

Publicación anual. Número 24 | Quito, octubre de 2022

# Nuestra Ciencia



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**PETROLIA**  
FILIAL • NSE

# Comprometidos con el Ecuador

[www.newstratusenergy.com](http://www.newstratusenergy.com)

3



8



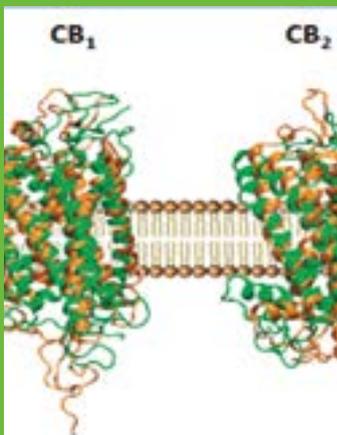
17



47



51



# Contenido

## Actualidad Científica

- 3** Lucha por la supervivencia y origen de la biodiversidad tropical: interacciones entre plantas y herbívoros  
■ Paola G. Santacruz Ph. D. (c), María José Endara, Rommel Montúfar, Rafael E. Cárdenas Ph. D., Alix Loziquez Ph. D., Renato Valencia Ph. D., Thomas L.P. Couvreur Ph. D.
- 8** Las flores olvidadas en el borde de los campos  
■ Por Mayra Coro Ing. Agr., Tatiana Cárdenas M. Sc., Rommel Montúfar Ph. D., Olivier Dangles Ph. D.
- 13** El Yasuní: un rey sin corona  
■ Por Diego G. Tirira Ph. D.
- 17** Un zoológico, ¿para qué?  
■ Por Martín Bustamante M. Sc.
- 21** Vampiros, vasija y leyendas: representaciones de murciélagos en las culturas prehispánicas del Ecuador  
■ Por María Fernanda Ugalde Ph. D. y Ph. D. (c) M. Alejandra Camacho
- 25** Aportes de la Química Computacional durante la pandemia de SARS-CoV-2  
■ Por Dra. Lorena Meneses

## Instantáneas

- 29** El capuchino blanco  
 La garza cocoi  
■ Por Martín Bustamante

## Curiosidades Científicas

- 30** El Herbario QCA y sus tesoros escondidos, 51 años de trabajo e investigación  
■ Por Mayra Nacimba M. Sc.
- 35** La modernización de la contaminación  
■ Por Eliza Jara M. Sc.
- 39** Donde juegos hay, saberes quedan: Videojuegos y enfermedades infecciosas  
■ Por Lic. Álvaro Lara, Dra. Anita G. Villacís,
- 43** ¿Reptiles reservorios de *Salmonella* spp.?  
■ Por Mtr. Andrea Rodríguez-Guerra
- 47** Unos padres amorosos entre los insectos  
■ Por Lic. Fernanda Salazar-Buenaño
- 51** El Sistema Endocannabinoide: sistema biológico de regulación fisiológica cuya principal función es mantener la homeostasis del organismo  
■ Por Máster Omar Vacas Cruz

## Gente que hace historia

- 55** Rommel Montúfar Galárraga: el científico natural que da voz y dignidad a las personas del campo a través de la investigación científica  
■ Por Dr. Alberto B. Rengifo A.

## Noticiencia

- 59** Doctorado en tiempos de COVID  
■ Por Claudia Vera Ph. D. (c)

**DECANA**

Dra. Lorena Meneses O.

**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**

M. Sc. Martín Bustamante,  
Ph. D. (c) Alejandra Camacho,  
Ph. D. Rafael Cárdenas,  
M. Sc. Tatiana Cárdenas,  
Ing. Agr. Mayra Coro,  
Ph. D. Thomas L. P. Couvreur,  
Ph. D. Olivier Dangles,  
Ph. D. María-José Endara,  
Lic. Álvaro Lara,  
Ph. D. Alix Loziquez,  
M. Sc. Eliza Jara,  
M. Sc. Mayra Nacimba,  
Dra. Lorena Meneses,  
Ph. D. Rommel Montúfar,  
Dr. Alberto Rengifo,  
M. Sc. Andrea Rodríguez,  
Lic. Fernanda Salazar,  
Ph. D. (c) Paola Santacruz,  
Ph. D. Diego Tirira,  
Magíster Omar Vacas,  
Ph. D. Renato Valencia,  
Ph. D. María Fernanda Ugalde,  
Ph. D. (c) Claudia Vera,  
Dra. Anita Villacís.

**DISEÑO, DIAGRAMACIÓN**

Imprenta Hojas y Signos  
hojasysignos@gmail.com, 3319298

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

NÚMERO 24, OCTUBRE DE 2022

ISSN: 1390-1893

Quito, Ecuador

Revista *Nuestra Ciencia* n.º 24.

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.

# Editorial



Por Martín Bustamante, QuitoZoo

Iguíñaro listo para emprender su último vuelo.

El papa Francisco, el primero de enero de 2022, enviaba este mensaje al mundo: “Vivimos aún en tiempos difíciles e inciertos a causa de la pandemia. Son muchos los que están atemorizados por el futuro y agobiados por las situaciones sociales, los problemas personales, los peligros que provienen de la crisis ecológica, de las injusticias y de los desequilibrios económicos planetarios. No sirve abatirse ni quejarse para construir la paz”. Pa-

labras sabias que nos impulsan a continuar bregando sin desmayo en pos de comprender nuestro pasado y amar nuestro presente.

Por esto, a pesar de múltiples dificultades, *Nuestra Ciencia* aparece una vez más como ese espacio y tiempo que los docentes de la facultad de Ciencias Exactas y Naturales dedican a comunicar no solo los aspectos específicos de una ciencia, sino en particular transmitir una “visión crítica, pragmática e integradora de la biología” que nos conduzca a “desarrollar empatía, inclusión y respeto por la diversidad humana”.

Precisamente, amable lector, en este volumen 24, usted, seguramente, gozará leyendo y aprendiendo acerca de la interacción que se da entre plantas y herbívoros en la lucha por la sobrevivencia y origen de la diversidad tropical. Conocerá cuáles son las flores que están olvidadas en el borde de los campos. Se enterará que el Yasuní es un rey sin corona porque, desgraciadamente, cuando al “Estado le toca decidir entre la rentabilidad que le ofrece el Yasuní frente a su conservación, las grandes billeteras ganan, al menos de momento”. Entenderá que un zoológico, a más de ser “un motor importantísimo que canaliza anualmente unos 400 millones de dólares para asegurar la persistencia de especies y hábitats”, constituye sobre todo “espacios abiertos, aire libre, contacto con los animales y emociones irremplazables que generan empatía hacia la vida silvestre y marcan un camino que levanta corazones y razones”. Y, a no dudarlo, se maravillará al saber la fascinación que ejercían los murciélagos en varias sociedades de las Américas precolombinas; en concreto, en el Ecuador prehispánico.

En fin, amigo lector, cada uno de los artículos que en este número presentamos nos trasmite un soplo suave y apacible de vida que nos impele a seguir descubriendo los aportes que proporcionó la Química Computacional durante la pandemia de SARS-CoV-2, los tesoros escondidos que encierra el Herbario QCA o cómo también entre los insectos existen padres amorosos y abnegados, etc., etc.

Una vez más, nos toca decir, con gran satisfacción, misión cumplida. Las luces se apagan y el telón baja; pero, casi a renglón seguido, nuevamente las luces se encienden y el telón empieza a subir porque se avizora un compromiso grande: publicar la revista *Nuestra Ciencia* n.º 25; un número que representa un cuarto de siglo, bodas de plata de una revista de divulgación científica que nació en 1999 para hacer realidad “el nuevo paradigma de relación con la naturaleza y la tierra: no agresivo, amigable con la vida y respetuoso con los demás seres. Si el paradigma dominante es el de un puño cerrado para someterse, el cuidado es la mano extendida para entrelazarse con otras manos y proteger la naturaleza y la tierra” (Leonardo Boff, *El coronavirus despierta en nosotros lo humano*).

¡Hasta pronto!

Por Dr. Alberto B. Rengifo A.

Quito, octubre de 2022.

# Lucha por la supervivencia y origen de la biodiversidad tropical: interacciones entre plantas y herbívoros

Paola G. Santacruz<sup>1,2</sup>, María-José Endara<sup>3</sup>, Rommel Montúfar<sup>1</sup>, Rafael E. Cárdenas<sup>1</sup>, Alix Loziquez<sup>1,2</sup>, Renato Valencia<sup>1</sup>, Thomas L.P. Couvreur<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, <sup>2</sup> DIADE, Univ Montpellier, CIRAD, IRD, Montpellier, France

<sup>3</sup> Grupo de Investigación en Biodiversidad, Medio Ambiente y Salud-BIOMAS Universidad de las Américas.

(paolasantacruzendara@gmail.com) (maria.endera.burbano@udla.edu.ec) (rjmontufar@puce.edu.ec) (recardenas@puce.edu.ec) (alixloz@hotmail.fr) (lrvalencia@puce.edu.ec) (thomas.couvreur@ird.fr)

**E**n la naturaleza existen dos tipos de organismos: las presas y sus predadores. Dentro de este tipo de interacción se habla muy poco de la relación entre las plantas y sus herbívoros. Tanto para los grandes primates como para las pequeñas orugas que terminan su proceso de metamorfosis en la planta, la relación es la misma, donde las plantas asumen el rol de presa, y los herbívoros el de depredador.

Los bosques tropicales húmedos son el ecosistema más biodiverso y complejo del planeta. Ecuador es famoso por tener uno de los bosques más diversos en especies de árboles a nivel mundial, con más de 600 especies reportadas en solo una hectárea en el Parque Nacional de Yasuní (Valencia *et al.* 1994) (Fig. 1). ¿Por qué hay tantas especies en los bosques tropicales, y cuáles son los mecanismos evolutivos responsables? Son dos de las más grandes preguntas de la biodiversidad tropical que quedan todavía por responder. Un grupo de hipótesis propone que la biodiversidad tropical es el resultado justamente de las interacciones



Por Thomas L.P. Couvreur

**Figura 1:** Vista aérea de la parcela dinámica de 50 ha de la PUCE en Yasuní. ¿Por qué hay tantas especies en los bosques tropicales?

intensas entre plantas y sus insectos herbívoros (Ehrlich and Raven 1964, Endara *et al.* 2017), los cuales mantienen una constante carrera evolutiva de ataque y defensa (Fig. 2).

La relación de la planta con sus insectos herbívoros ha sido bastante estudiada (Ehrlich and Raven 1964, Marquis *et al.* 2016, Coley *et al.* 2018). Igual que en una guerra, las plantas hacen uso de todos los recursos posibles para escapar de sus depredadores. Utilizan diversas defensas químicas conocidas como metabolitos secundarios, que pueden incluir alcaloides, terpenos, acetogeninas, esteroides, entre otros (Menezes *et al.* 2021). Estos compuestos químicos son particularmente abundantes en las hojas

jóvenes en expansión. Su mecanismo de acción incluye el intoxicar a quienes lo ingieren, o interferir con la capacidad de digerir los tejidos vegetales consumidos por parte del herbívoro. Y si las armas químicas no fueran suficientes, las plantas



Por Thomas L.P. Couvreur

**Figura 2:** Pablo Alvia mirando una oruga de Arctiidae que se come a la hoja de un individuo de *Anaxagorea brevipes* (Annonaceae) en la parcela de Yasuní, y una de las especies monitoreadas durante el proyecto.

también tienen defensas físicas, como la dureza de la hoja, que evita que el herbívoro pueda masticala; y/o la presencia de tricomas (pelos) que pueden cubrir las ramas, troncos y hojas de algunas especies. Los tricomas complican el recorrido de quienes lo habitan, haciendo necesario el uso de la seda en algunas ocasiones como método de movilización. Finalmente, hay plantas que reclutan la ayuda externa de animales como las hormigas, aliados que puedan defenderlas contra los herbívoros a cambio de protección, una casa, una comida fácil. Este es el caso famoso, por ejemplo, de las guabas (género *Inga*), árboles cuyas hojas poseen nectarios que alimentan a hormigas, y estas a su vez les proveen de defensa contra otros insectos que puedan alimentarse de la planta (Coley & Barone 1996).

