestran que la radiación favorece, al menos en las primeras generaciones, una mejor adaptación en éste caso medida por el número de descendientes, lo que no se presenta en nuestro caso, una posible diferencia sería que el empleó otra metodología utilizando

Tabla 2. Comparación de fecundidad entre cromosomas portadores de genes normales (N) y letales (L) en cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*

Población	Cromosomas	No. Cromosomas	Promedio	σ	"t"
A	N	384	425.9	202.5	*3.46
	L	41	297.7	152.5	
B	N	241	292.0	167.4	*3.96
	L	69	206.4	116.2	
C	N	154	310.3	159.7	*3.73
	L	106	240.2	130.3	
D	N	165	278.9	161.7	*4.05
	L	103	206.2	103.7	

σ = desviación estándar; "t" = valor en tablas, en todos los casos 2.57 significativo al 1 %; N = normal; L = letal.

mediciones de índole demográfico además de emplear otras especies a saber *D. serrata* y *D. birchii*.

Los resultados presentados en la Tabla 5 se refieren al fraccionamiento de las fecundidades promedio en diferentes categorías indicadas en la Tabla 1 y que están en concordancia con la Tabla 3 y que muestran las frecuencias relativas de cada tipo de cromosoma según su fecundidad y ésta comparada con la fecundidad promedio de la correspondiente población, la parte superior de la Tabla 5 se refiere a las frecuencias de las diferentes categorías para cromosomas normales (libres de genes letales) y la parte inferior de dicha tabla se refiere a los cromosomas portadores de genes letales.

En el caso de los cromosomas normales y al comparar la población testigo contra las irradiadas, se nota que en general las frecuencias para las diferentes categorías son muy similares entre sí sobretodo

en la categoría supernormales; con relación a las otras cinco categorías al comparar cada población irradiada contra la testigo no es posible observar un comportamiento definido, igual comportamiento lo presentan los cromosomas portadores de genes letales. Esta variabilidad de respuesta sólo la podemos adscribir a efectos menores en diferentes genes que actúan pleiotrópicamente y que debido al azar confieren una mayor o menor respuesta adaptativa a sus portadores.

Por lo anterior podemos concluir que las comparaciones dentro de las poblaciones, con respecto a ser portadores o no de genes letales, que en ellas las diferencias resultan significativas favoreciendo a los cromosomas libres de genes letales, como se observa en la Tabla 2.

Las comparaciones entre poblaciones, Tablas 3 y 4, indican que la población "C" es la menos adaptada y que tanto en ésta población como en las poblaciones "B" y "D" las diferencias encontradas son atribuibles

Tabla 3. Comparación entre cromosomas portadores de genes normales (N) dentro de las cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*

Población	B		C		D	
	σ	"t"	σ	"t"	σ	"t"
A	292.0	8.57	310.3	6.33	278.9	6.33
B			310.3	-1.07	278.9	0.78
C					161.7	1.74

σ = desviación estándar; "t" = valor en tablas, en todos los casos 2.57 significativo al 1 %.

Tabla 4. Comparación entre cromosomas portadores de genes letales (L) dentro de las cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*

Población	B		C		D	
	σ	"t"	σ	"t"	σ	"t"
A	116.2	3.50	130.3	2.27	103.7	4.11
B			130.3	-1.74	103.7	0.012
C					103.7	2.07

σ = desviación estándar; "t" =valor en tablas, en éstos casos 3.291 significativo al 1 % y 1.96 al 5 %.

a efectos pleiotrópicos y que las poblaciones en el momento en que se hizo el estudio, pese al periodo de relajación, aún no alcanzan el equilibrio.

Cuando se presta atención a las frecuencias relativas de las diferentes categorías de fecundidad, Tabla 5, se observan en todos los casos desviaciones con relación a la población testigo, así, cuando se comparan los cromosomas libres de genes letales, parte superior de la tabla, existen diferencias entre los denominados supernormales; para la categoría normales las frecuencias en las poblaciones "B" y "D" son menores; para los quasinormales existe un exceso en las poblaciones "B" y "C"; para los subnormales tanto en la población "B" como en la "D" las frecuencias son mayores; en la categoría subvital parece existir un gradiente que se pudiera considerar debido a la razón de dosis.

Al referirnos a los cromosomas portadores de genes letales en las tres poblaciones irradiadas se observan diferencias en cuanto a las frecuencias de genes supernormales; para los normales la población "D" es muy diferente presentando una alta frecuencia, similar respuesta existe para los quasinormales en

tanto que para los subnormales las tres poblaciones muestran frecuencias altas; para los subvital la población "D" es diferente con una baja frecuencia de éste tipo de cromosomas y la "B" presenta alta frecuencia.

Consideramos que todas éstas diferencias son debidas a ajustes internos e independientes dentro de cada población experimental analizada, las que tienden a alcanzar un equilibrio con respecto a la población testigo o ancestral, pero que para ello requieren un mayor o menor tiempo de readaptación y que éste tiempo de reajuste depende de las diferentes interacciones entre las diferentes mutaciones todas ellas de índole pleiotrópico y que requieren pasar por un proceso de ajuste y selección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abolhasan R. 2012. The effect of different temperatures on viability and fertility of *Drosophila melanogaster*. Egypt. Acad. J. Biol. Sci. 5 (1): 81-87.

Ayala F. 1967. Evolution on fitness. III. Improvement

Tabla 3. Comparación entre cromosomas portadores de genes normales (N) dentro de las cuatro poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*

Población	Semiletal	Subvital	Subnormal	Quasinormal	Normal	Supernormal
A (N)	4.4	13.0	14.3	9.1	23.2	35.9
B (N)	1.7	15.8	19.9	12.4	17.0	33.9
C (N)	1.9	15.6	14.9	13.0	21.4	34.0
D (N)	4.2	19.4	21.8	8.5	14.0	32.1
A (L)	4.9	17.1	7.3	12.2	17.1	41.4
B (L)	---	20.3	17.4	11.6	18.8	31.9
C (L)	---	16.0	23.6	11.3	14.1	35.0
D (L)	---	7.8	21.4	17.5	29.1	24.3

N= normal, L= letal

- of fitness in irradiated populations of *Drosophila serrata*. Proceedings National Academy of Sciences, United States of America 58: 1919-1923.
- Band HT. 1963. Genetic structure of populations. II. Viabilities and variances of heterozygotes in constant and fluctuating environments. Evolution 17: 307-319.
- Band HT. 1964. Genetic structure of populations. III. Natural selection and concealed variability in natural populations of *Drosophila melanogaster*. Evolution 18: 384-404.
- Band HT. and Ives PT. 1963. Genetic structure of populations. I. On the nature of the genetic load in South Amherst population of *Drosophila melanogaster*. Evolution 17: 198-215.
- Barnes AL, Neghy S, Borne J.M, Partridge L, Chapman T. 2008. Feeding, fecundity and lifespan in female *Drosophila melanogaster*. Proc.R.Soc. B.Biol.Sci. 275:1875-1883.
- Carson HL. 1969. Maintenance of lethal and detrimental genes in natural populations. Japanese Journal of Genetics 44 (suppl. 1): 225-227.
- Da Cunha AB. 1968. Maintenance of lethal and detrimental genes in natural populations. Proceedings. of the XII International. Congress of Genetics 2: 162-163.
- Curtsinger JW. 2019. Fecundity for free? enhanced oviposition in longevous populations of *Drosophila melanogaster*. Biogerontology 20:397-404.
- Falk R. 1967. Fitness of heterozygotes in *Drosophila*. Mutation Research 4:805- 819.
- Falk R. and Ben Zeev N. 1966. Viability of heterozygotes for induced mutations in *Drosophila melanogaster*. II. Mean effects in irradiated autosomes. Genetics 53: 65-77.
- Fowler K, Semple C, Barton NH, Partridge LP. 1997. Genetic variation for total fitness in *Drosophila melanogaster*. Proceedings Biological Sciences 264: 191-199.
- Gardner MP, Fowler K, Barton NH, Partridge LP. 2005. Genetic variation for total fitness in *Drosophila melanogaster*. Genetics 169: 1553-1571.
- Kitagawa O. 1967. Interaction in fitness between lethal genes in heterozygous condition in *Drosophila melanogaster*. Genetics 57: 809-820.
- Mazzetto F, Gonella E, Alma A. 2015. Wolbachia infection affects female fecundity in *Drosophila suzukii*. Bulletin of Insectology 68 (1):153-157.
- Mukai T, Yoshikawa I, Saito K. 1966. The genetic structure of natural populations of *Drosophila melanogaster*. IV. Heterozygous effects of radiation induced mutations on viability in various genetic backgrounds. Genetics 53: 513-527.
- Petit C and Nouaud D. 1984. The maintenance of the lethal gene curly in experimental populations of *Drosophila melanogaster*. Heredity 53: 260-281.
- Pimentel E, Tavera L, Cruces MP, Balcazar M, de la Rosa ME. 2003. Low radon-dose effect on fecundity and egg-to-adult viability of *Drosophila*. Radiat. Measure 36: 511-516.
- Rausser CL, Tieney JJ, Gunion SM, Covarrubias GM, Mueller ID, Rose MR. 2016. Evolution of late-life fecundity in *Drosophila melanogaster*, J. Evol. Biol. 19:289-301.
- Salceda VM. 1967. Recessive lethals in second chromosomes of *Drosophila melanogaster*, with radiation stories. Genetics 57: 691-699.
- Salceda VM. 1985. Viability effect of lethal and non-lethal II chromosomes of irradiated *Drosophila melanogaster* populations. Archives. Biologist. Nauka, Beograd 37 (1-4): 27-32.
- Salceda VM. 2005. Efecto de la exposición crónica al Radón en poblaciones experimentales de *Drosophila melanogaster*. Rev. Int. Contam. Ambient. 21 (3) : 125.131.
- Sánchez PJJ, Salceda VM, Molina J. 1874. Efecto de genes letales recesivos en posición trans en el cromosoma II de *Drosophila melanogaster* (Meigen) sobre algunos componentes de valor adaptativo. Agrociencia 16: 75-82.
- Sankaranarayanan K. 1966. Some components of genetic load in irradiated experimental populations of *Drosophila melanogaster*. Genetics 54: 121-139.
- Simmons MJ, Sheldom EW, Crow JF. 1978. Heterozygous effects of fitness of EMS treated chromosomes in *Drosophila melanogaster*. Genetics 88: 575-590.

