

Publicación anual. Número 21 | Quito, mayo de 2019

Nuestra Ciencia

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



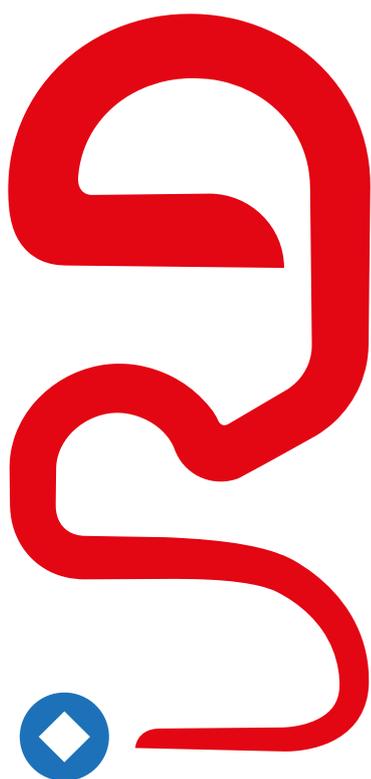
Comprometidos con el Ecuador



REPSOL

Operamos en el Ecuador en los Bloques 16 y Tivacuno con nuestros socios Opic, Sinochem y Tip Top Energy Ltd., subsidiaria de Sinopec.

www.repsol.com



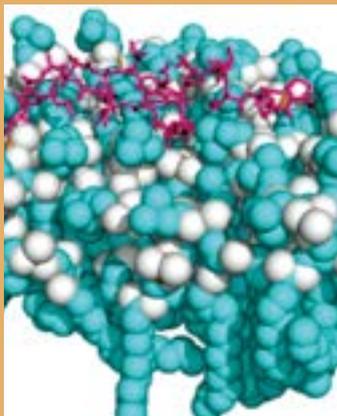
10



18



23



37



41



Contenido

Actualidad Científica

- 3** Elementos genéticos móviles y biodiversidad de los organismos
■ Romain Guyot, Doris Vela, Rommel Montúfar
- 6** La molécula de ADN al auxilio del conocimiento de los triatomos, vectores de la enfermedad de Chagas
■ Simone Frédérique Brenière, Etienne Waleckx, Dra. Anita Villacis
- 10** Geografía de la Salud y su importancia en la prevención y control de la enfermedad de Chagas
■ Luis E. Cárdenas, Diego A. Moreno, Mario J. Grijalva, Esteban G. Baus
- 14** Las lipasas: enzimas entre el agua y el aceite
■ Luis Lascano Demera
- 18** ¡Menos quejas y más propuestas! Alternativas a los insecticidas químicos sintéticos
■ Diego Guevara S.I
- 23** Caracterización computacional de péptidos antimicrobianos extraídos de anfibios ecuatorianos
■ Lorena Meneses Olmedo, Sebastián Cuesta Hoyos

Fotoreportaje

- 27** La vida en el ceibo
■ Esteban Baus

Curiosidades Científicas

- 30** Los verdaderos intraterrestres
■ Santiago F. Burneo
- 34** Educarnos para Educar hacia una producción más Agroecológica
■ Diego Mina
- 37** Microplásticos: ¿por qué resulta tan difícil la concientización?
■ Diana Astorga García, Alonzo Alfaro-Núñez
- 41** ¡Mi tomate de árbol está enfermo!
■ María Eugenia Ordóñez
- 44** Declinación masiva de insectos: ¿se acerca el Armagedón?
■ Fernanda Salazar-Buenaño, David A. Donoso
- 47** Nanopartículas: el tamaño sí importa
■ Isabel Cipriani
- 51** ¿La búsqueda alquímica estaba justificada?
■ Victoria Guzmán

Instantáneas

- 54** Los biólogos y las montañas
■ Ricardo Jaramillo

Gente que hace historia

- 55** Santiago Fernando Burneo Núñez: un biólogo encariñado con los murciélagos
■ Alberto B. Rengifo A.

Noticiencia

- 59** Plantas utilizadas por los Quichuas de Ecuador
■ Omar Vacas Cruz
- 60** Guía de MORAS del Ecuador
■ Katya Romoleroux

DECANO

Mtr. Esteban Baus C.

EDITOR

Dr. Alberto Rengifo A.

CONSEJO EDITORIAL Y REVISIÓN DE TEXTOS

Álvaro Barragán, Santiago Burneo, Alejandra Camacho, Jaime Costales, Verónica Crespo, Lorena Meneses, Andrés Merino, Rommel Montúfar, Hugo Navarrete, Anita Villacís.

CORRECTOR DE TEXTOS

Dr. Alberto Rengifo A.

COLABORARON EN ESTE NÚMERO

Dr. Alonzo Alfaro-Núñez,
Dra. Diana Astorga,
M. Sc. Santiago Burneo,
Dra. Frédérique Brenière,
Mtr. Esteban Baus,
Mtr. Luis E. Cárdenas,
M. Sc. Isabel Cipriani,
M. Sc. Sebastián Cuesta,
Dr. David A. Donoso,
Dr. Mario J. Grijalva,
M. Sc. Victoria Guzmán,
Dr. Romain Guyot,
M. Sc. Ricardo Jaramillo,
Lic. Luis Lazcano
Dra. Lorena Meneses,
Ing. Agr. Diego Mina,
Dr. Diego A. Moreno,
Dr. Rommel Montúfar,
Dra. María Eugenia Ordóñez,
Dr. Alberto Rengifo A.,
Lic. Fernanda Salazar,
Magíster Omar Vacas,
Dra. Doris Vela,
Dra. Anita Villacís,
Dr. Etienne Waleckx.

DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

Imprenta Hojas y Signos
hojasysignos@gmail.com, 3319298

TIRAJE: 1000 ejemplares

NUESTRA CIENCIA: Revista anual de divulgación científica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la PUCE

NÚMERO 21, MAYO DE 2019

ISSN: 1390-1893

Quito, Ecuador

Revista *Nuestra Ciencia* n.º 21.

http://issuu.com/hojas/docs/revista_nuestra_ciencia_no21

Los artículos publicados son responsabilidad exclusiva de sus autores y no comprometen a la Revista, al editor, ni a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la PUCE.



Ceibo de Loja, (*Ceiba insignis*).

Por Esteban Baus C.

Editorial

Gerardo Villar S. J. en unos de sus escritos dice: “Hay miradas que delatan, envidian y que no soportan el bien ajeno. Mi-

radas de muerte. Pero también sabemos que hay miradas que curan y

reconfortan; miradas que son oasis y siembra acogedora; que arropan y bendicen. Miradas llenas de amor hacia el otro, que hacen la vida más fácil. Miradas que sientan bien y embellecen a sus destinatarios, haciéndoles mejores y sacando lo óptimo de ellos”.

Nuestra Ciencia, en su volumen 21, acoge con su mirada llena de esperanza las diferentes propuestas e investigaciones realizadas por los científicos de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la PUCE, porque sabe que todos estos estudios se encaminan a proponer, como se lee en la Carta de la Tierra, “no un desarrollo sostenible, fruto de la política económica dominante, antiecológica, sino un modo de vida sostenible que resulta del cuidado de la vida y de la tierra” (L. Boff).

Por esto, en este número, apreciado lector, usted se enterará, entre otras cosas muy interesantes, de la importancia que tiene la Geografía de la salud, de la constante lucha que se realiza por controlar la transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas, problema que tiene determinantes ambientales, sociales y económicos; de la respuesta que se puede dar a una pregunta crucial que realizan los agricultores: ¿cómo controlar eficazmente la plaga del gusano del choclo sin tanto insecticida?; de la urgente necesidad que tiene nuestra sociedad de entender las consecuencias fatales, que significa la acumulación de plásticos en los océanos; pues, dentro de nada, tendremos más plásticos que peces en el mar.

En fin, como ayer y como ahora, *Nuestra Ciencia* abre sus páginas para entregarle, acucioso lector, no solo conocimientos sino, en especial, una particular mirada de la vida y de la naturaleza que encierra tantos misterios como la fascinante Cueva de los Tayos, que recientemente fue explorada por un equipo multidisciplinario de la PUCE, en búsqueda de sus verdaderos secretos: su biodiversidad.

¡Hasta siempre. Que le aproveche su lectura!

Dr. Alberto B. Rengifo A.
Quito, 21 de mayo de 2019

Elementos genéticos móviles y biodiversidad de los organismos

■ Por Romain Guyot, Institut de Recherche pour le Développement Montpellier France* (romain.guyot@ird.fr)
Doris Vela, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Pontificia Universidad Católica del Ecuador Quito Ecuador.*
(DVELA508@puce.edu.ec); Rommel Montúfar, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Pontificia Universidad
Católica del Ecuador Quito Ecuador*. (RJMONTUFAR@puce.edu.ec)
*Laboratoire Mixte International "Bio_Inca"

La diversidad genética de los organismos se genera progresivamente bajo el impacto de la naturaleza, pero también bajo el impacto del hombre a través de la selección aplicada a las especies domesticadas. Esta diversidad genética da lugar a variaciones o procesos de regulación del ADN, que pueden ser puntuales (como una mutación) o más generales (como la hibridación o la poliploidía). En los últimos años, se ha descubierto una nueva fuente de diversidad que aún no ha sido explorada: los elementos genéticos móviles o elementos transponibles (conocidos también como "genes saltarines"), que son fragmentos de ADN nuclear insertados en un genoma huésped y que tienen la capacidad de moverse utilizando sus propios mecanismos. Estos elementos han sido encontrados en todas las especies investigadas, tanto en genomas eucariotas como en procariontes, y son autónomos y proliferativos. Los elementos móviles tienen un impacto significativo en la organización y evolución de los genomas y la inserción de nuevas copias está relacionada con cambios e innovaciones de la función de los genes. Estudios sobre los mecanismos de variabilidad del color de las hojas, flores y frutos de plantas, permitieron el descubrimiento de la movilidad de estas secuencias y,

posteriormente, fueron identificados como elementos transponibles. Barbara McClintock fue una de las primeras investigadoras en observar su impacto en el genoma del maíz y en proponerlos como mecanismos de regulación génica. La propuesta innovadora de McClintock, de un modelo dinámico del genoma, revolucionó el conocimiento científico convencional y le valió el Premio Nobel en 1983.

Después de su "descubrimiento", los elementos móviles fueron considerados en el mejor de los casos como actores secundarios de la evolución y, en el peor, como parásitos genómicos. Muy pocos estudios han demostrado, hasta el momento, la faceta positiva o favorable de estas secuencias en la evolución de genes y genomas. Por otro lado, la capacidad de los elementos móviles para producir un gran número de copias y su efecto mutagénico ha llevado a calificarlos como "ADN basura". Sin embargo, en los últimos 20 años, se han secuenciado los genomas completos de varios organismos modelo: en plantas: *Arabidopsis* y *Oryza sativa* (arroz), en animales *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta) y levaduras. El análisis de estos genomas ha mostrado que la estructura del genoma es un modelo dinámico sujeto a dos mecanismos evolutivos principales: duplicaciones cromosómicas y mecanismos relacionados con la actividad de los elementos móviles.

Los elementos móviles participan en la configuración de los cromosomas, su concentración está correlacionada con el tipo de cromatina. En las regiones eucromáticas, ricas en genes, los elementos móviles están dispersos y en baja concentración; mientras que, en las regiones heterocromáticas, pobres en genes, se observa una alta concentración de elementos móviles. Las regiones ricas en elementos móviles son el objetivo de una regulación epigenética que involucra en particular la metilación de la citosina, que inactiva la actividad transcripcional de los elementos, y en la inactivación de la cromatina. También son parte de la estructura de los centrómeros en los cromosomas de plantas (De Castro Nunes *et al.*, 2018). Además, pueden generar una amplia variedad de mutaciones y efectos cuando ocurre una nueva inserción. La movilización de los elementos transponibles puede ocurrir dentro del mismo genoma verticalmente (por la reproducción sexual), pero también a través de una transferencia horizontal entre dos especies diferentes. Los efectos dependen principalmente del lugar de la inserción y la naturaleza del elemento. Todos estos mecanismos evolutivos relacionados con la actividad de los elementos móviles muestran que son herramientas formidables para crear diversidad y evidencian que los genomas son estructuras en

constante evolución y reorganización. En algunos casos, han sido utilizados como marcadores para el estudio de la biodiversidad.

Tipo principal de elementos móviles

Existe una gran diversidad de secuencias de elementos móviles. Tradicionalmente, se clasifican en dos grandes grupos: retrotransposones y transposones, aunque esta clasificación aún es debatida por especialistas. Los retrotransposones se movilizan a través de la síntesis de una molécula de ARN y un mecanismo de retrotranscripción del ARN en ADN, y pueden incrementar su número de copias de una manera considerable. Los transposones se movilizan, de un sitio a otro sitio del genoma, a través una molécula de ADN, con la ayuda de una Transposasa, una proteína propia del elemento (Fig. 1).

Tanto retrotransposones como transposones utilizan la maquinaria

celular del genoma del huésped para movilizarse. Los retrotransposones son los elementos móviles más abundantes, se estima que casi el 40 % del genoma humano y el 80 % del genoma del maíz o del trigo se compone de este tipo de secuencias móviles. Los retrotransposones con LTR (Repeticiones Terminales Largas) son particularmente fascinantes ya que son similares en estructura a los retrovirus, con la excepción de que los retrovirus tienen un gen adicional que les permite abandonar la célula y completar un ciclo infeccioso.

Las secuencias repetidas son los principales actores en la innovación genética

Actualmente, se conoce que los elementos móviles tienen el potencial de crear cambios genéticos y como consecuencia producir diversidad genética sujeta a la selección natural; esto sugiere que desempeñan un rol importante como fuente de innovación adaptativa.

El monje austriaco Gregor Mendel publicó el 8 de febrero de 1865 los resultados de sus experimentos en plantas híbridas, lo cual representó el nacimiento de la genética. Los famosos guisantes de Mendel de textura arrugada y lisa se convirtieron en los fenotipos más conocidos en el mundo por los genetistas. Sin embargo, ciento cuarenta años después del estudio de Mendel, se descubrió que estos fenotipos (arrugado y liso) están relacionados con la inserción de un elemento móvil en una región codificante de un gen. ¡Sorprendentemente, la historia de la genética no solo la debemos a Mendel y sus guisantes, sino también a los elementos móviles! Otros fenotipos como el color de la epidermis de las papas (*Solanum* sp.) se relacionan con la inserción de elementos móviles en genes, y el color de las uvas (*Vitis* sp.) o naranjas (*Citrus* sp.) con la inserción en regiones reguladoras de genes. En las plantas cultivadas, se han observado muchos fenotipos de interés agronómico que están relacionados con la actividad de los elementos móviles.

Hasta la actualidad se han identificado más de 51 ejemplos de inserciones de elementos móviles asociados con cambios de fenotipo en procesos de domesticación y diversificación de plantas cultivadas (Vitte *et al.*, 2014). También se ha determinado que la variación del color de las flores se relaciona frecuentemente con la alteración de los genes causado por la inserción de elementos móviles (Fig. 2).

En los animales, los elementos móviles juegan un papel en varios fenotipos. Por ejemplo, en los perros, el color “merlé”, que se caracteriza por manchas claras, se debe a la inserción de un elemento móvil (retrotransposon) en el gen *SILV*.

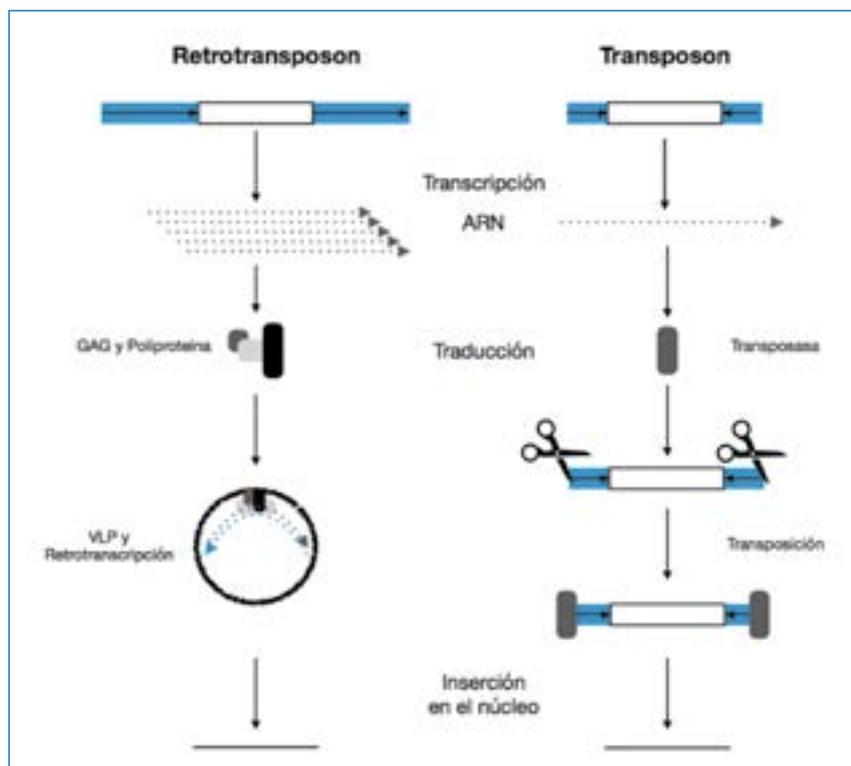


Figura 1. Estructura y mecanismos de movilización de los elementos móviles.



Figura 2. Fenotipos inducidos por la movilidad de elementos móviles en plantas. 1 Guisantes o Arvejas arrugada y lisa, 2 Papa (*Solanum* sp.; Momose *et al.*, 2010), 3 Uva (*Vitis* sp.), 4 Naranja (*Citrus* sp.), 5 Rosa, 6 Petunia.

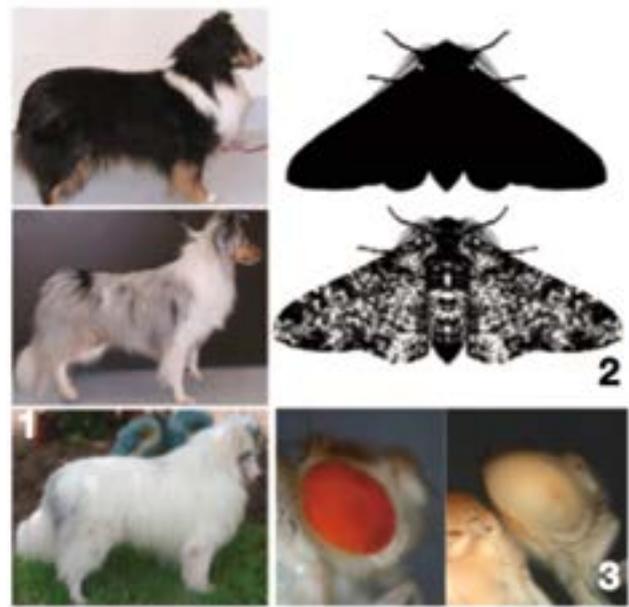


Figura 3. Fenotipos inducidos por la movilidad de elementos transponibles en animales. 1. Perro (From Clark *et al.*, 2006). 2. Mariposa *Biston betularia*, (van't Hof *et al.*, 2016). 3. *Drosophila* from <http://www.egce.cnrs-gif.fr/?p=800>

Sin embargo, un cambio fenotípico más espectacular se observa en la mariposa de los abedules (*Biston betularia*), que se ha vuelto más oscura para adaptarse a un medio ambiente más contaminado (melanismo industrial), gracias a la inserción de un elemento móvil. Esta reciente mutación (año 1848) coincide con la revolución industrial en Inglaterra.

Conclusiones

Los elementos móviles o transponibles representan una proporción significativa en los genomas y pueden crear cambios beneficiosos para los organismos que pueden permitirles adaptarse a su ambiente. También pueden ser “domesticados” por su huésped como una nueva fuente de creación de genes para realizar funciones innovadoras a nivel celular y cromosómico. Pero también pueden producir cambios negativos y causar trastornos y enfermedades, especialmente en los seres humanos. Se ha demostrado

que ya no deben ser considerados como parásitos de los genomas, sino como actores mayores en la evolución y adaptación de las especies. Sin embargo, todavía hay muchos aspectos desconocidos sobre su actividad, y su función en particular sobre su acumulación y regulación en los genomas. La revolución tecnológica, a través de la secuenciación de alto rendimiento, ayudará en el futuro a comprender el impacto de los elementos transponibles y su función en los genomas. El estudio de especies modelo, como el café y la mosca de la fruta, permitirán confirmar sus implicaciones en los procesos de adaptación a los cambios ambientales.

Literatura consultada

Clark LA, Wahl JM, Rees CA, Murphy KE. Retrotransposon insertion in *SILV* is responsible for merle patterning of the domestic dog. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2006 Jan 31;103(5):1376-81

de Castro Nunes R, Orozco-Arias S, Crouzillat D, Mueller LA, Strickler SR, Descombes P, Fournier C, Moine D, de Kochko A, Yuyama PM, Vanzela ALL, Guyot R. Structure and Distribution of Centromeric Retrotransposons at Diploid and Allotetraploid *Coffea* Centromeric and Pericentromeric Regions. *Front Plant Sci*. 2018 Feb 15;9:175.

Momose M, Abe Y, Ozeki Y. Miniature inverted-repeat transposable elements of *Stowaway* are active in potato. *Genetics*. 2010 Sep;186(1):59-66.

van't Hof, A.E., Campagne, P., Rigden, D.J., Yung, C.J., Lingley, J., Quail, M.A., Hall, N., Darby, A.C., and Saccheri, I.J. (2016). The industrial melanism mutation in British peppered moths is a transposable element. *Nature* 534, 102–105.

Vitte C, Fustier MA, Alix K, Tenaillon MI. The bright side of transposons in crop evolution. *Brief Funct Genomics*. 2014 Jul;13(4):276-95

La molécula de ADN al auxilio del conocimiento de los triatominos, vectores de la enfermedad de Chagas

■ Por Ph.D. Simone Frédérique Brenière^{1,3}, Ph.D. Etienne Waleckx^{1,2}, Dra. Anita Villacis³

¹INTERTRYP, CIRAD, IRD, TA A-17/G, International Campus in Baillarguet, Montpellier, France

²Centro de Investigaciones Regionales "Dr Hideyo Noguchi", Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

³Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISeAL)

(frederique.breniere@ird.fr) (Etienne.waleckx@ird.fr) (AGVILLACIS@puce.edu.ec)

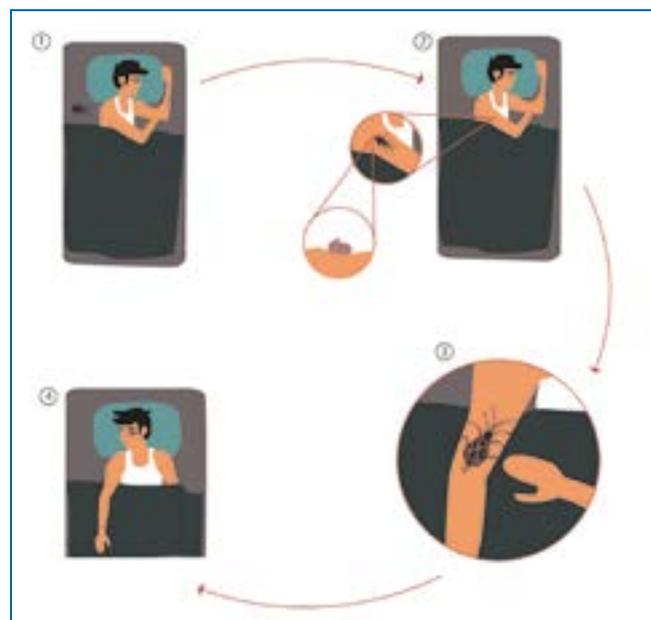
Dentro de la biología que estudia los procesos de vida desde un punto de vista molecular, nos hemos interesado particularmente en las secuencias de la macromolécula de ácido desoxirribonucleico abreviado como ADN, la cual es de gran utilidad para comprender quiénes son los triatominos, vectores de la enfermedad de Chagas.

La enfermedad de Chagas afecta, aproximadamente, a 6-7 millones de personas, siendo endémica en los países de América Latina (WHO, 2018). Alrededor de 10 000 personas mueren cada año por manifestaciones clínicas causadas por esta enfermedad; más de 25 millones de personas viven con riesgo de contraer la infección. La carga económica global que representa es similar o superior a varios tipos de cáncer y enfermedades infecciosas. Existen más de 150 especies de triatominos, vectores o potenciales vectores de la enfermedad de Chagas; se llaman

chinche caballo o chinchorros en Ecuador. Son hemípteros hematófagos (chupadores de sangre) obligatorios en todos sus estadios de desarrollo. Viven en su mayoría en ambientes silvestres, sin embargo, algunas especies tienen una importancia médica en la transmisión de la enfermedad de Chagas a los seres humanos porque invaden y colonizan el hábitat humano. La transmisión vectorial del agente causal de la enfermedad, *Trypanosoma cruzi* (parásito unicelular), no ocurre a través de la saliva y la picadura del insecto como en otras enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos y flebotomos (paludismo, dengue, leishmania, etc...), ya que la forma infectiva (peligrosa) se encuentra en las heces del insecto. El insecto se infecta cuando se alimenta de la sangre de un mamífero infectado, y en la Figura 1

presentamos el escenario clásico de la transmisión del parásito al hombre. A parte de otros modos de transmisión (congénita, transfusión sanguínea, trasplante de órganos, accidentes de laboratorio), los triatominos también tienen una importancia crucial en la transmisión oral; esta transmisión ocurre por consumo de bebidas y/o alimentos contaminados por las heces de estos insectos.

Ahora comprendemos que estos insectos son peligrosos y estudiar sus hábitos, su comportamiento, su relación con el parásito ayuda a entender cómo se desarrollan los ciclos de transmisión, permitiéndonos luchar de mejor manera contra la enfermedad de Chagas.



Por María José Carrasco

Figura 1. Modo clásico de transmisión por los vectores "chinchorros": en la noche los insectos (1) se aproximan a la persona dormida para alimentarse, (2) pican a la persona causando una lesión en la piel, (3) defecan durante la alimentación (toma de sangre) y/o poco después, y depositan las heces infectadas en la piel o cerca de las mucosas (por ejemplo, el ojo), (4) cuando las heces entran en contacto con la lesión o las mucosas debido a que la persona se rasca, los parásitos invaden las células y la persona queda infectada.

Cuatro cuestionamientos claves que el componente molecular puede ayudarnos a resolver

- 1) ¿Cuál es la especie de los triatominos capturados?
- 2) ¿De qué huéspedes se alimentan estos insectos?
- 3) ¿Cuántos de estos insectos están infectados por *T. cruzi*?
- 4) ¿Cuál es el grupo genético del parásito que infecta estos insectos?

Identificando las especies de triatominos

No se distinguen tan fácilmente las especies de triatominos. Los taxónomos las clasificaron en base a su morfología agrupándolas en complejos de especies dentro de los cuales estas pueden ser muy parecidas. Lo que es complicado es reconocer a todos los miembros de una misma especie, porque existe una gran variabilidad intra-específica (misma especie) de tamaño y colores. También los triatominos son insectos de gran “plasticidad”, capaces de colonizar espacios bioclimáticos (desde bosques andinos secos a bosque tropicales húmedos) y hábitats (naturales o artificiales) muy diferentes, lo que a lo largo del tiempo ha influenciado sobre sus características morfológicas. Otro problema es que las características morfológicas inter-específicas de las ninfas son poco relevantes y la taxonomía basada en la morfología necesita ejemplares adultos. Finalmente, como para muchos organismos, la identificación morfológica de las especies de triatominos requiere entomólogos especializados, quienes se basan sobre observaciones en el estereomicroscopio y claves de determinación de especies.