Pero, ¿cómo una simple interacción puede promover la diversificación de la biodiversidad en los bosques tropicales? Existe una hipótesis inspirada en el cuento de fantasía de “A través del espejo y lo que Alicia encontró allí” de Carroll Lewis (1871). En el cuento, Alicia está corriendo con la Reina Roja pero no avanza. Cuando le pregunta Alicia por qué no se mueven aunque están corriendo, la Reina Roja le contesta: “[...] porque se necesita correr tanto como puedas para mantenerte en el mismo lugar”. En biología evolutiva, la idea es que cada adaptación en una especie es igualada por una contra-adaptación en la especie con la que interactúa, de tal manera que cambios evolutivos perpetuos deben mantenerse entre ambas especies para permitir la existencia (Van Valen 1973). La denominada hipótesis de la Reina Roja es considerada una de las teorías evolutivas más influyentes. En el caso de los bosques tropicales, la continua y

rápida evolución de nuevos metabolitos secundarios podría permitir que las especies de plantas escapen a la presión de los herbívoros, lo que conduciría a una importante ventaja selectiva que estimularía la diversificación (Marquis *et al.* 2016). Pero, al mismo tiempo, los herbívoros van a adaptarse a esos cambios para seguir comiendo las hojas. Es una carrera evolutiva. Bajo esta hipótesis de la Reina Roja, las modificaciones entre especies cercanas van a ser pequeñas y graduales.

### El modelo de estudio

Con el fin de comprobar estas hipótesis al nivel de los bosques tropicales del mundo, y más específicamente en la Amazonía ecuatoriana (Fig. 1) escogimos a la familia Annonaceae, muy conocida en América Latina. Con seguridad la reconoces, porque de ella forman parte las deliciosas chirimoyas (*Annona cherimola*) y guanábanas (*Annona muricata*). Se encuentra distribuida en todas las selvas tropicales del mundo y son dominantes en tierras bajas de los trópicos donde se originaron unos 90 millones de años atrás (Couvreur *et al.* 2011). Incluye árboles, arbustos y lianas, que se distribuyen en 113 géneros y alrededor de 2550 especies (Fig. 3). Lo interesante de esta familia es que las especies tienen hojas ricas en metabolitos

secundarios tales como los alcaloides (Menezes *et al.* 2021), pues tienen usos importantes en medicina tradicional a través de los trópicos como fuente importante de sustancias insecticidas. Estos compuestos dan forma a las interacciones entre las Annonaceae y sus enemigos naturales. Por lo tanto, gracias a su diversidad, origen antiguo y diversidad de metabolitos, las Annonaceae constituyen una familia interesante para comprobar hipótesis de coevolución entre plantas y herbívoros en los trópicos, tanto a nivel local como global. Como siempre en ciencia, hay primero que observar y recolectar datos básicos para saber qué herbívoros atacan a las Annonaceae, y determinar cómo esas plantas se defienden, algo sobre lo que sabemos muy poco hasta ahora.



**Figura 3:** Ejemplo de especies de Annonaceae para nuestro estudio y sus interacciones. A: *Tetrameranthus globulifer*; B: *Duquetia hadrantha*; C: *Guatteria multivenia*; D: Larva de Arctiidae (mariposa) comiendo *Guatteria scalarinervia*.

Por Thomas L.F. Couvreur

## Yasuní: laboratorio a escala real

La investigación empezó a nivel local, en uno de los lugares más biodiversos del planeta, en el Parque Nacional Yasuní. En 1995, Renato Valencia, Profesor Investigador de la PUCE, estableció una parcela de 50 hectáreas para estudiar la dinámica del bosque de Yasuní (Valencia *et al.* 2004). En la parcela se han identificado 1150 especies de árboles y arbustos y alrededor de 300 000 tallos identificados y referenciados. Renato abrió las puertas de la parcela para estudiar la herbivoría de Annonaceae. Para nuestro estudio, y en base a estos datos, pudimos seleccionar nueve especies de árboles de Annonaceae (Tabla 1). Nos enfocamos en individuos del sotobosque por la facilidad para realizar observaciones. La lista de especies elegidas representa la diversidad evolutiva de la familia, con especies muy cercanas (del mismo género), un poco más distantes (de tribus diferentes) o muy distantes (de cada uno de las cuatro subfamilias). Con esto, conseguimos realizar un muestreo evolutivo amplio de las relaciones existentes dentro

de la familia. ¡Y lo más increíble es que toda esta diversidad evolutiva mayormente se encuentra dentro de la misma parcela de Yasuní! Esto quiere decir que las diferencias que encontremos se explicarían por motivos ajenos al clima o la geografía.

Para cada especie seleccionamos 10 individuos en los cuales tomamos medidas y observaciones. Eso nos permite tener una fuerza estadística mínima. En cada árbol realizaremos una serie de observaciones una vez por mes durante un año.

## Herbívoros

El primer paso es observar y buscar a los herbívoros (Fig. 2, Fig. 4). Eso toma tiempo porque hay que manipular las plantas con delicadeza evitando que los herbívoros caigan al piso. Al principio de nuestra investigación no encontrábamos herbívoros, lo cual fue muy frustrante. ¿Dónde se esconden? Pero en biología, “Quien tiene paciencia, obtendrá lo que desea”, y después de algunos meses, empezaron a aparecer.

Hoy en día hemos observado herbívoros en todas las especies que monitoreamos. Pero, la identifica-



**Figura 4:** Investigadora Dra. María-José Endara y doctorante Paola Santacruz en el campo en la parcela dinámica de Yasuní (PUCE) observando las especies de Annonaceae y sus herbívoros.

ción de orugas de mariposas tampoco es algo fácil (Figura 3D). Así que se hará con herramientas moleculares y utilizando su ADN. Los resultados preliminares indican que hay una temporalidad en la presencia de herbívoros en las Annonaceae de Yasuní, ya que en enero y febrero de 2022 hemos encontrado mucho más que en meses anteriores. Eso coincide con la temporada menos lluviosa en Yasuní. También hemos observado colonias de varias especies de hormigas que protegen a las plantas, como es el caso de algunos individuos de *Unonopsis veneficiorum*.

## Rasgos morfológicos.

Después de haber observado los herbívoros, miramos a la planta en sí, para ver si las hojas están comidas (dañadas), cuál es la prevalencia de hojas jóvenes y si las hojas tienen alguna defensa física como tricomas (pelos). De manera general hemos encontrado que la herbivoría promedio (medido como el porcentaje de la superficie dañada o comida de la hoja) es baja pero heterogénea (Tabla 1). Las especies con mayor daño son *Anaxagorea brevipes* y *Unonopsis veneficiorum*. La producción de muchas hojas jóvenes en un tiempo específico puede representar

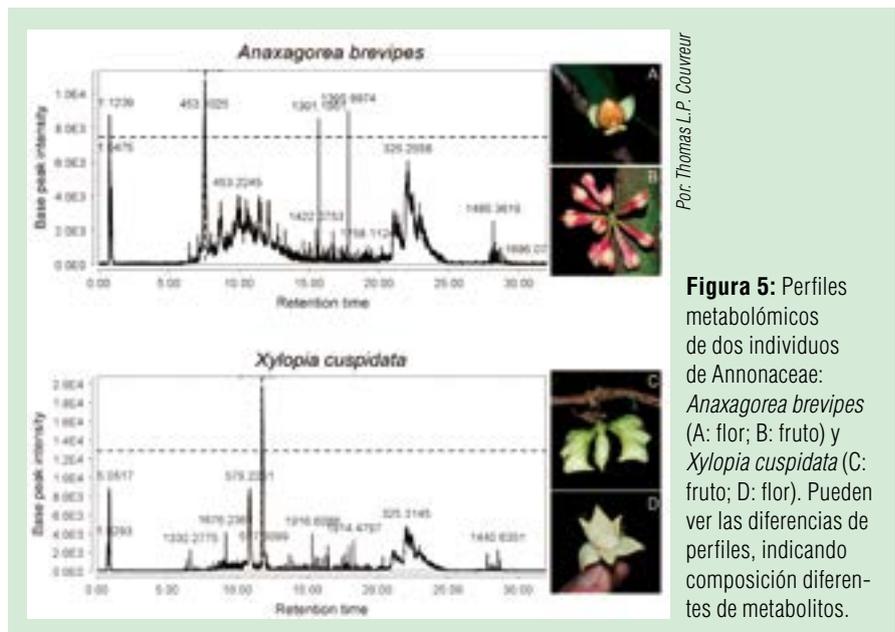
**Tabla 1:** Nombres de las especies de Annonaceae seleccionadas para el estudio y su clasificación dentro de la familia, con el promedio de tricomas por cm<sup>2</sup> y el porcentaje promedio de la superficie de la hojas comidas (promedio de 6 hojas medidos al azar por individuo por especies).

Subfamilia	Tribu	Género	Epíteto	Promedio de tricomas/cm <sup>2</sup> (# total de individuos medidos)	Promedio de daño en hojas (# total de individuos medidos)
Anaxagoreoideae		<i>Anaxagorea</i>	<i>brevipes</i>	59,4 (9)	10,30 (11)
Ambavioideae		<i>Tetrameranthus</i>	<i>globulifer*</i>	NA (NA)	1,59 (11)
Annonoideae	Duguetieae	<i>Duguetia</i>	<i>hadrantha</i>	26,6 (6)	1,16
	Guatterieae	<i>Guatteria</i>	<i>multivenia</i>	134,4 (10)	0,68 (11)
	Guatterieae	<i>Guatteria</i>	<i>scalarinervia</i>	5,3 (9)	0,10 (11)
	Bocageae	<i>Trigynaea</i>	<i>triplinervis</i>	140,2 (5)	3,80 (7)
	Xylopieae	<i>Xylopia</i>	<i>cuspidata</i>	79 (12)	3,75 (12)
Malmeoideae	Malmeae	<i>Oxandra</i>	<i>riedeliana</i>	4 (6)	8,1 (8)
	Malmeae	<i>Unonopsis</i>	<i>veneficiorum</i>	38,8 (5)	0,50 (12)

una estrategia que busca escapar de los herbívoros al saciarlos, llamada “leaf flush” en inglés (Coley *et al.* 2018). La planta va a producir más hojas que las que pueden ser comidas por las orugas, así las hojas sobrevivientes crecerán hasta su estado maduro, como fue demostrado en el género *Inga* (Endara *et al.* 2017). Hasta ahora, no hemos visto esa estrategia en Annonaceae, con hojas jóvenes presentes de manera más o menos continua a través del tiempo para cada especie. Una estrategia alternativa es que todos los individuos de una población producen algunas hojas jóvenes (sincronía en la producción de hojas) al mismo tiempo, así los herbívoros comen un poco de cada individuo y no mucho de unos pocos. Eso queda por comprobar. Finalmente, hemos observado una gran variación de tricomas en las hojas jóvenes (Tabla 1) y ausencia de glándulas. Hay especies que son muy peludas (*Guatteria multivenia*) y otras que son casi glabras (*Oxandra riedeliana*). De manera preliminar, estos datos sugieren variaciones en las estrategias de defensas morfológicas de las Annonaceae a escala local.

### Química de las Annonaceae

Una última etapa consiste en analizar la composición de metabolitos secundarios en las hojas, para ver si hay diferencias o no. Para cada especie, hemos recolectado ~100 mg de hojas jóvenes y maduras para extraer el perfil cromatográfico. Es un largo proceso que empieza en el campo y acaba en el laboratorio donde molem las hojas secas, extraemos los compuestos químicos y finalmente visualizamos los perfiles cromatográficos de los metabolitos secundarios. Para este proyecto, hemos visualizado el perfil de más de 150 muestras no solo de las especies focales (~20 muestras por especie)



Por: Thomas L.P. Couvreur

**Figura 5:** Perfiles metabólicos de dos individuos de Annonaceae: *Anaxagorea brevipes* (A: flor; B: fruto) y *Xylopia cuspidata* (C: fruto; D: flor). Pueden ver las diferencias de perfiles, indicando composición diferentes de metabolitos.

sino también otras seis especies de Annonaceae en Ecuador para su comparación. Hasta ahora no hemos analizado las diferencias entre especies, pero de manera muy preliminar se puede ver una gran variación entre perfiles a nivel local (Fig. 5). Además de los metabolitos secundarios vamos a analizar otros rasgos químicos como el contenido en nitrógeno, el carbono y las fibras, que también nos dará indicaciones de las diferentes estrategias de defensa de las Annonaceae hacia los herbívoros.