Wallace B. 1956. Studies on irradiated populations of *Drosophila melanogaster*. *Journal of Genetics* 54:280-293.

Wallace B. 1958. The average effect of radiation induced mutations on viability in *Drosophila melanogaster*. *Evolution* 12: 532-552.

Wallace B. and Madden C. 1953. The frequency of sub an supervitals in experimental populations of *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 38: 456-470.

Yamazaki T. 1984. Measurement of fitness and its components in six laboratory strains of *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 108: 201-211.

Artículo Científico

Evaluation of anthropometric indices as metabolic syndrome predictors in Ecuadorian Military Personnel

Evaluación de índices antropométricos como predictores de síndrome metabólico en personal militar ecuatoriano

Germán Muñoz¹, Alberth Muñoz^{2*}.

¹ Ecuadorian Armed Forces, ESFORSE Physician, Army Polytechnic Superior School (ESPE).

² Peoples' Friendship University of Russia, Division of Nervous Diseases and Neurosurgery, Moscow.

* albm93@gmail.com

DOI: 10.26807/remcb.v41i2.241

Recibido 02-06-2020; Aceptado 02-11-2020

ABSTRACT.- Anthropometric measurements are simple and effective techniques for central or abdominal obesity evaluation. Although it is known by their good predicting value, there is not a consensus about which is the best in Metabolic Syndrome (MetSyn) diagnostic, using Adult Treatment Panel III (ATP III) criteria. Anthropometric measurements included waist circumference (WC), waist hip ratio (WHR), waist height ratio (WHtR) and body mass index (BMI). This study pretended to determine the prevalence of MetSyn and compare anthropometric indices for optimal predicting value with their respective cut-offs for MetSyn diagnosis among Army Members in ESFORSE, Ecuador. The study includes 181 participants (175 male and 6 female), the average age is 37 ± 6 years, MetSyn prevalence is 8%, with WC ($p < .001$), WHtR ($p .009$) and WHR ($p .020$) as statistically significant variables. We analyzed the area under the curve (AUC) in a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve, with the anthropometric measurements. Thus, WC and WHtR represent the highest AUC (WC: 0.77, 95% CI 0.69-0.86; WHtR: 0.70, 95% CI 0.59-0.82). The optimal cut-off values for predicting MetSyn are 92 cm in WC, 0.52 in WHtR and 0.93 in WHR. Therefore, the army members have a low prevalence of MetSyn, with WC as the best predicting value.

Keywords: cardiovascular risk, anthropometry, dyslipidemia, ROC curve, metabolic syndrome.

RESUMEN.- Las mediciones antropométricas son técnicas simples y efectivas para la evaluación de la obesidad central o abdominal. Aunque se conoce que tienen un buen valor predictivo, no existe un consenso sobre cuáles son mejores en el diagnóstico de Síndrome Metabólico (MetSyn), utilizando los criterios del Panel de Tratamiento de Adultos III (ATP III). Las medidas antropométricas incluyen la circunferencia de la cintura (WC), el índice cintura-cadera (WHR), el índice de la altura de la cintura (WHtR) y el índice de masa corporal (IMC). En este estudio se evaluó la prevalencia de MetSyn y se comparó con índices antropométricos para determinar el valor de predicción óptimo con sus respectivos puntos de corte para el diagnóstico de MetSyn entre los miembros del ejército en ESFORSE, Ecuador. El estudio incluye 181 participantes (175 hombres y 6 mujeres), la edad promedio es de 37 ± 6 años, la prevalencia de MetSyn es del 8%, con CC ($p < .001$), WHtR ($p .009$) y WHR ($p .020$) como variables estadísticamente significativas. Analizamos el área bajo la curva (AUC) en una curva de Característica Operativa del Receptor (ROC), con las medidas antropométricas. Por tanto, WC y WHtR representan el AUC más alto (WC: 0.77, IC del 95%: 0.69-0.86; WHtR: 0.70, IC del 95%: 0.59-0.82). Los valores de corte óptimos para predecir MetSyn son 92 cm en WC, 0.52 en WHtR y 0.93 en WHR. Por lo tanto, los miembros del ejército tienen una baja prevalencia de MetSyn, con WC como el mejor valor de predicción.

Palabras claves: riesgo cardiovascular, antropometría, dislipidemia, curva ROC, síndrome metabólico.

INTRODUCTION

Metabolic Syndrome (MetSyn) is characterized by a cluster of cardiovascular risk factors, which include metabolic disorders such as hypertension, hypertriglyceridemia, abdominal obesity, hyperglycemia and decrease high – density lipoprotein (HDL) (NCEP 2001; Meng et al. 2015); these factors are associated with the development of cardiovascular diseases (Eckel and Cornier 2014), which represent the main death cause worldwide - 31% of the overall- among which more than 75% are presented in low and middle income countries (WHO 2017).

The prevalence of MetSyn is different worldwide, taking into consideration the definition used; thus, in Iran the prevalence is 26.1% according to the Adult Treatment Panel III (ATP III) and 35.2% according to International Diabetes Federation (IDF) (Hossein et al. 2016), in South Korea 31% according to ATP III (Lim et al. 2011), in the USA 34.1% according to ATP III (Mozumdar and Liguori 2011), and in Ecuador 16.9% according to ATP III and 27.3% according to IDF (Suárez et al. 2019).

Several authors have recognized the association between the central or abdominal obesity with insulin resistance, hypertension and dyslipidemia; nowadays, obesity and overweight have become a challenge in developing countries, and they are considered to have an important role in the development of MetSyn (Bhurosy and Jeewon 2014; Mohammed et al. 2014).

Methods such as Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Computed Tomography (CT) are considered as reference for the quantification of visceral and subcutaneous adipose tissue, but these are not available in all health centers (Concepción et al. 2001). While, there is a consensus on the biochemical and blood pressure variables; there is in contrast a debate about which anthropometric measurement is the most efficient for MetSyn diagnosis (Koning et al. 2007; Rodríguez et al. 2010). In clinical practice, several anthropometric measurements are found useful to evaluate obesity, especially in primary care (Liu et al. 2011; Gharipour et al. 2013). However, the studies about this topic have presented different results, without determining the best tool to use in the risk factor evaluation (Bener et al. 2013; Obeidat et al. 2015). The prevalence of MetSyn varies according to population characteristics, geographic area, age, ethnic group, gender and criteria used; these criteria have changed based on different International

Societies. At the beginning, it was necessary the presence of insulin resistance (IR) for the diagnostic of MetSyn (Alberti and Zimmet 1998; Balkau and Charles 1999), but more recent studies use clinical measurements for its definition, without the mandatory presence of IR (NCEP 2001; Einhorn et al. 2003; Alberti et al. 2009; ALAD 2010). For example, there are some differences in the cut off for waist circumference, Latin American Diabetes Association (ALAD) recommends 88 cm for women and 94 cm for men, The National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III (NCEP ATP – III) recommends 88 cm for women and 102 cm for men, and International Diabetes Federation (IDF) recommends 80 cm for women and 90 cm for men; additionally, the last consensus recommends a specific value for abdominal obesity in each region, for the Latin American population is taken into account values similar to the population in south-eastern Asia, with 90 cm for males, and 80 cm for females (NCEP 2001; Alberti et al. 2009; ALAD 2010).

In Ecuadorian population there is not a consensus about cut-off values for MetSyn, and even though cardiovascular risk factors have been studied in military personnel (Muñoz and Muñoz 2018), there is not information related with MetSyn prevalence and its respective cut-offs in Ecuadorian army. Considering all the above mentioned, this study pretends to determine the prevalence of MetSyn and to compare several anthropometric indices for optimal predicting value, with their respective cut-offs for MetSyn diagnosis among Army Members in ESFORSE – Escuela de Formación de Soldados del Ejército - (Army Soldiers Training School).

METHODS

This is a cross – sectional investigation, that analyzed previously obtained data, it was conducted in 2020 in Ecuadorian Army Members of ESFORSE, in Ambato - Ecuador. The primary information collection instrument is the “Annual Medical Record” (Historia Clínica Anual) that was carried out in August – September 2019, at Health Center Type A (Centro de Salud Tipo A) within ESFORSE. The Annual Medical Record is a preventive health instrument that allows to evaluate: personal information, medical, laboratory, dental and psychological check-up. Additionally, the “2020 Ficha Antropométrica” (Anthropometric Record) was used”, for January-February period, which evaluates: folds (triceps, suprascapular, suprailiac, abdominal, thigh and leg), diameters (fist, humerus and femur), perimeters (thigh, arm and calf), as

well as abdominal and hip circumference, to assess the nutritional status of Military Personnel.

The inclusion criteria involved active duty army members within ESFORSE. Army members with incomplete annual medical record and incomplete anthropometric records were excluded. The total number of army members were 315 (56 officers, 257 soldiers), after the analysis of medical records was carried out, 181 (20 officers, 161 soldiers) members met the required criteria, which correspond to 95 % confidence level and 5 % margin of error.

Assessment of blood pressure: to measure the blood pressure we used a digital sphygmomanometer Riester model Ri Champion N and measured participants' blood pressure two times with at least ten minutes interval. Blood pressure measurement was performed on the right hand, in a sitting position (Stone et al. 2005).

Assessment of anthropometric variables: Participants' heights and weights, were measured using a weighing machine + height rod SECA model 700, year 2012, without shoes. A non-elastic tape was used to measure waist circumference (WC) and hip circumference (HC). Different folds were measured, and with these values it was possible to calculate Body Mass Index (BMI), Waist-Hip Ratio (WHR), Waist-Height Ratio (WHtR), and Body Fat Percentage (BFP).

Laboratory tests: After 12 hours of fasting, venous blood samples were collected and analyzed with the Equipment for Blood Chemistry Erba Mannheim model XL-100. Enzymatic assay method was used to perform all tests including fasting blood sugar (FBS), total cholesterol (TC) and triglycerides (TG).

For the purpose of identifying participants with MetSyn, ATP III criteria were used, with the modification on waist circumference according to the population in Latin América; thus, MetSyn was defined with the presence of three or more of the following variables: waist circumference ≥ 88 cm for women and ≥ 94 cm for men, blood pressure (SBP/DBP) ≥ 130 mmHg and/or 85 mmHg respectively, glucose ≥ 100 mg/dL, *HDL cholesterol < 40 mg/dL for women and < 50 mg/dL for men, and triglycerides ≥ 150 mg/dL (NCEP 2001; ALAD 2010).

*It is important to mention that HDL was not done within the routine blood test at the Health

Center, therefore it is possible the presence of false negatives in the study.