Las moléculas del ADN nuclear y mitocondrial también cambian a lo largo del tiempo: grandes partes evolucionan de manera regular, te-

niendo un papel de “reloj molecular”, lo que permite almacenar la historia evolutiva del organismo en este libro, que es el ADN. Lo fascinante del enfoque molecular es que el ADN se traduce en un escrito (secuencia) que usa un alfabeto codificado que se almacena para siempre. Aunque genomas enteros de varios organismos sean en la actualidad conocidos (secuenciados), no se podía hasta recientemente secuenciar el genoma entero de muchos organismos debido a que era un proceso largo y muy costoso. Así, la mayor parte de los estudios moleculares de los triatominos se limitan a la secuenciación de fragmentos de genes para grandes números de especímenes usando el método de PCR (“Polymerase Chain Reaction”). Escoger los fragmentos de genes apropiados a su estudio es fundamental, y definir el propósito de investigación, adaptar el muestreo de insectos y escoger el fragmento de ADN adecuado son los pasos más importantes que se recomiendan para iniciar un estudio (Mas-Coma and Bargues, 2009).

Ahora les presentamos un ejemplo: la Amazonia es una amplia región donde viven numerosas especies de triatominos. Hace 20 años no se reportaban casos de transmisión de la enfermedad, mientras que ahora se considera a la enfermedad de Chagas como emergente en esta región. Así, es primordial conocer las especies que viven en

el ambiente selvático cercano a los asentamientos humanos. En un primer estudio que hicimos en Bolivia, cerca de la pequeña ciudad de Yucumo, capturamos 34 ejemplares de triatominos del género *Rhodnius* (el género se reconoce fácilmente en todos los estadios por la posición apical de las antenas en la cabeza del insecto) (Brenière *et al.*, 2017). De estos 34 ejemplares, solamente dos fueron adultos machos, y según el análisis de su morfología se dudaba entre dos especies parecidas, *R. stali* o *R. pictipes*. Gracias al estudio de los órganos sexuales de uno de los machos, se pudo clasificar a los dos machos, éstos eran morfológicamente idénticos, como *R. stali*; sin embargo, este análisis es aún más especializado. Quedaban otros 32 ejemplares para los cuales no se podía definir la especie por su morfología. Entonces, se secuenciaron 4 fragmentos de genes para cada ejemplar (adultos y ninfas). La sorpresa fue identificar una ninfa como *R. robustus* y a los otros ejemplares (ninfas y adultos) como *R. stali*.

Lo que se secuencía hoy, será valioso mañana

Se inicia el proceso por la extracción del ADN de las patas del insecto, y se secuencía el fragmento de ADN blanco (Fig. 2). Luego se busca en el banco de genes la(s) secuencia(s) de mayor identidad con la secuencia estudiada. Sin embargo, combinar un enfoque fi-

Figura 2. Cromatograma de un fragmento de secuencia que permite con el programa MEGA7 validar la secuencia final.



logenético (árboles evolutivos) permite analizar las relaciones entre los especímenes en estudio y especies vecinas gracias a las secuencias disponibles en bancos de genes (Fig. 3). Al final del estudio, se enriquece el banco de genes con las nuevas secuencias.

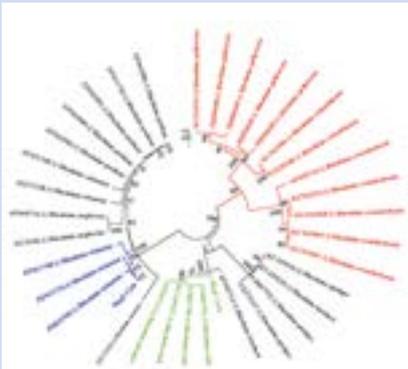


Figura 3. Árbol filogenético construido con secuencias de un fragmento del gen citocromo b (369 bp). Incluye todas las secuencias de las especies del género *Rhodnius* disponibles en banco de genes (GenBank). Las dos secuencias que se quieren determinar (Hap1 Cytb y Hap2 Cytb) se agrupan respectivamente con *R. stali* (color verde) y *R. robustus* (color azul). *R. ecuadoriensis*, principal vector en Ecuador, se agrupa con *R. pallescens* y *R. colombiensis* (color rojo). Datos comunicados por SF Brenière.

Identificando las fuentes alimenticias de los triatominos

Controlar la transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas es un reto importante en varias regiones de Latinoamérica. El conocer de qué animales se alimentan los triatominos permite ahondar no solamente (i) sobre los huéspedes que mantienen estas poblaciones en su medio ambiente, sino (ii) sobre los movimientos de estos insectos relacionando las fuentes alimenticias con el lugar de colecta del insecto (dentro de la casa, en el peridomicilio o en el campo) (iii) sobre los principales animales que pueden ser potenciales reservorios. Los triatominos tienen ninfas muy parecidas a los adultos, viven en el mismo hábitat y

llevan una vida similar; así, todos los estadios son hematófagos. Se podrá entonces determinar las fuentes alimenticias en todos los estadios considerando que las ninfas se desplazan solamente caminando, mientras que los adultos pueden caminar y volar. Hoy en día, la mejor manera y más utilizada de analizar las fuentes alimenticias (sangre ingerida) de los triatominos consiste en extraer el ADN del contenido digestivo de cada insecto, y amplificar secuencias por PCR utilizando cebadores universales para vertebrados para ver si se alimentaron de mamíferos, reptiles, aves y anfibios; así, este proceso permite identificar todo tipo de fuente alimenticia. En caso de múltiples comidas (diferentes huéspedes) se puede obtener una secuencia que presenta muchas ambigüedades (observación de doble pico en el cromatograma) debido a la superposición de secuencias. En este caso, lamentablemente, las especies no se pueden determinar. Sin embargo, se resuelve el problema por un método molecular (clonación) que permite obtener separadamente las diferentes cadenas de ADN. Así en 2009-2010, hemos detectado en especímenes de *Meccus longipennis* silvestres (vector principal en el estado de Jalisco en México) mezclas de fuente alimenticias de *Dasyptus novemcinctus* (tatú) con *Bos taurus* (vaca) o *Sigmodon* sp. (pequeño roedor silvestre) o *Sceloporus occidentalis* un lagarto común en la región. En otro ejemplar de *M. longipennis*, capturado dentro de una casa en un pueblo Mexicano del estado de Nayarit, se detectaron 4 diferentes fuentes alimenticias, *Homo sapiens* (ser humano), *D. novemcinctus*, *Sigmodon* sp. y *Mus musculus* (Brenière *et al.*, 2010) y nos sorprendió observar en estos insectos capturados dentro de las casas muchas fuentes de animales silvestres (Fig. 4). Similares estudios se están realizando en el CISEAL-PUCE.

Identificando los variantes del parásito que infectan los triatominos

Trypanosoma cruzi es un complejo de cepas genéticamente muy diversas. Ciertas cepas presentan grandes distancias evolutivas similares a las que se pueden observar entre especies diferentes. Se propuso una clasificación sub-específica de siete grupos genéticos (TcI a TcVI y Tcbat) llamados DTUs (Discrete Typing Units). También, las cepas de *T. cruzi* tienen características biológicas muy heterogéneas, pero no existe una clasificación biológica consensual que sea utilizada para caracterizarlas. Es su composición genética que permite clasificar las cepas en su DTU y entonces el ADN aquí, juega otra vez un papel indispensable. Cuando se capturan triatominos, la primera pregunta es conocer si están infectados por *T. cruzi*, es decir, si son “peligrosos”. Se puede detectar al parásito por su ADN, mediante el método de PCR. Este método tiene como ventaja su alta especificidad y mayor sensibilidad. También los fragmentos de ADN permiten reconocer los grupos genéticos del parásito. Estos análisis permiten identificar a las cepas aisladas en laboratorio, pero también directamente a las cepas contenidas en el intestino de los triatominos; de este modo, se evita la selección de algunas cepas sobre otras que ocurre cuando se coloca las cepas en cultivo.

¿Qué podemos esperar de las nuevas tecnologías de secuenciación masiva?

La secuenciación de nueva generación (NGS, por sus siglas en inglés) se refiere a varias tecnologías nuevas y más rápidas de secuenciación del ADN y el ARN [Illumina® (Solexa); Roche 454; Ion torrent: Proton / PGM; SOLiD]; revolucionaron de manera eficaz la genómica. Estas

tecnologías NGS se aplican a genomas enteros o a partes escogidas del genoma. Tienen 3 pasos comunes: (i) la preparación de las muestras a partir de la extracción del ADN (producción de una biblioteca de fragmentos de ADN), (ii) la amplificación de los fragmentos de ADN de forma separada, de tal manera que se pueda formar paquetes de ADN (clusters), (iii) la secuenciación de los paquetes. Estas nuevas tecnologías son recientemente aplicadas a triatomíneos. A continuación presentamos dos ejemplos para dar una idea del poder de estas nuevas tecnologías. Primeramente, aplicando una estrategia de detección de los genomas enteros (metagenómica no dirigida) a contenidos digestivos de *Triatoma*

dimidiata capturados en Guatemala, se obtuvo alrededor de 3.25 millones de secuencias por espécimen, con aproximadamente 1% correspondiente al parásito, 20% al triatomiño, 11% a bacterias, y 4% a fuentes alimenticias (Orantes *et al.* 2018); en base a estas secuencias se obtuvieron los resultados siguientes: i) la identificación de las DTUs de *T. cruzi*, ii) la observación de una diversidad bacteriana superior en los insectos infectados, iii) la distinción de diferentes poblaciones geográficas del triatomiño y iv) la detección de fuentes alimenticias, como gallina, perro, pato y ser humano. La segunda estrategia (metabarcoding o metagenómica dirigida) consiste en amplificar por PCR fragmentos escogidos de ADN como fragmentos específicos del triatomiño, del parásito, para detectar su variabilidad, y otros que permiten detectar las fuentes alimenticias y el microbioma (Waleckx *et al.* 2019). De esta manera, se ha podido detec-

tar en *T. dimidiata* del Yucatán (México) una diversidad de fuentes alimenticias y de genotipos de *T. cruzi* por insecto nunca antes reportada. Esta información sin duda permitirá descubrir comportamientos y hábitos de los triatomiños desconocidos.

Literatura consultada

WHO, 2018. Chagas disease (American trypanosomiasis). Fact sheet (revised 1 February 2018), [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-\(american-trypanosomiasis\)](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis)).

Mas-Coma, S., Bargues, M.D., 2009. Populations, hybrids and the systematic concepts of species and subspecies in Chagas disease triatomine vectors inferred from nuclear ribosomal and mitochondrial DNA. *Acta Trop* 110, 112-136.

Brenière, S.F., Bosseno, M.F., Gastelum, E.M., Soto Gutierrez, M.M., de Jesus Kasten Monges, M., Barraza Salas, J.H., Romero Paredes, J.J.,

de Jesus Lozano Kasten, F., 2010. Community participation and domiciliary occurrence of infected *Meccus longipennis* in two Mexican villages in Jalisco state. *Am J Trop Med Hyg* 83, 382-387.

Orantes, L.C., Monroy, C., Dorn, P.L., Stevens, L., Rizzo, D.M., Morrissey, L., Hanley, J.P., Rodas, A.G., Richards, B., Wallin, K.F., Helms Cahan, S., 2018. Uncovering vector, parasite, blood meal and microbiome patterns from mixed-DNA specimens of the Chagas disease vector *Triatoma dimidiata*. *PLoS Negl Trop Dis* 12, e0006730.

Waleckx E, Arnal A, Dumonteil E (2019). Metabarcoding, un nuevo abordaje para el estudio de los ciclos de transmisión de la enfermedad de Chagas y la ecología de sus vectores. In: Avances y perspectivas de la biotecnología en la península de Yucatán. Zamora-Bustillos R & Sandoval-Gío JJ (Eds). TECN, Mérida, México. pp.1051-1065.

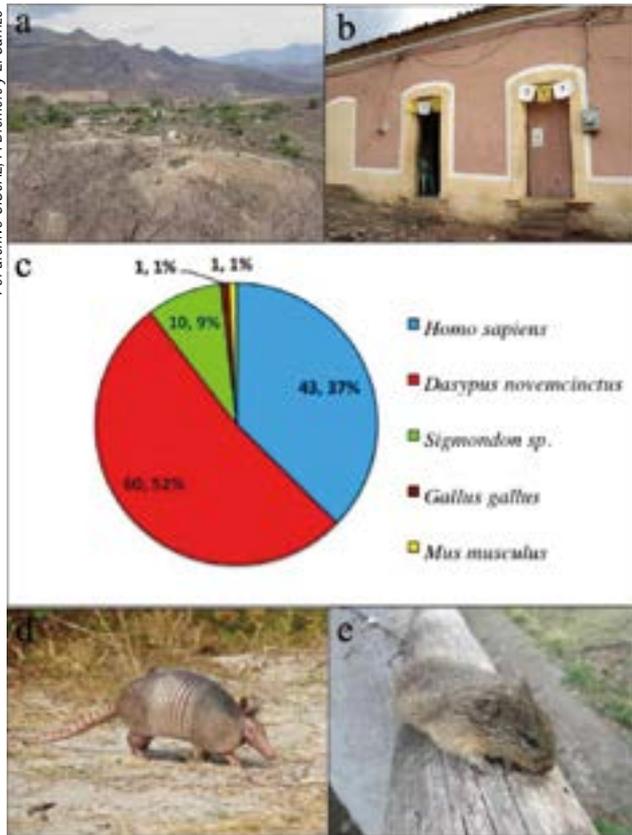


Figura 4. Fuentes alimenticias de *M. longipennis*, transmisor de la enfermedad de Chagas en México. a) Pueblo mexicano del estado de Jalisco. b) Casa típica infestada por *M. longipennis*. c) Fuentes alimenticias de *M. longipennis* colectados a dentro de las casas por los habitantes: no se esperaba que los insectos se hayan alimentado de dos animales silvestres el tatú y una pequeña rata salvaje. d) *Dasytus novemcinctus*, un tatú nativo de Norte América; fuente: <https://www.naturalista.mx/taxa/47075-Dasytus-novemcinctus>. e) Un pequeño roedor llamado rata de la caña de Jalisco; fuente: <https://www.naturalista.mx/taxa/44898-Sigmomodon-mascotensis>. Datos obtenidos de Brenière *et al.* 2010.

Geografía de la Salud y su importancia en la prevención y control de la enfermedad de Chagas

■ Por Luis E. Cárdenas¹, Diego A. Moreno¹, Mario J. Grijalva^{2,3}, Esteban G. Baus².

¹ Facultad de Ciencias Humanas, Escuela de Geografía. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

² Centro de Investigación para la Salud en América Latina, Escuela de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

³ Infectious and Tropical Disease Institute, Department of Biomedical Sciences, Heritage College of Osteopathic Medicine, Ohio University, Athens, Ohio, United States of America.

(lcardenas690@puce.edu.ec), (dianmopa@hotmail.com), (grijalva@ohio.edu), (egbaus@puce.edu.ec)

La enfermedad de Chagas: un problema geopolítico

La enfermedad de Chagas (eCh) es causada por el parásito *Trypanosoma cruzi* y es transmitida principalmente por las heces de insectos triatomíneos, conocidos en el Ecuador como chinchorros. También puede ser transmitida por transfusiones sanguíneas, trasplantes de órganos, de la madre al feto durante el embarazo y al consumir alimentos contaminados con el parásito. Su distribución geográfica abarca la mayor parte del continente americano desde el sur de EEUU hasta Argentina y afecta entre 7 a 8 millones de personas. (WHO, 2015).

En América Latina se han realizado enormes esfuerzos para controlar la infección y propagación de la enfermedad desde la década de los 80. Si bien, la interrupción de la transmisión ha sido exitosa en regiones como el sur de Sudamérica, aún existen regiones en donde la eCh sigue siendo un problema de salud pública. De hecho, la eCh ha logrado mayor atención a nivel mundial debido a que la presencia de la enfermedad dejó de restringirse a los países

endémicos de las Américas a causa de la alta tasa migratoria de personas de Latinoamérica hacia países del hemisferio norte. En países no endémicos, la transmisión se produce principalmente por transfusiones sanguíneas, trasplantes de órganos y congénitamente de la madre al feto durante el embarazo. Este tipo de transmisión también es común en zonas de países endémicos donde no hay transmisión vectorial, así como los valles interandinos de los Andes. Es así como cerca de 14 millones de personas de países endémicos de la eCh viven en áreas no endémicas (Senior, 2007).

Dado que no existe una vacuna, ni medicamentos efectivos para el tratamiento de esta enfermedad, la prevención constituye la estrategia básica para el control de la enfermedad de Chagas. Actualmente en Ecuador, los programas de prevención y control consisten en campañas puntuales de rociamiento con

insecticidas y educación sanitaria combinados con análisis serológicos esporádicos (Grijalva, Villacis, Ocaña-Mayorga, Yumiseva, & Baus, 2011). Muchas de estas actividades son el resultado de la colaboración entre la comunidad científica, las autoridades sanitarias y la Organización Panamericana de la Salud. A pesar de estos esfuerzos, se estima que la enfermedad de Chagas afecta a aproximadamente 200 000 ecuatorianos y alrededor de 4,2 millones de personas que viven en Ecuador están en riesgo de contraer la infección (WHO, 2015).

En nuestro país, las zonas endémicas para eCh están determinadas por la distribución de los vectores; es decir, en las zonas tropicales y subtropicales, generalmente sectores rurales, bajo los 2000 m de altitud, que incluyen a 17 de las 24 provincias, las cuales estarían dentro de esta zona de endemismo de Chagas (Fig. 1).



Figura 1. Entorno natural de los domicilios rurales de la provincia de Loja.

Estudios realizados por investigadores del Instituto de Enfermedades Tropicales e Infecciosas (ITDI) de la Universidad de Ohio (EEUU) y del Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISeAL) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) han demostrado que Chagas es un problema de salud en nuestro país. Gracias a estos estudios, en 1999 la prueba de esta enfermedad se incluyó en el tamizaje serológico obligatorio de la sangre donada. Esta inclusión, conjuntamente con otros estudios, posicionó a la eCh en la agenda del Ministerio de Salud, quien consecuentemente inició formalmente el Programa Nacional de Chagas en el 2005. Investigaciones del CISeAL (Black *et al.*, 2009) reportaron un 3,9% de prevalencia de esta enfermedad en la provincia de Loja, sur de Ecuador. Dicha información fue ratificada por una tasa de infestación por chinchorros de 35% de las viviendas (Grijalva, Palomeque-Rodríguez, Costales, Davila, & Arcos-Teran, 2005). Estos datos sugieren que la población de la zona se encuentra en un rango de vulnerabilidad y riesgo considerables.

Los resultados de las investigaciones indican de manera categórica que la presencia de triatominos silvestres limita la efectividad de las acciones de control basadas en la aplicación de insecticida y educación comunitaria. Esto debido a que la aplicación del insecticida mata a los chinchorros y previene re-infestaciones por un periodo de 3 a 6 meses (Datos no publicados). Sin embargo, una vez que el efecto residual del insecticida desaparece, los chinchorros silvestres o aquellos que provienen de otras viviendas infestadas recolonizan rápidamente

las viviendas y, en un tiempo corto, los niveles de infestación con chinchorros vuelven a los niveles iniciales, exponiendo a sus habitantes a la transmisión de la eCh. Adicionalmente, se ha documentado que los triatominos silvestres, así como las ardillas y otros mamíferos, tienen una alta tasa de infección con *Trypanosoma cruzi*, el agente causal de la eCh.

Por otro lado, los estilos de vida de las familias, sumados al tipo de construcción de las viviendas tradicionales, que usualmente son construidas por los miembros de las familias con escasos recursos técnicos y económicos, son factores que contribuyen a que las personas estén expuestas al contacto permanente con los triatominos y por ende a la transmisión de la eCh. Es conocido que este mal afecta a las poblaciones vulnerables rurales, en tal virtud la complejidad de este problema de salud descansa sobre otros problemas estructurales territoriales relacionados con la necesidades básicas insatisfechas (Fig. 2).

En este sentido, la Geografía de la Salud (GS) constituye una disci-

plina emergente que con el uso de la geoinformática puede contribuir enormemente a solucionar problemas como la eCh. (Buzai, 2015). La GS estudia la distribución de la mortalidad y morbilidad de la población, de los servicios y del equipamiento en salud. Esta disciplina reconoce la relación que guarda la geografía con factores físicos, ambientales, demográficos, socioeconómicos, culturales y políticos. El uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE), que son dos ramas fundamentales en el análisis espacial usados en la GS, disponen innumerables posibilidades de herramientas y metodologías que contribuyen a la construcción de modelos predictivos con variables múltiples para proponer soluciones alternativas integrales a los problemas de salud. La GS también destaca la importancia de la cartografía como insumo que provee de información complementaria a la ecología de las enfermedades. Dependiendo de la disponibilidad de datos, la GS permite a través de análisis asociativos



Esteban Baus

Figura 2. Vivienda rural tradicional hecha de adobe, madera y teja, cantón Cariamanga.

identificar los factores de riesgo en diferentes escalas geográficas (Luzanía, 2009).

En este artículo queremos reportar el uso del análisis espacial con enfoque de GS para aportar con información complementaria que informe a las estrategias de control y prevención de la eCh en la provincia de Loja, Ecuador. Este trabajo constituye una propuesta metodológica para caracterizar la relación entre las variables biofísicas y socioeconómicas que determinan la presencia de triatominos en la provincia de Loja.

Análisis espacial

Los datos utilizados en este estudio provienen de una base de datos que contiene 4664 registros de domicilios recolectados en campo desde el 2005 al 2009 en zonas rurales de la provincia de Loja. En estos registros se determina la ocurrencia de chinchorros en las viviendas de 92 comunidades. De todos los registros, 282 domicilios fueron reportados con presencia de chinchorros y sirvieron para realizar el análisis de las relaciones entre variables biofísicas (ecosistema, cobertura y uso de la tierra, altitud) y las variables socioeconómicas (características físicas de la vivienda, disponibilidad de servicios básicos de la vivienda, asistencia de los niños en edad escolar a un establecimiento educativo, dependencia económica

del hogar, hacinamiento) consideradas para el cálculo de necesidades básicas insatisfechas (NBI).

La relación del medio biofísico con los domicilios positivos fue clasificada en cuatro rangos de probabilidad: bajo, medio, moderado y alto, dependiendo de la frecuencia de ocurrencia del vector para cada una de las variables biofísicas; es decir, en el rango bajo existe menos presencia de triatominos por variable analizada y así sucesivamente.

El análisis socioeconómico de los domicilios positivos se fundamentó en el cálculo de la pobreza para cada sector censal de acuerdo con la metodología del INEC en donde se encuentran ubicados los domicilios positivos para la presencia de chinchorros. Se clasificó al territorio en cuatro categorías según el nivel de pobreza (bajo, medio, moderado y alto) mediante la aplicación de la fórmula de cálculo NBI aplicado independientemente para cada una de las variables socioeconómicas.

Modelamiento del territorio de la provincia de Loja

Para generar el modelo predictivo para la presencia del chinchorro se propone una metodológica basada en los SIG combinando los resultados del análisis biofísico con el socio económico.

El análisis biofísico se lo realizó a través de álgebra de mapas (herramientas SIG) que consiste en combinar la información territorial (ecosistema, cobertura vegetal y altitud) con los domicilios positivos generando como resultado una cobertura que representa la predicción territorial de las variables biofísicas (Fig. 3).

Para el análisis socioeconómico se siguió el mismo procedimiento metodológico. Las variables del NBI (características físicas de la vivienda, disponibilidad de servicios básicos de la vivienda, asistencia de los niños en edad escolar a un establecimiento educativo, dependencia económica del hogar, hacinamiento) fueron combinadas con los do-

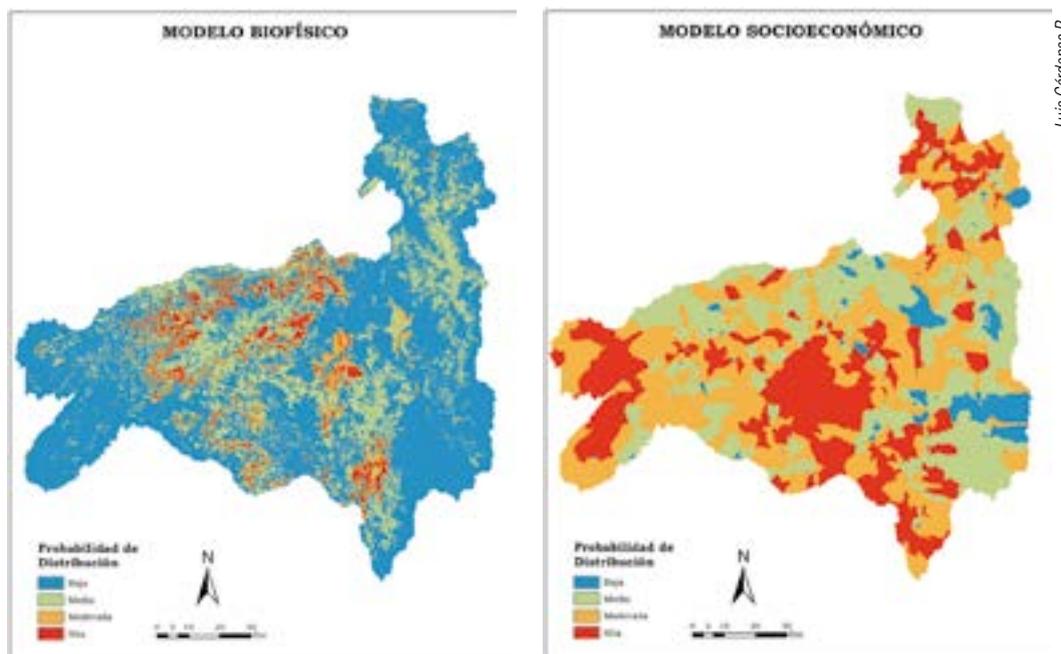


Figura 3. Mapa de distribución potencial geográfica para la presencia del vector mediante variables biofísicas y socioeconómicas.

Luis Cárdenas P.

micilios positivos y así generar una cobertura que representa la predicción territorial de las variables socioeconómicas (Fig. 3).

La combinación de los resultados, mediante álgebra de mapas, de los modelos biofísicos y socioeconómicos, da como resultado la probabilidad de distribución del vector de la enfermedad de Chagas que predice un 34% del territorio potencial para la presencia de triatomíneos para la provincia de Loja (Fig. 4), distribuidos en rangos medio, moderado y alto que afecta a una población aproximada de 199 795 mil personas en las zonas rurales.

Estos resultados se soportan estadísticamente en la “autocorrelación espacial”, herramienta de los SIG, que indica que sí existe un agrupamiento o dispersión entre las variables en estudio. Nuestros resultados indica un Índice de Moran = 0,36 que significa un agrupamiento positivo de nuestros datos y un valor $p = 0,0001$ que significa que es poco probable que el patrón espacial observado, de la distribución del vector de la eCh, sea resultado de procesos aleatorios.

Conclusiones y recomendaciones

El modelo de distribución geográfica obtenido propone una propuesta metodológica que asocia la presencia del vector de la eCh con su entorno ambiental y social. Conocer aquellas zonas potenciales de mayor probabilidad de la presencia del vector dentro de las casas provee de información valiosa para la estimación de costos de intervención

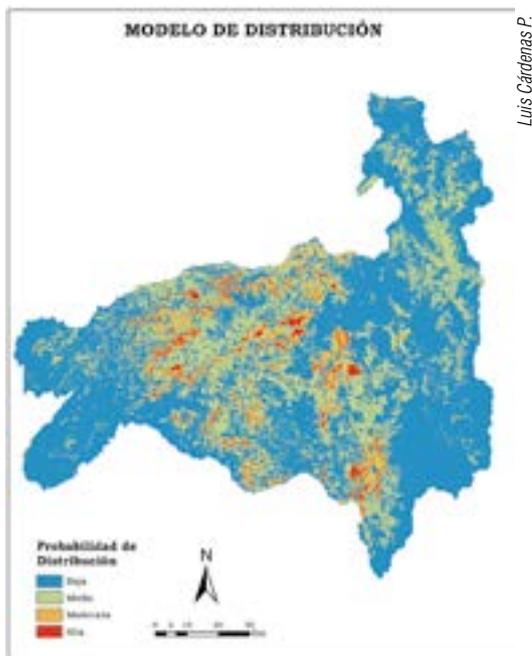


Figura 4. Mapa de distribución potencial geográfica para la distribución del vector de la enfermedad de Chagas.

para estrategias de control y prevención de la eCh en el territorio de la provincia de Loja.