### Evolución a la escala global

En una segunda etapa, queremos entender la evolución química de toda la familia de Annonaceae a nivel global y no solo local. Utilizar los mismos métodos de laboratorio que explicamos anteriormente para

cada una de las 2550 especies de Annonaceae no es factible, ya que procesar las muestras toma demasiado tiempo. Además, no tenemos disponibles muestras frescas de todas las especies del mundo. La única manera es utilizar el “cofre del tesoro” que representa la red de herbarios mundiales, incluyendo el de la PUCE QCA (Fig. 6). En el proyecto utilizamos un método llamado “Near Infrared spectroscopy” (NIRs) o espectroscopia del infrarrojo cercano para escanear las muestras de herbario y tener una estimación del contenido químico de las hojas de cada especie. Cuando un rayo de luz es propulsado hacia una estructura, las moléculas vibran, y esta vibración resulta en la emisión en una longitud de onda entre la luz visible (400-700 nanómetros (nm)) y la del



Por: Thomas L.P. Couvreur

**Figura 6:** Carlos Rodríguez (IRD) haciendo una demostración del NIRs en el herbario de PUCE (QCA).

infrarrojo cercano (780-2500 nm) característica de la estructura. Esta técnica no es destructora; es decir, no hay que destruir la muestra de herbario, la cual queda intacta. La idea es que podamos comparar los espectros de cada especie utilizando como base la filogenia molecular de todas las especies de Annonaceae del mundo (también un objetivo del proyecto y que se encuentra en desarrollo). Eso nos permitiría comprobar si especies evolutivamente cercanas tienen perfiles NIRs similares (Reina Rojo) o no. Esta fase del proyecto no está culminada, pero los resultados van a ser comparados con los resultados obtenidos a nivel local.

### Perspectivas

Entender el origen de la biodiversidad en los bosques tropicales es un reto mayor, no solo de manera fundamental, sino también para su conservación. Si la interacción entre herbívoros y plantas juega un papel importante para la diversificación de la biodiversidad tropical, entonces hay que conservar no solo las plantas y animales, sino también las interacciones plantas-herbívoros, lo que requiere maneras diferentes de pensar a corto y largo plazo.

Este proyecto también nos enseña la importancia fundamental de la observación de la biodiversidad tropical a largo plazo como en la parcela dinámica de Yasuní (PUCE). Sin la parcela, las observaciones dentro de este proyecto no serían posibles o, al menos, sería mucho más complicado. Finalmente, el proyecto pone en el centro de la investigación al herbario, un recurso esencial para los estudios de la biodiversidad tropical, siendo fuente de datos inmensos. Con innovación tecnológica como la del NIRs, la importancia de los

herbarios aumentará con el tiempo. Los herbarios tienen que ser enriquecidos continuamente, mantenerse activos con fondos necesarios y abiertos para las generaciones futuras.

### Agradecimientos

Agradecemos a Pablo Alvia (parataxónomo del proyecto Dinámica del Bosque de Yasuní) por su ayuda valiosa en el trabajo de campo. Este estudio fue financiado por el proyecto GLOBAL (núm. 865787) del “European Research Council” (ERC) bajo el programa Horizon 2020 de investigación e innovación. Las actividades y resultados forman parte del Laboratorio Mixto Internacional LMI BIO-INCA (IRD, PUCE, UNIANDES-Bogotá). Agradecemos al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE) del Ecuador por los permisos de investigación necesarios para este proyecto (MAE-DNB-CM-2019-0115; MAAE-ARSFC-2021-1331; MAE-ARSFC-2020-0473).

### Literatura consultada

Coley PD, Barone JA (1996) Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annual review of ecology and systematics* 27: 305–335.

Coley PD, Endara M-J, Kursar TA (2018) Consequences of interspecific variation in defenses and herbivore host choice for the ecology and evolution of Inga, a speciose rainforest tree. *Oecologia* 187: 361–376. <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4080-z>

Couvreux TLP, Pirie MD, Chatrou LW, Saunders RMK, Su YCF, Richardson JE, Erkens RHJ (2011) Early evolutionary history of the flowering plant family Annonaceae: steady diversification and boreotropical geodispersal. *Jour-*

*nal of Biogeography* 38: 664–680. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02434.x>

Ehrlich PR, Raven PH (1964) Butterflies and Plants: A Study in Coevolution. *Evolution* 18: 586–608. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1964.tb01674.x>

Endara M-J, Coley PD, Ghabash G, Nicholls JA, Dexter KG, Donoso DA, Stone GN, Pennington RT, Kursar TA (2017) Coevolutionary arms race versus host defense chase in a tropical herbivore–plant system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: E7499–E7505. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707727114>

Marquis RJ, Salazar D, Baer C, Reinhardt J, Priest G, Barnett K (2016) Ode to Ehrlich and Raven or how herbivorous insects might drive plant speciation. *Ecology* 97: 2939–2951. <https://doi.org/10.1002/ecy.1534>

Menezes RPB, Sessions Z, Muratov E, Scotti L, Scotti MT (2021) Secondary Metabolites Extracted from Annonaceae and Chemotaxonomy Study of Terpenoids. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 32: 2061–2070. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210097>

Valencia R, Balslev H, Paz Y Miño C G (1994) High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity and Conservation* 3: 21–28.

Valencia R, Condit R, Foster RB, Romoleroux K, Villa Muñoz G, Svenning J-C, Magard E, Bass M, Losos EC, Balslev H (2004) Yasuni forest dynamics plot, Ecuador. In: Losos E, Leigh EG Jr (Eds), *Tropical forest diversity and dynamism: findings from a large-scale plot network*. University of Chicago press, Chicago, 609–620.

Van Valen L (1973) A new evolutionary law. *Evolutionary Theory* 1: 1–30.

# Las flores olvidadas en el borde de los campos

Por Mayra Coro Ing. Agr<sup>1</sup>., Tatiana Cárdenas M. Sc.<sup>2</sup>, Rommel Montúfar Ph. D.<sup>3</sup>, Olivier Dangles Ph. D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Entomología, Museo QCAZ, Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CEFE, Univ Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, Montpellier, Francia.

<sup>3</sup>Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales / CESAQ, Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, Quito.

(mayriliz090690@gmail.com), (tatiana.cardenas@ird.fr), (rjmontufar@puce.edu.ec), (olivier.dangles@ird.fr)

La agrobiodiversidad es el conjunto de todos los componentes de la diversidad biológica de importancia para la agricultura y el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas. Esta diversidad incluye las variedades de plantas tradicionales y aquellas plantas mejoradas (selección masal e hibridación) a partir de los cultivares tradicionales, los animales domésticos, los insectos y microorganismos asociados a los cultivos. Así como todo el sistema de interacciones humanas con los recursos naturales que mantienen esta diversidad. La agrobiodiversidad contribuye a la producción agrícola a través de numerosos mecanismos como el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, la atracción de polinizadores o la reducción de patógenos.

La intensificación agrícola o green revolution (1960-1980, incremento de la producción en una menor extensión de tierra) es una de las mayores amenazas para la biodiversidad. En las últimas décadas, este proceso agrícola ha generado la destrucción, fragmentación y degradación de los hábitats naturales, favoreciendo la pérdida de la biodiversidad y el empobrecimiento de los servicios ecosistémicos. Los cambios

Los bordes de los campos con vegetación espontánea (nativa y exótica) representan importantes fuentes de recursos para los polinizadores (néctar y polen), y también funcionan como hábitats para enemigos naturales de las plagas que ocasionan daño a los cultivos

en las prácticas agrícolas promovidas por la intensificación han impulsado la aplicación frecuente y abundante de agroquímicos (herbicidas, insecticidas y fertilizantes sintéticos), el laboreo intensivo, reducción de la agrobiodiversidad y la implementación de monocultivos. Este proceso ha derivado en la transformación de bosques primarios y secundarios en áreas con cultivos.

Actualmente, existe el reto urgente de buscar y aplicar soluciones basadas en la naturaleza para revertir los estragos que nos deja una agricultura intensiva, y que garantice la seguridad y soberanía alimentaria, la protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los cuales dependemos todos (Garibaldi *et al.*, 2017).

## La diversidad de plantas en los bordes de los campos con cultivos

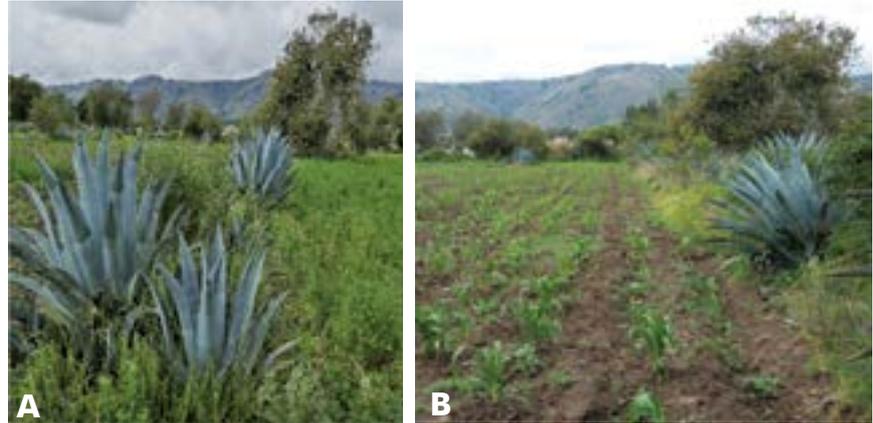
La vegetación espontánea (nativa y exótica) que crece en los bordes de los campos es un componente vegetal importante para proteger la biodiversidad, ya que alberga una importante diversidad biológica que mitiga los efectos de la intensificación agrícola. Esta vegetación de borde, se vincula directamente con varios servicios ecosistémicos como el control de la erosión, la formación y mantenimiento de suelos, la purificación del agua, la regulación de plagas a través de la preservación de insectos benéficos y la polinización (Fernández & Marasas, 2009).

Tradicionalmente, las agricultoras y agricultores “dejan crecer” o cultivan ciertas especies vegetales espontáneas (nativas y exóticas) en los bordes, linderos o zanjas de los campos de cultivos. Estas plantas pueden tener funciones ecológicas

y culturales, como por ejemplo barreras rompevientos para proteger los cultivos, usos medicinales o para delimitar o señalar una propiedad. La reducción de este componente vegetal en el paisaje puede afectar negativamente las funciones mencionadas con consecuencias sobre la productividad agrícola y la sustentabilidad de los agroecosistemas (Fernández & Marasas, 2015) (Fig. 1).

Los bordes de los campos con vegetación espontánea (nativa y exótica) representan importantes fuentes de recursos para los polinizadores (néctar y polen), y también funcionan como hábitats para enemigos naturales de las plagas que ocasionan daño a los cultivos (Bordunale, 2019). Se conoce que hay insectos benéficos involucrados en los servicios ecosistémicos esenciales para la agricultura como la polinización y el control de plagas que interactúan con la diversidad vegetal que se encuentra en los bordes. La disponibilidad de recursos florales, frecuentemente, incrementa la longevidad, fecundidad y capacidad de control de plagas de los insectos entomófagos. La abundancia de los insectos y los beneficios que estos brindan dependen de la cantidad y de la accesibilidad de los recursos vegetales, su diversidad, composición y origen (nativo o exótico; Rojas *et al.*, 2019).

Las plantas nativas, respecto de las exóticas tienen algunas ventajas: (i) ofrecen recursos alimenticios de mejor calidad y durante un periodo más largo por su adaptación a las condiciones climáticas locales (requerimientos hídricos, condiciones del suelo, exposición a la luz solar); (ii) forman parte de la biodiversidad nativa, y (iii) son menos propensas a ser invasivas (Miñarro & Prida, 2013) (Fig. 2).