The study information was obtained with prior authorization of ESFORSE Director and with the participants informed consent.

Statistical analysis .- Statistical analysis was done using SPSS version 26 and MedCalc for Windows version 19.2.1. The values are expressed as mean $\pm$ SD, these variables were compared using Student t test for statistical significance. We carried out a receiver operating characteristic (ROC) curve analysis using a Youden's index to determine the optimal cut-off point of the individual anthropometric indices, including Body Mass Index (BMI), Waist Circumference (WC), Waist-Hip Ratio (WHR), and Waist-Height Ratio (WHtR), for predicting MetSyn. Values of $P < 0.05$ were considered statistically significant.

RESULTS

The characteristics of the 181 participants are shown in Table 1, with an average age 37 ± 6 years (average age of participants with and without MetSyn was 40.6 ± 4.14 and 36.8 ± 6.24 years, respectively). Of all the participants, 175 (97%) were male and 6 (3%) were female; therefore, the analysis does not have values according to the gender. This study included 166 (92%) persons without MetSyn and 15 (8%) persons with MetSyn.

The results showed that the mean values of all anthropometric indices and biochemical values are higher in patients with metabolic syndrome than in subjects without metabolic syndrome and this difference was significant in some of these values. Among the anthropometric indices: WC ($p < .001$), WHtR ($p .009$) and WHR ($p .020$) are statistically significant; and other statistics, such as BMI ($p .175$), BFP ($p .136$) and biochemical marker total cholesterol ($p .434$) are not significant at all, taking into consideration MetSyn diagnosis.

Table 2 and Figure 1 represent the area under the curve of the Receiver Operating Characteristic curve and the optimal cut-off value of individual anthropometric indexes for predicting MetSyn. WC and WHtR represent the highest AUC (WC: 0.77, 95% CI 0.69-0.86; WHtR: 0.70, 95% CI 0.59-0.82). The values of 27 kg/m² in BMI, 92 cm in WC, 0.93 in WHR, and 0.52 in WHtR were optimal for predicting MetSyn. Finally, even though BMI is represented in the chart and the graphic, its p value $> .174$ makes this value not significant.

Table 1. Characteristics of the study population

Variable		Total population n= 181		No MetSyn n= 166		MetSyn n= 15		P Value
		Mean ± SD		Mean ± SD		Mean ± SD		
Age	years	37.08	± 6.18	36.8	± 6.24	40.60	± 4.14	0.021
Heart Rate	bpm	69.81	± 9.63	69.54	± 9.28	72.87	± 12.86	0.200
Systolic BP	mmHg	116.48	± 11.23	115.62	± 10.82	125.93	± 11.67	0.001
Diastolic BP	mmHg	71.71	± 7.63	70.97	± 7.11	79.93	± 8.51	<0.001
Total Cholesterol	mg/dL	194.23	± 33.15	193.64	± 33.07	200.67	± 34.50	0.434
Triglyceride	mg/dL	158.19	± 99.73	152.19	± 98	224.60	± 97.66	0.007
Fasting Glucose	mg/dL	88.04	± 9.98	87.63	± 8.55	92.60	± 12.29	0.146
Weight	kg	72.10	± 8.36	71.75	± 8.47	76	± 5.89	0.059
Height	m	1.67	± 0.06	1.67	± 0.06	1.68	± 0.04	0.262
BMI ^a	kg/m ²	25.95	± 2.55	25.87	± 2.59	26.80	± 1.93	0.175
WC	cm	90.42	± 7.08	89.93	± 7.11	95.87	± 3.73	<0.001
WHR		0.95	± 0.05	0.94	± 0.05	0.97	± 0.03	0.020
WHtR		0.54	± 0.04	0.54	± 0.04	0.57	± 0.03	0.009
BFP ^a	%	23.83	± 4.11	23.70	± 4.19	25.35	± 2.64	0.136

MetSyn= Metabolic Syndrome, SD= Standard Deviation, BP= Blood Pressure, BMI= Body Mass Index, WC= Waist Circumference, WHR= Waist-Hip Ratio, WHtR: Waist-Height Ratio, BFP= Body Fat Percentage, a= Anthropometric values without significance

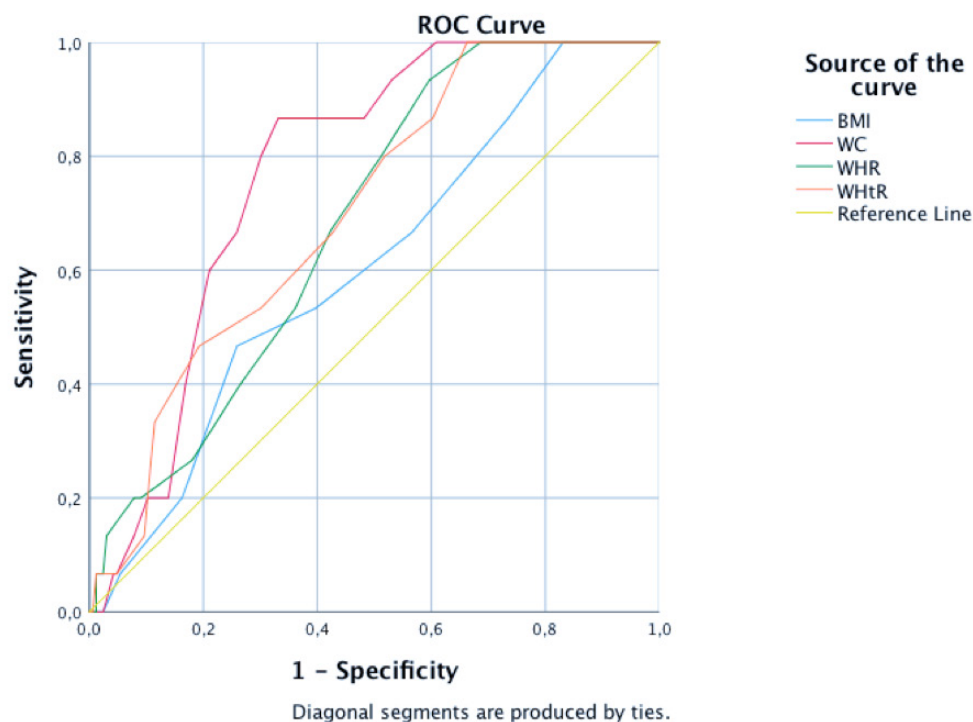


Figure 1. ROC curve for anthropometric indices to predict MetSyn in all the population. ROC= Receiver Operating Characteristic. BMI= Body Mass Index, WC= Waist Circumference, WHR= Waist-Hip Ratio, WHtR: Waist-Height Ratio

Table 2. Predicting values for MetSyn

	AUC (95% CI)	Optimal cut-offs	Sensitivity, %	Specificity %	P Value
BMI^a	0.61 (0.47-0.74)	27	46.67	74.10	0.174
WC	0.77 (0.69-0.86)	92	86.67	66.87	<0.001
WHR	0.68 (0.57-0.79)	0.93	93.33	40.36	0.020
WHtR	0.70 (0.59-0.82)	0.52	100	33.73	0.009

AUC= Area Under the Curve, BMI= Body Mass Index, WC= Waist Circumference, WHR= Waist-Hip Ratio, WHtR: Waist-Height Ratio, a= Anthropometric value without significance

DISCUSSION

In Ecuador there are no studies for determining which anthropometric measurements is more adequate in order to diagnose MetSyn with ATP III criteria, nor in the general population neither in military personnel. In order to avoid overestimation, it is necessary to adequate the WC in each country, for Ecuador, there is only one study, which is not determinant (Valdez et al. 2016), and the difference between BMI, WC, WHR and WHtR was not taken into account, but the AUC for WC is 0.73 for women and 0.76 for men, with cut-off 91.5 cm for both genders, which is very similar to our study. Therefore, this is the first study that evaluates anthropometric indices for predicting MetSyn in the Ecuadorian Army.

The prevalence of MetSyn was 8%, it is similar to studies in military population; so, the prevalence in pilots from Madrid is 7.2 %, and slightly different in pilots from Colombia with 13.4 % (Medina and Alonso 2012; Monroy 2018). But, there is a notable difference with studies in non-military population; with values as high as 58.3%, 41.3%, and 37.6% in Chile, Colombia and Mexico, respectively (Martínez et al. 2007; Granfeldt et al. 2015; Rivas et al. 2015), with some exceptional results in some studies, with 19% and 17% in Chile and Ecuador respectively (Camaggi and Molina 2010; Suárez et al. 2019).

Previous worldwide studies have reported different results about the most accurate anthropometric measurement for MetSyn diagnosis and prediction. Analyzing various studies, it seems that different results are due to the heterogeneity between the sample group, influenced by age, ethnic group, among others (Rajpput et al. 2014). We found that for the military personnel, without distinction

of their gender the most accurate anthropometric indices are WC and WHtR with AUC 0.77 and 0.70 respectively; with the important characteristic that BMI is not considered because its non-statistical significance. In the same way, in a study conducted in Iran it was reported that WC and WHtR are the best predictors for MetSyn diagnostic for males and females, with AUC of 0.65 and 0.64, respectively, and a WC cut-off 91 cm for both genders (Shabazian and Pipelzadeh 2015). Also, according to Yang et al., (2019), WC has the biggest AUC with 0.78 for women and 0.82 for men, followed by WHtR in both groups with 0.78 for women and 0.79 for men; WC optimal cut-off is 80.8 cm and 89.3 cm for women and men respectively; also, it is noted that BMI is an optimal predictor after WC and WHtR (Yang et al. 2019). Similarly, in another Iranian study these two anthropometric indices are presented, but WHtR has more AUC than WC (Delvarianzadeh et al. 2017). Additionally, according to Gharipour et al. (2013), WC has the biggest AUC with 0.85 in women and 0.78 in men, followed by WHR with 0.84 and BMI 0.73, in women and men respectively; it is necessary to mention that WHtR was not taken into consideration within this study, and, in both groups WC cut-off values is 90 cm (Gharipour et al. 2013). In the same way, according to Bener et al., (2013), WC has the biggest AUC with 0.78 for men, and 0.81 for women, with a cut-off values of 100 cm for men and 91 cm for women; there is a difference in the second group with bigger AUC represented by WHR 0.75 in men, and WHtR 0.79 in women (Bener et al. 2013). Opposite to our results, some studies report similitudes in the predict power for BMI and WC, but in populations different from our participants (Barzin et al. 2011; Jahangiri et al. 2013). Finally, in a study conducted in China WC, WHR and BMI are equally useful (Liu et al. 2011). This study has some limitations. First, for

the diagnosis of MetSyn it was not taken into consideration HDL values because it was not part of the routine blood test made months before the study (mentioned in methods); therefore, it is highly recommended to make similar studies with the addition of this lipid test, in order to get more precise data. Second, the study was made in a military population with a predominant number of men over women, therefore it was not possible to make a difference between genders in anthropometric cut-offs.