La geografía de la salud nos permite combinar, en los análisis geográficos, el medio ambiente con los factores sociales y económicos (NBI) de la provincia de Loja integrando a la información científica y estudios en la eCh elementos comunitarios relevantes para las comunidades afectadas por esta enfermedad.

La sensibilidad de la presente metodología puede ser mejorada incorporando nuevos elementos al modelo obtenido. Por ejemplo, se podrían incluir datos de los registros de los nidos de aves o mamíferos localizados en las zonas silvestres. Este tipo de información, junto a una validación de datos en territorio, aportaría a mejorar el modelo predictivo.

Predecir la presencia de vectores de enfermedades a través de modelos espaciales y temporales pue-

de ser aplicada a diferentes índoles de la salud pública e investigación científica que permitan una planificación coherente y coordinada en temas de prevención y control que eviten la propagación de enfermedades y sean considerados como instrumentos para generar política pública en temas de salud.

Literatura consultada

- Black, C. L., Ocaña-Mayorga, S., Riner, D. K., Costales, J. A., Lascano, M. S., Arcos-Terán, L., et al. (2009). Seroprevalence of *Trypanosoma cruzi* in rural Ecuador and clustering of seropositivity within households. *Am J Trop Med Hyg*, 81(6), 1035-1040.
- Grijalva, M. J., Palomeque-Rodriguez, F. S., Costales, J. A., Davila, S., & Arcos-Teran, L. (2005). High household infestation rates by synanthropic vectors of Chagas disease in southern Ecuador. *J Med Entomol*, 42(1), 68-74.
- Grijalva, M. J., Villacis, A. G., Ocaña-Mayorga, S., Yumiseva, C. A., & Baus, E. G. (2011). Limitations of selective deltamethrin application for triatomine control in central coastal Ecuador. *Parasit Vectors*, 4, 20.
- Luzanía, M. (2009). Geografía de la Salud. *Altepepaktli: Salud de la Comunidad*, 5(10), 8-10.
- Senior, K. (2007). Chagas disease: moving towards global elimination. *Lancet Infect Dis*, 7(9), 572.
- WHO. (2015). Chagas disease in Latin America: an epidemiological update based on 2010 estimates. *Wkly Epidemiol Rec*, 90(6), 33-43.

Las lipasas: enzimas entre el agua y el aceite

■ Por Lic. Luis Lascano Demera
Escuela de Ciencias Biológicas
(luchin.lascano@gmail.com)

Al conocer en el 2014 la revista *Nuestra Ciencia* en su edición 16, esta absorbió mi interés por su transcendental apuesta a la divulgación científica. No imaginaba que, cinco años después, tendría el gusto de contribuir con este artículo para la presente edición 21. En él expondré algunos detalles del fascinante mundo de las enzimas, en particular, sobre las lipasas y el estudio que llevé a cabo sobre ellas. Además, pretendo dar a conocer una “verdad incómoda” sobre la aplicación biotecnológica de estas. Espero que el lector lo disfrute.

Las enzimas en el corazón de la vida

La investigación relacionada con enzimas es una labor interesante y apasionante. Las características y funciones de las enzimas evidencian la grandeza de la vida y su metabolismo. Al estudiarlas se pueden evaluar múltiples factores

que afectan su funcionamiento, lo cual aumentará la complejidad del análisis indicando un acercamiento más certero a la realidad. Todos estos factores son considerados por la vida en mecanismos perfectamente equilibrados y regulados que han posibilitado su desarrollo en diversas formas. Así, los múltiples procesos evolutivos ocurridos en la historia, fraguaron en las enzimas diversas características y funcionalidades dentro de la unidad bioquímica de la vida. Se puede decir que constituyen el fundamento de la explicación bioquímica de muchos fenómenos fisiológicos de todos los seres vivos, pues en todos ellos las enzimas están involucradas en procesos comunes y centrales, como la obtención de energía, la transcripción y replicación de genes.

Preguntas como ¿Qué pasa con la comida que ingerimos? ¿Por qué la Rana Leopardo salta más rápido que el Sapo del Oeste? ¿Por qué fermenta la chicha? ¿Por qué los gatos siameses tienen extremidades oscuras? ¿Cómo funciona el veneno de

la víbora bufadora?, todas tienen explicaciones donde las enzimas están íntimamente involucradas. Pero ¿qué son?, ¿cuál es su función? Las enzimas son macromoléculas proteicas que cumplen el papel de catalizadores de decenas de miles de reacciones químicas que ocurren en las células de los organismos vivos. Cuando decimos que una enzima es un catalizador, significa que es una molécula que acelera una reacción sin que, al final, sufra modificaciones. De ahí su primera función: acelerar reacciones bioquímicas en un millón de veces o más. ¿Por qué es importante esto? Sin ellas, la mayoría de las reacciones bioquímicas que ocurren en los sistemas vivos tardarían horas o siglos en darse, pues estas no tienen lugar por sí solas a tasas de velocidad significativas. Por tanto, la baja tasa en la transformación de sustancias no permitiría el metabolismo y, por tanto, tampoco la vida.

Pero eso no es todo, también cumplen un rol regulador de reacciones. Para el funcionamiento de una célula, la catálisis mediada por enzimas no es suficiente. Las interacciones entre la gran cantidad de reacciones bioquímicas conforman una red de rutas metabólicas de inmensa complejidad que necesita regulación. El flujo de compuestos bioquímicos en las rutas metabólicas (tráfico metabólico) es regulado por enzimas denominadas alostéricas. Dada la cantidad de reacciones, existen muchos tipos de enzimas y de cada una pueden existir múltiples formas en diferentes tejidos o en diferentes organismos. En verdad, están constituyendo el corazón de la vida.



Más aún, esta asombrosa complejidad puede ser utilizada, ampliada y superada por un mundo al cual el ser humano llena de sentido como parte esencial de su vida. Es así, y tal vez para asombro de la tradición científica moderna, como el mismo Darwin en *El Origen de las Especies* muestra esto en el párrafo final: “Hay grandeza en esta concepción de que la vida, con sus diferentes facultades, fue originalmente alentada por el Creador en unas cuantas formas o en una sola, y que [...] se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un comienzo tan sencillo, infinidad de formas cada vez más bellas y maravillosas”. Puede pensarse que Darwin bromeó o que lo dicho no constituye el centro de su pensamiento. Pero, sin tomar una posición subjetiva de creyente o no, muestro objetivamente la no oposición de la ciencia y el mundo mítico-religioso para Darwin, quien de hecho afirma el aporte de la Teoría de la Evolución a este mundo de sentido. Nuestro origen, de grandes culturas milenarias, también nos recuerda que la filosofía de nuestros pueblos originarios, con su núcleo ético-mítico, brinda alternativas para una reconfiguración de la ciencia moderna, la cual constituye a la naturaleza como objeto cuantificable y explotable para el bienestar de unos pocos, y con el ser humano fuera de ella. Sin duda, el papel que cumplen las enzimas en la posibilidad de la vida y su evolución química también contribuye con creces para el asombro y fundamento de cualquier concepción ética-mítica de esta, en el presente, pasado y futuro.

Las excepcionales lipasas

Dentro la variedad mencionada de enzimas, existen excepciones que, en algún aspecto, distan de los

cánones establecidos. Las lipasas son un buen ejemplo. Estas enzimas son ubicuas en la naturaleza; es decir, producidas por una amplia variedad de animales, plantas y microorganismos. Como su nombre sugiere, las lipasas actúan sobre lípidos, pero no todos: específicamente sobre triglicéridos compuestos de ácidos grasos de cadena larga. Su función es catalizar la ruptura de esta molécula mediante hidrólisis, dando lugar a la formación de ácidos grasos libres y glicerol. En el cuerpo humano, estas enzimas son secretadas por el páncreas y cumplen un rol fundamental en la digestión de alimentos ricos en lípidos. Sin embargo, el hecho se complica por el carácter hidrofóbico de estos, y en este punto radica la originalidad de las lipasas: son enzimas solubles en agua que actúan sobre sustratos insolubles en ella. Para llevar a cabo la catálisis, el sustrato debe estar presente en forma de micelas o emulsiones, pues la lipasa es incapaz de penetrar la fase lipídica y los triglicéridos de ingresar a la fase acuosa. Por tanto, esto determina que las lipasas operen unidas a interfases lípido-agua; es decir, en dos capas adyacentes: “entre el agua y el aceite”.

Esta característica marca la diferencia con la mayoría de enzimas, donde el sustrato y la enzima son solubles y se encuentran presentes en la misma fase. En cambio, las lipasas (enzimas interfaciales) gene-

ran un sistema de reacción heterogéneo que adicionará la etapa de adsorción interfacial en la catálisis, y en su cinética originará el fenómeno de activación interfacial. Siendo lo primero la unión de la enzima a la interfase y su cambio estructural (la tapa proteica que cubre al sitio activo se desplaza y expone una gran superficie hidrofóbica) y lo segundo el fenómeno cinético resultado de la condición para que exista catálisis (la presencia de emulsiones o micelas que formarán interfases), definiéndose como un incremento sustancial en la actividad catalítica bajo estas condiciones. En consecuencia, la concentración de sustrato no será tan importante como el área interfacial expuesta a la enzima.

La actividad hidrolítica sobre triglicéridos no es la única reacción catalizada por las lipasas. En medios no acuosos (con poca cantidad de agua) pueden catalizar reacciones de transesterificación (usada para producción de biodiesel) y esterificación, siempre mostrando su característica de catálisis interfacial.

Estudiando lipasas

Debido a estas características (con potencial biotecnológico) múltiples estudios sobre ellas se han enfocado en su producción y caracterización utilizando como fuente microorganismos. En la producción, el medio de cultivo proporciona las condiciones para inducir al microorganismo a secre-

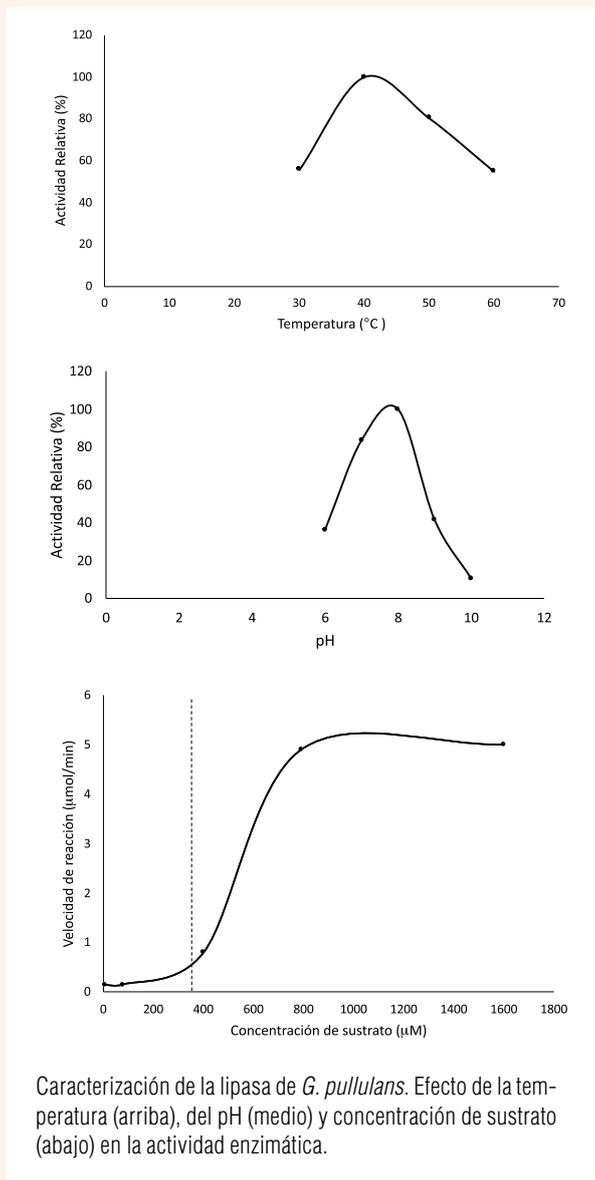
Levadura *Guehomyces pullulans* (derecha).
Detección positiva de lipasas (izquierda).



tar la enzima, mediante la presencia de un lípido sustrato para lipasas. En la investigación llevada a cabo en el Centro Neotropical para la Investigación de la Biomasa (CNIB) y en la Colección de Levaduras Quito-Católica (CLQCA) acerca de estas enzimas, se logró inducir a la levadura antártica *Guehomyces pullulans* a secretar lipasas extracelulares usando aceite de oliva (confirmado por detección colorimétrica). Sin embargo, las condiciones ideales para la secreción de una cantidad abundante de lipasa se consiguen después de un proceso de optimización, donde se ensayan medios variando nutrientes (fuente de carbono, nitrógeno, etc.) y factores ambientales (pH y temperatura). Finalmente, la producción se cuantifica en términos de actividad enzimática (U), pues, frente a la imposibilidad de medir específicamente la masa total de enzima, se usa el fenómeno que manifiesta

su presencia: la catálisis enzimática. En el estudio, la actividad obtenida (0.27 U/mL) constituye un primer eslabón en el proceso de optimización del medio.

Posteriormente, la caracterización evalúa la actividad enzimática en respuesta a diversos factores que afectan su funcionamiento (pH, temperatura, iones metálicos, etc.) con el fin de encontrar los valores óptimos que conlleven a su máxima actividad. Si bien esta no es parte del equilibrio metabólico natural, *ex situ* permite obtener de la enzima su máxima eficiencia posible en el momento de catalizar una reacción en procesos biotecnológicos. Por



ejemplo, se halló que la lipasa de *G. pulullans* logra su máxima actividad a una temperatura de 40°C y a pH ligeramente alcalino de 8.0.

En la cinética enzimática, el efecto de la concentración de sustrato es requerido al estimar la constante de Michaelis (K_M), parámetro cinético indispensable en la descripción de una enzima. Este valor aporta una medida de la concentración de sustrato necesario para que tenga lugar una catálisis significativa, así como la afinidad de la enzima a este (mientras más alta la K_M la afinidad es menor). Para la lipasa de *G. pulullans* el K_M estimado es 3.68×10^{-4} M, resulta-

do satisfactorio, pues está en el rango de lipasas utilizadas en la industria (10^{-1} - 10^{-5}). La caracterización puede continuar hasta cubrir la mayor cantidad de factores posibles que puedan afectar el funcionamiento de la enzima y así volver más eficiente su actividad. Además, se puede complementar con estudios a nivel genético y estructural.

La cara oculta de su aplicación biotecnológica

Finalmente, el broche de oro de estas investigaciones podría mostrarse describiendo las magníficas aplicaciones biotecnológicas de estas enzimas (producción de biodiesel, fármacos enantiopuros, detergentes, alimentos, etc.) como perfecto desenlace para la humanidad. Sin embargo, nada más ficticio para nuestra realidad y para la mayoría de la población mundial (Sur global). Por ello, hablar de su aplicación no

es posible hacerlo solo en los términos técnicos-científicos. Hablar de su aplicación necesariamente es hablar de política, de economía, de geopolítica, de ética. Además, es necesario hacerlo *a priori*, pues la ciencia está determinada por un proyecto económico que lo invisibiliza al tener como objeto de estudio abstracciones de la realidad.

Tal determinación se demuestra en *reviews* científicos donde la utilidad e importancia de las lipasas, y de las enzimas en general, se mide en términos de rentabilidad y ganancias (una postura política-económica). Se lo expresa claramente: "Las lipasas han surgido como uno

de los principales biocatalizadores con potencial para contribuir a la subexplotada multimillonaria bioindustria de tecnología de lípidos [...]” (Treichel *et al.*, 2008). “El mercado industrial de enzimas [...] se espera alcance más de 8 mil millones de dólares en el 2009” (Jonhson, 2011). “Se estima que el mercado mundial de enzimas aumentará un 7% [...] en 2015” (Li *et al.*, 2012). Es decir, estas son investigadas, producidas y utilizadas cuando representan en el corto plazo ganancias millonarias para las industrias. Si a esto se suma el monopolio de tres transnacionales (Novozymes, DuPont y Roche) que controlan alrededor del 75% del mercado en la producción de enzimas, tenemos que los precios, productos y acumulación de riqueza, gracias a las enzimas, están bajo su dominio. Entonces, ¿quiénes son los beneficiados? ¿Por qué no se mide en términos de necesidades satisfechas de los pueblos? ¿Esta biotecnología de enzimas aporta a la vida de todos los humanos? La respuesta es violenta: en el 2017, en el mundo el 1% más rico se quedó con el 82% de la riqueza generada y posee más riqueza que 99% restante. Así, bajo estos criterios vigentes, la aplicación de enzimas se convierte en otro instrumento para el aumento del capital y no para la vida. Esto se traduce en países enteros sumidos en la pobreza, naturaleza y humanos explotados, trasnacionales multimillonarias y países desarrollados consumistas. Para el capitalismo el fin es el aumento de la tasa de ganancia y no el ser humano. En la mercadotecnia, solo es un comprador como mediación para el aumento de capital. Si no tiene dinero, no es parte del mercado y no interesa su necesidad.

Por otro lado, el monopolio adjudica un poder económico-políti-



co exclusivo de reprimir o aprobar cientos de investigaciones realizadas sobre enzimas según la conveniencia de su aplicación tecnológica. Así, de 4000 enzimas conocidas solo alrededor de 20 se producen a una escala verdaderamente industrial. En el libro *The Yeast*, se habla de un estimado de 150 procesos de síntesis a escala industrial que usan enzimas a pesar de la voluminosa literatura sobre el tema. En consecuencia, monopolios transnacionales como Roche y DuPont (productores de lipasas, medicamentos y transgénicos) pueden cortar el financiamiento de cualquier investigación si no les confiere ganancias. Así lo hizo Roche y otras transnacionales en el 2010 suspendiendo estudios en el sector de antibióticos por su “baja rentabilidad”. En el 2018, ocurrió lo mismo con Novartis. Richard Roberts, Nobel de Medicina, también denunció el hecho que fármacos que curan no son rentables. Por supuesto, con otras aplicaciones de enzimas sucede igual. Para las grandes transnacionales, los combustibles fósiles aún resultan mejores en la competencia capitalista privada que el biodiesel producido con lipasas.

Este pequeño pasaje a un plano concreto significa descubrir una verdad incómoda: la investigación científica (sobre enzimas y otras) rebosa

de una postura política-económica que pasa desapercibida por considerarse la realidad misma. Si la ciencia no se percata que esto la determina, se fetichiza: se vuelve fin y piensa tener valor en abstracto, mientras cumple las consignas dictadas por el mercado capitalista, ocultando los problemas políticos, económicos y culturales de nuestra sociedad. Ante esto, nuestra realidad reclama una ciencia crítica que tome la existente y la repiense desde las víctimas. No podemos seguir creyendo en una ciencia abstracta, inmaculada y unívoca que glorifique sus avances sin descubrir que, inevitablemente, está dentro de un proyecto político-económico que siembra injusticia desde hace 500 años. Otro mundo es posible.

Literatura consultada

- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2014). *Biochemistry A Short Course. Biochemistry textbook* (2nd ed.). Barcelona: Editorial Reverté.
- Dussel, E. (2014). *16 Tesis de Economía Política*. Editorial Siglo XXI.
- Johnson, E. A., & Echavarri-Erasun, C. (2011). Yeast biotechnology. In C. P. Kurtzman, J. W. Fell, & T. Boekhout (Eds.), *The Yeasts* (Vol. 1, pp. 21–44). Elsevier B.V.
- Li, S., Yang, X., Yang, S., Zhu, M., & Wang, X. (2012). Technology Prospecting on Enzymes: Application, Marketing and Engineering. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 2(3), e201209017.
- Reis, P., Holmberg, K., Watzke, H., Leser, M. E., & Miller, R. (2009). Lipases at interfaces: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*.
- Treichel, H., de Oliveira, D., Mazutti, M. A., Di Luccio, M., & Oliveira, J. V. (2010). A review on microbial lipases production. *Food and Bioprocess Technology*.

¡Menos quejas y más propuestas!

Alternativas a los insecticidas químicos sintéticos

■ Por Mtr. Diego Guevara S.I
(djguevara@puce.edu.ec)

Un paso más

—Biólogo: ¿cómo hacemos para controlar eficazmente la plaga del gusano del choclo sin tanto insecticida?

Enmudecí, pues no tenía propuestas alternativas que ofrecer. En investigaciones previas en el campo, había listado 30 familias de insectos de seis órdenes relacionados con el maíz y de entre las 120 especies de insectos plagas reportadas, se confirmó que una de las más agresivas era el gusano del choclo *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). En Ecuador tiene incidencia elevada, es perjudicial en todas las regiones agrícolas, y está bajo control obligatorio. También afecta a otros cultivos, como el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) y garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Cabe mencionar que en la práctica agrícola para controlar esta plaga se utilizan hasta cuatro aplicaciones de insecticidas químicos sintéticos, práctica de la que me quejaba, como buen biólogo conservacionista, en reuniones de capacitación a los agricultores locales. Por supuesto, cuando presenté esta información a los campesinos del cantón agrícola de Chambo, provincia de Chimborazo, en medio de sus sonrisas, creo que por el idealismo con el que hablaba, surgió la pregunta urgente, franca y directa que me dejó sin palabras. Al recobrar el habla, decidí buscar alternativas agroecológicas para preservar el medio ambiente.

—Biólogo:
¿cómo hacemos
para controlar
eficazmente la
plaga del gusano
del choclo
sin tanto
insecticida?

Pasos por los cultivos chilenos donde experimentan con extractos botánicos y bacterias

Hay varios artículos que muestran que el uso indiscriminado de plaguicidas genera residuos tóxicos para personas, animales y alimentos, además que contaminan suelo y corrientes de agua. Debían existir otras alternativas de producción. La búsqueda me llevó a la Universidad de Chile, a la Maestría de Sanidad Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Allí se generaba varias líneas de investigación en base al manejo integrado de plagas con el fin de mejorar las exportaciones de manzana, durazno, uva, a los mercados mundiales más exigentes. Entre estas líneas estaba el uso de extractos botánicos y bacterias en el manejo de plagas, es así como me encontré con los profesores Jaime Araya, Amanda Huerta e Ítalo Chiffelle, con cuya guía y apoyo comencé a trabajar en el laboratorio de Entomología Agrícola.

Las plantas, además de los productos del metabolismo primario como azúcares, aminoácidos, proteínas y lípidos, generan una amplia gama de metabolitos secundarios que les permiten cumplir sus funciones biológicas como polinización, dispersión de semillas, protección contra desequilibrios ambientales como el estrés climático e incluso como defensa contra la invasión de microorganismos y animales mordedores. La amplia gama de metabolitos se agrupa según su contenido en aquellos que contienen nitrógeno, terpenoides, compuestos fenólicos y finalmente acetilénicos. Aquellos metabolitos que afectan el crecimiento, salud, comportamiento o población de otro organismo se conocen como aleloquímicos.

Fuente de aleloquímicos son los extractos botánicos, que desde hace miles de años se han utilizado para el control de plagas agrícolas. Los extractos de plantas presentan ventajas como insecticidas naturales debido a su acción rápida y degradación en el ambiente, selectividad, bajo impacto en las plantas e insectos benéficos, prácticamente no generan plagas resistentes, y son raramente tóxicos para el ser humano y mamíferos por lo que se han propuesto como opciones más seguras para la salud humana.

En general, los extractos de las plantas afectan al ciclo completo de los insectos, pudiendo causar repelencia frente a su alimento, reduc-

ción en su alimentación (efecto antialimentario), mortalidad, retraso en el crecimiento y desarrollo, bloqueo en la muda de ninfas y larvas y suspensión de ovoposición.

Otra alternativa que se usa también en Chile para la reducción del uso de insecticidas químicos de síntesis, es el uso de la bacteria Gram positiva que pertenece a la familia Bacillaceae llamada *Bacillus thuringiensis* Berliner (o *Bt*) que habita en el suelo y que se usa para el control selectivo de insectos. *Bacillus thuringiensis* se encuentra en el mercado en la categoría de insecticida biológico con varios nombres comerciales como Dipel y Thuricide. Este biopesticida se considera seguro con el ambiente porque no ofrece peligros para los seres humanos, vida silvestre, polinizadores o insectos beneficiosos, tiene bajo efecto residual y toxicidad selectiva.

Con estos antecedentes aprendí a elaborar los extractos, establecer la crianza de varias plagas agrícolas en condiciones de laboratorio, en especial del gusano del choclo *Heliothis zea*; realizar pre-ensayos, desarrollar técnicas de aplicación de tratamientos. Vino lo más difícil, probar lo

De vuelta a Ecuador, donde se siembra un promedio de 100 000 ha al año de maíz (*Zea mays* L.) ...

aprendido en el mismo lugar donde habían surgido las preguntas incómodas, allí donde me habían solicitado más propuestas y menos quejas.

Un paso en cultivos y aromas ecuatorianos

De vuelta a Ecuador, donde se siembra un promedio de 100 000 ha al año de maíz (*Zea mays* L.) de variedades de “maíz duro suave” o “dulce”, cuyo principal destino es el consumo humano local cotidiano, debía enfrentar a la especie polífaga que genera pérdidas económicas importantes en muchos países.

Decidí elaborar los extractos botánicos del pimiento de Bolivia, falso pimentero o molle, *Schinus molle*

L. (Anacardiaceae), pues habían demostrado tener efecto repelente y tóxico en insectos plaga a través de sus metabolitos secundarios. De igual forma, el ajenojo, *Artemisia absinthium* L. (Asteraceae), pues había presentado propiedades antialimentarias y tóxicas contra insectos plaga de la familia Noctuidae.

Pies y manos en movimiento

Gracias a la colaboración y apoyo de Hugo Navarrete, en ese entonces Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y el apoyo efectivo del coordinador de laboratorios, Bolívar Salas, se prepararon los extractos botánicos en la sala de preparaciones de la Escuela de Biología (véase Figura 1). Una vez obtenidos, se aplicaron en ensayos de laboratorio y campo.

Pero antes de aplicar los tratamientos fue necesario establecer la crianza de *Heliothis zea* o gusano del choclo (véase Figura 2).

Finalmente, y lo más duro, fue necesario realizar un cultivo de maíz, con todos los elementos y manejos necesarios, para establecer la efectividad de los tratamientos a nivel estadístico, (véase Figura 3).

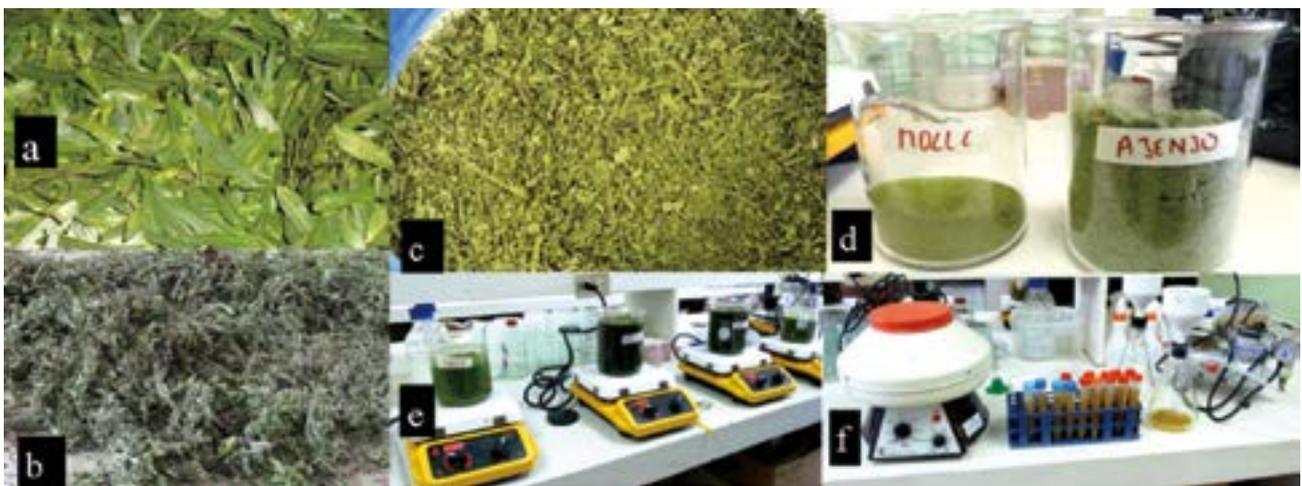


Figura 1. Preparación de extractos acuosos de molle, *S. molle*, y ajenojo, *A. absinthium*; (a) hojas de *S. molle*, (b) hojas de *A. absinthium*, (c) hojas secas trituradas y cernidas de *S. molle*, (d) polvo fino de hojas de *S. molle* y *A. absinthium*, (e) mezclas de agua y polvo fino de *S. molle* y *A. absinthium* en agitadores magnéticos térmicos, (f) sobrenadante líquido filtrado y centrifugado para obtener extractos puros de *S. molle* y *A. absinthium*.