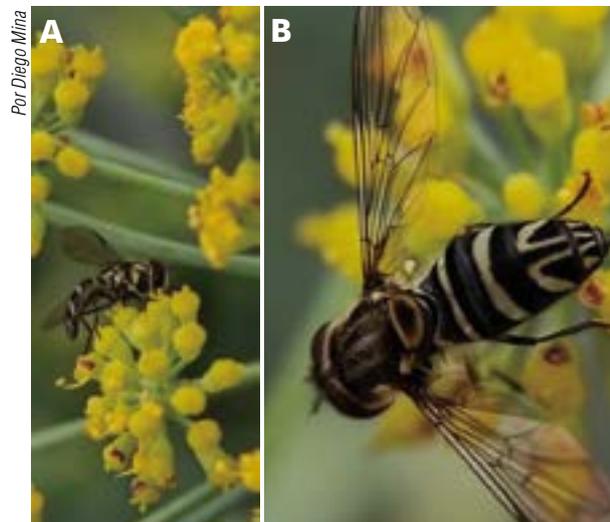
**Figura 1.** Vegetación presente en los bordes de los paisajes agrícolas de la Sierra Ecuatoriana. A. *Agave americana* (cabuya) y *Prunus serotina* (capulí) esquina superior derecha. B. Campo cultivado con *Zea mays* (maíz) con plantas en los bordes.

### Un proyecto participativo para explorar la diversidad de la vegetación de los bordes

El proyecto “Agroecological management of crop insects” (acrónimo AMIGO), constituye una iniciativa transdisciplinaria y participativa con las comunidades agrícolas que cultivan chocho (*Lupinus mutabilis*), en la Provincia de Cotopaxi. AMIGO explora alternativas agroecológicas para el control de las plagas en el cultivo de chocho y así evitar el uso excesivo de pesticidas. Una de las alternativas desarrolladas con las agricultoras y agricultores (mayormente agricultoras) es catalogar la diversidad vegetal, sus funciones ecológicas y la conservación de la vege-

tación presente en los bordes de los campos cultivados para evaluar los potenciales servicios ecosistémicos que esta presenta. Adicionalmente, el proyecto investiga los beneficios socioeconómicos que los agricultores reciben de la vegetación que se encuentra en los bordes de las parcelas y el conocimiento ecológico tradicional y etnobotánico que tienen sobre ellas.

Para conocer la diversidad vegetal que existe en los bordes, se realizó un inventario florístico recorriendo los campos. El inventario se efectuó en seis comunidades de la provincia de Cotopaxi (Cantón Salcedo: Comunidad Carrillo; Cantón Latacunga: Comunidades Guaytacama, Aláquez y Yugshiloma; Cantón Pujilí:



**Figura 2.** A. Insecto benéfico de la familia Syrphidae, tomando néctar en las flores de eneldo (*Anethum graveolens*), plantadas en el borde de un campo (Cantón Pujilí). B. Los sírfidos son importantes en la agricultura porque algunos ayudan en el control biológico de plagas y otros son importantes polinizadores en una amplia variedad de ecosistemas de todo el mundo.

Por Diego Mina

Comunidades La Merced y Cuturivi Chico). Se estudiaron 34 campos (dos bordes por cada campo, total 68 bordes) de las seis comunidades. Los campos estuvieron ubicados en rangos que van desde los 2900 a 3500 m.s.n.m., y con superficies que van desde los 300 a 5000 m<sup>2</sup>.

En los bordes se registraron un total de 97 morfoespecies de plantas, pertenecientes a 70 géneros en 39 familias botánicas. De acuerdo al origen de las plantas se registraron dos especies endémicas de la Sierra de Ecuador (*Erigeron apiculatus*, Figura 3A y *Metastelma purpurascens*, Figura 3B), 52 nativas, 23 introducidas o exóticas y 20 morfotipos. La identificación se realizó mediante literatura taxonómica y bases de datos digitales; asimismo, se contó con el apoyo de fotografías de las plantas utilizando la aplicación iNaturalist. Las familias botánicas más diversas en los bordes son Asteraceae (13 especies), Lamiaceae (5); Fabaceae (3), Brassicaceae (2), (Fig. 3).

Las familias más abundantes en los bordes son: Asparagaceae, Polygalaceae, Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae y Brassicaceae; las cuales son principalmente plantas nectaríferas y poliníferas a nivel mundial a excepción de las familias Asparagaceae y Polygalaceae. Las plantas de estas familias nectaríferas son importantes por su función ecológica en albergar artrópodos que ayudan a controlar las plagas y de proveer alimento a los insectos polinizadores (Fernández & Marasas, 2015) (Fig. 4). Las especies de plantas más abundantes en los bordes de los campos estudiados son: *Agave americana* (Asparagaceae, presente en 34 de los 68 bordes), *Monnina* sp. (Polygalaceae, 34 de 68 bordes), *Baccharis latifolia* (Asteraceae, 29 de 68 bordes), *Medicago lupulina* (Fabaceae; 21 de 68 bordes), *Prunus*



Por Mayra Coro

**Figura 3.** Plantas endémicas presentes en los bordes de los campos de *Lupinus* en los cantones Latacunga y Pujilí. A. *Erigeron apiculatus* (Asteraceae), categoría UICN casi amenazada (NT)), conocida por los agricultores con el nombre de Caballito de siete colores y por sus usos medicinales, B. *Metastelma purpurascens* (Apocynaceae), categoría UICN en peligro (EN). Registradas en El Libro Rojo de las plantas endémicas del Ecuador.

**Las familias más abundantes en los bordes son: Asparagaceae, Polygalaceae, Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae y Brassicaceae; las cuales son principalmente plantas nectaríferas y poliníferas a nivel mundial.**

*serotina* (Rosaceae, 25 de 68 bordes), *Raphanus raphanistrum* (Brassicaceae, 13 de 68 bordes).

#### **Conocimiento etnoecológico de la vegetación en los bordes**

Las agricultoras recuerdan que hace algunos años abundaban plantas que en la actualidad ya no se

encuentran o se las ve con poca frecuencia en los bordes. Una de ellas es *Erigeron apiculatus* (Caballito de siete colores, Figura 3A). Adicionalmente, mencionan que la diversidad de plantas en los bordes está desapareciendo por varias razones: por ejemplo, las agricultoras eliminan estas plantas de sus campos por desconocimiento sobre los beneficios, porque han sido utilizadas como alimento de sus animales o porque los vecinos las desvalorizan. También las eliminan por considerarlas (i) invasivas, (ii) con raíces grandes que pueden afectar a los cultivos adyacentes como es el caso de la chilca (*Baccharis latifolia*), o (iii) por su tiempo de desarrollo prolongado y escaso follaje útil para alimentar a sus animales en la época seca.

A causa de lo descrito, algunas agricultoras prefieren sembrar otro tipo de especies exóticas en los bordes (por ejemplo, *Pennisetum* spp.), para que les provean una importante cantidad de recursos en menos tiempo, para alimentar sus animales en épocas de sequía, para proteger del viento sus cultivos o para proveer materia orgánica o sombra.

Además, las agricultoras mani-



**Figura 4.** Diversidad de plantas registradas en los bordes de los campos de cultivo de chocho. Los bordes en las seis comunidades de Cotopaxi albergan una enorme diversidad de plantas que varían fenológicamente por su hábito de crecimiento, color, olor, tamaño y morfología. A. *Bidens triplinervia*; B. *Baccharis latifolia*; C. *Monnina* sp.; D. *Lavatera* sp.; E. *Agave americana*; F. *Salvia sagittata*.

fiestan que en ocasiones prefieren no tener ciertas plantas porque se vuelven refugios de aves que pueden destruir sus cultivos; sin embargo, otras personas prefieren dejar crecer las plantas para que las aves (colibríes, gorriones), reptiles y anfibios e insectos puedan tener su refugio y sean parte de la naturaleza que les rodea. Adicionalmente, señalan que “los sonidos de las aves son una melodía para sus oídos” e indican que cuando “no hay plantas a su alrededor hasta esos pequeños animales se van o desaparecen”.

En algunos casos, las agricultoras mantienen en los bordes plantas nativas o exóticas porque son de utilidad en su diario vivir. A partir de los 34 campos estudiados (68 bordes), se registraron 97 morfoespecies vegetales, de las cuales apenas 45 fueron reportadas con usos. Las categorías más importantes fue-

ron: medioambiental (36 especies), seguido de alimento para animales (28), y medicinal (25). Con base a las conversaciones con las agricultoras, el número de menciones recurrentes en el discurso fue proporcional al número de especies identificadas para cada categoría de uso. Por ejemplo, en la categoría medioambiental se obtuvieron 189 menciones, las cuales describen su utilización para delimitar linderos, barreras vivas, protección del suelo y sombra para los cultivos; entre las especies más representativas de esta categoría encontramos a *Agave americana*, *Ambrosia arborescens*, *Salvia sagittata* y *Cortaderia* sp.

Dentro de la categoría alimento para animales se obtuvieron 103 menciones, relacionadas a la utilización como fuente de alimento para cuyes, conejos, cerdos, vacas, toros o llamas; entre las especies más re-

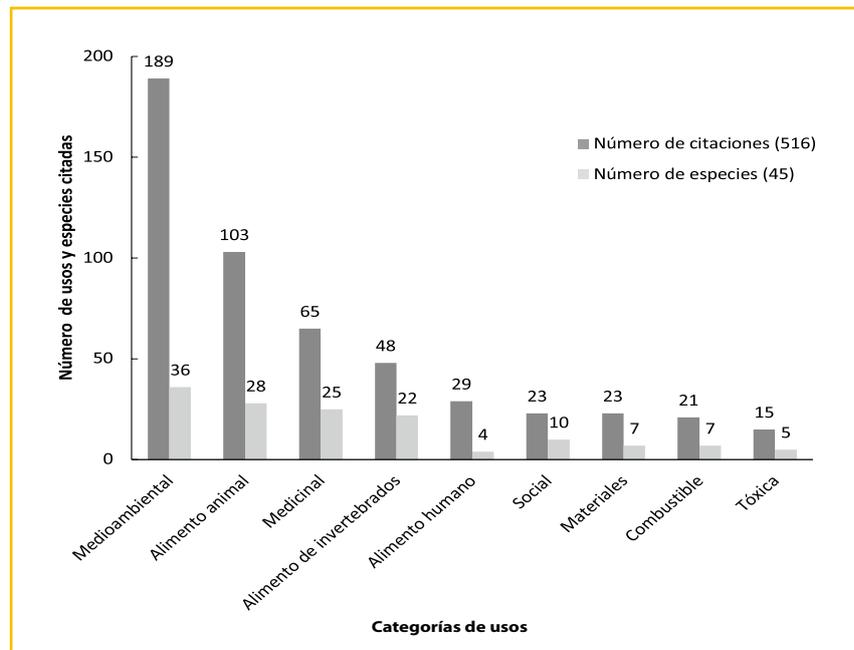
presentativas se encuentran *Lavatera* spp. y *Baccharis latifolia*. Mientras que para la categoría medicinal se obtuvieron 25 menciones, las cuales están siendo utilizadas para tratar diferentes afecciones como malestares corporales, dolencias de los sistemas digestivo, circulatorio, nervioso, inflamaciones o golpes en las personas o en los animales. Entre las especies más representativas hallamos a *Solanum nigrum*, *Taraxacum officinale* y *Bidens triplinervia*. Es importante recalcar que la alta presencia de plantas medicinales convierte los bordes de los campos en una importante reserva de recursos vegetales y de conocimientos para la medicina tradicional (Fig. 5).

Asimismo, la cabuya (*Agave americana*), originaria de México y sur de Estados Unidos y naturalizada en los Andes, es una de las espe-

cies más frecuentes en los bordes. La cabuya es utilizada como alimento del ganado vacuno y porcino. Adicionalmente, de la base de sus hojas se extrae la savia que es base para la elaboración de la tradicional bebida alcohólica conocida como “chaguarmishqui”. Esta bebida se puede consumir fresca o cocida y se le atribuye propiedades medicinales para contrarrestar la artritis.