CONCLUSION

Based on the results of this study, the prevalence of MetSyn in military population is lower than in general population; with WC and WHtR as the most appropriate anthropometric indices for its diagnostic, with a cut-off for WC similar to an Ecuadorian study but different from other worldwide studies.

REFERENCES

- ALAD. 2010. Consenso Latinoamericano de la Asociación Latinoamericana de Diabetes. *Asoc Latinoam diabetes*. 18(1):25–44.
- Alberti K, Eckel R, Grundy S, Zimmet P, Cleeman J, Donato K, Fruchart J, James P, Loria C, Smith S. 2009. Harmonizing the Metabolic Syndrome: A Joint Interim Statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention, National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International. *Circ - AHA*. 120:1640–1645. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644.
- Alberti K, Zimmet P. 1998. Definition, Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus and its Complications, Part 1: Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus, Provisional Report of a WHO Consultation. *DiabetMed*. 15:539–553. doi:10.1002/(SICI)1096-9136(199807)15:7<539::AID-DIA668>3.0.CO;2-S.
- Balkau B, Charles M. 1999. Comment on the Provisional Report from the WHO Consultation. European Group for the Study of Insulin Resistance (EGIR). *Diabet Med*. 16(5):442–3. doi:10.1046/j.1464-5491.1999.00059.x.
- Barzin M, Hosseinpanah F, Fekri S, Azizi F. 2011. Predictive Value of body mass index and waist circumference for metabolic syndrome in 6-12 year olds. *J Paediatr*. 100(5):722–727.
- Bener A, Yousafzai M, Darwish S, Al-Hamaq A, Nasralla E, Abdul-Ghani M. 2013. Obesity Index That Better Predict Metabolic Syndrome: Body Mass Index, Waist Circumference, Waist Hip Ratio, or Waist Height Ratio. *J Obes*. doi:10.1155/2013/269038.
- Bhurosy T, Jeewon R. 2014. Overweight and Obesity Epidemic in Developing Countries: A Problem with Diet, Physical Activity, or Socioeconomic Status? *Sci World J*. doi:10.1155/2014/964236.
- Camaggi C, Molina A. 2010. Descriptive Study of Metabolic Syndrome in Adults from the East Area of Santiago. *Rev Medica Clínica Condes*. 21(5):839–844. doi:10.1016/S0716-8640(10)70605-2.
- Concepción L, Aliaga R, Delgado F, Morillas C, Hernández A, Martí-Bonmatí L. 2001. Abdominal fat assessment by magnetic resonance: comparison with biometric profiles and cardiovascular risk markers. *Med Clin (Barc)*. 117(10):366–369. doi:10.1016/S0025-7753(01)72117-3.
- Delvarianzadeh M, Abbasian M, Khosravi F, Ebrahimi H, Ebrahimi M, Fazli M. 2017. Appropriate anthropometric indices of obesity and overweight for diagnosis of metabolic syndrome and its relationship with oxidative stress. *Diabetes Metab Syndr Clin Res Rev*. doi:10.1016/j.dsx.2017.07.014.
- Eckel R, Cornier M. 2014. Update on the NCEP ATP-III emerging cardiometabolic risk factors. *BMC Med*. 12(115). doi:10.1186/1741-7015-12-115.
- Einhorn D, Reaven G, Cobin R, Ford E, Ganda O, Handelsman Y, Hellman R, Jellinger P, Kendall D, Krauss R, et al. 2003. American College of Endocrinology Position Statement on the Insulin Resistance Syndrome. *Endocr Pr*. 9(23):237–252.
- Gharipour M, Sarrafzadegan N, Sadeghi M, Andalib E, Talaie M, Shafie D, Aghababaie E. 2013. Predictors of Metabolic Syndrome in the Iranian Population: Waist Circumference, Body Mass Index, or Waist to Hip Ratio? *Cholesterol*. doi:10.1155/2013/198384.
- Granfeldt G, Ibarra J, Mosso C, Muñoz S, Sáez K, Zapata D. 2015. Predictive capacity of anthropometric indices in the detection of metabolic syndrome in Chilean adults. *Arch Latinoam Nutr*. 65(3).

- Hosseini M, Delvarianzadeh M, Saadat S. 2016. Prevalence of Metabolic Syndrome Among Iranian Occupational Drivers. *Diabetes Metab Syndr*. 10(1):46–51. doi:10.1016/j.dsx.2015.09.011.
- Jahangiri Y, Hadaegh F, Vatankhah N. 2013. Wrist circumference as a novel predictor of diabetes and prediabetes: results of cross-sectional and 8.8 year follow up studies. *J Clin Endocrinol Metab*. 98(2). doi:10.1210/jc.2012-2416.
- Koning L, Merchant A, Pogue J, Anand S. 2007. Waist circumference and waist to hip ratio as predictors of cardiovascular events: meta-regression analysis of prospective studies. *Eur Heart J*. 28:850–856. doi:10.1093/eurheartj/ehm026.
- Lim S, Shin H, Song J, Kwak S, Kang S, Yoon J, Choi S, Cho S, Park K, Lee H, et al. 2011. Increasing Prevalence of Metabolic Syndrome in Korea: The Korean National Health and Nutrition Examination Survey for 1998 - 2007. *Diabetes Care*. 34(6):1323–1328. doi:10.2337/dc10-2109.
- Liu Y, Tong G, Tong W, Lu L, Qin X. 2011. Can Body Mass Index, Waist Circumference, Waist-Hip Ratio and Waist-height Ratio Predict the Presence of Multiple Metabolic Risk Factors in Chinese Subjects? *BMC Public Health*. 11(35). doi:10.1186/1471-2458-11-35.
- Martínez E, Flores Á, Alonso M, Esparza G, Garzón C. 2007. Metabolic syndrome prevalence in military population that goes to annual medical evaluation. *Rev Sanid Mil Mex*. 61(6):361–366.
- Medina J, Alonso C. 2012. Association between serum uric acid levels and the prevalence of metabolic syndrome in airline pilots. *Sanid Mil*. 68(4):211–215.
- Meng Z, Liu M, Zhang Q, Liu L, Song K, Tan J, Jia Q, Zhang G, Wang R, He Y, et al. 2015. Gender and Age Impacts on the Association Between Thyroid Function and Metabolic Syndrome in Chinese. *Medicine (Baltimore)*. 94(50):1–9. doi:10.1097/MD.0000000000002193.
- Mohammed E, Abed Y, Rahmat A, Ali F. 2014. Epidemiology of obesity in developing countries: challenges and prevention. *Glob Epidemic Obes*. doi:10.7243/2052-5966-2-2.
- Monroy D. 2018. Prevalencia del Síndrome Metabólico en Pilotos de la Aviación del Ejército Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Mozumdar A, Liguori G. 2011. Persistent Increase of Prevalence of Metabolic Syndrome Among U.S Adults: NHANES III to NHANES 1999-2006. *Diabetes Care*. 34(1):216–219. doi:10.2337/dc10-0879.
- Muñoz A, Muñoz G. 2018. Quantification of cardiovascular disease risk, according to the Framingham score, in military personnel during 2015. *Rev Ecuat Med Cienc Biol*. 39(1). doi:10.26807/remcb.v39i1.560.
- NCEP. 2001. Executive Summary of the Third Report of the National Cholesterol Education Program Expert Panel on Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA*. 285(19):2486–2497. doi:10.1001/jama.285.19.2486.
- Obeidat A, Ahmad M, Haddad F, Azzeh F. 2015. Evaluation of several anthropometric indices of obesity as predictors of metabolic syndrome in Jordanian adults. *Nutr Hosp*. 1(32):667–677. doi:10.3305/nh.2015.32.2.9063.
- Rajpput R, Rajput M, Bairwa M, Singh J, Saini O, Shankar V. 2014. Waist height ratio: A universal screening tool for prediction of metabolic syndrome in urban and rural population of Haryana. *Indian J Endocrinol Metab*. 18(3).
- Rivas D, Miguel P, Llorente Y, Marrero G. 2015. Clinical and Epidemiological Behavior of the Metabolic Syndrome In Adults. *Rev Cuba Med Gen Integr*. 31(2):259–269.
- Rodríguez M, Cabrera A, Aguirre A, Domínguez S, Brito B, Almeida D, Borges C, Del Castillo J, Carrillo L, González A, et al. 2010. The Waist to Height Ratio as an Index of Cardiovascular Risk and Diabetes. *Med Clin (Barc)*. 134(9):386–391. doi:10.1016/j.medcli.2009.09.047.
- Shabazian H, Pipelzadeh M. 2015. Efficiency of Anthropometric Indices in Predicting Metabolic Syndrome among Adult Population of Ahvaz, Iran. *Diabetes, Obes Metab Disord*. 1(3).
- Stone N, Bilek S, Rosenbaum S. 2005. Recent National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III update: adjustments and options. *Am J Cardiol*. 96(4):53–59. doi:10.1016/j.

Artículo Científico

Antiagregantes y anticoagulantes en el manejo de ectasia coronaria con flujo lento, una revisión de reportes de caso

Anti-aggregants and anticoagulants in the management of coronary ectasia with slow flow, a review of case report

Anthony D. Barreno^{1*}, Nicole C. Bustamante¹

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Medicina, Quito-Ecuador.