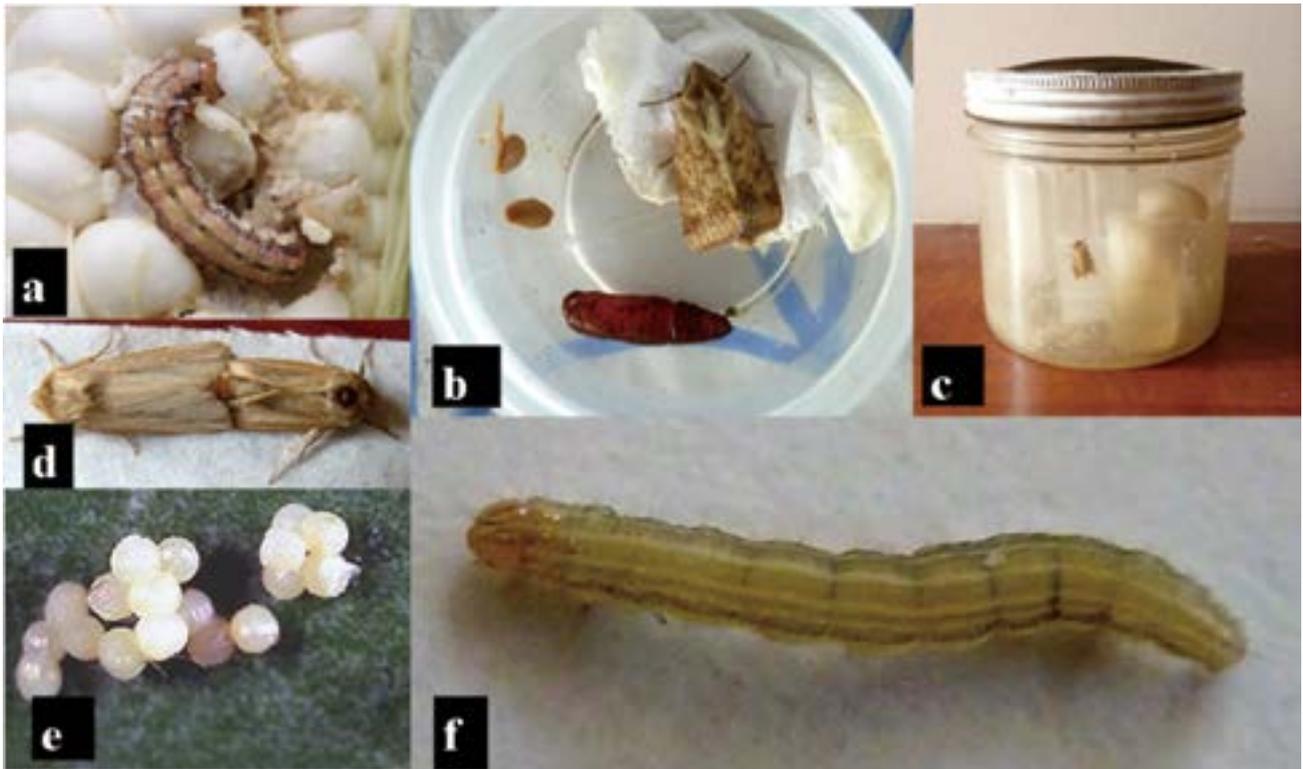


Figura 2. Crianza de *H. zea*, (a) colecta de larvas en choclos en predio agrícola de Chambo, (b) crianza con dieta de granos tiernos de maíz suave, (c) cámara de apareamiento, (d) apareamiento, (e) masa de huevos fértiles, (f) larva de tercer estadio de *H. zea*.



Figura 3. Manejo y evaluación del ensayo de campo, Cantón Chambo, Provincia de Chimborazo, Ecuador: (a) preparación previa con tractor, (b) separación de 80 cm entre surcos, (c) formación de surcos (d) aplicación de abono de gallinaza (e) planta a los 13 días de siembra, (f) primera aplicación de Neem-X, (g) riego por surcos, (h) aplicación de los tratamientos con atomizador manual a los estilos frescos de maíz, (i) evaluación en laboratorio del daño de *H. zea* en mazorcas cosechadas.

La metodología de la elaboración de los extractos, la técnica de crianza, el manejo del cultivo agrícola de Maíz, los diseños experi-

mentales y estadísticos empleados, merecen toda una amplia descripción y están disponibles en la web en el artículo “Extracts of *Schinus*

molle and *Artemisia absinthium* against *Helicoverpa zea* on fresh ear in Ecuador”

En el camino un “Alto”. Analizar e interpretar los resultados antes de continuar

Los resultados no son siempre los esperados. Siempre te lo dicen, pero duele un poco cuando llevabas muchas expectativas. Véase Cuadro 1.

tos de *S. molle* tuvieron un efecto antialimentario similar entre 45 y 49%, mientras que el efecto de *A. absinthium* en ambas concentraciones fue nulo.

Más halagüeños fueron los resultados de las pruebas de mortalidad. En el Cuadro 2 se presentan los re-

vas con el testigo sin aplicación, y la mortalidad acumulada aumentó a 92%. El tratamiento con *Btk* 100% y *A. absinthium* 50% v/v le siguió en eficacia, con 52 y 40% de mortalidad, respectivamente. El resto de los tratamientos no presentó diferencias significativas con el testigo sin tra-

Cuadro 1. Efecto antialimentario de los extractos acuosos de hojas de *S. molle* y *A. absinthium* en varias concentraciones en el alimento de larvas de tercer estadio de *H. zea* en una prueba de opción al azar. Cada valor corresponde al promedio (%) de 15 repeticiones (\pm error estándar).

Extractos (v/v)	Maíz consumido (%)		Efecto antialimentario (%)
	Control sin tratar	Granos tratados	
<i>S. molle</i> 100%	4,9 \pm 0,010 a *	2,6 \pm 0,004 a	45,2
<i>S. molle</i> 50%	6,9 \pm 0,013 a	3,3 \pm 0,006 a	48,8
<i>A. absinthium</i> 100%	7,6 \pm 0,010 a	8,5 \pm 0,008 a	0,0
<i>A. absinthium</i> 50%	3,8 \pm 0,005 a	8,1 \pm 0,007 a	0,0

* Promedios en una fila con la misma letra no son diferentes significativamente ($P \leq 0,05$), según prueba de rango con signo para muestras apareadas de Wilcoxon.

Tanto los granos tratados con extractos de hojas de *S. molle* al 100 y 50% v/v como *A. absinthium* al 100 y 50% v/v no presentaron diferencias significativas en el consumo de larvas de tercer estadio de *H. zea* con respecto al control sin tratar según la prueba de Wilcoxon. Los extractos acuosos de hojas de *S. molle* y *A. absinthium* tuvieron diferente efecto antialimentario. Los extrac-

sultados de mortalidad a 1, 8 y 15 dda, que se analizaron estadísticamente.

A 1 dda tiametoxan + lambda-cialotrina se diferenció significativamente del testigo sin aplicación al obtener una mortalidad de 76%, seguido del extracto de *A. absinthium* al 50% con 32%. A 8 dda tiametoxan + lambda-cialotrina continuó presentando diferencias significati-

tar. A 15 dda tiametoxan + lambda-cialotrina y *Btk* 100% causaron la mayor mortalidad en comparación con el testigo, 92 y 64%, respectivamente. También, los tratamientos con *Btk* 50%, *S. molle* 100% v/v + *Btk* 50% y *A. absinthium* 50% v/v, difirieron estadísticamente del testigo, con 48, 44 y 40%, de mortalidad, respectivamente.

Cuadro 2. Mortalidad promedio (%) \pm error estándar de larvas de *H. zea* por efecto de los extractos acuosos de *S. molle* y *A. absinthium*, solos y en mezcla con *B. thuringiensis* var. *kurstaki* (*Btk*), a 1, 8 y 15 d después de la aplicación (dda) en laboratorio.

Tratamientos	Días después de la aplicación (dda)		
	1	8	15
Testigo	0,0 \pm 0,0 c *	0,0 \pm 0,0 c	4,0 \pm 1,8 c
<i>S. molle</i> 100% v/v	4,0 \pm 1,8 c	16,0 \pm 3,3 bc	20,0 \pm 6,1 bc
<i>S. molle</i> 50% v/v	0,0 \pm 0,0 c	24,0 \pm 6,6 bc	28,0 \pm 6,6 bc
<i>A. absinthium</i> 100% v/v	12,0 \pm 2,2 bc	24,0 \pm 6,6 bc	24,0 \pm 6,6 bc
<i>A. absinthium</i> 50% v/v	32,0 \pm 4,6 b	40,0 \pm 4,0 b	40,0 \pm 4,0 b
<i>Btk</i> 100%	8,0 \pm 2,2 c	52,0 \pm 4,6 ab	64,0 \pm 1,8 ab
<i>Btk</i> 50%	4,0 \pm 1,8 c	32,0 \pm 2,2 bc	48,0 \pm 3,6 b
<i>S. molle</i> 100% v/v+ <i>Btk</i> 50%	0,0 \pm 0,0 c	32,0 \pm 2,2 bc	44,0 \pm 3,3 b
<i>A. absinthium</i> 100% v/v+ <i>Btk</i> 50%	4,0 \pm 1,8 c	20,0 \pm 4,0 bc	28,0 \pm 2,2 bc
Tiametoxan + lambda-cialotrina	76,0 \pm 0,0 a	92,0 \pm 1,8 a	92,0 \pm 1,8 a

* Promedios en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($P \leq 0,05$) según prueba de Tukey.

El número de larvas de *H. zea* de diferentes estadios encontrados en la evaluación de las mazorcas frescas en el campo se presenta en el Cuadro 3. Los tratamientos que presentaron diferencias significativas en el promedio de larvas detectadas a la cosecha de choclos con el testigo sin tratar fueron tiametoxan + lambdacialotrina, *S. molle* 100% v/v + *Btk* 50%, *Btk* 100% y *S. molle* 100% v/v con un promedio de 2,6; 3,4; 4,4 y 4,8, respectivamente. Lamentablemente, al evaluar el daño solo funcionó el insecticida químico sintético.

Los resultados todavía no permiten presentar propuestas alternativas a los agricultores locales. ¡Lo sé! Pero también sé que siempre se aprende del camino recorrido.

Cuadro 3. Número de larvas de *H. zea* (promedio \pm error estándar) en 20 mazorcas tratadas por aspersión con atomizador manual cada 4 d desde la aparición de los primeros estilos de maíz de grano suave INIAP-101 en el Cantón Chambo, Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Tratamientos	Número promedio de larvas en 20 mazorcas
Testigo	10,0 \pm 1,8 a *
<i>S. molle</i> 100% v/v	4,8 \pm 1,3 bc
<i>S. molle</i> 50% v/v	5,4 \pm 0,8 abc
<i>A. absinthium</i> 100% v/v	5,0 \pm 1,2 abc
<i>A. absinthium</i> 50% v/v	5,6 \pm 1,0 abc
<i>Btk</i> 100%	4,4 \pm 0,5 bc
<i>Btk</i> 50%	5,6 \pm 0,9 abc
<i>S. molle</i> 100% v/v + <i>Btk</i> 50%	3,4 \pm 0,9 c
<i>A. absinthium</i> 100% v/v + <i>Btk</i> 50%	8,6 \pm 1,0 ab
Tiametoxan + lambdacialotrina	2,6 \pm 0,9 c

* Promedios en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($P \leq 0,05$) según prueba de Tukey.

Quando conversas con otros sobre el camino recorrido

Los resultados todavía no permiten presentar propuestas alternativas a los agricultores locales. ¡Lo sé! Pero también sé que siempre se aprende del camino recorrido. Me senté a releer varios autores para tratar de encontrar aprendizajes o reconsiderar variables de estudio. En el ensayo de laboratorio para medir el efecto de terrente e insecticida de los extractos

sobre el gusano del choclo, se comprueba la mayor tolerancia a este tipo de compuestos comparado con otros insectos plaga como el escarabajo *X. luetola*.

Heliothis zea también toleraría otros tipos de extractos de plantas debido a su condición polífaga. Al comparar el efecto antialimentario del extracto de *S. molle* en ambas concentraciones sobre el tercer estadio larvario de *H. zea* con el estudio

de Silva *et al.* (2013) sobre el efecto antialimentario del extracto de hojas *Peumus boldus* sobre larvas de tercer estadio de *H. zea* se observan resultados similares.

Los tratamientos con el extracto acuoso de hojas de *S. molle* y *Btk*, solos y en mezcla, disminuyeron significativamente el número de larvas detectadas a la cosecha de mazorcas frescas en el campo. Esta información abre las puertas a evaluar estos tratamientos en otros cultivos agrícolas hospederos de la plaga, como tomate, alfalfa, pimiento, etc.

Se debe considerar las zonas tropicales con una presión alta y constante de plagas en el campo dentro del manejo integrado; situación que difiere de otras zonas geográficas de estaciones marcadas como Chile.

De todos modos, a mis amigos agricultores ahora sí les puedo dar una respuesta. No tan eficiente como ellos desearían, pero sí una respuesta alternativa. Creo que los biólogos debemos ofrecer propuestas al manejo sustentable de los recursos naturales y desde la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales mucho se ha hecho y se seguirá haciendo para recorrer nuevos caminos.

Literatura consultada

Silva, G., C. Rodríguez, C. Blando, and A. Lagunes. 2013. Bioactivity of a water extract of boldus (*Peumus boldus* Molina) against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) and *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae). Chil. J. Agric. Res. 73(2):135-141.

Caracterización computacional de péptidos antimicrobianos extraídos de anfibios ecuatorianos

■ Por Dra. Lorena Meneses Olmedo, M.Sc. Sebastián Cuesta Hoyos
Escuela de Ciencias Químicas
(lmmeneses@puce.edu.ec), (sebas_c89@hotmail.com)

El rápido aumento de la resistencia microbiana presenta un reto serio para las terapias antimicrobianas. La ineficiencia de antibióticos potentes contra superbacterias genera urgencia en desarrollar otros agentes de control.

Dentro de estos nuevos agentes de control se incluyen los péptidos. Se ha encontrado que péptidos, generados por digestión de varias proteínas extraídas de animales y plantas, poseen actividad biológica. Esta actividad depende de sus propiedades estructurales, composición y estructura aminoácida. Los péptidos antimicrobianos (AMPs por sus siglas en inglés) son oligopéptidos con un número variable de aminoácidos, poseen un amplio espectro de acción contra bacterias, hongos y parásitos.

Investigaciones en AMPs, incluyendo proteínas, empezó en el siglo XIX con el trabajo de Ehrlich, Metchnikov, Kanthack y Petterson. Hoy en día, esta área se ha absorbido dentro de los campos de la microbiología, inmunología, histoquímica y biología celular. AMPs y proteínas han sido ampliamente estudiadas como alternativa para el control de microorganismos en medicina, agricultura y la industria alimentaria (preservantes).

Investigaciones en AMPs, incluyendo proteínas, empezó en el siglo XIX con el trabajo de Ehrlich, Metchnikov, Kanthack y Petterson.

Los AMPs son pequeñas moléculas catiónicas y anfipáticas que pueden ser aislados de células procarionotas y eucariotas en plantas, bacterias, hongos y el reino animal (insectos, anfibios, mamíferos, entre otros). Esto, les confiere la capacidad de interactuar e interrumpir membranas biológicas aniónicas, atravesándolas, causando la lisis de las células microbianas.

La naturaleza ha colocado estratégicamente estos péptidos como primera línea de defensa entre el organismo y el ambiente que lo rodea, inhibiendo rápidamente un amplio espectro de microorganismos infecciosos, sin crear toxicidad en el organismo [1].

Péptidos como la AmB han sido ampliamente usados para tratar infecciones fúngicas en todo el cuer-

po incluyendo piel, uñas, cavidades orales, tracto respiratorio y urinario. Nuevas investigaciones proponen la creación de nanopartículas de este péptido como una técnica para reducir su toxicidad y otros problemas relacionados [2].

Algunos péptidos antibacterianos catiónicos, con conformaciones helicoidales típicas en condiciones que imiten a la membrana, exhiben propiedades anticancerígenas, como resultado de un mecanismo de acción similar hacia bacterias como a células cancerígenas.

No todos los péptidos catiónicos funcionan de igual manera. La cecropina de la polilla y la melitina de la abeja, pertenecientes a la misma familia, son un ejemplo de esto. Al adoptar una conformación helicoidal, la cecropina presenta una alta actividad antibacteriana, demostrando una selectividad eucariótica mínima (toxicidad), mientras que la melitina es un antibacteriano débil pero una potente toxina. Esto puede deberse al tamaño del gradiente potencial eléctrico transmembrana y la composición lipídica de las diferentes membranas [3].

Los péptidos pueden ser aislados de diferentes seres vivos. Las técnicas de purificación de péptidos incluyen: precipitación con sulfato de amonio, intercambio iónico, filtración por gel, cromatografía hidrofóbica y cromatografía de alta eficiencia en fase reversa.

Fábrica de AMPs [4]

La secreción cutánea de muchas especies de Anura contiene una amplia cantidad de compuestos con actividad biológica en altas concentraciones, las cuales son muy interesantes para el desarrollo de nuevos medicamentos. Las glándulas granulares en la piel de algunas especies de ranas sintetizan péptidos con una actividad antimicrobiana de amplio espectro contra bacterias, hongos y protozoos, que son parte del sistema de inmunidad innata del animal.

En las últimas décadas, más de 300 péptidos bioactivos con propiedades farmacológicas variadas han sido purificadas de la piel de ranas, lo que representa una rica fuente de compuestos terapéuticos.

Estas moléculas son prometedoras para su uso contra microorganismos resistentes a antibióticos. Por el momento, este uso se encuentra limitado debido a sus varios grados de toxicidad hacia células mamarias como eritrocitos.

Estudios han demostrado la actividad de estos péptidos contra virus, células cancerígenas, propiedades antioxidantes, antitumorales, antidiabetes, inhibición de enzimas, y efectos quimiostáticos. Además, recientes estudios han identificado un número de estos péptidos antimicrobianos que pueden modular los procesos inflamatorios.

Los péptidos obtenidos de la piel de las ranas varían en su tamaño, de 8 a 48 aminoácidos de largo. Una comparación en sus secuencias revela la ausencia de dominios conservados asociados a su actividad biológica. Sin embargo, con pocas excepciones, estos péptidos son cationicos con una carga molecular entre +2 y +6 a pH 7, debido a la presencia de múltiples lisinas. Ade-

más, contienen al menos 50% de aminoácidos hidrofóbicos, entre los que abundan la leucina e isoleucina. Estudios de RMN y dicroísmo circular muestran que estos péptidos carecen de una estructura secundaria definida en soluciones acuosas, pero tienden a formar una hélice alfa en un ambiente de fosfolípidos o disolventes que mimeticen la membrana.

No existe un mecanismo único por el cual los péptidos producen muerte celular, pero su acción normalmente no envuelve interacción con un receptor específico; más bien, es una interacción no específica con la membrana celular de las bacterias, que resulta en permeabilización y desintegración de la misma. Estas interacciones, a menudo, complejas, pueden dar lugar a la fijación de péptidos a la membrana, o en permeabilidad de la membrana, ruptura y lisis celular. Por esta razón, estos péptidos son activos contra bacterias resistentes a antibióticos.

Trabajos en la PUCE

El departamento de Ciencias Biológicas ha estado trabajando en la extracción y purificación de péptidos con actividad biológica de anfibios endémicos del país. Una de las especies en las que se ha puesto énfasis es la *Agalychnis spurrelli*.

Agalychnis spurrelli, comúnmente llamada rana mono planeadora (Figura 1), es una especie de anfibio de orden Anura y familia Hylidae que habita en el Ecuador en las provincias de Esmeraldas, Los Ríos, Manabí, Carchi y Pichincha. Son especies nocturnas que viven en bosques húmedos cerca de cuerpos de agua, donde se reproducen. Su población puede llegar a ser muy abundante. Estudios realizados en

la provincia de Esmeraldas estimaron una población mayor a dos mil adultos en 2400 m² [5, 6].

De esta especie, se han logrado extraer, purificar y dilucidar la secuencia de cinco péptidos, de los cuales, uno pertenece a la familia de las Filoseptinas (PLS) y cuatro a la familia de las Dermaseptinas (DRS). Mediante técnicas de clonación, síntesis en laboratorio y estudios de efectividad en *E.coli*, *S.aureus* y *C.albicans*, se determinaron cuáles de estos péptidos poseen actividad biológica y sobre cuál microorganismo.

Al conocer la estructura molecular de estos péptidos, se pueden usar diversas técnicas computacionales para caracterizar estas moléculas y entender más a profundidad cuál puede ser su mecanismo de acción. El grupo de química computacional de la Escuela de Química de la PUCE está trabajando en caracterizar estos nuevos péptidos y sugerir su posible mecanismo de acción. Para esto, se utilizaron bases de datos de péptidos, técnicas de acoplamiento y mecánica molecular, servidores de predicción de propiedades fisicoquímicas y de estructura secundaria de proteínas.

El estudio comparativo de la estructura de estos péptidos con bases de datos mostró que las moléculas extraídas de *Agalychnis spurrelli*



Figura 1. *Agalychnis spurrelli*.

tienen un porcentaje de similitud con péptidos de otras especies de ranas que van de un 30 a un 70%, demostrando la variabilidad de estas moléculas de especie a especie y que es la primera vez que estas moléculas son estudiadas y caracterizadas.

Los resultados muestran que todas las moléculas estudiadas son péptidos catiónicos que poseen entre 22 y 27 aminoácidos en su estructura. Su punto isoeléctrico es mayor a 7, su carga a pH 7 superior a 1 y poseen más de dos residuos básicos en su estructura (Tabla 1).

La predicción de la estructura secundaria utilizando los servidores PSIPred, JPred y optimizando la molécula con el campo de fuerza MM2, coincide en que los cinco péptidos tienen una estructura secundaria en forma de hélice alfa (Figura 2).

Para proponer un posible mecanismo de acción de estos péptidos,

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los péptidos estudiados

Parámetro	PLS_sp1	DRS-SP2	DRS-SP3	DRS-SP4	DRS-SP5
Longitud	22	28	27	27	27
pI	7,72	10,8	9,71	9,71	11,48
aa cargados positivamente	2	4	2	2	3
Carga neta a pH 7	0,22	3	1	1	2
% aa hidrofóbicos	59,09	50	55,56	55,56	51,85

se realizó un estudio de acoplamiento molecular utilizando varias rutas de enzimas conocidas por ser vitales para los microorganismos en



Figura 2. Estructura secundaria de los péptidos estudiados

estudio. Las enzimas estudiadas y sus afinidades con las moléculas en estudio se encuentran en la Tabla 2.

La tabla muestra la energía de interacción de la enzima con el péptido de mayor afinidad y con su inhibidor. Los resultados indican que los péptidos estudiados no lograron una afinidad mayor a inhibidores conocidos de ninguna de las enzimas estudiadas, sugiriendo que el mecanismo de acción no sería por la inhibición de estas enzimas por parte de los péptidos.

Tabla 2. Afinidad de los péptidos con enzimas presentes en los microorganismos estudiados, comparado con inhibidores comunes de esas enzimas

Organismo	Enzima	Inhibidor	Afinidad (kcal/mol)	Péptido	Afinidad (kcal/mol)
S. aureus	Proteína de unión a la G acil-Penicilina 2a	Ceftobiprole	-9.5	PLS_SP1	-5.5
	Hidrolasa AmiA	Muramil tetrapéptido	-7.1	DRS-SP4	-6.1
E. coli	DNA gyrase B	ADP	-10.4	PLS_SP1	-6.4
	Transglicosilasa proteína de unión a la penicilina 1b	Moenomicina	-7.3	DRS-SP3	-5.5
C. albicans	Exo-B-(1,3)-glucanasa	Castanospermina	-7.0	DRS-SP3	-5.9
	Proteasa aspártica secretada (Sap)	A70	-7.7	DRS-SP5	-6.5

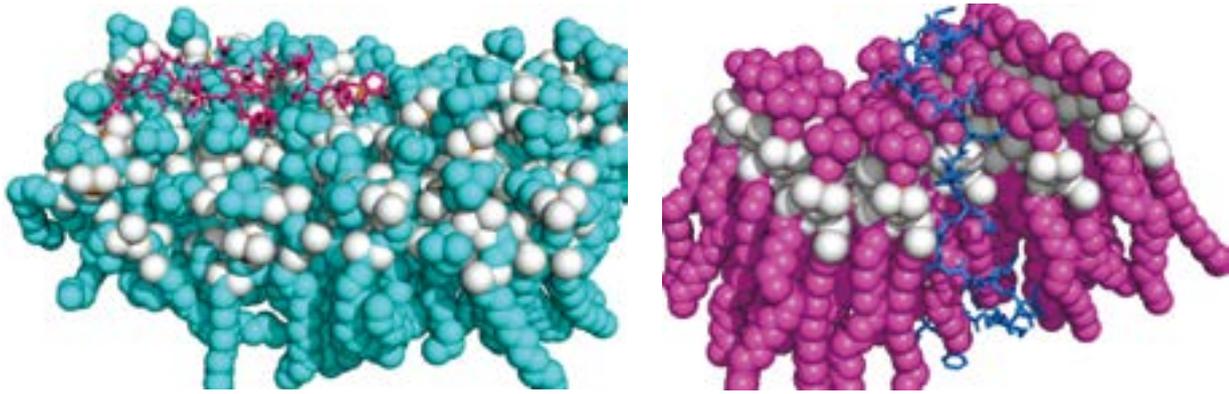


Figura 3. Interacción péptidos con a. membrana mamífera y b. membrana bacteriana

Estudios de la interacción de los péptidos con los fosfolípidos de la membrana celular de mamíferos y bacterias muestra que los péptidos estudiados logran penetrar la membrana celular de bacterias, cosa que no sucede con la membrana mamífera (Figura 3). Esto está en concordancia con otros estudios, donde se concluye que el mecanismo de acción de las dermaseptinas se da por ruptura de la membrana celular por parte de estos péptidos.

Conclusión

Si bien se ha avanzado en el área de la Biología, en el estudio de la secreción de la piel de varias especies de ranas, donde se ha llegado incluso a la secuenciación de aminoácidos de los péptidos bioactivos presentes en estas secreciones, aún queda mucho trabajo por hacer en el área de la química computacional, pues es necesario llevar a cabo estudios de dinámica molecular, a fin de conocer cómo interactúan estos péptidos con la membrana celular en el tiempo, para saber si las interacciones son superficiales o si en realidad existe una permeabilidad y ruptura de la membrana. Los resultados de estos estudios permitirán entender el mecanismo de acción de los péptidos estudiados, lo que repercutirá en el desarrollo de estudios *in vitro*,

y posteriormente *in vivo*, para la aplicación de estos péptidos como terapia antibacteriana para bacterias multirresistentes.