Otra de las especies frecuentes es el árbol de capulí (*Prunus serotina*), que provee un fruto consumido comúnmente y se utiliza además para engordar cerdos. Décadas atrás, la venta de este fruto representaba un ingreso económico significativo en los hogares de las agricultoras, pero con el pasar de los años esta práctica se ha ido perdiendo debido a que hay otros cultivos que se pueden vender durante todo el año (por ejemplo, chocho, papa, maíz).

Las agricultoras manejan una gran diversidad de especies vegetales en los bordes, que pueden aprovecharlas de diferentes maneras. Sin embargo, no todas las personas reportaron usos de las plantas de los bordes, lo cual podría sugerir una pérdida del conocimiento ancestral y tradicional. La presente investigación no solo reporta la diversidad de los bordes de los campos, sino también impulsa un ejercicio para la conservación de la biodiversidad en los bordes, su valor etnobotánico y su aporte en las funciones ecológicas para los cultivos. Es importante incentivar la transmisión de conocimiento no solo intergeneracional si no horizontalmente entre personas de diversos perfiles dentro y fuera de la comunidad, y recalcar que los cultivos agrícolas pueden beneficiarse de la diversidad vegetal de los bor-



**Figura 5.** Categorías de usos de las plantas que se encuentran en los bordes. Número de usos y especies citadas por parte de los agricultores.

des. La conservación de la vegetación de los bordes, o mal llamadas «malezas», beneficia a las agricultoras, a la agrobiodiversidad y a los insectos de los paisajes agrícolas.<sup>1</sup>

### Literatura consultada

- Bordunale, A. (2019). Abundancia y diversidad de insectos benéficos en la vegetación espontánea de huertas agroecológicas en función de variables a escala local y de paisaje. [B.S. thesis, Universidad Nacional de Córdoba]. pdf. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/11675>
- Fernández, V. I., & Marasas, M. E. (2009). Estudio Preliminar de la Riqueza de Vegetación Arvense en Fincas de Producción Hortícola con Manejo Convencional y Bajo Principios Agroecológicos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 4, n.º 2. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129335>
- Fernández, V. I., & Marasas, M. E. (2015). Análisis comparativo del componente vegetal de la biodiversidad en sistemas de producción hortícola familiar del Cordón Hor-

tícola de La Plata (CHLP), provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114, n.º 3. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/48509>

- Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., & Breeze, T. D. (2017). Farming Approaches for Greater Biodiversity, Livelihoods, and Food Security. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(1), 68-80. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001>
- Miñarro, M., & Prida, E. (2013). Hedgerows surrounding organic apple orchards in north-west Spain: Potential to conserve beneficial insects. *Agricultural and Forest Entomology*, 15(4), 382-390. <https://doi.org/10.1111/afe.12025>
- Rojas, J., Rossetti, M., & Videla, M. (2019). Importancia de las flores en bordes de vegetación espontánea para la comunidad de insectos en huertas agroecológicas de Córdoba, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(1), 249-259.

<sup>1</sup>Carlos Ruales M. Sc., profesor de la Universidad San Francisco de Quito, con experiencia en uso de plantas nativas en sistemas de producción agrícola y en proyectos paisajísticos, colaboró con la identificación de plantas para este artículo.

# El Yasuní: un rey sin corona

■  
 Texto, fotos y mapa por Diego G. Tirira, Ph. D.  
 Fundación Mamíferos y Conservación, Capelo, Ecuador  
 (diegotirira@gmail.com)

**H**ablar del Yasuní es usar palabras mayores. La evidencia científica publicada en la última década demuestra, sin lugar a dudas, que se trata de uno de los ecosistemas naturales con la mayor diversidad biológica del planeta. No obstante, poco se conocía sobre esta riqueza a inicios de la década de 1990. Las primeras exploraciones con rigor científico efectuadas en su territorio, a partir de 1994, cambiaron este panorama y, en poco tiempo, evidenciaron la alta diversidad del lugar, aunque en un inicio solo de forma anecdótica, lo cual llevó a que en ciertos estratos se presente información sin sustento y que se sigue utilizando hasta el presente, como indicaré más adelante.

El Yasuní constituye el mayor bosque húmedo tropical continuo en el Ecuador. Se ubica en el extremo centro oriental del país, dentro de las provincias de Orellana y Pastaza. Sus límites naturales son los ríos Napo, por el norte, y Curaray, por el sur. La mayor parte de su extensión corresponde a dos grandes áreas protegidas: el Parque Nacional Yasuní, creado en 1979, y la Reserva Étnica Waorani, establecida en 1983 como un territorio para el desarrollo y la vida de sus habitantes ancestrales: la cultura Waorani. Ambas áreas naturales, y sus zonas de amortiguamiento, fueron incluidas en 1989 dentro de la lista de re-



Murciélago pescador menor, *Noctilio albiventris*, Río Tiputini.

servas de la biosfera de la Unesco, con una superficie que supera los dos millones y medio de hectáreas.

## Primeros aportes

El naturalista español Marcos Jiménez de la Espada fue el primero en mencionar el nombre de Yasuní en un contexto académico. En la segunda mitad del siglo XIX, visitó Ecuador como parte de la «Expedición al Pacífico», enviada por el Reino de España para recorrer los territorios de sus antiguas colonias. En su travesía por el río Napo, el naturalista capturó un murciélago pescador menor (*Noctilio albiventris*) en la bocana del río Yasuní. Este ejemplar, recolectado en 1865, todavía se conserva en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid y es, hasta donde conozco, el más antiguo espécimen científico procedente del área que nos ocupa.

Durante los siguientes ciento veinte años existieron pocas contribuciones al conocimiento de la riqueza biológica del Yasuní. Las esporádicas expediciones científicas, lideradas por los principales museos de Europa y Norteamérica, efectuaron colecciones solo a lo largo de sus límites naturales: los ríos Napo y Curaray, además de contadas capturas y registros aislados en los ríos Cononaco y Tigüino, en la parte sur de nuestra área de interés. Este vacío de conocimiento tenía una razón de ser: el Yasuní era habitado por un grupo de indígenas que no había entrado en contacto con el mundo occidental y cuya reputación de guerreros había causado, en no pocas ocasiones, enfrentamientos y muerte de quienes habían querido acercarse a su territorio. Eran los temidos «aucas», un nombre peyorativo con el que se conocía a los waoranis.

## El petróleo y la vía Maxus

El descubrimiento de petróleo en el corazón del Yasuní llevó a que el gobierno ecuatoriano, a inicios de la década de 1990, concesione el área en dos bloques para la explotación de dicho recurso, denominados 16 y 67. Para facilitar las actividades hidrocarburíferas en estos bloques se construyó una carretera desde la orilla meridional del río Napo, en la comunidad de Pompeya Sur, para extenderse por más de ciento cuarenta kilómetros (incluidos todos sus ramales) y atravesar el Parque Nacional Yasuní. Así nació la vía Maxus, como se la conoció en un inicio debido al nombre de la empresa adjudicada.



La carretera que cruza el Yasuní, antes conocida como vía Maxus.

Desde un primer momento, esta obra fue polémica y tuvo numerosos detractores debido a que ingresaba en una de las zonas mejor conservadas y más sensibles del Ecuador, pues cruzaba por territorio Waorani, el grupo indígena menos conocido y más emblemático y complejo del país, cuyo contacto con el mundo occidental apenas se remontaba a un par de décadas atrás.

Tuve la oportunidad de visitar por primera vez el Yasuní al inicio de la construcción de la vía Maxus, hoy conocida como carretera Pompeya Sur-Iro-Ginta. Transcurría

1994 y me encontraba en último año de la carrera de Biología. Fui invitado a unirme a un grupo de cuatro herpetólogos para realizar un estudio sobre la diversidad de anfibios y reptiles del Parque. Una de las noches más emblemáticas de aquella salida, que ha quedado grabada en mis recuerdos, fue en los alrededores de Capirón, una de las futuras plataformas petroleras. La perforación del pozo estaba en su apogeo y no se podía detener. Era un trabajo continuo que tomaba día y noche. El bullicio del taladro, la operación de las grúas y los numerosos reflectores, me recordaban aquella noche a un parque de diversiones y distaba mucho de un área protegida.

Mientras esto ocurría y en medio de una pertinaz llovizna recorrí los alrededores con los colegas herpetólogos.

Cerca de la medianoche y cuando la lluvia había menguado, me reuní con mis

compañeros para revisar los ejemplares que cada uno había capturado. Más de cincuenta individuos de nada menos veinte especies de anfibios, entre ranas, salamandras y un cecílico; además de siete reptiles, incluidas una especie de cocodrilo enano, una de tortuga y varias lagartijas y serpientes. Nunca había visto tanta variedad de especies en un solo lugar. Todos los órdenes herpetológicos que posee el país registrados en una sola noche y catorce familias en total. Era evidente que el Yasuní albergaba una riqueza inusual que esperaba ser estudiada.



Una hembra de la rana granosa (*Boana cinerascens*), un habitante de los bosques del Yasuní.

## Los mamíferos, un buen ejemplo

Con frecuencia he visto textos en libros, páginas electrónicas y panfletos en donde se menciona que el Yasuní posee más de 200 especies de mamíferos. ¡Falso! Tan falso como un murciélago de color rosa. De acuerdo con la información que dispongo y que he depurado durante la última década, hasta el momento, en los bloques 16 y 67 que operan en el Yasuní y su área de influencia, se han registrado 180 especies de mamíferos; número que se incrementa a 184 cuando incluyo toda la información disponible para la Reserva de la Biosfera Yasuní. A pesar de ser un número inferior al promocionado, estos valores constituyen la mayor riqueza de mamíferos que se haya documentado en toda la región Neotropical y, seguramente, también para cualquier otra localidad del planeta.

Para entender esta alta riqueza realicé una búsqueda exhaustiva de las localidades con la mayor diversidad de mamíferos en la región Neotropical (tabla 1); aunque esta

información requiere ser actualizada para todas las localidades, destaca el alto número de especies de mamíferos registrados en el área del Yasuní. Otra zona de alta diversidad es la Reserva de Biosfera del Manu (que incluye el Parque Nacional del mismo nombre), en el sureste de Perú, con 170 especies de mamíferos dentro de lo que corresponde con la Amazonía baja (entre su límite inferior, a 340 m, y 600 m de altitud), aunque el conteo total para esta reserva es de 222 especies, si se incluye todo su rango altitudinal, que supera los 3500 m sobre el nivel del mar.

Otros bosques biodiversos en la cuenca amazónica son las zonas reservadas de Cuzco Amazónico y Balta, también en el sureste de Perú y, dada la cercanía con la Reserva de la Biosfera del Manu, formarían una sola unidad biogeográfica. Otras localidades con alta riqueza de mamíferos se encuentran en la

Amazonía oriental y en el escudo guyanés, entre ellas destacan, por su número de especies, el Parque Nacional Canaima, en Venezuela, con 151, y Paracou, en Guayana Francesa, con 141.

Los murciélagos forman el grupo de mamíferos con la mayor diversidad en el neotrópico; de ellos, en el área de los bloques 16 y 67 se han registrado nada menos que 88 especies. Esta es la mayor riqueza de quirópteros conocida para toda la cuenca amazónica y para la región Neotropical. Sigue en importancia la localidad de Iwokrama, en Guyana, con 86.

Otro grupo diverso en la región son los roedores, con 31 especies en el área del Yasuní. Esta es la segunda mayor diversidad conocida para cualquier localidad en la región Neotropical, después de la Reserva de Biosfera del Manu, con 34.

Los órdenes de los carnívoros y los pilosos (perezosos y osos hormi-



El murciélago con visera (*Sphaeronycteris toxophyllum*) es una de las especies más raras del país, únicamente conocida por pocos registros. Todo en el área del Yasuní.

gueros) registran en el área del Yasuní un total de 16 y 6 especies, respectivamente. En ambos casos, se trata de la riqueza más alta que se conozca para cualquier localidad neotropical. Solo el Parque Nacional Canaima, en Venezuela, y la Reserva de Biosfera del Manu, en Perú, alcanzan un número similar de carnívoros, pero no de perezosos ni osos hormigueros. Algo similar ocurre con los marsupiales, cuya riqueza en el Yasuní es la más alta dentro de la región Neotropical (con 15 especies), número que solo es igualado por la Reserva de Biosfera del Manu.