*anthonnydaniel.barreno3@hotmail.com

Doi: 10.26807/remcb.v1i41.221

Recibido 20-07-2020; Aceptado 9-11-2020

RESUMEN.- La ectasia coronaria es una dilatación profusa de todo el segmento arterial. Aún no se ha determinado la terapia más adecuada para el proceso trombogénico que acompaña a la ectasia coronaria, por lo que el objetivo de este estudio es establecer si las terapias: antitrombótica doble (TAPS+ACO), triple (TAPD+ACO) o solo con anticoagulante oral (ACO) son útiles para prevenir la recidiva de los síntomas. Se realizó una búsqueda de reportes de casos sobre ectasia coronaria y manejo con anticoagulantes y/o antiagregantes para la prevención de recidivas, publicados desde 1997 hasta mayo de 2020. Se incluyeron 11 reportes. Cinco pacientes recibieron terapia antitrombótica triple (TAPD+ACO), tres pacientes recibieron terapia antitrombótica doble (TAPS+ACO) y tres pacientes recibieron terapia solo con anticoagulante oral (ACO). Ninguno tuvo recurrencias en el periodo de seguimiento. Tanto la terapia solo con ACO, como la terapia antitrombótica doble (ACO + TAP) y triple (ACO + TAPD) mostraron beneficio al prevenir las recurrencias de síndrome coronario agudo (SCA) tras el seguimiento como mínimo de 3 meses. La terapia antitrombótica triple parece ser más eficaz que el uso de TAPD de manera aislada. El uso de nuevos anticoagulantes orales (NACO) podría tener mayor beneficio sobre el uso de los tradicionales. Sin embargo, se requieren más estudios al respecto.

Palabras claves: aneurisma coronario, infarto del miocardio, angiografía coronaria, antiplaquetarios, anticoagulantes.

ABSTRACT.- Coronary ectasia is a profuse dilation of the entire arterial segment. The most appropriate therapy for the thrombogenic process that accompanies coronary ectasia has not yet been determined, so the objective of this study is to establish whether the therapies: double antithrombotic (SAPT + OAC), triple (DAPT + OAC) or alone with oral anticoagulant (OAC) are helpful in preventing recurrence of symptoms. A search was carried out for case reports on coronary ectasia and management with anticoagulants and/or antiaggregant for the prevention of relapses, published from 1997 to May 2020. Eleven reports were included. Five patients received triple antithrombotic therapy (DAPT + OAC), three patients received double antithrombotic therapy (SAPT + OAC), and three patients received oral anticoagulant therapy (OAC) alone. None had recurrences in the follow-up period. Both therapy with only OAC, as well as double antithrombotic therapy (OAC + SAPT) and triple (OAC + DAPT) showed benefit in preventing recurrences of acute coronary syndrome (ACS) after follow-up of at least 3 months. Triple antithrombotic therapy appears to be more effective than the use of DAPT alone. The use of novel oral anticoagulants (NOAC) could have a greater benefit over the use of traditional ones. However, more studies are required in this regard.

Keywords: Coronary aneurysm, myocardial infarction, coronary angiography, antiplatelets agents, anticoagulants agents

INTRODUCCIÓN

Para principios de 1812, Bougon describió por primera vez la dilatación anormal de arterias coronarias (Alkhouli y Nunez Gil 2019). En 1953, Trinidad y su grupo de investigadores implementaron el uso de aneurisma de las arterias coronarias para describir las dilataciones de estos tramos vasculares en sus manuscritos (Devabhaktuni et al. 2016). Sin embargo, desde entonces se ha intercambiado indistintamente el uso de aneurisma coronario y ectasia coronaria para hacer alusión a la misma patología, hecho que ha sido equívoco por décadas (Robinson 1985). En 2017 se estableció una diferencia clara entre ambos fenotipos mediante estudios angiográficos en pacientes seleccionados, definiéndose así a aneurisma coronario como la dilatación focal $>1,5$ veces el diámetro adyacente de una misma arteria con diámetro normal y a ectasia coronaria como la dilatación más difusa que involucra el mismo lecho vascular (Luo et al. 2016). Para algunos autores la dilatación también puede considerarse patológica cuando mide >20 mm de diámetro (Alkhouli y Nunez Gil 2019) (véase Figura 1.).

Esta misma confusión ha llevado a que ambas patologías se traten de manera indistinta, lo que ha generado limitada evidencia para el manejo de la enfermedad coronaria ectásica en específico.

La prevalencia de la ectasia coronaria varía de 1.2% - 4.9% (Pinar Bermúdez et al. 2003), con una relación varón/mujer de 3:1 (Luo et al. 2016). Es

más frecuente en los lechos coronarios proximales vs. los distales (Manginas y Cokkinos 2006), siendo la arteria coronaria derecha la más afectada (40%) seguida de la descendente anterior izquierda (32%) (Kawsara et al. 2018). La causa más común de EAC es la enfermedad coronaria aterosclerótica (Genena et al. 2018), y es con mayor frecuencia una variante de la arteriosclerosis coronaria oclusiva. La ectasia y la estenosis mayor pueden coexistir en la misma arteria (Swanton et al. 1978). La patogenia no ha sido del todo dilucidada, pero por el momento, se apunta al accionar del óxido nítrico (NO) de manera crónica, en el endotelio coronario (Alkhouli y Nunez Gil 2019), como lo demostró un estudio estadounidense realizado en veteranos de guerra en Vietnam, con ectasia coronaria, que estuvieron expuestos al ‘agente naranja’ (herbicida utilizado como arma química) (Dwyer y Flesch-Janys 1995), en el que se sugiere que la exposición prolongada estimula la producción de acetilcolina, que a su vez causa sobreestimulación de NO y adelgazamiento de la íntima media coronaria (Malviya et al. 2017). Las manifestaciones clínicas son variables, suele cursar con angina estable, y en peculiares ocasiones con angina inestable, especialmente por reflujo retrógrado y lento de la arteria ectásica u oclusión parcial del segmento ectásico por la dinámica trombogénica del flujo (Ali et al. 2017), factor implicado en el infarto de miocardio sin elevación del ST, y en ocasiones, del infarto con ST elevado, por lo que no es raro el síndrome coronario agudo (SCA) en estos pacientes (Papadakis et al. 2001).



Figura 1. Diferencia entre aneurisma y ectasia coronaria. Se ilustra la diferencia entre arterias coronarias normales y arteria coronaria izquierda con aneurisma sacular (AS) en el centro y ectasia coronaria (EC) en la derecha. Nótese la diferencia entre el aneurisma y la ectasia, principalmente en que el aneurisma es una dilatación focal, mientras que la ectasia es una dilatación extendida en el trayecto de la arteria. A: aorta; CD: coronaria derecha; CI: coronaria izquierda.

Los contribuyentes a la formación de un trombo son los componentes de la triada de Virchow: lesión endotelial, estasis sanguínea y estado de hipercoagulabilidad (Hammer y McPhee 2019). En la ectasia coronaria existe estasis y flujo sanguíneo retrógrado y lento, y esto, sumado a la lesión endotelial provocada por flujo turbulento en el segmento arteria dilatado, causa trombogénesis patológica.

De manera sorpresiva, y similar a lo mencionado en el párrafo anterior, sucede con el COVID-19, pues esta infección viral causa disfunción endotelial: se ha encontrado invasión del endotelio por el SARS-CoV-2, con lesión grave, pérdida de función fibrinolítica y liberación masiva del factor von-Willebrand. Adicionalmente, el endotelio disfuncional libera IL-6 por la invasión viral, amplificando la respuesta inmune, incluso al estado del síndrome de tormenta de citocinas. Además, esta infección se ha asociado con hiperviscosidad (evidenciado como altas cantidades de fibrinógeno), lo cual predispone a trombosis e induce lesión y disfunción del endotelio. A pesar de no haber una relación conocida entre COVID-19 y la formación de aneurismas, puede haber formación acelerada de trombos en aneurismas preexistentes. Hay registros de dos casos en los que se rompieron aneurismas aórticos y de uno de rotura de aneurisma poplíteo durante infección activa por COVID-19. El mecanismo propuesto en estos casos es un estado de hipercoagulabilidad del COVID-19 superpuesto al flujo turbulento en el aneurisma (Ahmed et al. 2020).

La lentificación del flujo sanguíneo es un fenómeno angiográfico caracterizado por la opacidad tardía de los vasos distales, siempre que se excluya la presencia de enfermedad coronaria pericárdica significativa (Akyürek et al. 2003). El Conteo de Cuadros de trombólisis en el grado de infarto del miocardio (TIMI), inventado por C. Michael Gibson, es un índice objetivo útil para hacer mediciones del flujo y clasificarlo en cuatro grados de oclusión arterial coronario (Sarkar et al. 2020): TIMI 0: Arteria totalmente obstruida. TIMI 1: Flujo de sangre mínimo. TIMI 2: Flujo lento o retardo del flujo. TIMI 3: Flujo de sangre normal.

En vista de que flujo lento es un factor procoagulante y trombogénico en los segmentos ectásicos, se ha sugerido el uso de anticoagulantes (p. ej.: Warfarina, rivaroxabán), sin ser un tratamiento evaluado en estudios clínicos aleatorizados, ni apoyado en grandes estudios poblacionales. De

igual manera, los antiplaquetarios (p. ej.: ácido acetilsalicílico, tricagrelor, clopidogrel) han sido el pilar del tratamiento de diversas enfermedades trombogénicas, pero la evidencia de su uso en enfermedad ectásica coronaria es limitada (Alkhouli y Nunez 2019). Se ha demostrado que los nitratos exacerbaban la isquemia miocárdica y, por lo tanto, deben evitarse (Damay et al. 2019); dato que resulta de especial interés, puesto que los nitratos son unos de los fármacos de primera línea para el tratamiento de SCA, manifestaciones con las que puede presentarse la ectasia coronaria. Dado que la evidencia actual es limitada con respecto al tratamiento de mantenimiento en pacientes con ectasia coronaria, el objetivo de este estudio es establecer si la terapia antitrombótica doble (TAPS+ACO) y/o triple (TAPD+ACO) o la terapia con solo ACO, son útiles para prevenir la recidiva de los síntomas en un periodo de seguimiento mínimo de 3 meses en pacientes con ectasia coronaria.

METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda .- Para cumplir con el objetivo al final de la introducción, se realizó una búsqueda amplia en las bases de datos de PubMed y Scopus mediante la siguiente pregunta PICOS: '*coronary ectasia OR coronary aneurysm AND therapy OR antiplatelet agents OR anticoagulant agents AND unstable angina recurrence AND case report*', obteniéndose un total de 287 artículos en PubMed y 96 en Scopus. De los 383 artículos encontrados, se limitó la búsqueda a publicaciones hechas desde 1997, obteniéndose 220 resultados en PubMed y 94 en Scopus, con un total de 314 artículos. De este total, se excluyeron 264 artículos según criterios de exclusión establecidos (véase más adelante). De los 50 artículos restantes, 39 artículos cumplían menos de 15 ítems del checklist 'CARE', obteniéndose un total final de 11 artículos (ver Figura 2).