Los resultados de estos estudios permitirán entender el mecanismo de acción de los péptidos estudiados, lo que repercutirá en el desarrollo de estudios *in vitro*, y posteriormente *in vivo*, para la aplicación de estos péptidos como terapia antibacteriana para bacterias multirresistentes.

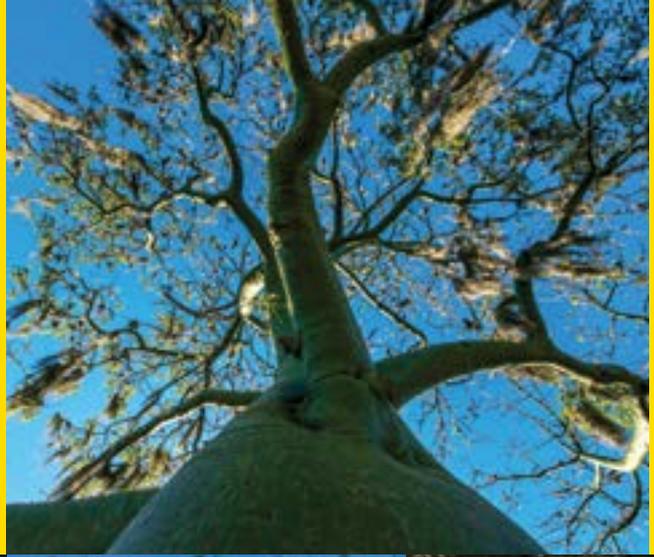
Literatura consultada

- [1] Spitznagel, J. (1997). Origins and Development of Peptide Antibiotic Research, Antibacterial Peptide Protocols, Volume 78 of the series Methods In Molecular Biology™ pp 1-14
- [2] Park, S., Kim, Y., Lee, J., Kim, N., Kim, E., Heo, H., Lee, M., Lee, J. y Jang, M. (2017). Targeting and synergistic action of an antifungal peptide in an antibiotic drug-delivery system, *Journal of Controlled Release*, 256, 46–55
- [3] Sang, M., Zhang, J. y Zhuge Q. (2017). Selective cytotoxicity of the antibacterial peptide ABP-dHC-Cecropin A and its analog towards leukemia cells, *European Journal of Pharmacology*, 803, 138–147
- [4] Conlon, J.M. (2012) The Potential of Frog Skin Antimicrobial Peptides for Development into Therapeutically Valuable Anti-Infective Agents, chapter 3 In Small Wonders: Peptides for Disease Control; *ACS Symposium Series*; American Chemical Society: Washington, DC.
- [5] Ortega-Andrade, H.M. (2008). *Agalychnis spurrelli* Boulenger (Anura: Hylidae): variación, distribución y sinonimia. *Papeís Avulsos de Zoologia* 48:103-1117.
- [6] Duellman, W.E. (2001). *Hylid Frogs of Middle America*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Ithaca, New York.



Por Mtr. Esteban Baus C.
Centro de Investigación para
la Salud en América Latina
(CISeAL)
Escuela de Ciencias Biológicas
egbaus@puce.edu.ec

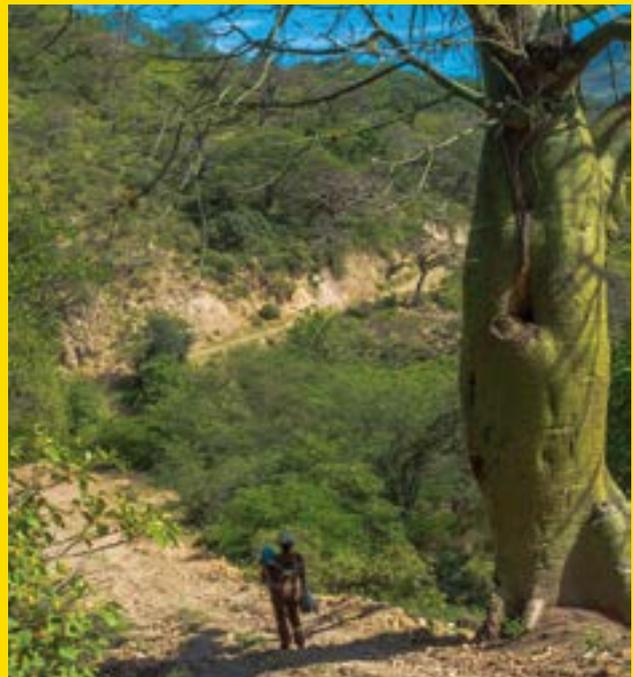
LA VIDA EN EL CEIBO



Si entre las especies de árboles organizaran un concurso de belleza, seguramente el ceibo de los bosques secos quedaría finalista.

Pero en esta ocasión, no quiero hacer tributo a la indiscutible belleza de los ceibos que hasta parecería que son danzantes que se mueven sutilmente al ritmo del viento, quiero contarles sobre la gente que vive alrededor del ceibo, en esas zonas hostilmente secas en verano y extremadamente lluviosas en invierno. Y así, entre los turnos de los rayos solares recalcitrantes y las tormentosas lluvias, los ceibos silenciosamente han visto pasar varias generaciones de familias que viven de la tierra y con ella; la cuidan y la trabajan como si fuera propia. Sus manos fuertes, duras y ásperas dan fe de ello. Han sobrevivido en tierras ajenas a cambio de diezmos agrarios; aprovechando lo que les queda para consumo familiar.

Cada día es un reto para las familias, hacen un gran esfuerzo para que sus hijos estudien en la escuela y lleguen a asistir al colegio, lejos de casa. Como las viviendas están dispersas entre las lomas del bosque seco, los niños madrugan a las cuatro de la mañana para llegar a tiempo a clase; los más grandecitos, en el mejor de los casos, se mudan con un familiar a la ciudad más cercana para asistir al colegio o deben vivir solos en un cuarto alquilado. Poco a poco, el amor al campo, a cuidar los animalitos, ayudar a sus papás en la molienda o en la chacra es reemplazado por las distracciones de la ciudad. Por esto,





salir de su comunidad se convierte en un anhelo, y muy pocos son lo que añoran volver; más bien, forman una familia lo antes posible; otros buscan empleo en otras provincias.

Como si estas comunidades no tuvieran suficientes desafíos del día a día, su salud se ubica en un segundo plano, puesto que a menos que les imposibilite su trabajo, no la hacen caso. Cuando sienten que tienen fiebre acuden al centro de salud más cercano o, simplemente, se automedican. Generalmente, están expuestos constantemente a agentes infecciosos, y como su dieta es baja en nutrientes son presa fácil de enfermedades, incluso de aquellas incurables pero prevenibles como el mal de Chagas.

El proyecto *La vida en el ceibo* asumió en el 2016 el reto de documentar esta problemática silenciosa e invisible que afecta a millones de personas en América y a miles de ecuatorianos. Se trata de una muestra fotográfica que, ahora en esta sección de *Nuestra Ciencia* n.º 21, tengo la oportunidad de compartirla con ustedes. Estas fotografías fueron tomadas a lo largo del trabajo que hemos realizado arquitectos, sociólogos, comunicadores, biólogos y voluntarios de distintas instituciones con el fin de controlar y prevenir la enfermedad de Chagas.



El mal de Chagas tiene una base biológica y clínica, pero el problema tiene determinantes ambientales, sociales y económicos; los habitantes están expuestos a la transmisión vectorial porque sus viviendas son precarias y el uso de ese espacio no es el adecuado. Pero no todo es negativo, los recursos naturales y culturales de la zona representan el patrimonio comunitario que puede constituir la piedra angular para el desarrollo local. Si la comunidad mejora el ingreso familiar, se legalizan las tierras, se mejoran los caminos de acceso, se tecnifica la agricultura, se mejoran las viviendas y se trabaja en promoción de salud, el resultado será vivir saludable, y la esperanza de mejores días constituirá un anhelo alcanzado solidariamente.



Los verdaderos intraterrestres

■ Por Mtr. Santiago F. Burneo
Museo de Zoología, Sección Mastozoología
(sburneo@puce.edu.ec)

La Cueva de Los Tayos

Esta cueva, en la provincia de Morona Santiago, ha sido calificada como milenaria y mitológica, fascinante y misteriosa; todos estos adjetivos se refieren a distintos aspectos de esta cavidad, algunos reales y tangibles, otros fantásticos y etéreos, que motivan una curiosidad y orgullo natural en los ecuatorianos.

La cordillera del Cóndor alberga la formación geológica de Santiago que los estudiosos afirman que data de alrededor de 200 millones de años e incluye una gran cantidad de piedra caliza, cuya erosión gradual y, efectivamente, milenaria, permite que se formen en su interior grietas, que se convierten en oquedades, que si se abren al exterior en un tamaño suficiente se llaman cuevas o cavernas. Morona Santiago alberga muchas de estas cavernas, pero una de ellas, de amplias dimensiones y complicada arquitectura, ha sido nombrada por una importante colonia de aves nocturnas, de la familia *Steatornithidae*, los famosos tayos.

Los tayos o guácharos (*Steathornis caripensis*), son la única especie de su familia, fueron descritos por Alexander Von Humboldt justamente en una cueva en el Parque Nacional del Guácharo en Venezuela. Los tayos consumen principalmente frutos aceitosos de palmas y han desarrollado un mecanismo de orientación por ecolocación basado en clics linguales, que les permite tanto ser activos durante la noche cuanto explotar eficientemente las cuevas como refugios. Estas aves emiten unos sonidos fuertes y “fantasmagóricos”, que

Esta cueva, en la provincia de Morona Santiago, ha sido calificada como milenaria y mitológica, fascinante y misteriosa...

ha motivado todo tipo de leyendas en lugareños que habitan cerca a sus escondites. La Cueva de los Tayos no es la excepción.

Aunque la cueva fue conocida por generaciones por asentamientos shuar de los cuáles el más importante es la comunidad de Kuankus (Coangos), fue popularizada para el mundo exterior a finales de la década de los sesenta por el aventurero argentino-húngaro János Juan Moricz, quien aseguró haber encontrado en el interior de la caverna una biblioteca metálica, atribuida a la predicción del profeta Joseph Smith por sus seguidores mormones. Los shuar, quienes visitaban la cueva constantemente ya que explotaban en la temporada de lluvias los polluelos de tayos para su alimentación, contaban en sus historias que las piedras anguladas, parecidas a tapias superpuestas y huellas que supuestamente habían encontrado en sus incursiones, sugerían que la cueva no tuvo un origen natural y que debería estar habitada por seres sobrenaturales, posiblemente de origen extraterrestre pero que no salían a la superficie, habiéndose convertido, entonces, en intraterrestres.

Mitos y pseudociencia

Las historias de Moricz motivaron el libro “El Oro de los Dioses”, escrito por Erich von Däniken, conocido ufólogo y mitógrafo suizo, quien no solo narró la historia de la Cueva de los Tayos, plagiando gran parte del contenido de una conversación con Moricz, sino que mencionó falsamente haber visitado la caverna. Aunque sus libros e ideas pseudohistóricas y pseudocientíficas son ampliamente rechazados por la comunidad académica, han sido muy leídos por la sociedad en general. El propio Moricz se encargó de desmentir muchos pasajes del libro en los que se mencionaban las piezas metálicas y raras estatuas doradas que evidenciaban la ocupación de los intraterrestres. La evidencia de esta biblioteca de metal fue supuestamente robada del convento de María Auxiliadora de la ciudad de Cuenca, donde eran custodiadas por el sacerdote salesiano Carlo Crespi quien dijo haberlas recibido directamente de los indígenas como una ofrenda.

Esas historias despertaron el interés de exploradores quienes han llevado a cabo varias expediciones a la cueva, siendo la más conocida la de 1976, organizada por el aventurero escocés Stan Hall, quien invitó al astronauta Neil Armstrong a formar parte del equipo de espeleólogos, arqueólogos y militares ecuatorianos y extranjeros. Posteriormente las expediciones tuvieron menor dimensión y alcance, cada una de ellas desmintiendo muchos de los antiguos relatos que hablaban de miles de kilómetros de galerías subterráneas escondidas y objetos metálicos encontrados en su interior. En 2012, el explorador y músico polaco Yoris Jarynski mencionó que aunque las ga-

lerías de la cueva tienen una acústica impresionante, no hay duda de que sea de origen natural, lo cual es corroborado por los geólogos actualmente. Aunque muchas de estas expediciones mencionan algunas plantas o animales encontradas en la cueva, es poco lo que sabemos de su biodiversidad.

La expedición biológica

Hace un par de años recibí de mi amigo y colega, el geólogo de la Universidad de las Fuerzas Armadas, Theofilos Toulkeridis, una invitación a conocer la Cueva de los Tayos, como parte de una expedición organizada por Travel Channel para filmar un episodio de su serie Expedition Unknown, alusivo a las visitas previamente realizadas. No dudé en aceptar la invitación y, al poco tiempo de regresar habiendo permanecido un par de noches en el interior y luego de explorar brevemente sus galerías, decidí solicitar el apoyo logístico y financiero a la PUCE para la primera expedición biológica de la cueva, con la cual podríamos descubrir su verdadero secreto: su biodiversidad.

Por definición, una cueva es un ambiente extremo, la falta de luz solar evita que se establezcan poblaciones de organismos fotosintéticos, la base de las cadenas tróficas en la mayoría de los ecosistemas del planeta. La energía necesaria para mantener comunidades que puedan sobrevivir permanentemente en la cueva debe provenir de la superficie. Es allí donde los tayos son importantes. Aves y mamíferos son organismos homeotermos, requieren alimentarse constantemente para poder regular su temperatura. Así como los tayos, un grupo de mamíferos también ha logrado colonizar el interior de cuevas y usarlas como refugio por sus adaptaciones a la vida nocturna y no dependen de la luz para su orientación: los murciélagos. La ecolocación y la capacidad de vuelo que exhiben tayos y murciélagos, les permite usar la cueva

durante el día para descansar, reproducirse y procesar sus alimentos, saliendo a forrajear en la superficie cada noche (Foto 1). El guano que depositan cada día en el interior de la cueva, pese a que es un desecho fisiológico para ellos, se convierte en una fuente importante de nutrientes para organismos adaptados a sobrevivir completamente en la oscuridad. Estos organismos pueden ser tan variados como insectos, crustáceos, moluscos, anfibios y peces, además de un sinnúmero de bacterias, hongos e invertebrados como oligoquetos, planarias, copépodos, anfípodos y un muy largo etcétera.

Cortesía de ComCiencia (Esteban Baus, Rubén Jarrín)



Foto 1. Murciélago nectarívoro de Handley (*Lonchophylla handleyi*), es un murciélago de costumbres cavernícolas que comparte el espacio con los tayos de la cueva.

Es así que se formó un grupo multidisciplinario de investigadores, muchos de ellos con poca o ninguna experiencia en espeleología (la ciencia que estudia las cuevas), motivados por conocer la biodiversidad que podría estar habitando la Cueva de los Tayos. Se invitaron a profesores de biología y estudiantes de la asignatura optativa Bioespeleología que había dictado en algunas ocasiones, formando un equipo humano que incluyó a especialistas en invertebrados, insectos, microbiología y hongos endófitos, además de biólogos foto y video documentadores dispuestos a registrar digitalmente toda la expedición.

Luego de algunas semanas de preparación, inducciones, reuniones, prácticas de cuerdas y una interesante preparación psicológica, nos embarcamos en tres vehículos para colonizar

por unos días la Cueva de Los Tayos. Tras el largo viaje llegamos a Puerto Yuquianza en el Cantón Limón Indanza, en donde nos embarcamos para navegar por el Río Namangoza hasta la unión con el Río Coangos. Desembarcamos en La Puntilla y luego de un almuerzo al estilo shuar, iniciamos una caminata hacia la casa de Don Bosco, en cuyos terrenos está la Cueva de los Tayos. La caminata tomó casi dos horas en la cual ascendimos 345 m y recorrimos cerca de cuatro kilómetros. Luego de un merecido descanso recorrimos en 20 minutos los 700 metros que nos separaban aún de la cueva.

Espeleología y bioespeleología

La entrada principal no es lateral, sino que se abre hacia arriba formando una garganta de 70 m de longitud que debe descenderse mediante cuerdas. El apoyo logístico fue brindado por la empresa Tayos Expeditions liderada por Óscar Arce, militar activo de la Escuela de Iwias y estuvo conformado por un grupo de espeleólogos y escaladores expertos, paramédicos, guías nativos y personal de apoyo, quienes nos acompañaron en nuestra aventura científica. Luego del lento descenso, ya que cada miembro del equipo debía haber llegado al fondo del pequeño abismo antes que el siguiente pueda bajar, llegamos a montar campamento en la “Galería de los Tayos”, formación cercana a la entrada principal, que se extiende por cientos de metros y alcanza, en su zona más amplia, unos 20 metros de ancho

lugar apropiado para aprovisionarnos de agua que filtraba desde la superficie, necesaria para el consumo y cocción de los alimentos. Hacia el suroeste se abre un sumidero donde desemboca el agua de un río subterráneo que ingresa a la cueva desde el noreste. Nadando bajo el agua se atraviesa a otras galerías en el que el equipo de ictiofauna encontró una importante cantidad de interesantes bagres blancos, casi transparentes. Siguiendo este río hacia arriba se llega a una formación conocida como el anfiteatro, por sus escalinatas rectas naturales que rodean un escenario central formado por una saliente rocosa, en una bóveda que asciende por 45 metros alcanzando el techo, que en algunos sitios se situaba a 20 metros de altura. El “domo” tiene una ubicación central y ocupa buena parte de una cámara de 70 metros de largo por 30 de ancho y techos de hasta 25 metros de altura. La cueva es tan grande que está llena de otras cuevas en su interior, rocas gigantescas, grietas y un sinnúmero de otras formaciones rocosas.

La dificultad para movilizarse en estos sitios no fue obstáculo para que los especialistas en microorganismos, bacterias, hongos y levaduras, recojan muestras, siguiendo todos los protocolos de seguridad para evitar la contaminación, que serían luego llevadas a sus respectivos laboratorios. La vida en la cueva no estuvo exenta de riesgos, existen zonas tan altas en su interior que una caída podría ser fatal, nuestro campamento estuvo a punto de inundarse una noche en la que la lluvia de la superficie creó un gran río temporal que cruzó cerca de las carpas y equipos, con un estruendo tan ensordecedor que hasta el grito de los tayos fue acallado. El uso constante y prudente del equipo de protección personal, linternas, cascos, guantes y cuerdas cuando fue necesario, fue indispensable para no tener accidentes que lamentar en el interior.



Cortés de ComCiencia (Esteban Baus, Rubén Jarrín)

Foto 6. Los verdaderos intraterrestres.

El extenuante trabajo diario de exploración y recolección de muestras se vio compensado con momentos de compartir experiencias e historias entre nosotros, nuestros guías y, sobre todo, nuestros acompañantes shuar, quienes nos contaban de tiempos en los que descendían a estas profundidades con antorchas y escaleras hechas de bejuco, protegidos por la presencia del dios Arutam, protector de la cueva. Nosotros intercambiamos esas historias con otras sobre las formas en las que los seres vivos que estudiamos se las arreglan para sobrevivir en este ambiente, de manera que el tiempo que estuvimos dentro no se hizo tan largo como temíamos y, más bien, muchos de nosotros no queríamos salir hacia el final de nuestra expedición.

Los siguientes meses serán de mucho trabajo y emoción, mientras se van revelando los resultados de los análisis de las muestras. Esta biodiversidad escondida por decenas de miles de años será develada poco a poco en publicaciones científicas; nuevas especies y nuevos registros son muy probables en ambientes extremos, para lo cual tendremos que revisar la morfología y los genes de las especies recolectadas.

Seguramente, luego de todo ese trabajo, muchos de nosotros queremos volver a una nueva expedición biológica y volver a vivir unos días en las pro-

fundidades de nuestro planeta. Quiero expresar mi gran agradecimiento a la gente que nos apoyó logísticamente, nos alimentó y nos brindó seguridad: Cristian Coronel, Patricio Estrella y Wesley Guzmán, así como a nuestros guías shuar, especialmente a don José Saant, síndico de la comunidad de Kuankus y a Olger y Alex Saant. Quiero expresar mi reconocimiento al equipo científico de la Escuela de Ciencias Biológicas: Esteban Baus, Rubén Jarrín, Camila Cilveti, Jaime Costales, Fernando Marín, Nicolás Tinoco, Francisco Romero, Andrea Caicedo, Anaid Paladines, Andrea Morales y Nicolás Castillo, quienes, por algo menos de una semana, fueron los verdaderos intraterrestres (Foto 6).

Literatura consultada

- Toulkeridis, T., Addison A., Constantin, S. y O. Arce. 2015. Candidatos ecuatorianos para la Lista Mundial del Patrimonio Natural-Las cuevas Triple Volcán y Tayos. VIII Jornadas Académicas de Turismo y Patrimonio.
- Porras, P. 1978. Arqueología de la Cueva de los Tayos. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 83 p.
- Travel Channel. 2018. Expedition Unknown: Hunt for the Metal Library.



Educarnos para Educar hacia una producción más Agroecológica

■ Por Ing. Agr. Diego Mina
Laboratorio de Entomología, Pontificia Universidad
Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
(dfmch.777@gmail.com)

Día de Campo de la Red de Agricultores Investigadores proyecto LEGUMIP.

La interdisciplinariedad en la investigación agrícola

Tener una producción sana de alimentos hoy en día es un reto; instituciones, investigadores y agricultores, muchas veces, buscan sumar esfuerzos en conseguir un cambio de paradigma en la producción agrícola, que tiene muchas y muy malas herencias de la tan nombrada Revolución Verde, cuyo principal problema actualmente es: el uso excesivo e indiscriminado de agroquímicos.

La investigación agrícola bien podría ser un aliado para solucionar esto; sin embargo, a menudo se centra en un solo problema técnico, basado en soluciones simples, que vienen de una sola fuente, e intentan resolver problemas muchas veces extremadamente diversos. Esto pasa en la mayoría de los países en desarrollo, donde instituciones y equipos de investigación están mal equipados y/o enfocados para satis-

facer las necesidades de millones de pequeños agricultores que dependen de ellos (Nelson *et al.*, 2016), como lo muestra la portada de la revista *Nature*, hoy en día se necesitan equipos y enfoques multidisciplinares (Fig.1), que combinen esa especie de 'superpoderes' para ponerlos al servicio de la gente que necesita esa investigación.

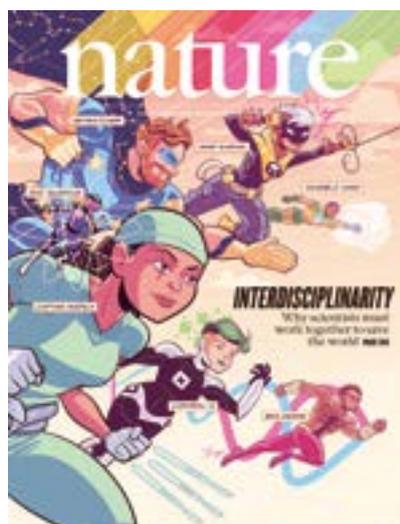


Figura 1. Portada revista *Nature*, la importancia de equipos interdisciplinarios y multienfoques para resolución de problemas de investigación.

La investigación participativa, un as bajo la manga

Una solución para mejorar este proceso puede ser adoptar enfoques participativos a gran escala para permitir la adecuación efectiva de diversas opciones al amplio espectro de contextos socio-ecológicos que caracterizan a la agricultura en pequeña escala (Nelson *et al.*, 2016). Para esto hay que entender que la investigación participativa, basada en la comunidad, implica una asociación entre investigadores y miembros de la comunidad que colaboran en un proyecto de investigación para abordar problemas sociales y ambientales (Stoecker 2001, Wallerstein y Duran 2003).

Precisamente, reflexionando sobre eso, y luego de dos años de trabajo con agricultores en comunidades indígenas y mestizas de Chimborazo y Cotopaxi, dentro del proyecto Estrategias de manejo integrado de plagas para el cultivo de chocho (LEGUMIP), financiado por la Fundación McKnight (2017-

2019), como grupo de investigadores hemos decidido cambiar nuestro enfoque, para lograr el mayor impacto posible con las comunidades con las que trabajamos, entendiendo que así beneficiamos tanto a productores como a consumidores de las grandes ciudades. Apuntamos al fortalecimiento y empoderamiento de capacidades y conocimientos, que vayan más allá de la duración y capacitación que pueda existir dentro de un proyecto de investigación, es decir que sean sostenibles y sustentables a través del tiempo, además de que todo ello pueda aportar en pro de una agricultura más sana.

Nuestro proyecto inicialmente se planteó con el propósito de encontrar estrategias que permitan un control de plagas de chocho, de una manera en la que reduzcamos y/o racionalicemos el uso de agroquímicos e incorporemos soluciones más agroecológicas. Este trabajo a lo largo de estos años tuvo varias etapas; iniciando con la identificación de comunidades y asociaciones de productores de chocho, pasando luego por un diagnóstico sobre conocimiento de plagas y control, posteriormente incluimos a la Investigación Participativa en nuestro estudio a través de un Monitoreo Participativo de insectos asociados al cultivo y finalmente realizamos

una retroalimentación a todos los agricultores involucrados a través de talleres y conversatorios (Tabla 1).

En este punto podemos mencionar ciertos detalles; por ejemplo, al inicio los talleres solo se hacían en español, con ciertas intervenciones en kichwa por parte de los mismos agricultores. Sin embargo, vimos la necesidad de incluir al equipo a un estudiante kichwa-hablante para poder tener un mayor acercamiento con la gente. De esta manera, la dinámica en los talleres cambió y observamos una mayor inclusión, interés y participación sobre todo por parte de las mujeres y niños de la comunidad (Fig. 2), quienes empezaron a expresar sus inquietudes, de esta forma se volvieron protagonistas activos dentro del proceso. Así, con el pasar del tiempo y la interacción con los agricultores, sus problemas y necesidades, entendimos que es necesario ver la integra-



Figura 2. Talleres interactivos con participación dinámica de agricultores, niños, jóvenes y adultos.

lidad de sus fincas y sus formas de producción y desarrollo, y aunque seguimos gestando estrategias para controlar las plagas de chocho, ahora apostamos a escuchar más sus necesidades con respecto a plagas en otros rubros y poder plantear soluciones lo más cercanas a sus opciones por contexto (OxC).

Extendiendo y ampliando redes

Una de las vías que estamos impulsando para lograr esto es la investigación con los agricultores, plantearles soluciones que nos permitan controlar sus plagas (no solo de chocho), sino también en sus hortalizas, papa y otros cultivos, de una manera lo más amigable posible, probadas primero en campos experimentales en las Universidades y en sus propias comunidades y llevadas luego hasta sus campos de producción, proponiendo una investigación local, participativa y crítica donde no son los ingenieros los que tienen “todo el conocimiento”, sino más bien promoviendo un intercambio de saberes; generando y recuperando prácticas que antes se realizaban y que tenían que ver con una producción más agroecológica.

Con la visión de lograr aquello, este año iniciamos un proceso de “educarnos para educar”, es decir, como investigadores, técnicos y es-

Tabla 1. Información detallada sobre talleres de retroalimentación.

Comunidad	Fecha	Temas desarrollados	Contenidos	Hombres	Mujeres	Niños	Total agricultores participantes
Vishut	Agosto 2017	Coleópteros en campos de chocho	Reconocimiento, coleópteros Plaga, benéficos y uso de agroquímicos para control	14	7	0	80
Chan	Agosto 2017			6	12	2	
Cachipata	Enero 2018			18	14	7	
Vishut	Noviembre 2017	Himenópteros, insectos benéficos en chocho	Reconocimiento de insectos benéficos para la agricultura, parasitoides	12	14	0	65
Chan	Enero 2018			2	5	2	
Cachipata	Febrero 2018			15	10	5	
Vishut	Mayo 2018	Dípteros en campos de chocho	Reconocimiento de insectos Plaga en el cultivo de Chocho y alternativas de control	10	3	0	41
Chan	Abril 2018			1	4	2	
Cachipata	Mayo 2018			12	6	3	

tudiantes de las Universidades con las que trabajamos, abrir espacios de debate, reflexión, colaboración y sobre todo participación con los agricultores. Precisamente, este proceso pretende ser el inicio en la construcción de redes de agricultores investigadores (RAI's). Con estas redes lo que buscamos es que el agricultor, quien es el que toma las decisiones en su finca, pueda determinar sus prioridades de investigación, participar en todo el proceso, por tanto, sentirse incluido y empoderado de los conocimientos, para luego generar un intercambio y retroalimentación de los mismos (Fig.3).