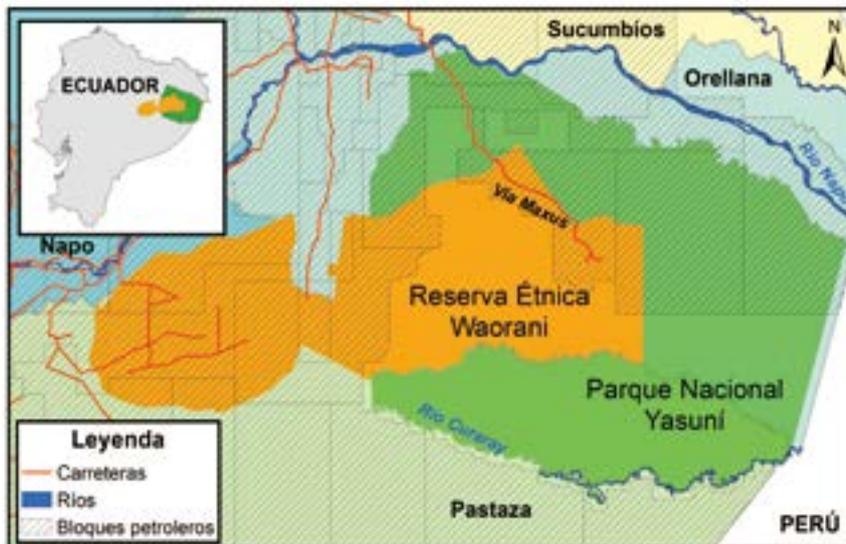
La riqueza de primates también es alta, con 12 especies, apenas superada por las reservas de Biosfera del Manu y Cuzco Amazónico, ambas en Perú, con 14 y 13 especies, respectivamente. La localidad con la mayor riqueza de primates en el neotrópico es el río Juruá bajo, en Brasil, con 15 especies.

**Tabla 1.** Localidades con la mayor riqueza de mamíferos en la región Neotropical.

Orden	Yasuní	Otras localidades neotropicales								
	(bloques 16 y 67)	AR	BA	BR	CA	CU	IM	IW	MA	PA
Didelphimorphia	15	11	11	10	11	10	7	7	15	11
Sirenia	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cingulata	3	3	4	4	4	1	3	2	2	4
Pilosa	6	5	5	5	4	4	5	2	5	5
Primates	12	7	10	8	5	13	3	5	14	6
Rodentia	31	24	24	22	29	26	17	15	34	21
Lagomorpha	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
Chiroptera	88	61	56	58	74	54	78	86	77	79
Carnivora	16	13	15	13	16	15	12	8	16	10
Perissodactyla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Artiodactyla	4	4	3	4	5	5	3	4	5	4
Cetacea	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Número de especies	180	129	130	125	151	130	130	130	170	141

Otras localidades: AR = Arataye (Guayana Francesa). BA = Balta (Perú). BR = Brownsberg (Surinam). CA = Parque Nacional Canaima (Venezuela). CU = Cuzco Amazónico (Perú). IM = Imataca (Venezuela). IW = Iwokrama (Guyana). MA = Parque Nacional del Manu, incluye Cocha Cashu y Pakitza (Perú). PA = Paracou (Guayana Francesa).

**Fuentes:** Datos tomados de Tirira *et al.* (2019), Monitoreo Biológico Yasuní; y Tirira (2022), Red Noctilio, en donde se indican las fuentes originales.



Mapa del Yasuní, que incluye las áreas protegidas que lo componen y los bloques petroleros en su interior.

Otras particularidades: dentro de las 10 localidades con la mayor diversidad de mamíferos en la región Neotropical, el manatí amazónico y las dos especies de delfines del Amazonas solo están presentes en el Yasuní; mientras que el Parque Nacional Canaima, en Venezuela, es el único que registra una especie de delfín.

Estos datos indican que, si se considera toda la diversidad de mamíferos o solo un grupo representativo, como el orden Chiroptera, las cifras demuestran que el área del Parque Nacional Yasuní y la contigua Reserva Étnica Waorani constituyen la zona con la mayor riqueza biológica dentro de la región Neotropical y, posiblemente, también en el planeta.

### Otros ejemplos

Análisis similares se pueden presentar para otros grupos bióticos. Los resultados de esta alta riqueza indican la presencia de 566 especies de aves, 121 de reptiles, 136 de anfibios, 303 de peces, además de varios miles de especies de invertebrados, entre ellos, apenas se han nombra-

do 2204 especies de insectos y 76 de arañas.

Y si hablamos de especies nuevas para la ciencia, el Yasuní ha contribuido con más de 170 tipos para la descripción de nuevos taxones, entre ellos 163 de insectos y cuatro de mamíferos. Este es un resultado obtenido del análisis de apenas una pequeña fracción de las muestras recolectadas durante los últimos 28 años, por lo cual debemos esperar muchas más especies nuevas en el futuro.

### Un rey sin corona

La mayor distinción que puede recibir una localidad en el planeta es ser declarada como un Patrimonio Mundial de la Humanidad. Una forma de evaluación propuesta por la Unesco en 1972 y que hasta el momento ha inscrito a más de mil cien lugares en todo el planeta, entre ellos, en 1978 entregó sus primeras distinciones a dos localidades ecuatorianas: las islas Galápagos y el centro histórico de Quito.

Para que un sitio ingrese dentro de este listado «debe tener un valor universal excepcional y cumplir al

menos uno de los diez criterios de selección». El Yasuní podría cumplir, si es justificado debidamente, hasta tres criterios, entre ellos, el criterio X calza perfecto: «contener los hábitats naturales más importantes y significativos para la conservación *in situ* de la diversidad biológica, incluidos aquellos que contienen especies amenazadas de valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia o la conservación.» En este escenario, el Yasuní no solo es el hogar de una de las mayores riquezas biológicas conocidas, también es el refugio de numerosas especies amenazadas por la extinción de acuerdo con la clasificación global de la Lista Roja de la UICN (2022), entre ellas 11 especies de mamíferos.

Entonces, ¿qué ocurre? ¿Por qué el Yasuní no ha sido inscrito dentro de este selecto grupo? Primero, quizá por el desconocimiento de las autoridades locales sobre cómo llevar a cabo un proceso de declaratoria del Yasuní como un Patrimonio Mundial; y segundo, y al parecer el más determinante, debido a lo complejo del escenario, al tratarse de un área con importantes yacimientos petrolíferos que han sido concesionados a empresas nacionales y extranjeras para llevar a cabo dicha extracción (en los actuales momentos hay siete bloques petroleros en operación dentro de los límites del Parque Nacional y muchos más en el área que corresponde a la Reserva de Biosfera del Yasuní) (ver infografía).

En este escenario, el Estado ha tenido que decidir entre la rentabilidad que le ofrece el Yasuní frente a su conservación. Es evidente que las grandes billeteras ganan, al menos de momento. Hasta tanto, el Yasuní seguirá siendo un rey sin corona.

# Un zoológico, ¿para qué?

Por Martín Bustamante  
Fundación Zoológica del Ecuador  
mbustamante@quitozoo.org

Tengo un trabajo que es el sueño de niñas y niños, pero también el de mucha gente adulta. Las personas estamos ligadas a los animales desde siempre, y en algún momento de la vida nos despierta un amor loco por dinosaurios, osos, jaguares, bichos, perros, gatos y otros animales. Esto puede ser al inicio muy emocional o un poco más racional conforme pasa el tiempo. Desde un zoológico vivo a diario las emociones por los animales que surgen en mí o en otras personas, aunque a veces también tengo que trabajar desde la razón. El tiempo en un zoológico se divide en cómo la razón le arranca momentos a la emoción y viceversa.

El término zoológico se viene usando por casi dos siglos para denominar a entidades que han mudado sustancialmente en las últimas décadas. Los zoológicos en el mundo han transformado su operación desde la exhibición de animales de ultramar como rarezas en una idea de la modernidad por popularizar el conocimiento de la naturaleza exótica. Un símil con escaparates de joyas de otras latitudes, siempre bajo la perspectiva de que esos animales afirman un capital simbólico de dominio y posesión de las naturalezas. Hoy por hoy, los zoológicos son un motor importantísimo que canaliza anualmente unos 400 millones de dólares para asegurar la persistencia de especies y hábitats.



Por Andrés Reinoso, QuitoZoo

El cuidado de la salud animal en zoológicos brinda constantemente la oportunidad de realizar procesos novedosos y a partir de ello desarrollar experiencia.

Los zoológicos y sus variantes son lugares donde ocurre un importante desarrollo de tecnología y capacidades. La experimentación a través de la prueba y el error funciona para conservar especies, quizás de un manera más práctica que algunas de las dilatadas discusiones de la agenda global donde hay más manos sobre los recursos que en el trabajo sobre los problemas ya identificados. La fuerza de los zoológicos ha conseguido algunos hitos a nivel global como la resurrección del caballo de Przewalski, el cóndor californiano, otros como el del lince ibérico, un caso en el que la acción en zoológicos coadyuva a un plan mayor. En nuestra órbita más cercana está Súper Diego, el macho de la tortuga gigante de Galápagos (*Chelonoidis hooden-*

*sis*) que regresó desde el Zoológico de San Diego (EE.UU.) para hacer base en el centro de reproducción y crianza de Santa Cruz y emprender un frenético programa junto a cinco hembras para repoblar la isla Española. El trabajo colaborativo a partir de este individuo proveniente de Zoológico, más el desarrollo de las tecnologías propias por parte de Galápagos Conservancy y el Parque Nacional, miran ahora a los juveniles de esta especie en su hábitat, donde también deambula Súper Diego. A esto último habrá que sumar muy pronto un creciente número de anfibios que han sido rescatados por programas de conservación *ex situ*, ámbito en el que Ecuador también tiene un potente desarrollo tecnológico a puertas de generar resultados.

## En el paraíso de la biodiversidad y el tráfico de vida silvestre

Si hay un lugar en el mundo donde los zoológicos son particularmente necesarios, es Ecuador. Son varias las razones que le dan sentido a estas instituciones en nuestro país. La ocurrencia de una altísima biodiversidad que convive junto a poblaciones humanas en situación de pobreza, convierte a esos animales en moneda de cambio para satisfacer necesidades del día a día. El tráfico y el “masco-tismo” se nutren de animales que pasan de mano en mano hasta que llegan a la autoridad ambiental. Ellos son parte del patrimonio natural del Estado (la riqueza de nuestra sociedad) y por ello se debería sancionar a quien, a través de la tenencia de vida silvestre, comete un delito. Desde que se tipificó el delito, en 2014, tan solo unos 100 casos han sido sancionados, mientras que más de 20 mil marcan una descarada impunidad.

Cuando no se identifica a quien comete un delito, el Estado debe asumir la responsabilidad de reparar a las víctimas de la vulneración. El Estado no ha destinado recursos económicos, tiempo o transferencia de capacidades para que se trabaje en la reparación de esos animales vulnerados, ni en los 100 casos sancionados ni en los otros 20 mil registrados desde la tipificación. Esta omisión estatal, que constituye una renuncia a sus obligaciones, provoca dolor e impotencia.

A pesar del tortuoso devenir, en el país también se establecen esfuerzos interesantísimos por la conservación de especies amenazadas. El mejor ejemplo es el del cóndor andino, con un plan de manejo cooperativo entre 6 instituciones, a partir de las únicas cinco hembras reproductivas (coincidencia) se ha con-

formado un programa de reproducción, desde 2018, con la intención de brindar refuerzo a las poblaciones silvestres cuando haya más certezas en el medio natural respecto a las amenazas actuales para la especie. El plan ya ostenta resultados y 3 de esas 5 posibles parejas ya muestran frutos concretos con pichones y huevos resultantes y otras dos están etapa de consolidación. De esta manera, hacia mediados de siglo se podrá empezar a tener una población bajo cuidado humano que reinserte a los cóndores en el páramo con consideraciones técnicas más profundas de las que tenemos hoy. Así, pues, continuaremos un camino que empezó en 2016 con las primeras reintroducciones de cóndores nacidos para este propósito, y que no funcionó del todo bien en ese momento, pero que sin duda tuvo el acierto de habernos dejado una dolorosa lección.