Criterios de selección.- Se escogieron aquellos artículos en cuyo escrito existían las siguientes variables: el cuadro clínico inicial del paciente con angina inestable, el método diagnóstico que se utilizó para determinar ectasia coronaria o aneurisma presente, la terapia utilizada a largo plazo, el tiempo de seguimiento mayor o igual a 3 meses y el resultado obtenido tras el seguimiento con la terapia establecida. Se determinó la efectividad de la terapia establecida mediante las variables: ausencia de recurrencia del síndrome coronario agudo, flujo coronario estable mediante escala TIMI angiográfico, ausencia de complicaciones relacionadas a la medicación y

buena adherencia al tratamiento, durante el periodo de seguimiento. Se excluyeron aquellos artículos en los que no se comentaba el medicamento usado para el seguimiento, ni el resultado de recurrencia de la angina inestable tras la terapia establecida o se obviaba algún otro parámetro de eficacia antes comentado. Además, se excluyeron artículos que no cumplieran por lo menos 20 ítems del checklist CARE, obtenido de la librería 'Equator Network'.

Análisis estadístico.- Realizamos análisis estadísticos utilizando IBM SPSS Statistics para Windows, versión 23 (IBM Corp., Armonk) para descartar artículos duplicados o que fueron indexados en diferentes bases de datos o revistas extra consultadas, de las cuales se obtuvieron los artículos para este estudio.

RESULTADOS

Todas las características relevantes de los pacientes incluidos en este estudio se resumen en la Tabla 1, al final del artículo en anexos. A continuación, se describe brevemente la evolución de cada uno

los casos que han sido reportados y electos en este estudio, fraccionados de acuerdo a diferentes regímenes terapéuticos útiles en el manejo de enfermedad coronaria ectásica. De los 11 reportes de casos de ectasia coronaria, 5 pacientes recibieron terapia antitrombótica triple (TAPD+ACO), 3 pacientes recibieron terapia antitrombótica doble (TAPS+ACO) y 3 pacientes recibieron terapia anticoagulante oral (ACO); ninguno tuvo recurrencias en el periodo de seguimiento.

Pacientes tratados solo con terapia anticoagulante oral (ACO).- Un hombre obeso de 60 años con antecedentes de diabetes mellitus tipo II e hiperlipidemia, que se presenta con angina de esfuerzo progresiva y disnea, refiere además disnea paroxística nocturna y ortopnea. El electrocardiograma cambió la inversión de la onda T en la derivación II, sin cambios en el segmento ST. Las enzimas cardíacas en serie fueron normales. Durante la angiografía, se detectó que el paciente tenía un aneurisma coronario de 1,7 cm y una ampliación aneurismática difusa de la arteria

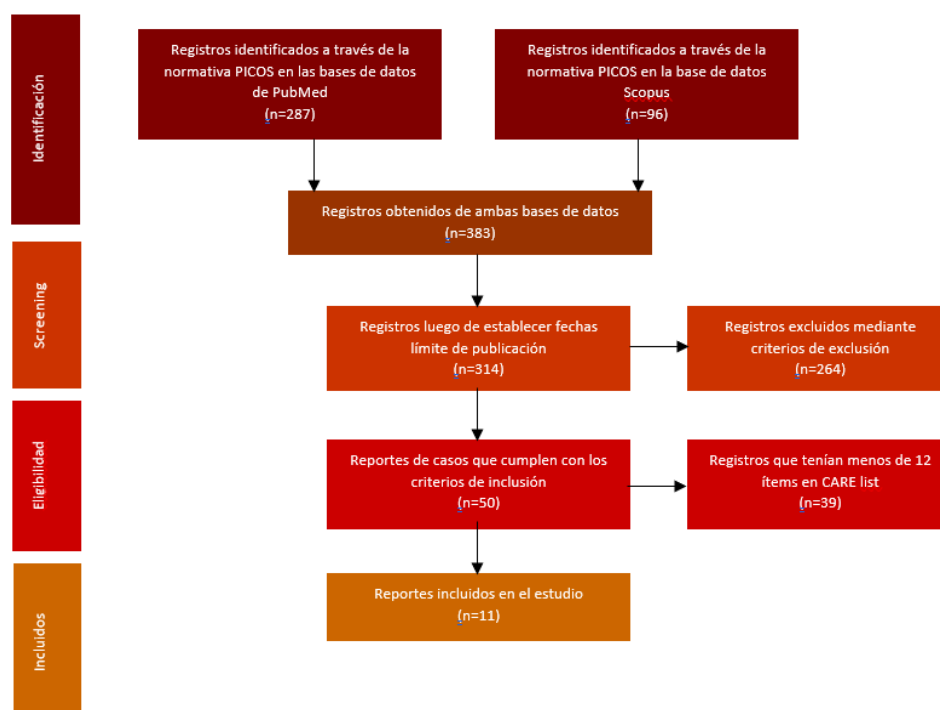


Figura 2: Diagrama de flujo de selección de estudios.

coronaria derecha, sin estenosis coronarias mínimas. Fue dado de alta en terapia con Warfarina después de un curso hospitalario sin complicaciones, pero la aspirina fue retenida debido a una alergia grave a la aspirina. Cuando se vio al paciente 6 meses después del alta, no hay informes de recurrencia de los síntomas. Permaneció asintomático a los 12 meses de seguimiento (Lima et al. 2006).

Un hombre de 57 años de edad, con antecedentes de disección aórtica tipo A intervenida, y dilatación residual de la aorta descendente de hasta 60 mm es ingresado por un SCA sin alteración del ST: el paciente sufre un dolor epigástrico opresivo irradiado al borde cubital de ambos brazos asociado a sudoración profusa por tres horas y cuando acude al Servicio de Urgencias está ya asintomático, pero presenta una discreta elevación de marcadores de daño miocárdico (creatinina-fosfoquinasa 233 U/L y troponina I 3.15 ng/mL). Se descarta mediante TC que el cuadro está relacionado con la progresión de su enfermedad aórtica, comprobando además que los diámetros aórticos permanecen estables. Se realiza coronariografía que muestra una marca ectasia de la coronaria derecha de significado incierto. Se intenta realizar tromboaspiración, sin que esta sea exitosa. Se decide mantener tratamiento antiagregante y anticoagulante en rango terapéutico durante dos meses y repetir la coronariografía para reevaluar las imágenes dependientes de la coronaria derecha. Este segundo estudio muestra la completa resolución de las lesiones, confirmando el origen trombótico de las mismas. Se discute nuevamente el manejo terapéutico del paciente, y se decide mantener la anticoagulación de forma crónica suspendiendo la antiagregación. Al cabo de dos años y seis meses, el paciente se mantiene asintomático y estable (Awamleh et al. 2017).

Una mujer de 37 años presentaba fuertes dolores torácicos retroesternales 12 días después de dar a luz a su sexto hijo. Los ECG iniciales mostraron una inversión de la onda T en las derivaciones II y aVL solamente, pero un ECG dos días después mostró una inversión profunda de la onda T con ondas Q en las derivaciones inferiores. Las enzimas cardíacas en serie mostraron un ligero aumento de la creatina quinasa a un máximo de 297 U/L en el día 2. La angiografía coronaria reveló un sistema coronario izquierdo normal, sin evidencia de ateroma. La ACD, sin embargo, tenía un gran aneurisma que surgía proximalmente. Se consideró que el aneurisma de la arteria coronaria explicaba sus síntomas; por lo tanto, la paciente fue anticoagulada con Warfarina. En el seguimiento dos meses después, un estudio

de estrés con talio no mostró ninguna evidencia de isquemia reversible y el paciente estaba bien. La paciente permaneció bien seis años después de la presentación (Chia et al. 1997).

Pacientes tratados con terapia antitrombótica doble (TAPS + ACO).- Un hombre de 73 años se presentó en cardiología con sospecha de infarto de miocardio con elevación del segmento ST en cara inferior con depresión recíproca del segmento ST en derivaciones de cara anterior. Se procedió directamente a la angiografía coronaria que mostró una arteria coronaria derecha ectásica con presencia de trombos, pero flujo TIMI 3. En este punto durante el procedimiento, el paciente no tenía dolor y su elevación del segmento ST se había resuelto. Como tal, se decidió manejarlo de forma aguda con heparina intravenosa no fraccionada. La repetición de la angiografía coronaria realizada 3 días después demostró una disminución de la carga del trombo. El paciente comenzó con Warfarina y aspirina y fue dado de alta en casa para seguimiento ambulatorio (Chongprasertpon et al. 2018).

Un hombre obeso de 43 años con un historial médico notable por diabetes mellitus tipo 2 e hiperlipidemia, se presentó con un dolor agudo en el pecho en reposo que irradiaba a su mandíbula y brazo izquierdo. La electrocardiografía reveló ondas T invertidas en la derivación III, sin variaciones del segmento ST. Después de la administración de nitroglicerina sublingual, su dolor en el pecho se redujo y se mantuvo hemodinámicamente estable. Los niveles de troponina alcanzaron un valor máximo de 5.24 durante el curso de la hospitalización del paciente. La ecocardiografía muestra una fracción de eyección de 0,60, sin anomalías valvulares. El cateterismo cardíaco posterior detectó un aneurisma fusiforme grande de 3 cm que involucró la porción distal de la arteria coronaria principal izquierda que se extendía hacia las arterias coronarias circunflejas y descendentes anteriores. Otra característica notable del angiograma de este paciente fue una ectasia difusa pero leve de la arteria coronaria derecha, también con ausencia de limitantes del flujo. La ventriculografía izquierda reveló una fracción de eyección de 0,55 sin anomalías en el movimiento de la pared regional. El paciente tuvo una hospitalización sin incidentes y fue dado de alta con terapia de aspirina y Warfarina. A los 6 meses de seguimiento, permaneció asintomático (Lima et al. 2006).

Un paciente masculino de 24 años presentó dolor torácico intenso y aplastante 4 horas después del

inicio. Su electrocardiograma inicial (ECG) mostró elevación del segmento ST en las derivaciones I, III, aVF, V5, V6. El nivel de troponina T fue elevado (0,567 ng/mL). Hubo la presencia de trombos dentro del segmento ectásico de la arteria circunfleja izquierda. Sin embargo, la lesión fue resistente a las aspiraciones repetitivas y el flujo sanguíneo se restableció solo parcialmente en la segunda rama marginal obtusa con TIMI 2. En consecuencia, el paciente recibió tirofiban después de la aspiración del trombo y después de 36 horas de infusión intravenosa. Tras considerar que existía lesión de un solo vaso, estaba hemodinámicamente estable y sus síntomas clínicos habían mejorado después de la intervención coronaria percutánea (ICP) y recibió terapia triple (Warfarina, aspirina y clopidogrel) durante 6 semanas. El clopidogrel se suspendió después de 6 semanas y el paciente permaneció con aspirina y Warfarina durante 15 meses, y en el seguimiento ambulatorio mostró que el paciente estaba clínicamente estable, con flujo TIMI 3 en angiografía (Li et al. 2017).