Estudios recientes muestran que una mejor comprensión de las redes, nodos y relaciones que existen entre agricultores, puede ayudar a un proyecto a ser más estratégico sobre con quién y cómo trabajar, centrándose más en “conectores” o en este caso “intermediarios del conocimiento” (Meyer, 2010), asegurándose de mirar una gama de tipos de redes para explorar su impacto. Además, para comprender la dinámica entre los participantes en términos de vinculación y puente social (Nayaran, 1999). Lo primero es importante para la confianza y el cambio profundo, lo segundo para las nuevas

ideas y la fluidez de la comunicación (Fig. 4).

Actualmente, nos encontramos trabajando con 7 comunidades de las dos provincias antes mencionadas, nuestro fin es generar resultados contextualizados, dentro de lo que son estrategias de lucha contra las plagas, que proporcionan evidencia del potencial a escala de pequeños agricultores agroecológicos que mejoran sus rendimientos, luego a escala institucional pretendemos que procesos como este contribuyan a crear organizaciones rurales más fuertes y entusiastas, con un fortalecimiento de la investigación y Desarrollo (I+D), más relevante, sostenible y responsable y finalmente a escala global el empuje a esta cada vez más notable evidencia de intensificación agroecológica y consumo verde que actualmente está en boga.

Queremos, como dice uno de nuestros agricultores: “Aprender nosotros, para luego enseñar y que nuestros hijos y nietos crezcan pensando que un agricultor es un

superheroe, porque sabe cuidar la pachamama donde vive”, y eso lo podemos lograr educandonos para una producción mas sana, más agroecológica.

Literatura consultada

- Mazón, N., Peralta I., Murillo I., A., Rivera M., M., Guzmán, A., Pichazaca, N., & Nicklin, C. (2016). It's not just the technology, it's the surrounding system: How researchers in Ecuador found ways to make themselves useful to farmers through quinoa and lupin seed systems. *Experimental Agriculture*, 1-8. doi: 10.1017/S0014479716000442.
- Meyer, Morgan. “The rise of the knowledge broker.” *Science communication* 32.1 (2010): 118-127.
- Nayaran, D., 1999. Bonds and bridges: social capital and poverty, Washington: World Bank.
- Stoecker, R. (2002). Practices and challenges of community-based research. *Journal of Public Affairs* 6: 219–239.
- Wallerstein, N., & Duran, B. (2003). The conceptual, historical and practical roots of community based participatory research and related participatory traditions. In *Community based participatory research for health*, ed. M. Minkler and N. Wallerstein, 27–52. San Francisco, CA: Jossey Bas



Figura 4. Agricultoras indígenas comentando en kichwa sobre las prácticas de control agroecológico de plagas.



Figura 3. Agricultores de Cotopaxi planificando sus acciones MIP previas a las siembras.

Microplásticos:

¿por qué resulta tan difícil la concientización?

■ Por PhD. Diana Astorga García¹ y PhD. Alonzo Alfaro-Núñez^{1,2,3}

¹Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Microbiología Aplicada (GEMA), PUCE. ²Escuela de Ciencias Biológicas e Ingeniería, Universidad Yachay Tech, ³Departamento de Genómica Evolutiva, Centro de Geogenética, Museo de Historia Natural de Dinamarca, Universidad de Copenhagen. (dastorga199@puce.edu.ec), (alonzoalfaro@gmail.com)

El problema de la basura

El torrente de imágenes drásticas de las consecuencias tangibles de la acumulación de plásticos en los océanos es imparable; en Europa, desde hace algunas décadas, y en Ecuador, hace poco más de dos años. Todos los medios de comunicación tradicionales, redes sociales y nuevas tecnologías nos enfrentan continuamente a una realidad apabullante: dentro de nada tendremos más plásticos que peces en el mar y el 99% de las aves marinas habrá consumido y sufrido las consecuencias del plástico para 2050 [1]. Nuestra actitud ante el plástico se queda corta. La falta de reciclaje no es sino uno de muchos problemas clave.

Pongámosle cifras al asunto en nuestra realidad inmediata. Hasta mediados de 2017, máximo cuatro de cada diez familias ecuatorianas reciclaba la basura en la fuente: un dato demasiado optimista. Con 4'000 000 de toneladas de residuos sólidos producidas al año a nivel país y 1'000 000 susceptibles de reciclarse, solo 250 000 se recuperan [2]. ¡Abrumador! En Quito, cada persona genera 0,79 kg de basura a diario y su huella se reduciría a 0,20 kg si reciclara [3]. Resulta frustrante que la gestión de esa basura no reciclada cueste y no precisamente poco. La recolección de cada tonelada implica cerca de 40 dólares al día y se sobre-



pasan las 2000 toneladas diarias en la capital. El relleno sanitario solo enmascara la situación, pero requiere cada vez de más espacio e inversión. Toda una economía sumergida de recicladores palea en algo la magnitud del problema, pero el servicio real que presta este sector, conformado mayoritariamente por mujeres y adultos mayores, no recibe la atención que merece.

Lo peor de todo es que una buena parte de la basura mal gestionada termina inexorablemente en el mar. Ecuador, definitivamente, tiene una deuda de reciclaje. Pero todos los países, unos más y otros menos, han aportado a las que ya suman 375 000 toneladas de basura oceánica flotante de las que 300 000 corresponden a residuos plásticos. Los daños al ecosistema marino ascienden a 8 000'000 000 de dólares [1]. Además, todo un nuevo continente de entre 7'000 000 y 15'000 000 km²

ha surgido por la concentración de 80 000 toneladas de plástico debida a las corrientes marinas del Giro Oceánico del Pacífico Norte [4]. Eso representa alrededor de 250 plásticos por cada ser humano que habita en el planeta y somos bastantes.

Todos hemos sucumbido a la tortura de recibir imágenes con delfines, lobos y tortugas marinas enredadas en redes, cadáveres de aves y ballenas repletas de tapas de botellas y utensilios plásticos de todo tipo, cementerios marinos de llantas, animales alimentándose de fundas plásticas y la Isla flotante que juega a expandirse peligrosamente. El impacto es, cuanto menos, doloroso. Son 100 000 organismos muertos por intoxicación por plásticos que reporta la ONU [5]: eso es lo evidente. ¿Qué pasa con lo que no puede advertirse a simple vista?

El plástico en cifras

La maleabilidad, ligereza, durabilidad y bajo costo del material plástico han sido las causas de su fabricación y uso masivos. Su producción crece a una media de 4% por año. Si se mantienen las tendencias de su consumo, en 10 a 15 años nos enfrentaríamos no solo a los 13'000 000 de toneladas de plástico que terminan en el océano anualmente, sino al doble [6]. Pero el hecho de que el 40% corresponda a plástico de un solo uso, resulta espeluznante. Cada minuto, se compran 1'000 000 de botellas y se



Curiosa vista del mar en el muestreo de microplásticos durante la travesía del buque Orión del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (octubre, 2017)

utilizan 5'000 000'000 000 fundas plásticas [5].

¿Nos hemos puesto a pensar siquiera en cuántas botellas tiramos en la Facultad, nosotros, que somos los llamados a ser los más conscientes en términos ambientales? Sólo el contenedor de Microbiología acumula entre 8 y 15 botellas semanales de aquellos que procuran generar un cambio, que lastimosamente aún no son la mayoría. Pero en el edificio de Ciencias Exactas, a pesar de que existen contenedores de basura claramente marcados y bastante explícitos para separar la basura, se echa en ellos de todo y el destino final de cada bolsa llena de basura “separada” es desconocido.

Precisamente, a falta de una adecuada disposición final, diversos ecosistemas han sido impactados hasta el punto de que la contaminación plástica representa uno de los problemas globales emergentes más importantes de la actualidad. El problema se agudiza por la reducción de tamaño del plástico a partículas incluso inferiores a 5 mm, los microplásticos, por efecto de la radiación ultravioleta, bajas temperaturas y la abrasión. Se habla de 5 250'000 000'000 000 de partículas plásticas flotantes con un peso mínimo de 250 000 toneladas, que no reflejan sino el 1% de los plásticos que ingresaron al mar.

La amenaza microscópica

Concebido especialmente para resistir a la biodegradación, la flotabilidad diferencial del plástico particulado le ha consentido expandirse a todas las latitudes, desde la línea de costa hasta alta mar y desde la superficie hasta el fondo. Desde los minúsculos hasta los más grandes organismos marinos están expuestos a polímeros plásticos de diferente tamaño, forma, densidad y composición química y se ha confirmado la ingesta de microplásticos a lo largo de toda la cadena trófica. Crecimiento y supervivencia reducidas, falsa satisfacción alimentaria, disrupción endócrina, estrés oxidativo y consumo de contaminantes persistentes se cuentan entre los efectos adversos. A estos se les suma la amenaza de bioacumulación no solo de estos contaminantes, sino de las sustancias tóxicas que se les asocian: un riesgo cada vez más tangible, incluso para la salud humana. Si no nos impacta el hecho de que al menos un tercio de las especies marinas se encuentren amenazadas de extinción por el microplástico...

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) impulsó la campaña CleanSeas (MaresLimpios) en 2017. Ahora mismo cuenta con 60 países colaboradores que se han comprometido a aplicar políticas de reduc-

ción del plástico, evitar utilizarlo para el empaquetado industrial y generar un cambio en los hábitos de consumo de sus habitantes. Algunos de ellos pretenden reducir en 70% su basura marina para 2025. El ideal es que, para 2022, se haya conseguido eliminar por completo las mayores fuentes de plástico en el mar: LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS COSMÉTICOS y los ENVASES DESECHABLES [5].

Ecuador acaba de unirse a la iniciativa, el 10 de enero de 2019, con un proyecto de ley presentado a la Asamblea, que busca la eliminación progresiva de los desechos plásticos en el país: la Ley para la racionalización, reutilización y reciclaje de plásticos. También promueve una restricción progresiva de sorbetes, bolsas y botellas desechables para las Islas Galápagos. No obstante, si no para todos, para muchos de los niveles de la cadena trófica marina global será un poco tarde. ¡Igual, es cuestión de conciencia colectiva el procurar HACER ALGO!

Microplásticos en la Ciencia

La magnitud del problema del microplástico se ha traducido en creciente interés y publicación científica de muy alto impacto. Sin embargo, estudios a corto y largo plazo de la situación del Pacífico tropical no figuran entre los datos inventariados y la mayoría de grupos de investigación en torno a la contaminación microplástica de los océanos se concentra en los Estados Unidos, el oeste de Europa y Asia Oriental. Básicamente, se han reportado estudios de microplástico en el plancton en los Giros Central del Pacífico Norte y Subtropical del Pacífico Sur y en el Pacífico norte y suroeste.

Además, la mayor parte de la literatura científica generada se ha centrado en los impactos del micro-

plástico en el océano, por ejemplo, en su ingestión por vertebrados e invertebrados y su posible transferencia dentro de la cadena trófica; su cuantificación y caracterización en ambientes marinos y costeros, como en el plancton y en los sedimentos; el transporte de restos plásticos y sus depósitos; las interacciones de estos polímeros con contaminantes químicos; y técnicas analíticas y métodos de detección de la presencia de microplásticos en los diferentes ambientes. Comparativamente, resultan escasas las referencias acerca de la biodegradabilidad de estos compuestos y los microorganismos que podrían digerirlos.

Justamente, la persistencia del plástico en los diferentes ecosistemas se debe a su resistencia a la degradación microbiana, a excepción de los biopolímeros como la celulosa y la quitina. Hablar de la biodegradabilidad de un polímero como el plástico es hablar de su flexibilidad, peso molecular, balance entre hidrofobicidad e hidrofiliidad y forma. Sólo en la forma cuentan el área superficial, la orientación polimérica, el grado de cristalinidad, sus componentes, la accesibilidad de enzimas y la presencia de aditivos. ¡Bastante complicado el asunto!

En condiciones adecuadas, la biodegradación de un compuesto culmina en la mineralización. Esta produce dióxido de carbono y agua o metano, de acuerdo a la presencia o ausencia de oxígeno, o la incorporación de los compuestos en la biomasa microbiana. El principal mecanismo de biodegradación es la acción hidrolítica de enzimas extracelulares microbianas en solución, adheridas a células o ligadas a partículas o coloides. Pero, como todo, se ve afectado por factores ambientales como la procedencia, el pH, la temperatura, el potencial de óxido



El micromundo del microplástico dentro del buque Orión.

reducción, la humedad, la disponibilidad de nutrientes y oxígeno y la presencia de inhibidores, aditivos químicos y/o biopelículas.

Organismos microscópicos degradadores de microplásticos han sido identificados en diferentes investigaciones. Su origen y características dependen de la matriz de la que hayan sido obtenidos, en vista de que los compuestos químicos de los microplásticos se caracterizan por una flotación diferencial. Están esencialmente constituidos por polipropileno (PP), polietileno (PE) y poliestireno (PS), que generalmente flotan; y por policloruro de vinilo (PVC), nylon y politereftalato de etileno (PET), que tienden a hundirse. Otros polímeros incluyen, además, poliamida (PA) y alcohol de polivinilo (PVA) y, en conjunto, representan alrededor del 90% de la producción de plástico mundial. Si consideramos que las estimaciones de producción para el año 2030 ascienden a 619'000 000 toneladas por año, hablamos de 557'100 000 toneladas de plástico que habrá que gestionar [5].

La fotooxidación, la radiación UV y/o la degradación termoquímica que ocurren en ambientes marinos, especialmente en aguas superficiales, pueden hacer susceptibles a la degradación microbiana a estos polímeros de alto peso molecular normalmente no biodegradables.

De hecho, se han identificado cepas microbianas capaces de biodegradar PE, PS, PVC y PET. Pero aún se conoce poco acerca de los mecanismos de biodegradación y la estructura e identidad de las enzimas microbianas involucradas. ¡Una oportunidad no desperdicable de contribuir a la sostenibilidad de nuestra GRAN casa!

Si no lo veo... no lo creo

A pesar de que el proceso de biodegradación es especialmente lento en condiciones ambientales, se ha comprobado que algunos microorganismos pueden ser altamente efectivos en la remoción de microplásticos. Algunos compuestos relacionados como los ftalatos, que se incluyen entre los contaminantes prioritarios en agua en los Estados Unidos, por ejemplo, pueden alcanzar un porcentaje de mineralización de hasta 80% en laboratorio.

Además, se han descubierto muchos plásticos biodegradables como el poli-β-hidroxibutirato (PHB), la poli-ε-caprolactona (PCL), el polietilensuccinato (PES), el polibutirensuccinato (PBS) y el ácido poliláctico (PLA). Estos han ido reemplazando parcialmente a sus homólogos no biodegradables como estrategia para reducir el impacto ambiental de los plásticos y muchos de ellos proceden, precisamente, del metabolismo microbiano de hongos y bacterias. Sin

embargo, el vacío de conocimiento en torno a las potencialidades de biodegradación de la microbiota de aguas superficiales del Pacífico tropical es palpable y hasta el momento no se dispone de información acerca de las características del microplástico presente en aguas del Pacífico tropical y sus posibles efectos.

En Ecuador, existen dos grupos de investigación que se encuentran trabajando en el tema de microplásticos y ambos pertenecen a la PUCE. ¡Lástima que ninguno de ellos haya podido ganar la tan codiciada convocatoria de proyectos de investigación INÉDITA de la SENESCYT! El primero, de la PUCE Manabí, con el PhD. César Peñaherrera a la cabeza, se ha centrado en el análisis de microplásticos en el bentos. El Grupo de Ecología Microbiana y Microbiología Aplicada (GEMA) de la PUCE-Quito, por su parte, viene trabajando desde 2016 en el análisis de microplásticos, sus efectos en la cadena trófica marina del Pacífico Ecuatoriano y la generación de alternativas microbianas para la fabricación de biomateriales con la

capacidad de reemplazar a los plásticos más dañinos.

Hasta el momento, el grupo GEMA se ha focalizado particularmente en la caracterización, cuantificación y comprensión de la composición de las mezclas de contaminantes plásticos en el océano, a través de métodos de análisis químico de vanguardia. También impulsa la evaluación de la riqueza de especies marinas potencialmente más vulnerables a la polución plástica a través de ADN ambiental, la caracterización de microorganismos cultivables con potencial degradador de microplásticos, el reemplazo efectivo del poliuretano a través de biotecnología y los efectos nocivos de la bioacumulación de compuestos plásticos para la salud humana.

Además, gracias a un proyecto de investigación aprobado dentro de la convocatoria PUCE 2018, se incursionará en el desarrollo de un método de extracción para la identificación y cuantificación de microplásticos en matrices ambientales, al alcance de la tecnología disponible en el país. Hasta el momento, se ha contado con la asesoría científica desinteresada, la logística e incluso el apoyo financiero de la Universidad de Copenhagen-Dinamarca, a través del Dr. Christensen del Departamento Ambiental y el Profesor Gilbert y el Dr. Thomsen del Centro para la Geogenética. Sin embargo, debemos comenzar a desarrollar metodología propia, debidamente avalada, ¡por supuesto! Con suerte, dentro de poco, comenzaremos a cosechar resultados tangibles que contribuyan a frenar la contaminación microplástica, mientras esperamos que los seres humanos nos condoles lo suficiente como para, al menos, colocar la basura plástica en los contenedores apropiados.

Agradecimientos

Este proyecto fue parcialmente financiado por la Red CEDIA con los fondos de la convocatoria CEPRA XII-02-18, MICROPLÁSTICOS.

Literatura consultada

- [1] Agencia EFE (2017, 23 de febrero). ONU lanza una campaña para limpiar el plástico de los océanos. El Espectador. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/onu-lanza-una-campana-para-limpiar-el-plastico-de-los-oceanos-articulo-681409>
- [2] Alarcón, I. (2017, 28 de abril). Ecuador tiene un déficit en reciclar basura. El Comercio. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-deficit-reciclar-basura-contaminacion.html>
- [3] Jácome, E. (2016, 23 de septiembre). Falta de reciclaje eleva el costo del tratamiento de la basura. El Comercio. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/reciclaje-basura-quito-desperdicios-elinga.html>
- [4] Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B.; Aitken, J. et al. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8, 4666. doi: :10.1038/s41598-018-22939-w
- [5] Heinrich, S. (2018, 5 de junio). O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta. Noticias ONU. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>
- [6] Agencia EFE. (2018, 29 de octubre). El reciclado de plástico no detendrá la contaminación marina, advierte ONG. El Comercio. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/tendencias/reciclado-plastico-contaminacion-marina-oceanos.html>



Alonzo Alfaro-Núñez entre muestra y muestra...

¡Mi tomate de árbol está enfermo!

■ Por Dra. María Eugenia Ordóñez
Fungario QCAM
(meordonez@puce.edu.ec)

Introducción

En nuestro quehacer diario, cuando paseamos por nuestros variados y nutridos mercados para comprar frutas, verduras, cereales y demás alimentos, no nos damos cuenta de todo el esfuerzo que implicó el que tengamos a nuestra disposición esa plétora de productos. El arduo trabajo de los agricultores muchas veces pasa desapercibido por la mayor parte de la sociedad, y esperamos siempre tener a nuestra disposición alimentos sanos, nutritivos y sabrosos. La realidad es que toma muchísimo trabajo, esfuerzo y dedicación poder brindar ingredientes saludables y sanos todos los días. Nadie quiere tener una manzana con puntos negros, o una lechuga con hojas de color café; no, todos queremos productos perfectos. Pero esa demanda es difícil de cumplir.

Muchas personas no saben que las plantas también se enferman. Las plantas son seres vivos que es-

tán siendo atacados por patógenos constantemente. En ciertos ambientes, especialmente agrícolas, la presión de las enfermedades es grande. Así, el trabajo, dinero y esfuerzo que tiene que invertir el agricultor en obtener ese fruto sano y perfecto es muy alto. La ciencia que estudia las enfermedades en plantas es la fitopatología. Los fitopatólogos tratan de entender cómo es la interacción entre las plantas y los múltiples hongos, bacterias, virus, nemátodos y otros organismos y factores ambientales que les causan enfermedades, y qué se puede hacer para ayudar a esas plantas a combatir la enfermedad. El fitopatólogo busca, entre otras cosas, obtener alimentos sanos y nutritivos de forma sustentable y sana para el ambiente y las personas.

***Phytophthora andina*, un patógeno problemático**

En el Fungario QCAM de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador se están llevando a cabo

estudios sobre una de las enfermedades del tomate de árbol, *Solanum betaceum*. Este es un fruto bastante conocido por todos nosotros; su cultivo se da a lo largo de la Sierra ecuatoriana y en los países vecinos de Colombia y Perú. Sin embargo, este fruto también ha sido introducido en varias zonas tropicales y subtropicales del mundo, siendo los principales países productores Nueva Zelanda, Kenia, Vietnam y España (CCB, 2015). Es evidente que este fruto es de interés mundial. En el Ecuador, el tomate de árbol se siembra en valles y estribaciones de la cordillera y es de gran importancia económica para pequeños y medianos agricultores. En el 2016, por ejemplo, se produjeron sobre las 28 mil toneladas del fruto (ESPAC, 2017) y desde julio del 2018 el Ecuador puede exportar el fruto fresco a Estados Unidos.

Una de las principales enfermedades del tomate de árbol en el Ecuador es el tizón, causado por *Phytophthora andina* (Fig. 1 A y B). Esta enfermedad ha sido re-



Fungario QCAM

Figura 1. Búsqueda de lesiones de *Phytophthora andina* en una planta de tomate de árbol, (izquierda). Lesiones esporulantes de *P. andina* en hojas de tomate de árbol, (derecha).

portada únicamente en los Andes, y fue descrita en base a colecciones y estudios realizados en el Ecuador (Ordoñez, *et al.*, 2000; Adler *et al.*, 2004, Oliva *et al.*, 2010). La población de *P. andina* es genéticamente muy diversa y es capaz de atacar a varias especies de plantas dentro de la familia de las solanáceas. Recientemente, se describió una nueva especie de *Phytophthora* que ataca a tomate de árbol en Colombia, *P. betacei* (Mideros *et al.*, 2018), y en Perú, se encontró una variante genética de *P. andina* (Forbes, *et al.*, 2016) que, si se llegara a cruzar con la población ecuatoriana por reproducción sexual, podría generar razas del patógeno más virulentas en el tomate de árbol, que podrían poner en riesgo la producción del fruto en la región.

Entonces, el estudio del tizón en *S. betaceum* es de gran interés a nivel internacional. En el Ecuador, sin embargo, no ha habido estudios recientes sobre *P. andina* desde su descripción hace más de diez años. Existe expectativa por parte de grupos internacionales por conocer más sobre *P. andina*, por lo que la investigación que ahora se está llevando a cabo contribuirá al conocimiento del patógeno a nivel global, y sentará bases para estudios futuros sobre el tema en la Escuela. El Fungario cuenta con la colaboración de personal altamente capacitado y experimentado en el área, con la Dra.

Entonces, el estudio del tizón en *S. betaceum* es de gran interés a nivel internacional. En el Ecuador, sin embargo, no ha habido estudios recientes sobre *P. andina* desde su descripción hace más de diez años.

María Gabriela Chacón, experta en *Phytophthora*, la Máster Diana Flores, especializada en técnicas moleculares, y la estudiante Erika Caicedo, quien, bajo la dirección de la Dra. María Eugenia Ordoñez, han conformado un excelente grupo de trabajo. Este equipo de investigadoras mantiene colaboraciones con destacados científicos en Colombia, Estados Unidos, Perú y Filipinas, para caracterizar a la población de *P. andina* en el Ecuador. En el Fungario QCAM se están realizando pruebas morfológicas y genéticas para detectar cambios que pueden haber ocurrido en los últimos diez años en la población del patógeno,

no, y determinar cuáles serían las implicaciones para el control de la enfermedad en el país. El estudio busca, en última instancia, obtener datos necesarios para generar planes de manejo efectivos para el cultivo de tomate de árbol, contribuir a la matriz económica de producción del país y al bienestar de los agricultores y consumidores.

Resultados hasta el momento

Se han colectado más de 400 muestras de hojas de tomate de árbol infectadas con tizón en cinco provincias del Ecuador, en 21 localidades, y se han obtenido 150 aislamientos del patógeno (Fig. 2). Análisis morfológicos microscópicos de esporangióforos, esporangios, hifas primarias, gametangios y oósporas, al igual que análisis de tasas de crecimiento en diferentes medios de cultivo, y tipo de apareamiento, se han llevado a cabo. Los datos muestran que únicamente ha habido cambios en cuanto al tamaño de esporangios y tasas de crecimiento respecto a lo descrito hace 10 años para *P. andina* en Ecuador. La razón de estos cambios aún no se conoce. El tipo de apareamiento sigue siendo el mismo, que es diferente al encontrado en Perú. Al comparar las muestras ecuatorianas con la descripción morfológica de *P. betacei* de tomate de árbol en Colombia, existen ciertas diferencias morfológicas importantes, que distinguen a ambas poblaciones.



Figura 2. Aislamientos de *P. andina* en diferentes medios de cultivo.



Figura 3. Campo de tomate de árbol donde se visualiza una nube generada por la aplicación de pesticidas (izquierda), residuos de pesticidas en frutos y hojas de tomate de árbol (derecha).

Los análisis a nivel molecular se están llevando a cabo. La secuenciación de un locus nuclear, diferenciación de haplotipos mitocondriales, además del análisis de 12 microsatélites, van a permitir detectar cambios genéticos ocurridos en la población ecuatoriana de *P. andina* durante la última década. Se podrá verificar si existe una reproducción sexual del patógeno entre los tipos de apareamiento del Ecuador y de Perú. También se podrá relacionar los marcadores moleculares con una posible estructuración geográfica de la población del patógeno, e igualmente determinar su relación genética con *P. betacei*.

Uso de agroquímicos

A raíz de las visitas a los campos de los agricultores y conversaciones mantenidas con ellos durante la investigación, se constató un alto uso de agroquímicos para combatir el tizón. Los agricultores aplican químicos en forma excesiva en espera de asegurar su producción (Fig. 3). Este uso intensivo de pesticidas no solo aumenta los costos de producción del fruto, sino que también tiene implicaciones negativas para la salud humana y el ambiente. Una nueva investigación, complementaria a la descrita anteriormente, se

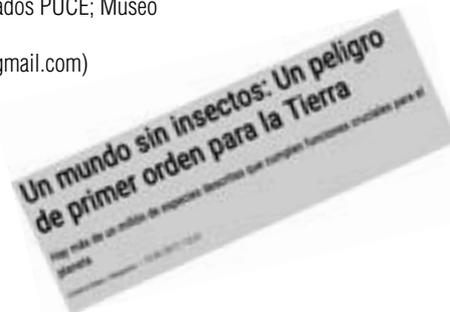
va a llevar a cabo en el 2019, para determinar la sensibilidad de las muestras de *P. andina* colectadas de tomate de árbol en Ecuador a tres fungicidas sistémicos utilizados para controlar la enfermedad. Los resultados de estos ensayos contribuirán con información importante para el diseño de planes de manejo del tizón en tomate de árbol.