## Una historia de pandemia junto a un viejo sabio

La frustración frente a la imposibilidad de que el cuidado animal sea visto como una prioridad que requiere capacidades técnicas se borra rápidamente por los desafíos diarios de la cotidianidad, cada animal que llega viene con un montón de signos de interrogación, pero también de gratificaciones. En los

primeros meses de pandemia, cuando todavía estábamos marcados por el toque de queda que nos encerraba a las 14h00, en ese tiempo las calles desoladas parecían un escenario de apocalipsis.

En esos días aciagos de mayo de 2020, terminando la tarde, ya encerrados en casa, en pleno transcurso de un webinar junto a estudiantes de veterinaria, recibí una llamada que alertaba de un cóndor que necesitaba ayuda en la zona de Iguinero, parroquia de El Quinche. Siempre caben dudas, pocas semanas atrás alguien había confundido un gallinazo con un cóndor en un edificio en Quito. Cierre abrupto de la conexión porque las tres personas del Zoológico que estábamos en el evento virtual salimos corriendo a buscar el maletín de primeros auxilios y materiales para el rescate. Una escena surreal tenía al cóndor en pie, sobre un montículo de piedras para construcción en medio de un patio central. Alrededor, dando las espaldas a sus casas, hacían círculo unos 30 familiares de quienes rescataron al cóndor y lo miraban con ternura, asombro y expectativa. Mientras tanto, David, el veterinario, llamaba para planificar la mejor manera de llevar una noche de velada.

Llegada la medianoche ya habíamos confirmado que el animal tenía

Por Martín Bustamante, QuitoZoo



Iguinero, cóndor macho, fue liberado después de un mes de rehabilitación en el Zoológico de Quito.

un perdigón y una herida poco profunda. Empezamos un tratamiento de restablecimiento para luego seguir a la rehabilitación con miras a una reinserción. Asistir a este cóndor en medio de ese panorama fue un proceso que nos dejó muchas enseñanzas. El cóndor Iguíñaro trajo consigo una mística que se quedó en el equipo de trabajo del zoológico de Quito. Un mes más tarde, junto con otros profesionales y técnicos del Grupo Nacional de Trabajo del Cóndor Andino, habíamos evaluado que era oportuno intentar la liberación de Iguíñaro. En esa acción se ponían en juego los valores de cuidado, conservación y educación ambiental que trabajamos desde el Zoológico.

La historia de Iguíñaro no acabó del todo bien, porque tres meses después de su liberación, el rastreador satelital colocado a este animal por el equipo de la Fundación Cóndor Andino emitió la señal de alerta tras encontrarse en el mismo sitio por varios días. Iguíñaro había muerto. Recogimos una lágrima tras de otra. Fue una enseñanza enorme para un equipo de trabajo que reafirmó su compromiso con valores en la vida animal, pero especialmente con los cóndores, como lo ha hecho el Zoológico de Quito desde el día que arrancó sus operaciones. Iguíñaro era un cóndor viejo, eso dejaban ver las carúnculas y arrugas en su rostro, tenía una actitud calmada frente a la vida, estos carroñeros suelen ser más agresivos, y nos fue llevando por un camino que necesitábamos recorrer (... o volar).

### Liberaciones, reintroducciones y emociones

Un año después, otro cóndor generaba noticias. Un caso parecido, macho adulto, perdigones en su cuerpo. Esta vez provenía de Imba-

bura, en la zona alta de las comunas del lago San Pablo, más específicamente Gualabí. El Cóndor rescatado por la Fundación Cóndor Andino fue trasladado al Zoológico para sus primeras evaluaciones y tratamiento. Después de algunos días de estabilizar al cóndor se programó la cirugía de extracción de los perdigones. Para este propósito se realizó una cirugía novedosa en cóndores por medio del método de fluoroscopia para extirpar perdigones de la manera menos invasiva posible. La cirugía y los procesos concatenados de rehabilitación funcionaron bien. Esta vez desarrollamos un protocolo mucho más meticuloso para empezar a planificar su liberación. La pandemia seguía y en el largo proceso de rehabilitación de casi 6 meses hubo nuevos momentos de crisis sanitaria, con rebrotes, nuevas dificultades logísticas y el fantasma de Iguíñaro que nos llevaba a preguntarnos a cada rato las mismas cosas. Gualabí fue liberado en septiembre de 2021 en una zona cercana a donde fue encontrado. El proceso involucró a más de 30 personas y costó sobre los 22 mil dólares. Su rastreador continúa relatando por donde se mueve este animal que prefiere las zonas orientales de Pichincha, aunque también vuela hacia Imbabura, Napo y el norte de Cotopaxi.

En el mismo camino, Gualabí e Iguíñaro compartieron tiempo con Kayambi y Chitachaca, un par de cóndores juveniles que son hermanos, rescatados del mismo nido en el cantón Cayambe, cada uno con un accidente diferente. Ahora estos juveniles comparten espacio en la exhibición del Zoológico junto a Toa e Illapa, ambos nacidos en la hacienda Zuleta, a partir del plan de reproducción *ex situ* de cóndores que se formuló en 2018. Illapa,

el macho más joven de este cuarteto, es hijo de Ayu e Inti, adultos de edad media afincados en Zuleta desde hace varios años. El árbol genealógico de Ayu nos lleva a recordar que ella es hija de la pareja de cóndores que vivían en el antiguo zoológico del Colegio Militar en Quito. Ayu luego fue transferida temporalmente hasta Guayllabamba para finalmente pasar a Zuleta desde inicios de este siglo.

### Otros animales y más emociones

Se van quedando por fuera los relatos detallados con otros taxa, pero brevemente quiero mencionar el caso un mono araña de vientre amarillo (*Ateles belzebuth*), y cómo el entrenamiento por refuerzo positivo permite que este animal tenga interacciones válidas con las personas que lo cuidan; aunque este joven (sus padres fueron incautados a un circo en Puyo y la hembra grávida alumbró en otra institución zoológica en esa localidad de Pastaza) recién está a la vista del público, el trabajo constante de más de un año le asegura bienestar e inserción en la tropa de chorongos.

También el caso de una cría hembra de venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) que llegó a sus tres semanas de edad con la necesidad de lactar a cada momento a partir de madres o padres sustitutos que le brindáramos un biberón con leche de cabra. Largas madrugadas del equipo de cuidado animal le aseguraban tres tomas nocturnas para empujar su crecimiento. Hoy, come sólidos y no necesita leche en la noche; una vez que alcance mayor tamaño se unirá a los otros venados que están en el zoológico. Hacer de nodriza de esta venadita, me hizo notar que hace rato perdí la práctica en la asistencia de crianza (mis guaguas ya están grandes).

Los animales gerontes requieren revisiones periódicas y acompañamiento continuo. Este es el oso Pablo en uno de sus últimos chequeos, meses antes de su muerte asistida.



Por Martín Bustamante, Quito Zoo

También hay momentos de los otros, como cuando se debe tomar la decisión de muerte asistida para animales emblemáticos, icónicos de la vida del Zoológico, como cuando por sus edades avanzadas y el consecuente deterioro del estado de salud hubo que promover una muerte humanitaria del jaguar Felipe o del oso Pablo. La muerte es una discusión incómoda, pero necesaria en un zoológico. Estos casos se suman a varios otros en que por las lastimaduras y lesiones graves que acarrear los animales a su llegada o por ser portadores de enfermedades transmisibles que podrían gatillar decesos de grupos enteros de la población del Zoológico (no hacer guiños a SARS-Cov2), asistimos su muerte. El trabajo con animales silvestres, especialmente si estos son rescatados o tienen algún tipo de lesión, debe ser altamente técnico, pero especialmente ético.

### Un espacio para la formación

Luego de que la pandemia nos dejó evidencia de que el mundo digital es virtualmente posible, los zoológicos nos regresan a nuestra esencia animal. Espacios abiertos, aire libre, contacto con los animales y las emociones que ellos despiertan en las personas que los visitan son irremplazables, generan empatía hacia la vida silvestre y marcan un camino que levanta co-

razones y razones. Cada año, unos 700 millones de personas van a zoológicos a nivel mundial buscando esas experiencias que no pueden alcanzarse en el mundo virtual. En Ecuador esta cifra no está contabilizada pero informalmente estimamos que 1'600 000 personas pasan por estos lugares cada año (casi un 10 % de la población nacional). Lo que se dice y lo que se hace en un zoológico resulta especialmente importante para proponer la construcción de una nueva manera ciudadana en la que la gente sea parte de la vida silvestre (el respeto estaría incluido).

Finalmente, el camino de salida del Zoológico está lleno de gente con un montón de preguntas, me resultan especialmente atractivas las que hacen los guaguas. Algunas de ellas, con desesperación, bus-

can saber de la vida de cada animal para encontrar las similitudes con la propia vida humana. ¿Cómo duermen, a qué hora hacen popó, cómo saber si al león le duelen las muelas, qué pasa si un animal no se come toda la comida? Esos diálogos también promueven interacciones a través del juego y en el Zoológico invitamos a los guaguas para que nos ayuden a bailar como *uilli uillis* moviendo la colita, y así llamar a los adultos a que se junten y reírnos unos de otros de las formas ridículas que tenemos de ser como estas ranas marsupiales que viven en este bucólico Quito. No importa, ahora somos un poco más animales y no lo vamos a olvidar.

Me había olvidado de manifestar que el trabajo de los zoológicos en Ecuador está marcado por el carácter autóctono de casi todas las poblaciones que se manejan. Esta es también una de esas marcas que hacen necesaria la existencia de los zoológicos en nuestro país, así podemos desarrollar tecnología y capacidades a la medida de nuestra realidad. Por eso no hay rinocerontes, jirafas, chimpancés u orangutanes, como en otros zoológicos de la región. En la salida un niño me dijo: señor, señor, ¿dónde está el hijuepútamo?



Por Andrés Reinoso, Quito Zoo

Un grupo de niños y niñas recorre la exhibición de la rana marsupial andina.

# Vampiros, vasijas y leyendas: representaciones de murciélagos en las culturas prehispánicas del Ecuador

Por Ph. D. María Fernanda Ugalde<sup>1</sup> y Ph. D. (c) M. Alejandra Camacho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Arqueología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<sup>2</sup>Sección Mastozoología, Museo de Zoología QCAZ, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.  
(mfugalde@puce.edu.ec) (macamachom@puce.edu.ec)

La leyenda del conde Drácula se remonta a un personaje histórico del siglo XV, pero su conversión en un conde-vampiro es una ficción literaria del siglo XIX. Entre los superhéroes y dibujos animados encontramos hoy en día también a numerosos personajes, masculinos y femeninos, inspirados y relacionados con murciélagos. Drácula pasó la posta a Batman, quien tuvo la corona por varias décadas como el misterioso hombre-murciélago solitario que vive bajo sus propias leyes en su sombría casa-cueva. De alguna manera, si bien es un héroe y un personaje que lucha por el bien y el cumplimiento de la justicia, su vida está marcada por la obscuridad de su triste pasado. De esta manera, la obscuridad del entorno vital de los murciélagos parece adoptarse como metáfora de un sino de vida triste para el melancólico superhéroe de ciudad Gótica. Esta percepción de los murciélagos con su asociación forzosamente ligada a la melancolía parece haberse disipado en el imaginario de los creativos de las historias. Hoy en día, no solo el misterio de los seres-murciélago nos atrae, sino que las productoras de cine y televisión también nos muestran su lado amable, y nos acercan más a ellos, a través de personajes como Vampirina y familia o los adorables

...con sus más de 1400 especies en el mundo, los murciélagos constituyen el segundo orden más diverso de mamíferos.

Drac y familia de un caótico Hotel Transilvania, donde bien podríamos reconocer los dramas cotidianos de nuestras propias familias.