En un reporte de caso de un paciente varón de 33 años con aneurisma coronario izquierdo (raro), se presentó a la emergencia con dolor precordial agudo, sin síncope ni disnea y signos vitales normales; ocasionalmente fumaba y negaba antecedentes patológicos personales. Al momento del ECG hubo elevación del ST en V1-V3, comprobándose la ectasia tras la angiografía. Tras el diagnóstico, se realizó seguimiento con terapia antiplaquetaria simple (TAPS) con aspirina, al cual se le propuso agregar un nuevo anticoagulante oral (NACO), como rivaroxaban, por negación del paciente a usar Warfarina. Se realizó un seguimiento por 6 meses, sin recurrencia del SCA ni dolor pectoral (Yan et al. 2020).

Pacientes tratados con terapia antitrombótica triple (TAPD + ACO)

Cumarínicos.- En otro reporte de un paciente indonesio de 61 años que se presentó con dolor anginoso que comenzó 1 semana antes de la admisión y empeoró 3 horas antes de la misma; tuvo disnea, náusea, sudoración, presión arterial de 110/80 mmHg, frecuencia cardíaca de 54 latidos por minuto, frecuencia respiratoria 22 respiraciones por minuto y temperatura de 37 °C. Sus antecedentes patológicos personales fueron dislipidemia e hipertensión, dejó de fumar 17 meses antes de la admisión. Sus medicaciones hasta ese entonces eran: captopril, bisoprolol, aspirina, clopidogrel, warfarina, dinitrato de isosorbida y atorvastatina. Se le diagnosticó angina estable que sufrió SCA

y se le realizó intervención (con resolución) tras aplicar STENT en su arteria coronaria izquierda y TAPD (ASA más ticagrelor) como prevención. Sin embargo, se presentó 7 meses después con angina inestable, con episodios recurrentes, siendo nuevamente evaluado y encontrándose ectasia coronaria en su arteria coronaria derecha. Finalmente, se lo manejó con el mismo TAPD más anticoagulante (warfarina), hasta alcanzar un nivel óptimo y con controles posteriores, argumentándose que dicha terapia anticoagulante añadida parece ser más importante que la TAPD por si sola (Damay et al. 2019).

Un hombre de 46 años sufrió un angina repentina y sudoración fría temprano en la mañana, con antecedentes de hipertensión complicada y hepatitis B crónica, fue llevado a emergencias. Hubo elevación de las enzimas cardíacas, la angiografía coronaria derecha mostró un vaso ectásico grande y la oclusión total sobre la arteria coronaria derecha (ACD), con gran carga de trombo, y el angiograma coronario izquierdo también mostró vasos ectásicos pero sin lesión significativa. Se realizó una ICP sobre ACD y después de varios intentos de aspiración de trombo, solo se restableció el flujo a TIMI 1. El inhibidor de la glucoproteína IIb / IIIa (eptifibatida) se administró durante el procedimiento para una gran carga de trombo, y la angina se alivió gradualmente. Además, también se administraron medicamentos orales como antiagregantes plaquetarios (aspirina y clopidogrel), inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina, betabloqueante y estatina para un tratamiento médico óptimo. El paciente fue dado de alta después de 5 días de tratamiento. El ECG de seguimiento y las enzimas cardíacas sugirieron un nuevo infarto agudo de miocardio (IAM) sin elevación del segmento ST, por el paciente ingresó nuevamente en emergencia. Durante esta estancia, la heparina intravenosa fue administrado nuevamente para anticoagulación. Esta vez, ACD mostró oclusión total con gran carga de trombo en un segmento más proximal que el observado en angiografía previa. La trombectomía manual repetitiva se realizó nuevamente; sin embargo, el volumen del trombo era demasiado grande para ser resuelto, y solo se pudo restaurar el flujo TIMI 0-1. Finalmente se trató la lesión en combinación con la terapia de Warfarina a largo plazo en conjunto con TAPD planteada anteriormente. Esta vez, en varios meses después, se restableció el flujo a TIMI 3 y se observó la resolución completa del trombo. Por lo tanto, el paciente finalmente fue tratado con terapia de Warfarina a largo plazo más TAPD (Lee et al. 2013).

Se presenta el caso de una paciente de 78 años con antecedentes de hipertensión arterial, diabetes mellitus y dislipidemia. Fue ingresada en el hospital debido a un dolor torácico intermitente durante 6 horas. El electrocardiograma fue normal pero el nivel de troponina fue de 3.5 ng/mL (para un umbral de 0.03 ng/mL). La angiografía coronaria derecha mostró un vaso ectásico grande con un trombo enorme, no obstructivo en el medio y los segmentos distales de la arteria sin estenosis significativa (flujo TIMI 3). La angiografía coronaria izquierda mostró vasos ateromatosos sin estenosis significativa. El paciente fue trasladado de regreso a nuestra unidad de cuidados cardíacos para recibir cuidados intensivos adicionales. Después de la heparina intravenosa y la medicación oral, incluido el antiagregante plaquetario doble (aspirina y clopidogrel), el inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina, el betabloqueante y la estatina, el síntoma de dolor en el pecho del paciente se alivió gradualmente. Luego se prescribió anticoagulación oral (acénocumarol) y la paciente fue dada de alta después de 5 días de tratamiento. Se organizó un control angiográfico en 3 meses con una desaparición completa de la trombosis (Kammoun et al. 2019).

Nuevos ACO (NACO).- Un reporte de un caso de un hombre de 40 años, acudió a emergencia con dolor precordial de 2 horas de evolución, que permanecía en el reposo con dolor al hombro izquierdo, náusea, vómito y dificultad respiratoria. Al momento del diagnóstico se encontró en la angiografía y el ECG ectasia coronaria derecha e infarto del miocardio sin elevación del segmento ST, respectivamente. Posterior a la intervención angioplástica y trombectomía, se dio seguimiento al paciente con anticoagulantes orales: ácido acetilsalicílico más ticagrelor más Warfarina, este último suspendido a los 6 meses y se cambió Warfarina por rivaroxabán, con el que continúa actualmente, se siguió al paciente por un año, con resultados favorables y con el fin de evitar eventos cardíacos mayores en base a la evidencia ya presentada (Waqas et al. 2019).

DISCUSIÓN

Todos los casos enlazados en este estudio tuvieron tratamiento para eventos coronarios agudos relacionados con ectasia coronaria y algunos con aneurisma coronario. En la mayoría de los reportes de caso analizados en este estudio, el uso de la terapia antitrombótica triple y terapia antitrombótica doble, no reportó recurrencias durante el seguimiento mínimo de 3 meses de los pacientes con ectasia coronaria, a quienes se los controló con estudios

angiográficos. Los resultados obtenidos en nuestro estudio son similares a los de una revisión de serie de casos de 13 pacientes en seguimiento por 8,4 meses, que evaluó la reaparición de síndrome coronario agudo (SCA) [en 5 pacientes que recibieron solo terapia antiplaquetaria dual (TAPD) y 8 pacientes que recibieron TAPD + anticoagulante oral (ACO)]; pues de los 5 del primer grupo, 3 presentaron recurrencias de SCA al primer y segundo mes, mientras que los otros 2 se mantuvieron sin nuevos eventos. Y de los 8 pacientes del segundo escenario, ninguno presentó recurrencias de SCA durante el periodo de seguimiento. Así entonces, parece ser que TAPD + ACO es más efectiva que TAPD sola, especialmente en ectasia coronaria aislada, sin otras lesiones estenóticas (Pranata et al. 2019).

Como se comentó, la TAPD parece ser menos efectiva que la TADP + ACO. Pero, por otro lado, ¿qué tan efectiva puede ser la terapia solo con ACO? En el presente estudio, 3 pacientes tratados solo con ACO de mantenimiento tuvieron buenos resultados (traducidos en ausencia de recurrencias en el seguimiento) como aquellos tratados con terapia antitrombótica triple. Así lo demuestra un estudio observacional con seguimiento por 49 meses, en el que se evaluó el riesgo de eventos cardiovasculares mayores (ECVM) como infarto de miocardio no fatal y muerte cardíaca en pacientes con ectasia coronaria, y su seguimiento solo con terapia anticoagulante con Warfarina, que encontró que a pesar del riesgo de ECVM alto, si los pacientes cumplían con un óptimo porcentaje de tiempo en el rango terapéutico objetivo (RTO) >60%, la incidencia de ECVM era menor en contraste con aquellos con RTO <60%, con control inadecuado o desapego al tratamiento anticoagulante, o en aquellos que no tomaron Warfarina ($p=0.03$) (Doi et al. 2017).

En un estudio prospectivo realizado con 317 pacientes de enfermedad arterial coronaria ectásica, [en el que se evaluó el uso de solo TAPD, para pacientes con ataques isquémicos transitorios o aquellos con flujo angiográfico lento (<TIMI 3) vs. solo ACO (Warfarina) para control de tromboembolismo venoso o arritmias atriales y el riesgo de síndrome coronario agudo (SCA) a largo plazo], se encontró que aquellos manejados con TAPD disminuyen el riesgo de desarrollo de SCA en contraposición en quienes no se manejaron con TAPD (17% vs. 34%, $p=0.03$); mientras que, en aquellos manejados con ACO, en comparación con el grupo control no manejado con ACO, se observó una reducción del riesgo de SCA (29% vs. 42%,

$p=0.02$)²⁹. Así entonces, ambos fármacos tienen una efectividad estadísticamente significativa para prevenir recurrencias, y, en la enfermedad coronaria se requieren tanto los efectos antiplaquetarios como los efectos anticoagulantes ya que en la ectasia se observa activación plaquetaria continua por el flujo turbulento existente, pero a su vez, activación procoagulante por daño endotelial (Erden et al. 2010). Esto se traduce en que TAPD en combinación ACO es eficaz para el manejo a largo plazo en pacientes con ectasia coronaria. Sin embargo, se requieren estudios con mayor población de estudio para llegar a una aseveración acertada.