Literatura consultada

- Adler, N. E., Erselius, L. J., Chacón, M. G., Flier, W. G., Ordoñez, M. E., Kroon, L. P., & Forbes, G. A. (2004). Genetic diversity of *Phytophthora infestans* sensu lato in Ecuador provides new insight into the origin of this important plant pathogen. *Phytopathology*, 94(2), 154-162. doi:10.1094/phyto.2004.94.2.154
- Cámara de Comercio de Bogotá - CCB (2015). Manual tomate de árbol. CCB, Bogotá.
- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC 2017 (2017). Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC. Superficie y producción – Histórico. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Forbes, G. A., Gamboa, S., Lindqvist-Kreuzer, H., Oliva, R. F., & Pérez, W. (2016). Identification of an A2 population of *Phytophthora andina* attacking tree tomato in Peru indicates a risk of sexual reproduction in this pathosystem. *Plant Pathology*, 65(7), 1109-1117. doi:10.1111/ppa.12531
- Míderos, M.F., Turissini, D.A., Guayazán, N., Ibarra-Avila, H., Danies, G., Cárdenas, M., Myers, K., Tabima, ... Restrepo, S. (2018). *Phytophthora betacei*, a new species within *Phytophthora* clade 1c causing late blight on *Solanum betaceum* in Colombia. *Persoonia* 41:39-55 doi: <https://doi.org/10.3767/persoonia.2018.41.03>
- Oliva, R. F., Kroon, L. P., Chacón, G., Flier, W. G., Ristaino, J. B., & Forbes, G. A. (2010). *Phytophthora andina* sp. nov., a newly identified heterothallic pathogen of solanaceous hosts in the Andean highlands. *Plant Pathology*, 59(4), 613-625. doi:10.1111/j.1365-3059.2010.02287.x
- Ordoñez, M. E., Hohl, H. R., Velasco, J. A., Ramon, M. P., Oyarzun, P. J., Smart, C. D., ... Erselius, L. J. (2000). A novel population of *Phytophthora*, similar to *P. infestans*, attacks wild *Solanum* species in Ecuador. *Phytopathology*, 90(2), 197-202. doi:10.1094/phyto.2000.90.2.197

Declinación masiva de insectos: ¿se acerca el Armagedón?

■ Por Lic. Fernanda Salazar-Buenaño y Dr. David A. Donoso
Museo de Zoología QCAZ, Sección Invertebrados PUCE; Museo de Historia Natural Gustavo Orcés EPN
(mfsalazar@puce.edu.ec), (david.donosov@gmail.com)



Se han encendido las alarmas, ¡peligro, peligro! En diarios y noticieros, los científicos, políticos y economistas reportan la desaparición de insectos en lugares tan lejanos como Alemania y Puerto Rico ¿Se acerca el fin del mundo? Quizá sí. Se atribuye a apicultores belgas, y no a Albert Einstein, la famosa frase “Si las abejas desaparecen, al hombre le quedarían 4 años en la Tierra”. Aunque no hay un estudio específico que confirme esta hipótesis, analicémosla por un momento. El 100% de humanos dependen de su comida. El 80% de la dieta mundial proviene de plantas y vegetales. El 35% de la producción mundial de alimentos dependen de la polinización. Aunque solo el 5% del PIB mundial se genera por la agricultura, 1 de cada 3 personas trabajan en ella. Si los insectos polinizadores se extinguen, quizá la humanidad no desaparezca, pero ciertamente la economía mundial perdería este porcentaje, y en ajustarse a una economía más pobre y sin agricultura, millones de personas morirían

o reducirían significativamente su calidad de vida. Los ecuatorianos perderíamos la yuca y varias frutas como el banano, el mango, la sandía, la guayaba, los aguacates, etc. Imagínesse lo que sería su vida sin un pan de yuca, una ensalada de frutas o un loco con aguacate.

En la edición vigésima de *Nuestra Ciencia*, expusimos la problemática de la pérdida de abejas en el Ecuador y el mundo, sus causas y las estrategias para conservarlas. Sin embargo, las abejas no son las únicas que se están perdiendo, estudios recientes nos alertan sobre la declinación de todos los grupos de insectos. Por ejemplo, el trabajo de Hallman (2017) registra una pérdida del 75% de la biomasa de insectos voladores en Alemania en los últimos 27 años. Este artículo no es el único, varias investigaciones realizadas con polillas, mariposas y otros insectos voladores muestran las mismas tendencias de disminución de biomasa en diferentes partes del mundo. Si bien es cierto se necesitan censos de poblaciones y ha sido difícil medir y saber cuántas y cuáles especies de insectos se han perdido o se hallan en peligro, se

puede evidenciar su descenso por la caída de las poblaciones de animales que dependen en la cadena trófica de ellos. Por ejemplo, un estudio realizado en Puerto Rico (Lister & García 2018) muestra la pérdida en la densidad de insectos consumidos por ranas, pájaros y lagartijas que se traduce en la disminución de sus poblaciones. Estos son solo pequeños ejemplos del problema gigantesco que puede estar ocurriendo en nuestras narices.

¿Por qué deberían preocuparnos esas bestias horripilantes con 6 patas?

Sabemos que los insectos, excepto contadas excepciones como las mariposas y las abejas, no gozan de total aceptación entre las personas, la mayoría de ellos son despreciados por su aspecto y por lo general no son tomados en cuenta, pero si hablamos de dinero las cosas cambian y podemos atraer la atención de los más escépticos.

Losey & Vaughan (2006) se encargaron de darle un valor en dólares a algunas de las funciones que realizan los insectos, llegando a establecer que generan 57 mil millo-

nes de dólares por año únicamente en Estados Unidos. Los insectos polinizadores generarían hasta 3 mil millones de dólares.

Sin tomar en cuenta el impacto que la reducción de insectos polinizadores generarían sobre la agricultura, el ser humano se beneficia directamente de otras funciones que realizan los insectos y que recién comenzamos a entender. Aquí explicamos tres funciones que se conocen un poco mejor: Primero, los insectos interactúan con microorganismos (bacterias y hongos) que determinan las tasas de descomposición de la materia orgánica, trabajo considerado como una limpieza de los campos y bosques. En otras palabras, los insectos intervienen como recicladores y actúan directamente en la forma como el carbono y el nitrógeno entra y sale de los ecosistemas, con importantes consecuencias en el calentamiento global (Fig. 1). Se estima que 0.38 mil millones de dólares son generados en Estados Unidos por los escarabajos pelote-

ros que cumplen esta función (Losey & Vaughan 2006).

Segundo, los insectos son la forma principal en que la energía almacenada en plantas pasa a los vertebrados. Cientos de ranas, pájaros y mamíferos (que a su vez alimentan a otros vertebrados) dependen de los insectos como principal fuente de energía. Losey & Vaughan (2006) estiman que 50 mil millones de dólares se generan con esta función de ser alimento de otros vertebrados importantes para el turismo (Fig.2)

Tercero, los insectos se encargan de controlar a los principales herbívoros nativos, esta función también conocida como control biológico se estima genera 3 mil millones de dólares ya que impide pérdidas millonarias en cultivos (Losey & Vaughan 2006) (Fig. 3, pág. sig.). Sin lugar a dudas, la declinación de insectos puede afectar grandemente la forma cómo luce este mundo.

¿Y en el Ecuador?

Tomando en cuenta que Ecuador es uno de los 12 países mega-



Figura 2. Se han reportado bajas en las poblaciones de aves que se alimentan de insectos en bosques naturales.

diversos del mundo, vivimos en un país tan rico sin saber ni entender la verdadera riqueza que estamos perdiendo. El estudio publicado por Donoso (2017) constituye el primero y hasta el momento el único que aborda los cambios en el tiempo de las poblaciones de insectos en el Ecuador. Durante 11 años,



Figura 1. Campo agrícola afectado por la pérdida de insectos recicladores peloteros; se observan desechos de ganado que provocan la pérdida del paisaje, aumento de emisiones de gases con efecto invernadero y la destrucción del suelo porque no pueden ser absorbidos los nutrientes.

Plaga	Cultivo dañado	Enemigo natural
<p>Nombre común: Pulgón harinoso de las crucíferas, pulgón de col.</p> <p>Nombre científico: <i>Brevicoryne brassicae</i></p> 	<p>Nombre común: Brócoli</p> <p>Nombre científico: <i>Brassica oleracea</i></p> 	<p>Nombre científico: <i>Diaeretiella rapae</i></p> 

Figura 3. Pulgones plaga de cultivos de brócoli y su controlador biológico. El parasitismo es de 40.2% sobre las ninfas de *B. brassicae*.

realizó el muestreo de hormigas del bosque Otongachi en la provincia de Pichincha, con el propósito de conocer qué sucedía con estas poblaciones; los resultados son buenos para las hormigas que mantuvieron sus poblaciones estables, no así para otras especies que al parecer empiezan a tener problemas.

Alarmados por esta situación, otros entomólogos ecuatorianos también han empezado a monitorear las comunidades de insectos. Así, por ejemplo, Álvaro Barragán y Pierre Moret estudian los cambios en los carábidos (escarabajos) en el Pichincha desde el 2006. También, Verónica Crespo está monitoreando los macroinvertebrados del Antisana desde el 2008 y del Carihuairazo desde 2015. Excitantes descubrimientos se esperan de estos trabajos.

¿Cómo avanzar?

Acceptando las limitaciones que tenemos al estudiar los insectos por su abundancia, diversidad y falta de taxónomos, nos encontramos haciendo esfuerzos por proporcionar la primera lista de invertebrados del Ecuador. Desde hace 12 años ve-

nimos recopilando información de las especies reportadas para nuestro país. Esto nos dará una idea más clara de la diversidad que tenemos y nos ayudará a perfilar futuras investigaciones.

Se deberían adoptar iniciativas como la de la parcela de Dinámicas de Bosques del Yasuní liderado por Renato Valencia, o las parcelas NUMEX en Loja y Zamora, liderado por científicos alemanes, que comienzan a dar luz sobre las dinámicas de plantas. Conceptos similares a las *parcelas permanentes*, ya comunes en el lenguaje de los botánicos son inexistentes entre los entomólogos.

Es importante conocer las relaciones y funciones ecológicas de los insectos dentro de los ecosistemas. Hablar de ecología de insectos es difícil (no solo en Ecuador, también en el mundo entero) pero es un camino real que deberemos tomar si queremos evitar su desaparición. Es necesario el compromiso de todos los ecuatorianos, pero sobre todo la voluntad de los gobernantes para apoyar a los investigadores y promover leyes que

incentiven la investigación en lugar de perseguir y criminalizar al científico que pretende estudiarlos.

El futuro incierto

Si antes se asustaba al ver insectos, debería preocuparse más si deja de verlos. Si al pasear en el campo ya no se adormece con el canto de las cigarras o se emociona con los colores de una mariposa, entre en pánico. Es una de las alarmas que se encienden y que alertan que está pasando algo con esos diminutos seres que silenciosamente habrían empezado a desaparecer. Con ellos quizá desaparezcan los pájaros, ranas y las lagartijas. Y si pensó en algún momento que los insectos podrían ser el alimento del futuro, pues debería ponerse manos a la obra y apoyar la investigación para conocer mejor nuestra fauna, y proteger y conservar nuestra tierra.

Literatura consultada

- Bradford L. & Garcia A. 2018. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *PNAS* 115 (44): E10397-E10406.
- Donoso D.A. 2017. Tropical ant communities are in long-term equilibrium. *Ecological Indicators* 83:515-523.
- Hallmann C. *et al.* 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10):e0185809.
- Losey J. & Vaughan M. 2006. The economic value of Ecological services provided by insects. 56(4):311-323.
- Verdú J. *et al.* 2018. Ivermectin residues disrupt dung beetle diversity, soil properties and ecosystem functioning: An interdisciplinary field study. *Science of The Total Environment*. 618: 219-228.

Nanopartículas: el tamaño sí importa

■ Por MSc. Isabel Cipriani
Escuela de Ciencias Químicas
(ecipriani111@puce.edu.ec)

Con el avance de la tecnología, la raza humana ha ganado conocimiento de manera exponencial, tanto en el espacio sideral, en constante expansión, como en el espacio inter-atómico. La nanotecnología es una tecnología molecular de corte transversal muy prometedora e innovadora que se extiende a muchas áreas de la ciencia y tiene un sinnúmero de aplicaciones, cada vez más extensas. Sin embargo, debido a la relativa novedad de esta tecnología y al amplio abanico de nuevas aplicaciones, se ha hecho muy poco por evaluar de manera profunda todos los riesgos para los sistemas biológicos que la introducción de estas partículas podrían ocasionar.

La investigación nos ha llevado a un estado físico completamente nuevo de elementos conocidos como Nanopartículas (NP). Esen-

cialmente, una partícula cuyo tamaño varía de 1-100 nanómetros (nm) se considera una NP.

Propiedades

La pregunta que surge inmediatamente en la mente de cualquiera es; ¿qué es lo que hace que estas partículas sean tan especiales? Esto se puede responder profundizando sobre algunas de las principales propiedades de las NP. Independientemente del tamaño, en materiales a granel, hay uniformidad de propiedades; mientras que, a escala nanométrica, a menudo se observan propiedades dependientes del tamaño.

Relación masa-superficie: Las NP tienen un área de superficie significativamente alta en comparación con la misma masa del material a granel, por ejemplo: 1 kg de silicio de 1 mm³ tiene la misma superficie de 1 mg de 1 nm³ de nano silicio.

Color: Las NP a menudo muestran propiedades ópticas altamente inesperadas. La razón de esto es que

son lo suficientemente pequeñas como para confinar sus electrones y producir efectos cuánticos. El silicio dorado y gris aparece rojo en forma nano (Fig. 1).

Punto de fusión: La geometría de las NP determina la temperatura de fusión de los conglomerados. El tamaño de partícula, como se explicó anteriormente, determina en gran medida su área de superficie. A medida que el tamaño de partícula se reduce, el área de superficie aumenta disminuyendo el punto de fusión. Un ejemplo de esto es que las NP de oro se derriten a temperaturas mucho más bajas (~ 300 °C para un tamaño de 2,5 nm) en comparación con las losas de oro (1064 °C).

Humectabilidad: La humectabilidad de las NP se reduce cuando el tamaño es inferior a 40 nm y se observa una disminución notable de la humectabilidad cuando el tamaño es inferior a 10 nm. Lo que hace que las NP sean utilizadas para un



Figura 1. Variación del color de acuerdo al tamaño de las NP

sinnúmero de productos con propiedades repelentes al agua. (Fig. 2)



Figura 2. Propiedad de humectabilidad de las NP

Por otra parte, es más fácil analizar las propiedades y comprender de mejor manera la importancia de las NP analizando sus diversas aplicaciones.

Aplicaciones

Cosméticos: Estos incluyen maquillajes, delineadores de ojos, barras de labios, esmaltes de uñas, entre otros. Marcas líderes como Clinique, Clarins, L'Oreal usan óxido de titanio. Las NP de óxido de titanio pueden llegar más profundamente a la piel y disimular las arrugas al difundir la luz. El óxido de metal en la forma tradicional aparece lechoso o blanco dando como resultado una capa evidente sobre la piel. Mientras que el mismo óxido de metal en la forma nano es transparente y, por lo tanto, invisible. Este óxido es ampliamente usado en las cremas de protección solar (Fig. 3).

Medicina: Las NP de oro se utilizan para transportar medicamen-



Figura 3. NP de dióxido de titanio usadas en bloqueadores solares

tos a las células en el tratamiento del cáncer, al igual que en la vacunación (Fig. 4). El fullereno (nanocarbono) (Fig. 5) ha demostrado actividad contra el virus del sida.

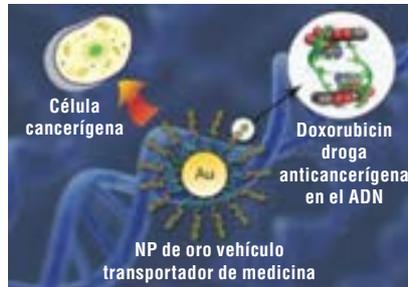


Figura 4. Aplicación NP oro en medicina

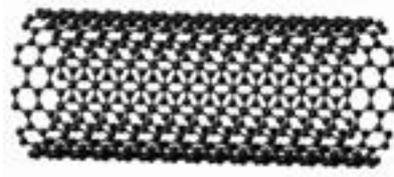
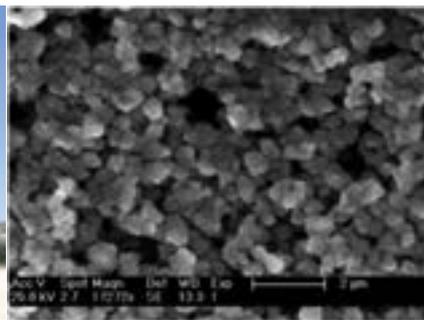


Figura 5. Fullereno. NP carbono

Productos de limpieza: Existen productos de larga duración que contienen NP de plata y dióxido de titanio con una gran demanda. BalcoNano ha desarrollado un producto que puede convertir un vidrio común en un vidrio que puede autolimpiarse usando NP.

Prendas de vestir: En 2009, Simms Fishing Products desarrolló una camisa con nanotecnología basada en plata que reduce el olor corporal causado por el sudor. En el 2013 L.L. Bean lanzó al mercado una chaqueta ultraligera desa-



rollada con nanotecnología exclusiva repelente al agua. (Fig 6).



Figura 6. Ropa con tecnología nano

Alimentación: MARS Inc. ha patentado barras de chocolate con estabilizadores de NP ya que estos son más estables y no alteran el sabor del producto. El jarabe de chocolate Albertsons tiene dióxido de titanio. Las NP interviene en parte del proceso de síntesis.

Tratamiento de aguas: Las NP de hierro cero valente y de plata son ampliamente usadas en el tratamiento de aguas residuales.

Impactos de las NP

A partir de su origen, las NP disponibles en el medio ambiente se pueden clasificar en dos. Unas son producidas por fuentes naturales, principalmente por las actividades volcánicas, incendios forestales, erosión del suelo y tormentas de polvo del desierto. Las otras, bastante más preocupantes, son las NP antropogénicas.

Las NP tienen aplicaciones únicas, pero estas aplicaciones están asociadas a propiedades que podrían tener efectos adversos en los seres humanos y el medio ambiente. Las NP pueden liberarse involuntariamente a través de plantas de tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios, combustión incompleta o, incluso, por desechos de procesos industriales. Pero también se lanzan intencionalmente, como en el caso del nano hierro

zero valente (nZVI), utilizado para tratar la contaminación del agua subterránea.

Una gran preocupación entre los toxicólogos y patólogos ambientales es que, en el transcurso de la evolución biológica, las NP han sido completamente ajenas a los organismos. En consecuencia, habrá poca o ninguna presión de selección para que los sistemas defensivos o protectores contrarresten cualquier propiedad adversa que puedan presentar tales partículas. A continuación, se enuncian algunos de los efectos adversos producidos por los nanomateriales más usados hasta el momento.

NP de carbono

Los fullerenos son insolubles y tienden a agregarse. La absorción de NP en la biota acuática es otra gran preocupación. Las rutas potenciales incluyen la ingestión directa o la entrada a través de los límites epiteliales, como las branquias, los órganos olfativos o la pared del cuerpo. En los peces, el hígado es un objetivo probable después del transporte endocitótico a través del epitelio intestinal hacia el sistema de sangre del portal hepático. Los tubos de carbono nano (CNT) presentan un riesgo inminente para el medio ambiente y los seres humanos debido a su alta afinidad por los metales y su similitud con la estructura del asbesto. Esto sugiere que los efectos peligrosos tienden a seguir la misma ruta; es decir, que son retenidos en las células y los tejidos.

NP de plata

Su riesgo para el medio ambiente es alto, teniendo en cuenta su amplio uso en el tratamiento de aguas residuales y productos para el hogar. A diferencia de otras NP fabricadas, la nano plata presenta graves impactos

Las NP tienen aplicaciones únicas, pero estas aplicaciones están asociadas a propiedades que podrían tener efectos adversos en los seres humanos y el medio ambiente.

sobre una amplia gama de organismos vivos que van desde microbios hasta humanos. Una gran parte de la nano-plata utilizada en el tratamiento de aguas residuales termina depositada en la tierra. A nivel microbiano, un experimento de campo a largo plazo, mostró que la aplicación de biosólidos cloacales que contienen una dosis baja de nano-plata producen cambios en la composición de la comunidad microbiana, biomasa y actividad enzimática extracelular. También condujo a un aumento en los flujos de óxido nitroso (N₂O). Esto es altamente significativo porque el óxido nitroso es un gas de efecto invernadero con 296 veces el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono. Además, se descubrió que la exposición a nano-plata ocasionó daño tisular, aumento de la mortalidad y daño al sistema digestivo de las lombrices. Las NP entran en el sistema digestivo de la lombriz de tierra y cambian por completo el metabolismo, por lo que es incapaz de digerir su alimento. Esto podría parecer altamente significativo a menos que se entienda que las lombrices juegan un papel vital en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

Finalmente, otro hallazgo perturbador fue que varias especies de plantas consumidas por humanos pudieron absorber la nano-plata de los suelos. Esto sugiere una ruta potencial para que la nano-plata proveniente de los residuos de alcantarillado ingrese a la cadena alimenticia. Los efectos adversos de la nano plata en los seres humanos es una región que requiere una extensa investigación y, por lo tanto, los efectos nocivos que podría suponer son ampliamente desconocidos.

Dióxido de titanio

La evidencia actual indica que las NP de TiO₂ no son tóxicas para la piel. No es probable que el contacto de la piel con TiO₂ cause daño debido a la penetración mínima a través de la piel en condiciones normales de uso. Sin embargo, la información sobre el uso a largo plazo de protectores solares o cosméticos que contienen NP pueden penetrar las células, lo que lleva a la fotocatálisis dentro de la célula, causando daños en el ADN después de la exposición a la luz solar que podría provocar cáncer en la piel; además, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado el TiO₂ como posiblemente carcinógeno para los humanos (Grupo 2B). Los hallazgos de la IARC se basan en el descubrimiento de que altas concentraciones de polvo de dióxido de titanio de grado pigmentario (en polvo) y ultrafino causaron cáncer de las vías respiratorias.

NP de oro

Las NP de oro han demostrado efectos peligrosos para la salud; por ejemplo, cuando están atrapadas en el hígado pueden afectar la función de este órgano. También cuando las NP con diferentes características de carga (positiva o negativa) se eva-

luaron a altas concentraciones, solo las NP catiónicas fueron tóxicas para el cerebro humano. Pasan directamente a través de la membrana lipídica y se incrustan profundamente dentro de la bicapa flotante, desestabilizando toda la estructura de la membrana lo suficiente como para destruir completamente la célula en concentraciones más altas.

Finalmente, la industria de los semiconductores utiliza Chemical Mechanical Polishing (CMP). Este proceso tiene un alto consumo de agua ultrapura y libera algunos coloides NP inorgánicos como: SiO₂, Al₂O₃ y CeO₂. Estos materiales nanométricos son difíciles de eliminar con los procesos de tratamiento convencionales existentes. La producción de celulosa, la electricidad y el vidrio CRT (utilizado para televisores y monitores) también eliminan NP en aguas residuales. El coloide NP orgánico se puede encontrar de forma natural en forma de ácidos fúlvicos o húmicos; estos tienen una función importante en la actividad de algunos contaminantes en el medio ambiente.

El principal problema con las NP es la falta de información, aun-

que se han realizado algunas investigaciones, todavía no tenemos suficiente información que nos lleve a concluir acerca de sus riesgos ambientales, y tampoco hay suficientes técnicas analíticas disponibles. La figura 7 muestra las diferentes rutas de ingreso de las NP en el cuerpo humano y sus posibles efectos en el.

La amplia gama de descubrimientos novedosos que ofrece el mercado de la nanotecnología puede traer consigo efectos desconocidos en el medio ambiente, por lo que, teniendo en cuenta que la mayoría de los estudios hasta ahora se han realizado en condiciones de laboratorio, la falta de investigación sobre los mismos es más que preocupante. Esto significa que los efectos reales de momento son completamente desconocidos. Adicionalmente, en muchos casos el consumidor no tiene consciencia de cuál es la composición real de los productos que adquiere, ni que los mismos contienen partículas cuyos efectos no han sido ampliamente estudiados. Sin lugar a dudas, estamos frente a una caja de Pandora que podría contener herramientas maravillosas para el desarrollo de nuevos descubrimien-

tos en áreas como la salud, el medio ambiente y la electrónica, entre otras. Pero, por otro lado, sigue siendo preocupante el hecho de que casi todos los compuestos descubiertos hasta ahora tienen el potencial de ser fabricados en su forma nano, generando nuevas NP con propiedades completamente diferentes y posibles efectos peligrosos desconocidos. Las preguntas que deberíamos hacernos son: ¿Estamos preparados para abrir esta caja? ¿Qué precauciones debemos tomar antes? ¿Los gobiernos nos están protegiendo contra estos riesgos desconocidos?

Literatura consultada

- Ju-Nam, Y. and Lead, J. (2008) 'Manufactured nanoparticles: An overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications', *Science of the Total Environment* 400, pp 396-414.
- Hagens, W., Oomen, A., de Jong, W., Casee, F., Sips, A. (2007) 'What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body?', *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 49(3) pp 217-229.
- Hosokawa, M., Kiyoshi N., Makio, N. and Toyokazu, Y. (2007) *Nanoparticle Technology Handbook*. Burlington: Elsevier Science.
- Nowack, B. and Bucheli, T.D. (2007) 'Occurrence, behaviour and effects of nanoparticles in the environment' *Environmental Pollution* 150, pp 5-22.
- Moore, M.N. (2006) 'Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment?', *Environment International* 32, pp 967-976.
- Rana, S. and Kalaichelvan, P. T. (2013) 'Ecotoxicity of nanoparticles', *ISRN Toxicology*, 2013 (Online) <http://dx.doi.org/10.1155/2013/574648>.

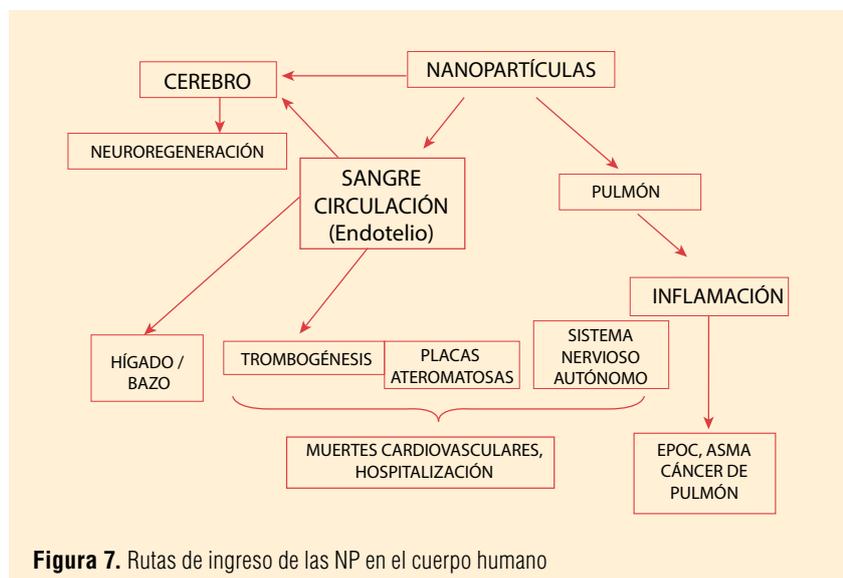


Figura 7. Rutas de ingreso de las NP en el cuerpo humano

¿La búsqueda alquímica estaba justificada?

■ Por M.Sc. Victoria Guzmán
Escuela de Ciencias Químicas
(vickyguzmaneguez@gmail.com)

Cuando escuché hablar por primera vez de la alquimia, venía a mi mente una especie de brujería o actividades sin valor científico alguno. Fue cuando tomé una materia que se llamaba Ciencia en la antigüedad que me maravillé de todo el conocimiento científico que la alquimia entrañaba. Obviamente, no me refiero al pensamiento científico moderno, sino el que era considerado verídico durante los 20 siglos en los que se practicó la alquimia. Y es que, aunque su apogeo fue desde el siglo IX al XVI, se presume que la alquimia tiene su origen alrededor del siglo IV a.C.

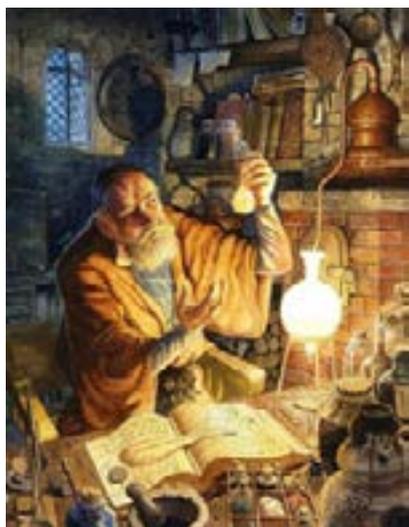


Figura 1. Alquimista en su taller.

Hoy en día la alquimia es considerada una pseudociencia. Sin embargo, si estudiamos el paradigma en el que los alquimistas vivían, la alquimia es muy lógica; pues no úni-

camente se trataba de la búsqueda para transmutar metales en oro y encontrar la tan famosa piedra filosofal; perseguía propósitos más complejos. Según Gregory (2001), la alquimia trataba de transformar cosas menos valiosas en cosas más puras y valiosas.

Si queremos entender por qué la alquimia era una ciencia tan practicada y respetada, debemos entender su origen. La historia de la alquimia nos lleva al antiguo Egipto donde llevaban varios siglos antes de Cristo trabajando con plata, oro, joyas y técnicas de teñido (Stockholm, 1927; Leyden, 1926). En Alejandría, la clase dominante eran los griegos, por lo que la mayor parte del trabajo práctico que hacían los egipcios, era basado principalmente en las teorías de la materia de Platón y Aristóteles.

La materia geométrica de Platón

Aunque para Platón, las cosas materiales, únicamente eran copias de la realidad y un engaño de nuestros sentidos, en su libro *Timaeus*, podemos encontrar información sobre su interpretación del mundo material. Para él había una “base” que sostenía todo el mundo material; a esto se le conoce como materia. Platón utilizó los conceptos de Empédocles y

otros filósofos que afirmaban que los cuatro elementos de la materia eran agua, fuego, aire y tierra. Sin embargo, Platón le dio un toque propio a este enfoque (Hopkins, 1934).

Él empató las propiedades de estos cuatro elementos y sus respectivas transformaciones, con principios geométricos. Para esto, él recurre a Teeteto, para quien solamente existían cinco conformaciones geométricas de los sólidos: el tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro. La diferencia entre los sólidos estaba dada por las propiedades de sus átomos (sí, Demócrito no fue el único atomista). ¿Pero cómo se relacionaban los cuatro elementos con las configuraciones geométricas de los sólidos?

Como se puede observar en la figura 2, tres de las cinco configuraciones geométricas tienen triángulos en sus caras y el cubo tiene cuadrados. En este sentido, la tierra sería el cubo porque es el que menos tiene movilidad y el que puede conservar de mejor manera su forma. La estructura de la tierra parecía tener una base más sólida y los cuadrados tienen más estabilidad que los triángulos. La misma lógica es aplicada para los siguientes elementos. El agua es el siguiente



Figura 2. Representación de los elementos con sus configuraciones geométricas.

elemento en tener menor movilidad; el fuego, el elemento de mayor movilidad; y el aire tendría una movilidad intermedia entre el agua y el fuego (Goodfield y Toulmin, 1982).

También fueron tomados en cuenta el tamaño y el número de triángulos de la figura. El tetraedro, al ser el de menor tamaño y con menor número de triángulos, fue asignado al fuego. El icosaedro, al ser más grande y con mayor número de triángulos, fue asignado al agua. Y el octaedro, intermedio entre el tetraedro y el icosaedro, al aire (Goodfield y Toulmin, 1982). En definitiva, él escogió al tetraedro como átomo del fuego; el cubo, de la tierra; el octaedro, del aire; y el icosaedro del agua.

¿Y qué sucede con el éter y su figura? ¿Qué era el éter para Platón? El éter representaba algo distinto a los cuatro elementos, porque no estaba compuesto de la unidad básica de la materia que son dos clases de triángulos. Todas las figuras anteriormente mencionadas (tetraedro, cubo, etc.) están formadas por estos dos tipos de triángulos como indica la figura 3. Según esta explicación atómica, la

materia está formada por triángulos, qué se juntan y forman estructuras más grandes como indica la figura 4. El éter está formado por pentágonos y no puede ser desmantelado en los dos triángulos básicos de la materia. Entonces, Platón asoció el dodecaedro con el límite del cosmos, donde cada cara representaba las doce constelaciones que eran conocidas hasta ese entonces.

Según esta teoría, si los cuatro elementos están compuestos de la misma unidad básica, entonces cualquiera se puede transformar en uno de los otros tres. El agua, por condensación se transforma en sedimento y tierra; por disolución, el agua se transforma en aire. De igual manera, si el aire se calienta, se transforma en fuego; y si al fuego se le comprime lo suficiente, se transforma en agua; el agua, en tierra, y así sucesivamente (Platón, 2001). Podemos entender entonces que las transmutaciones eran posibles y no era desquiciado pensar que posteriormente los alquimistas quisieran transmutar cualquier otro metal para convertirlo en oro. Esto sentó las bases en las cuales se asentaron las con-

tribuciones de uno de sus pupilos: Aristóteles.

La materia según Aristóteles

Aunque Aristóteles compartía muchas ideas de Platón, él afirmaba que Platón estaba perdido en relación a la analogía de los cuatro elementos con figuras geométricas (Hopkins, 1934). La organización más compleja de la vida como son los animales, órganos y fluidos del cuerpo necesitaban mayor explicación que figuras geométricas. El estudio matemático de las formas no podía explicar el proceso por el cual los organismos crecen hasta que mueren.

Aristóteles estudió mucho los cambios de la naturaleza. De la misma manera que Platón, él utilizó los cuatro elementos propuestos por Empédocles. Estaba de acuerdo con Platón en que los cuatro elementos podían transformarse del uno al otro, pero Aristóteles se enfocó más en la causa de las transformaciones. Los cuatro elementos comparten propiedades que permiten estas transformaciones. El fuego es caliente y seco; el aire, caliente y húmedo; el agua, fría y húmeda; y la tierra, fría y seca. Esto se visualiza mejor en la figura 5.

Aristóteles relacionó el frío y el calor como cualidades activas, cuyo objetivo era promover el decaimiento y el crecimiento, o la separación y combinación. La humedad y sequedad eran cualidades pasivas, que reciben el efecto de las activas. En corto, las cualidades eran calor y sequedad con sus opuestos (Lewis, 2014). Estas cualidades servían para explicar los cambios de un elemento a otro, donde la forma era lo más importante.

En su libro *Física*, Aristóteles (2015) plantea a la materia como un medio utilizado para tomar forma. Por ejemplo, una casa es hecha de ladrillos, pero la estructura específica de la casa, que proviene de la mente de al-

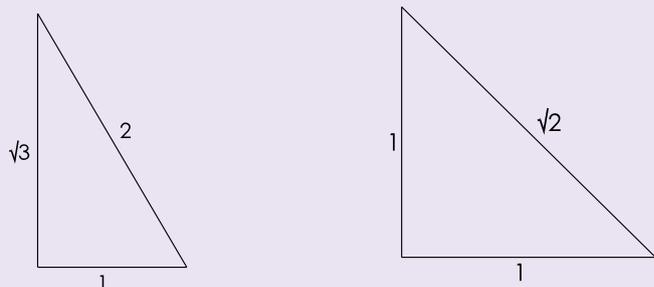


Figura 3. Triángulos que conforman la materia

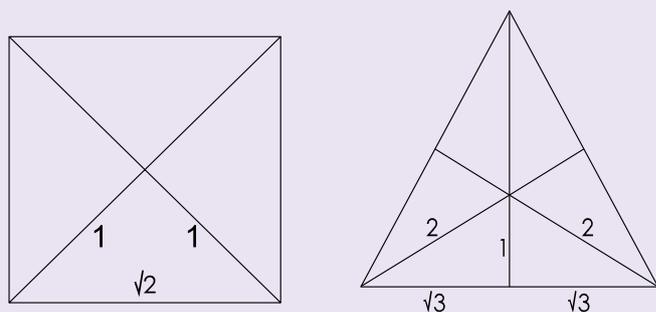


Figura 4. Conformación de las caras del cubo y tetraedro

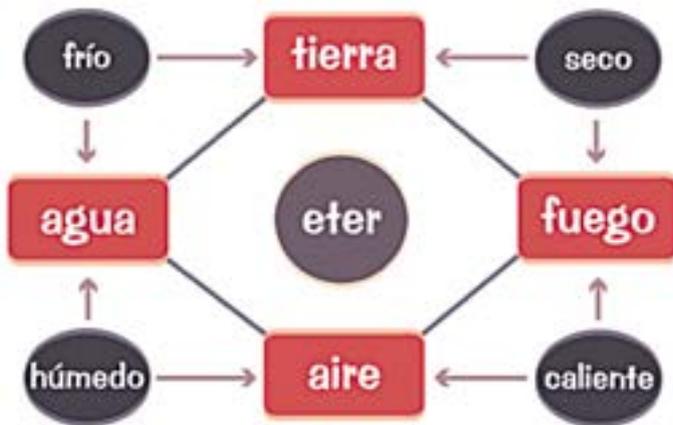


Figura 5. Elementos y sus propiedades

guien, es lo que le da un propósito a la materia. En este sentido, los ladrillos son el material detrás de la forma, pero la forma es lo que realmente importa. La forma es la meta, el fin, también conocido como causa formal, y la materia es despreciable. Esta es la clave para entender por qué los alquimistas podían concebir la transmutación, pues se puede hacer distintas casas con los mismos ladrillos.

También Aristóteles concibe los procesos vitales como transformaciones. Por ejemplo, durante la vida de un roble va a existir una bellota que produzca semillas que generan la vida del roble, que a su vez, va a crecer y ser capaz de germinar nuevamente. Desde el punto de vista alquimista, los metales eran antes de la naturaleza, al igual que un roble; y así como el roble crecido es un ente que avanza hacia la “perfección”, los metales también tienen esa habilidad, siendo la “perfección” el oro. Este, a su vez, tendría el poder de producir cobre o cualquier otro metal para que puedan atravesar el proceso de convertirse en oro nuevamente.

No existe duda de que los alquimistas utilizaron la filosofía de Platón y Aristóteles para mantener su esperanza en la posibilidad de la transmutación. La creencia de que la materia posee cualidades específicas para ir en camino hacia la perfección y la

esto no hubiera sido posible sin la presencia de otras influencias culturales.

El sincretismo en el forjamiento de la alquimia

Después de que Alejandro Magno llevara la cultura griega a Egipto y Mesopotamia, el conocimiento griego se mezcló con otras religiones y filosofías. Se podría decir que la alquimia era una mezcla entre la filosofía griega con misticismo oriental y tecnología egipcia (Leicester, 1971).

Los artesanos egipcios tenían amplia experiencia en producir imitaciones de gemas, en técnicas de teñido y en metalurgia (Stockholm, 1927; Leyden, 1926). Eran expertos en hacer imitaciones de metales preciosos y aleaciones. Si existían métodos para hacer lucir a los metales como si fueran oro, no existía razón para no creer que unas sustancias podrían transformarse en otras, y que las teorías de los filósofos griegos no puedan ser aplicadas a estas transformaciones. De acuerdo a la filosofía Aristotélica, que planteaba que la materia tiende a alcanzar la perfección, era posible que los metales busquen de alguna manera convertirse en oro. Después de todo, la naturaleza se había encargado de realizar este proceso durante millones de años. Los artesanos podían ser capaces de hacer lo mismo en menos tiempo. Por lo que lo único

posibilidad de acelerar este proceso para que los metales puedan atravesarlo más rápido, fue lo que marcó el propósito del alquimista. Sin embargo,

que restaba era encontrar y mejorar la metodología.

Para finalizar, habiendo tomado un poco de la historia de la ciencia para abordar el origen de la alquimia, me parece que es necesario resaltar que la alquimia fue construida con el conocimiento científico con el que se contaba durante todo el tiempo en que fue una ciencia respetada y hasta mistificada. Personajes como Roger Bacon, Isaac Newton, Paracelso y muchos la practicaron. Si bien nunca se consiguió convertir metales en oro a través de ella, ni alcanzar la inmortalidad con el descubrimiento de la piedra filosofal, la alquimia definitivamente fue ciencia en progreso. Progreso porque gracias a la búsqueda alquímica se desarrollaron métodos y técnicas metalúrgicas y de destilación, entre otras. Y esto es un alivio. Pues si en algún momento las investigaciones científicas actuales no nos llevan a descubrir lo que esperamos, al menos sabremos que ningún intento es en vano y que nuestra búsqueda está justificada en base a las herramientas que poseemos, tal como está justificada la búsqueda alquímica.

Literatura consultada

- Aristóteles (2015) *Physics*, South Australia: The University of Adelaide.
- Goodfield y Toulmin (1982). *The Architecture of Matter*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Gregory A. (2001). *Eureka! The Birth of Science*, Cambridge, England: Icon books.
- Hopkins A. (1934). *Alchemy, Child of Greek Philosophy*, New York: Columbia University Press.
- Platón (2001) *Timaeus*, Newburyport, MA: Focus Publishing
- Leicester H. (1971). *The Historical Background of Chemistry*, New York: Dover Publications.

Los biólogos y las montañas

■ Por Ricardo Jaramillo



Ricardo Jaramillo

Siempre abarcando, con una mirada, montañas y horizonte (Sumaco visto desde la cara oriental del Volcán Antisana, al atardecer).



Ricardo Jaramillo

Una carpita basta para abrigar el cuerpo y el alma (Faldas del Carihuairazo).

SANTIAGO FERNANDO BURNEO NÚÑEZ: UN BIÓLOGO ENCARIÑADO CON LOS MURCIÉLAGOS

■ Por Dr. Alberto B. Rengifo A.
Escuela de Ciencias Biológicas
(arengifo@puce.edu.ec)



La vida te da sorpresas, sorpresas te da la vida. ¡Ay Dios!”, así empieza la canción creada por Rubén Blades, que se constituyó en un verdadero

hito para el mundo salsero del momento y de todos los tiempos. Y sí, mayúscula fue mi sorpresa cuando, hace algún tiempo, bajé a la oficina de Santiago, que quedaba en el subsuelo del Edificio de Ciencias, y me topé, al abrir la puerta de su oficina, manos a boca, nada menos que con un murciélago disecado (medía 30 cm, más o menos), abiertas sus alas y en actitud de volar. Me quedé paralizado, por un momento, hasta que Santiago muy sonreído me dio una palmada en el hombro y me dijo: —Tranquilo, no pasa nada, ya está naturalizado.

Lo que no sabía Santiago es que, cuando yo cursaba el cuarto curso de colegio, me fui de “misiones” a un pequeño poblado de Esmeraldas llamado Bareque. Y aquí tuve una experiencia escalofriante: eran las doce de la noche, todo era obscuridad completa. Empezaba a quedarme dormido cuando de repente escuché un ruido que provenía del racimo de “oritos” que estaba col-

gado en balcón de la casa. Salí del dormitorio, prendí una vela y la luz proyectada alumbró a dos murciélagos que devoraban los “oritos”. Al sentirse molestados por la luz, los murciélagos volaron hacia mí. Sus alas apagaron la vela y yo grité a todo pulmón: auxiliooooo. Los dueños de la casa se levantaron, me vieron demudado, con un sudor frío que recorría mi frente. Al enterarse de lo sucedido dijeron: —¡Ah, era eso! ¡Los murciélagos no ata-

can si no son molestados! Después de todo, son muy simpáticos. ¡Esa noche no pude dormir. Y las otras noches, dormí solo con un ojo cerrado!

Así que sorpresa fue para mí enterarme que existen seres como mi exalumno, colega y amigo Santiago Burneo que se encariñan con los murciélagos y dedican su vida a estudiarlos, protegerlos, ¿quererlos? y, en especial, transmitir al común de los mortales que estos no solo que



no atacan (a no ser que sean molestados) sino más bien constituyen elementos positivos dentro de las múltiples interacciones que se producen en nuestra madre naturaleza. Por esto, él personalmente gestionó, explicó, bregó y, finalmente, consiguió que las autoridades (de esa época) de la oficina de Vinculación con la Comunidad de la PUCE aprobaran el proyecto “Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador de la PUCE”.

En todo caso, como dicen los estudiantes: Burneo es un capo de los murciélagos. Y es a este joven científico al que hemos tomado en cuenta para que engalane esta sección de Gente que hace historia de la revista de divulgación científica *Nuestra Ciencia* n.º 21. Nos place sobremodera destacar la personalidad de Santiago quien, al ser el Curador de Mastozoología, ha tenido que verse con otros mamíferos: unos enormes y apacibles como los elefantes marinos de la Antártida; otros, traviosos, inquietos e impredecibles como los delfines. Y por ser un “entregado” a la escuela de Ciencias Biológicas fue



Por Saúl Aguirre



Con elefante marino en la Antártida

Analizando un murciélago en vivo y en directo.

designado Director de la misma por dos años. Santiago no arrugó; más bien, con todo profesionalismo, sacándole tiempo al tiempo, consiguió que la escuela de Ciencias Biológicas mantuviese muy en alto su nombre y su prestigio. Y tan bien se desempeñó como Director, que estudiantes, administrativos y profesores pedimos que se mantuviera en el cargo. Pero Santiago priorizó sus estudios de posgrado, y se retiró modestamente dejando en claro, eso sí, que en el futuro cuando reúna la energía suficiente se embarcaría nuevamente en una aventura similar.

Pero como dirían mis colegas literatos, empecemos por el principio. Conozcamos algo más de su vida y de sus sueños, y para esto, nada mejor que transcribir las respuestas que diera a un cuestionario que le envié.

¿Dónde naciste y qué estudios has realizado?

Nací en la ciudad de Loja, en mayo de 1973. Vine a vivir a Quito desde los tres años.

La primaria la hice en el Colegio Cardenal Spellman, la secundaria en el San Gabriel; estuve un año de intercambio en Pennsylvania; la licenciatura en la Escuela de Ciencias Biológicas de la PUCE, la maestría en la Universidad Internacional de Andalucía en Biología de la Conservación. Actualmente, estoy haciendo el doctorado en el Laboratorio de Ecología Funcional de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá.

¿Por qué escogiste ser biólogo y, además, mastozoólogo?

Tenía claro que quería ser biólogo desde tercer curso de colegio, me interesaba mucho la ciencia en general y la biología me parecía la más misteriosa. Por eso opté por la especialización de químico-biólogo, lo que afianzó la decisión. Cuando rendí el examen de ingreso en la PUCE había puesto Psicología como segunda opción, pero no fue necesaria ya que pasé en primer lugar de los aspirantes a Biología. Mercedes Rodríguez me hizo la entrevista que se acostumbraba en esos tiempos, y a ella le dije que mi interés era ser genetista. Las cosas cambiarían en segundo semestre, cuando en una salida de campo, Giovanni Onore y Tjitte de Vries me pidieron que capture un murciélago en una cueva. Sin saber nada al



Con la mirada puesta en el infinito.

respecto lo hice usando mi camiseta como trampa, y desde allí quedé enganchado no solo a los murciélagos sino a ser biólogo de campo, cambiando el mandil blanco por una linterna de cabeza.

¿En qué momento nació tu pasión por el estudio de los murciélagos?

Siendo estudiante entré a trabajar como becario del Museo de Zoología bajo la dirección de Luis Coloma, aunque en un inicio estuve montando ranas y serpientes en formol, tuve acceso a la colección de mamíferos que estaba siendo curada por Diego Tirira, quien me invitó a salir al campo con él ya que estaba preparando su primera versión del libro de Mamíferos del Ecuador. Hice mi tesis sobre reproducción de murciélagos y pude recorrer prácticamente todo el país durante un par de años buscando murciélagos no solo en bosques, sino en ríos, cuevas, bajo puentes, casas habitadas y abandonadas. Desde allí, no me he alejado nunca

de estos peludos y nocturnos animales voladores.

¿Qué actividades has realizado para concientizar a la gente acerca de las “bondades” de los murciélagos?

He diseñado charlas y campañas educativas completas para llevar a la gente un mensaje positivo sobre los servicios que proveen los murciélagos; sobre todo, porque estos mamíferos tienen una muy mala imagen social. He conversado sobre ellos en escuelas, colegios, comunidades indígenas, a lo largo y ancho del país. El Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador asociado a la Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos (RELCOM) han sido espacios para poder ampliar mucho más este trabajo de divulgación; mantenemos desde Ecuador las páginas web de RELCOM y del PCME, hemos realizado exposiciones sobre murciélagos en el Zoo de Quito (dos veces), el Jardín Botánico y algunas veces en la propia PUCE.

Mi investigación incluye siempre un componente de conservación; actualmente, busco valorar económicamente el servicio de control de plagas que proveen los murciélagos en algunas zonas agrícolas del Litoral del Ecuador.

¿Qué beneficios conlleva “proteger” a los murciélagos?

Aunque no sea muy conocido su aporte, los murciélagos insectívoros son excelentes controladores de plagas, consumiendo grandes cantidades de insectos que podrían transmitir enfermedades infecciosas a humanos y al ganado, o convertirse en plagas agrícolas. Los murciélagos frugívoros son excelentes dispersores de semilla, ampliando las fronteras boscosas de zonas deforestadas. Los murciélagos nectarívoros son agentes polinizadores de plantas, cumpliendo un papel similar al de las abejas y los colibríes pero durante la noche.

Otro dato poco conocido es que los murciélagos son uno de los grupos más variados de mamíferos, casi uno de cuatro mamíferos es murciélago, por lo que al proteger a este grupo, se protege gran parte de la Mastofauna. Solo en el Ecuador tenemos 170 especies de murciélagos.

¿Cómo va el Plan de Acción para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador (PCME) en el cual estuviste muy activamente involucrado?

Muy bien, desde su lanzamiento [2011] ha servido para incluir reformas en la normativa ambiental del Ecuador, nos ha permitido hacer incontables campañas de educación ambiental para niños y jóvenes en varias regiones del país, ha permi-



Con estudiantes en la Isla Puná por la Conservación de murciélagos.

tido conseguir fondos de investigación y de educación ambiental de varias fuentes de financiamiento, especialmente en el extranjero. En la actualidad, hemos declarado siete Áreas y dos Sitios de Importancia para la Conservación de los Murciélagos en el Ecuador: en San Antonio de Pichincha, Cerro Blanco, Churute y Cauchiche en Guayas; Lita en Imbabura y varios sistemas de cuevas en la provincia de Napo.

Tu mensaje para los estudiantes de Biología

Quisiera que los estudiantes de Biología sepan que son un grupo muy valiente y decidido de mujeres y hombres que el Ecuador y el mundo necesita con urgencia. El crecimiento poblacional, el avance tecnológico y el daño ambiental que el ser humano ha provocado en la naturaleza por la creciente necesidad de recursos, hace que hoy más que nunca sea prioritario estudiar la biodiversidad, los ecosistemas y su resiliencia al impacto,

porque será la única forma de dejar a nuestros hijos un planeta en el que puedan sobrevivir durante un poco más de tiempo. Necesitamos esta ciencia ya, y necesitamos que estas soluciones vengan de los jóvenes estudiantes de Biología, quienes ya han dejado de ser el “futuro de la Patria”, para ser nuestro presente.

¡Qué reconfortante para el espíritu es encontrarse con estos seres honestos y transparentes! ¡Con estos profesionales a carta cabal que no escatiman esfuerzo alguno por hacer de este mundo un sitio en el cual se pueda vivir dignamente! ¡Qué placentero resulta mirar los ojos de Santiago y poder penetrar en un corazón dispuesto a dar sin pedir nada a cambio! A este joven científico ecuatoriano se le podría aplicar lo que dice un poeta:

“Es un incansable perseguidor de sueños de colores. Eleva su cometa y tras ella corre día tras día para elevar su vida y la de los demás”.

PLANTAS UTILIZADAS POR LOS QUICHUAS DE ECUADOR

quichua-español
DICCIONARIO

Por Omar Vacas Cruz, Hugo Navarrete y
Consuelo Yáñez Cossío



Plantas utilizadas por los quichuas de Ecuador es un diccionario bilingüe quichua-español de especies empleadas en la vida diaria por esta nacionalidad y que forman parte de su cultura. Tal uso a lo largo de siglos hasta nuestros días muestra el estrecho vínculo, la armonía y el equilibrio que los varios pueblos quichuas asentados en el Ecuador continental han desarrollado con la naturaleza.

El diccionario incluye información de 1683 especies, 163 familias y 738 géneros, distribuidas en 11 categorías de uso y que además resume más de diez mil usos tradicionales. Las familias con mayor representación son: Fabaceae (102 especies), Asteraceae (85), Melastomataceae (74), Rubiaceae (71), Araceae (62) y Solanaceae (55); y los géneros, Miconia (35), Piper (26), Inga (25), Solanum (25), Anthurium (23), Pouteria (16), Ficus (15), Passiflora (13), Philodendron (13) y Psychotria (13). En general, las familias y géneros mencionados son los más diversos e importantes tanto en Ecuador

como en el mundo para el estudio de metabolitos secundarios de uso clínico, de acuerdo al informe State of the World's Plants of Kew Royal Botanic Garden (2017).

Esta obra incluye varias innovaciones en relación a otras publicaciones etnobotánicas, entre las más destacadas podemos mencionar:

Utilización de nombres comunes binomiales en la sección español, como una interesante aproximación a la nomenclatura científica.

La división silábica en quichua no sigue las reglas del español, por lo que se optó por no realizar el corte de palabras en los textos en esa lengua (sección quichua).

Un léxico de neologismos en quichua y español, palabras que en la lengua quichua no existían y que fueron creadas por la necesidad, para así tener un adecuado manejo y uso de la lengua.

Adicionalmente, el libro cuenta con dos artículos introductorios tanto en la sección quichua como la sección español, 1) morfología botánica: que incluye una revisión botánica rápida y sistemática de todos los órganos de las plantas (raíz, tallo, hojas, fruto y semilla) con ilustraciones hechas a mano que

adornan en cada caso; mientras que el artículo 2) las plantas y su nominación: da a conocer los procesos esquemáticos que seguimos los autores para la construcción del diccionario como tal.

Finalmente, debemos aclarar que durante siglos el idioma oficial de la ciencia fue el latín, pero a lo largo del siglo XX este fue perdiendo espacio dando paso a otras lenguas de regiones donde la ciencia avanzaba con rapidez. Las lenguas nativas de los pueblos americanos no han sido tomadas en cuenta para el desarrollo o la enseñanza de las ciencias. Idiomas ampliamente practicados, como el quichua, tradicionalmente utilizado para la comunicación diaria por quienes lo hablan, han estado ausentes en este campo. Solamente en las últimas décadas se lo incorpora como lengua para la enseñanza en escuelas y colegios indígenas, pero en la terminología técnica de las disciplinas científicas sigue prevaleciendo el español; por lo expuesto consideramos los autores que este diccionario se constituirá en un aporte significativo al adelanto de la ciencia tomando como base la lengua quichua (Omar Vacas C.).

Guía de MORAS del Ecuador (2018)

Por Katya Romoleroux, Esteban Bastidas-León, David Espinel-Ortiz



La finalidad de esta Guía es rescatar los conocimientos populares y ancestrales sobre los usos de las especies de moras que crecen en el país y dar a conocer el potencial comercial que representa este importante género de los Andes ecuatorianos. Se presentan descripciones sencillas pero completas que permiten reco-

nocer las diferentes especies *Rubus* que crecen y se utilizan en Ecuador.

El género *Rubus* (del latín *ruborum*: rojo) incluye a las comúnmente llamadas moras, frambuesas y zarzamoras. La mora silvestre, *urku* mora o simplemente mora, es un fruto ampliamente utilizado por el ser humano desde tiempos ancestrales.

En esta Guía, luego de un breve texto sobre el género *Rubus*, se

presenta una clave taxonómica de las 23 especies de este género existentes en Ecuador, con la finalidad de facilitar su identificación en el campo. Asimismo, se proporciona una descripción individual de las especies tratadas, incluyendo sus usos, cuya información proviene de diferentes fuentes (bibliografía, visitas de campo, Herbario QCA), y un mapa de distribución para cada especie” (K. R.).



Rubus ulmifolius Schott

© Alba Pérez



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**Facultad de
Ciencias Exactas y Naturales
de la PUCE**