La combinación de TAP y ACO también puede ser fundamental cuando ya hay trombosis en el segmento ectásico, porque cuando se identifica un trombo residual dentro de un aneurisma (es decir, un trombo que permanece tras el intento de aspiración), algunos autores abogan por la terapia antitrombótica triple con reemplazo de un ACO clásico por un nuevo anticoagulante oral (NACO): rivaroxabán (Matthew y Timothy 2018). Se ha propuesto que el uso de los NACO puede tener un beneficio mayor que los ACO clásicos en el manejo de la ectasia coronaria. En el ensayo COMPASS, el uso de rivaroxabán más aspirina, en pacientes con enfermedad coronaria estable tuvo 3,4% de muertes, en comparación con aspirina sola, 4,1%. Esto puede demostrar que el uso del rivaroxabán atenúa la progresión de la placa aterosclerótica, en caso de que existiera, y la desestabilización de la apolipoproteína E, al inhibir la activación proinflamatoria de los macrófagos. Existe cierta evidencia, aunque escasa, sobre la eficacia de los NACO y su superioridad ante Warfarina, para prevención secundaria en fibrilación atrial no valvular, una patología también trombogénica. Sin embargo, se necesitan más estudios que comparen ACO vs. NACO (Gunasekaran et al. 2018, Eikelboom et al. 2017), especialmente en el contexto de enfermedad ectásica coronaria. Las terapias antitrombóticas investigadas (doble y triple) y los nuevos anticoagulantes orales muestran buenos resultados.

CONCLUSIONES

En este estudio tanto la terapia solo con ACO, como la terapia antitrombótica doble (ACO + TAP) y triple (ACO + TAPD) mostraron beneficio al prevenir las recurrencias de SCA tras el seguimiento como mínimo de 3 meses, probablemente porque van en contra de la dinámica de flujo lento protrombótica y procoagulante de la enfermedad arterial ectásica. Aunque, según otros estudios cuantitativos, la

terapia antitrombótica triple parece ser más eficaz que el uso de TAPD de manera aislada. Y, por otro lado, el uso de NACO podría tener mayor beneficio sobre el uso de ACO tradicionales, aunque se requieren más estudios al respecto; especialmente en el contexto de ectasia coronaria.

Limitaciones.- Debido a la falta de evidencia de mayor rigor científico, no se pueden obtener relaciones directas o estadísticamente significativas, y a pesar de encontrarse beneficio terapéutico ante el uso de antiagregantes más anticoagulantes en el manejo de la enfermedad arterial coronaria, no se puede recomendar esta práctica en la clínica de manera universal. Se necesitan más estudios al respecto. Además, la confusión común entre ectasia y aneurisma coronario han llevado a que no se diluciden correctamente la diferencia del tratamiento entre ambas patologías.

Abreviaturas

SCA: Síndrome coronario agudo
ECVM: Eventos cardiovasculares mayores
RTO: Rango terapéutico objetivo
ACO: Anticoagulante oral
TAP: Terapia antiplaquetaria
TAPD: Terapia antiplaquetaria dual
TAPS: Terapia antiplaquetaria simple
Terapia antitrombótica doble: TAPS + ACO
Terapia antitrombótica triple: TAPD + ACO
NACO: Nuevos anticoagulantes orales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed S, Zimba O, Gasparyan A. 2020. Thrombosis in Coronavirus disease 2019 (COVID-19) through the prism of Virchow's triad. *Clinical Rheumatology* 39:2529-2543.

Akyürek Ö, Berkalp B, Sayın T, Kumbasar D, Kervancıoğlu C, Oral D. 2003. Altered coronary flow properties in diffuse coronary artery ectasia. *American Heart Journal* 145:66-72.

Ali D, Asghar D, Yasir D. 2017. Coronary artery ectasia; prevalence and clinical characteristics: experience from a single cardiac center. *The professional medical journal* 24:545-553.

Alkhouli M, Nunez Gil I. 2019. Coronary Ectasia. Expert Analysis. *American College of Cardiology*. Awamleh P, Casado R, Mata R. 2017. Ectasia coronaria y lesiones trombóticas como causa de síndrome coronario agudo. *Revista Colombiana de Cardiología* 24:131.e1-131.e4. [accessed 2020 Jun 15].

- Chia H, Tan K, Jackson G. 1997. Aneurismas de la arteria coronaria no aterosclerótica: dos informes de casos. *Corazón* 78:613-616. [accessed 2020 Jun 15].
- Chongprasertpon N, Coughlan J, Ibrahim M, Kiernan T. 2018. Spontaneous thrombosis in an ectatic right coronary artery. *BMJ Case Reports*.
- Damay V, Pranata R, Wiharja W. 2019. Recurrent acute coronary syndrome in a patient with right coronary artery ectasia: a case report. *Journal of Medical Case Reports* 13.
- Devabhaktuni S, Mercedes A, Diep J, Ahsan C. 2016. Coronary Artery Ectasia-A Review of Current Literature. *Current Cardiology Reviews* 12:318-323.
- Doi T, Kataoka Y, Noguchi T, Shibata T, Nakashima T, Kawakami S, Nakao K, Fujino M, Nagai T, Kanaya T et al. 2017. Coronary Artery Ectasia Predicts Future Cardiac Events in Patients With Acute Myocardial Infarction. *Highlights. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 37:2350-2355.
- Dwyer J, Flesch-Janys D. 1995. Agent Orange in Vietnam. *American Journal of Public Health* 85:476-478.
- Eikelboom J, Connolly S, Bosch J, Dagenais G, Hart R, Shestakovska O, Diaz R, Alings M, Lonn E, Anand S et al. 2017. Rivaroxaban with or without Aspirin in Stable Cardiovascular Disease. *New England Journal of Medicine* 377:1319-1330.
- Erden İ, Erden E, Özhan H, Karabulut A, Ordu S, Yazici M. 2010. Outcome of Primary Percutaneous Intervention in Patients With Infarct-Related Coronary Artery Ectasia. *Angiology* 61:574-579.
- Genena K, Ali M, Christmas D, Siu H. 2018. Coronary Artery Ectasia Presenting as a Non-ST Elevation Myocardial Infarction in a Young Adult: Case Presentation and Literature Review. *Case Reports in Cardiology* 2018:1-3.
- Gunasekaran P, Drees T, Fritzlen J, Haghnegahdar M, Earnest M, Mehta A, Hockstad E, Wiley M, Tadros P, Dawn B et al. 2018. Dual antiplatelet therapy or oral anticoagulation reduces the incidence of acute coronary syndromes in patients with coronary artery ectasia. *Journal of the American College of Cardiology* 71:A1406.
- Hammer G, McPhee S. 2019. *Fisiopatología de la enfermedad*. 2nd ed. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Kammoun Y, Bahloul A, Ellouz T, Saray H, Dammak M, Abid L, Hentati M, Kammoun S. 2019. Thrombotic Coronary Ectasia and the Interest of Oral Anticoagulation: Case Report. *Clin Med Case Rep* 3:125.
- Kawsara A, Núñez Gil I, Alqahtani F, Moreland J, Rihal C, Alkhouli M. 2018. Management of Coronary Artery Aneurysms. *JACC: Cardiovascular Interventions*.
- Lee H, Lin T, Su H, Voon W, Lai W, Sheu S, Hsu P. 2013. Recurrent Thrombosis in a Case of Coronary Ectasia with Large Thrombus Burden Successfully Treated by Adjunctive Warfarin Therapy. *Acta Cardiol Sin* 29:462-466.
- Li Y, Wu C, Liu W. 2017. Coronary artery ectasia presenting with thrombus embolization and acute myocardial infarction. *Medicine* 96:e5976.
- Lima B, Varma S, Lowe J. 2006. Nonsurgical Management of Left Main Coronary Artery Aneurysms: Report of 2 Cases and Review of the Literature. *Tex Heart Inst J* 33:376-379.
- Luo Y, Tang J, Liu X, Qiu J, Ye Z, Lai Y, Yao Y, Li J, Wang X, Liu X. 2016. Coronary Artery Aneurysm Differs From Coronary Artery Ectasia: Angiographic Characteristics and Cardiovascular Risk Factor Analysis in Patients Referred for Coronary Angiography. *Angiology* 68:823-830.
- Malviya A, Jha P, Mishra A. 2017. Isolated coronary artery ectasia: Clinical, angiographic, and follow up characteristics. *Indian Heart Journal* 69:619-623.
- Manginas A, Cokkinos D. 2006. Coronary artery ectasias: imaging, functional assessment and clinical implications. *European Heart Journal* 27:1026-1031.
- Matthew S, Timothy E P. 2018. Coronary Artery Ectasia: An Interventional Cardiologist's Dilemma. *International Archives of Cardiovascular Diseases* 2.
- Papadakis M, Manginas A, Cotileas P, Demopoulos V, Voudris V, Pavlides G, Foussas S, Cokkinos D. 2001. Documentation of slow coronary flow by the TIMI frame count in patients with coronary ectasia. *The American Journal of Cardiology* 88:1030-1032.

Pinar Bermúdez E, López Palop R, Lozano Martínez-Luengas I, Cortés Sánchez R, Carrillo Sáez P, Rodríguez Carreras R, Picó Aracil F, Valdés Chávarri M. 2003. Ectasia coronaria: prevalencia, características clínicas y angiográficas. *Revista Española de Cardiología* 56:473-479.

Pranata R, Yonas E, Chintya V, Alkatiri A. 2019. Is Anticoagulant Necessary in Patients with Coronary Artery Ectasia Presenting with Acute Coronary Syndrome? A Systematic Review of Case Reports. *International Journal of Angiology* 28:231-236.

Robinson F. 1985. Aneurysms of the coronary arteries. *American Heart Journal* 109:129-135.
Sarkar A, Grigg W, Lee J. 2020. TIMI Grade Flow. StatPearls Publishing.

Swanton R, Thomas M, Coltart D, Jenkins B, Webb-Peploe M, Williams B. 1978. Coronary artery ectasia--a variant of occlusive coronary arteriosclerosis. *Heart* 40:393-400.

Waqas M, Bizzocchi L, Menegus M, Faillace R. 2019. Coronary Artery Ectasia: An Insight into Intraprocedural and Postprocedural Management Strategies. *Cureus* 11:e3928.

Yan Q, Ning L, Jian Y, Yang W, Yuan Q, Du Z. 2020. Could the Novel Oral Anticoagulants Be Used for Coronary Artery Aneurysm?. *Case Reports in Medicine* 2020:1-4.