Pero, lo que tal vez es menos conocido es que la fascinación por los murciélagos no es una novedad de nuestra época ni de las sociedades occidentales ni contemporáneas. Varias sociedades de las Américas precolombinas compartían también esta fascinación, como se ve a través de varias líneas de evidencia material y otros testimonios antiguos.

## La fascinación por los murciélagos y sus particularidades

El imaginario sobre los murciélagos parece haberse concentrado más en unas sociedades que en otras; incluso, pudo haber estado ausente en algunas; sin embargo, en aquellas

donde sí existió, es probable que hubiera una correlación entre la representación de los murciélagos en el arte y su abundancia en la naturaleza (Benson 1976). Y es que, con sus más de 1400 especies en el mundo, los murciélagos constituyen el segundo orden más diverso de mamíferos. En Ecuador, la cuenta de especies asciende a 174; por lo tanto, no es de extrañar que estos animales hayan sido, y continúen siendo, parte importante del legado material de varias culturas.

La anatomía e historia natural de los murciélagos ha proporcionado siempre una rica base para la mitología y el simbolismo. Los murciélagos son los únicos mamíferos que vuelan y esta habilidad, junto a la de navegar en la oscuridad con un sistema acústico de orientación conocido como ecolocalización, les ha convertido, por un lado, en un grupo altamente diverso, pero por otro, en protagonistas de leyendas misteriosas. En vuelo, todos los murciélagos poseen una silueta similar dominada por la extensión de las alas, aunque varían considerablemente en tamaño. En Ecuador, las especies más pequeñas tienen una longitud alar de alrededor de 17 cm, longitud del cuerpo de aproximadamente 3,5 cm y pesan entre 2,4 y 5 gramos, mientras que la especie más grande, *Vampyrum spectrum*, tiene una longitud alar de más de 60 cm, una longitud corporal de entre 12 y

17 cm y un peso de hasta 235 gramos (Brito *et al.* 2021).

Los murciélagos también varían en su pelaje y en la apariencia de sus rostros. Varios colores, texturas y diseños componen la cubierta de pelo, mientras que complejos adornos carnosos en el rostro, confieren singularidad entre las familias. Aunque aún no se ha determinado la función exacta de estos accesorios faciales, los científicos creen que pueden ayudar a dirigir las llamadas de ecolocalización emitidas. Colas y membranas entre las patas pueden variar también, tal vez como adaptaciones a los hábitos de alimentación, vuelo y descanso. Finalmente, la gran mayoría de los murciélagos descansan colgados de ramas o en las paredes de sus refugios de manera que las alas se pliegan y cubren el cuerpo e incluso los rostros, confiriéndoles cierto misterio.

Estas características fenotípicas de los murciélagos fueron bien observadas y entendidas por los artistas precolombinos. Ya sean representaciones animales o antropomorfas, que eran comunes, estas mostraban seres con orejas largas, boca abierta con dientes afilados, alas prominentes, garras en las patas, ojos grandes, cuerpos pequeños, piernas delgadas y, curiosamente, unas hojas nasales en forma de punta de lanza, una característica notoria de la familia Phyllostomidae, la más diversa del Neotrópico.

A excepción de unas pocas familias en el viejo mundo, los murciélagos son de hábitos nocturnos. La noche, para algunas sociedades americanas, representaba el tiempo de la muerte y los murciélagos los verdugos que, con afilados dientes y poderosas garras, mataban a sus presas sin ser detectados. En cuanto a sus refugios, los murciélagos pueden descansar en una variedad de ellos; sin embargo, son las cuevas el escondite que en la mitología se asocia a una relación de

los murciélagos con lo vivo y lo muerto; es decir, con el inframundo (Benson 1976).

Pero, así como les temían, también les reverenciaban. Para ciertas sociedades en las Américas, algunas especies eran consideradas como dioses de la lluvia y la fertilidad. Se creía que, al salir de las cuevas en busca de insectos, los murciélagos llevaban agua para nutrir los cultivos y que sus cuerpos contenían la esencia de la vida misma (McCraken, 1992).

Ya en épocas contemporáneas, algunos mitos y leyendas atribuyen maravillosas propiedades mágicas a los murciélagos y les asocian con la buena suerte.

Ya en épocas contemporáneas, algunos mitos y leyendas atribuyen maravillosas propiedades mágicas a los murciélagos y les asocian con la buena suerte. Las preparaciones medicinales que utilizan murciélagos son innumerables y se han recomendado para curar algunas. Los curanderos populares prescriben una gran variedad de preparaciones de murciélagos para problemas de visión, seguramente por su capacidad de “ver bien” en la oscuridad. Se dice, además, que otras medicinas populares de murciélagos son remedios para mordeduras de serpientes, asma, tumores, epilepsia, ciática, fiebres, un parto sin dolor o para promover la lactancia (McCraken 1992).

## Murciélagos en el Ecuador prehispánico: De Atahualpa a la cultura Chorrera

A más del oro y otros metales preciosos, los textiles cuentan entre los objetos que más llamaron la atención de los conquistadores españoles que primero pisaron el continente americano. Así lo evidencian una serie de documentos históricos tempranos, en los que han quedado testimonios de cronistas y algunos conquistadores mismos, que relatan maravillados sobre los magníficos telares de finos hilos y texturas de diversa procedencia y confección. Los cumbicamayoc eran especialistas que solamente confeccionaban, por ejemplo, las ropas para los incas y los principales mandatarios, y lo hacían con los más finos hilos de alpaca. El arte plumario de la Amazonía o el tocado que hoy se conoce como “el penacho de Moctezuma”, elaborado con plumas de quetzal y otras aves, es objeto hasta hoy de controversia entre los gobiernos de Austria y México, por su permanencia en el Museo de Viena.

Pero probablemente, en términos de textiles, nada causa tanta sorpresa como una mención específica, que se encuentra en un relato del joven cronista español Pedro Pizarro, quien visitó al inca Atahualpa cuando este se encontraba prisionero en Cajamarca. Pizarro describe aquí la vestimenta del mandatario inca, haciendo alusión con gran admiración a una capa de piel de murciélago, que, a decir del español, “era más blanda que seda”, y según el inca “es de unos pájaros que andan de noche en Puerto Viejo y en Tumbes, que muerden a los indios (...) y sacan tanta sangre que es cosa de misterio” (Tirira, 2012).

Yendo mucho más atrás en el tiempo, otra fuente que nos da cuenta de la fascinación por estos pequeños mamíferos a lo largo de nuestra historia antigua, es la iconografía. Espe-

cialmente en la costa de lo que hoy es el Ecuador, los habitantes de este territorio representaron al murciélago en su cultura material, de diferentes maneras, desde hace casi tres mil años (Lathrap, Collier y Chandra 1976).

Las representaciones más tempranas de murciélagos que conocemos provienen de la cultura Chorrera, la cual se extendió a lo largo de casi toda la costa ecuatoriana a partir de aprox. 900 a. C., y fue la primera en desarrollar avances tecnológicos notables como la fabricación de figurillas con molde o técnica iridiscente en la pintura, por la que es especialmente conocida. A diferencia de las culturas previas (Valdivia y Machalilla), que produjeron principalmente figurillas con motivos humanos (sobre todo femeninos), los habitantes de la cultura Chorrera diversificaron notablemente la producción iconográfica, y, si bien mantuvieron la producción de figuras humanas femeninas, ampliaron el repertorio también a figuras masculinas, así como a una gran cantidad de figuras que representan animales. Todas estas figuras zoomorfas reproducen fielmente al entorno en el que vivían. La fauna de las vasijas y figurillas Chorrera corresponde a representaciones naturalistas de animales de mar, manglar, aves marinas y otros animales del entorno, entre ellos los murciélagos, que son más o menos frecuentes (Fig. 1). O también los incorporaban en la vasija, con sus alas extendidas representando graciosamente el borde de la vasija, como se aprecia en la Figura 2.

Es curioso que en el período que sucede a Chorrera, el Desarrollo Regional (aprox. 500 a. C. -500 d. C.), la iconografía de la costa ecuatoriana muestra cambios, que parecen reflejar los procesos de complejización y jerarquización de las sociedades de estos nuevos momentos (Ugalde 2009).



**Figura 1.** Botella zoomorfa Chorrera. Colección Nacional Arqueológica Museo Nacional del Ecuador EOD MUNA del Ministerio de Cultura y Patrimonio. Inv. No. 2-9-74.



**Figura 2.** Vasijas zoomorfas Chorrera con siluetas de murciélagos en sus bordes. Museo Casa del Alabado. Izquierda MRT-1362, derecha MRT-1356.

Culturas como La Tolita nos presentan todavía, ocasionalmente, a murciélagos en representaciones naturalistas, como el ejemplar de la Figura 3, pero también nos muestran a ejemplares antropomorfizados; es decir, a murciélagos que se fusionan con seres humanos. En las culturas prehispánicas del Ecuador, así como



**Figura 3.** Figurilla representando a murciélago, La Tolita. Colección Nacional Arqueológica Museo Nacional del Ecuador EOD MUNA del Ministerio de Cultura y Patrimonio. Inv. No. LT-20-50-73.

en otras culturas prehispánicas de las Américas, tenemos a los ancestros de Batman a partir de fechas tan antiguas como 500 antes de Cristo. En la Figura 4 vemos un ejemplo de la misma cultura La Tolita con estas características. Cabe resaltar que, en estas culturas, los murciélagos siempre se relacionan con atributos humanos masculinos, como son el taparrabos, vestimenta típica de este género.



**Figura 4.** Personaje antropomorfizado con rasgos de murciélago, La Tolita. Colección Nacional Arqueológica Museo Nacional del Ecuador EOD MUNA del Ministerio de Cultura y Patrimonio. Inv. No.: LT-1326-2-60.

El investigador español Andrés Gutiérrez Usillos ha planteado que el dios murciélago fue una de las divinidades del cielo nocturno y del agua del inframundo, tanto para la gente de Jama Coaque como de La Tolita y, va más allá, sugiriendo que en realidad se trataría de una figura mítica pan-americana, correspondiente a la misma divinidad que existe en Mesoamérica, conocida, por ejemplo, en la cultura zapoteca como el dios Cocijo (Gutiérrez Usillos 2012: 334-5).

En el último período preincaico, la sociedad Manteño-Huancavilca – que se asentó a lo largo de casi toda la costa ecuatoriana– representó a los murciélagos en una forma mucho más esquemática y estandarizada, especialmente en sellos y torteros (pequeños pesos de huso para hilar), así como en pequeñas figuras, en las que

nuevamente se observa su asociación masculina, como claramente se puede observar en los dos ejemplares que se ilustran en la Figura 5.

De esta manera, y con un breve recorrido, hemos abierto la puerta a una investigación que apenas está empezando, sobre estos seres fascinantes que son los murciélagos, y que lo fueron también para nuestros antepasados. El verdadero misterio de “Batman volador” estaría encerrado en las figurillas zoomorfas que nos obligan, diría Santiago Burneo, a reconocer, por ejemplo, “a los murciélagos insectívoros como excelentes controladores de plagas, a los murciélagos frugívoros como excelentes dispersores de semilla o a los murciélagos nectarívoros como agentes polinizadores de plantas, cumpliendo un papel similar al de las abejas y los colibríes pero durante la noche” (Santiago Fernando Burneo Núñez: Un biólogo encariñado con los murciélagos por Alberto Rengifo, *Nuestra Ciencia*, n.º 21, Quito, mayo de 2019, Imprenta Hojas y Signos, p. 58).

### Agradecimiento

Agradecemos al Museo Nacional del Ecuador (MuNa) y al Museo Casa del Alabado por los permisos otorgados para usar las imágenes en este artículo.

### Literatura consultada

Benson, E. (1976). Bats in South American Iconography. *Andean Past* 1: 165-190.

Brito, J., Camacho, M. A., Romero, V., Vallejo, A. F. (2021). Mamíferos del Ecuador. Versión 2021.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <<https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/>>, (24 de agosto de 2022)

Gutiérrez Usillos, A. (2012). *El eje del universo. Chamanes, sacerdotes y religiosidad en la cultura Jama Coaque del Ecuador Prehispánico*.



**Figura 5.** Figurillas zoomorfas Manteño con forma de murciélagos. Museo Casa del Alabado. Arriba: MRT-4353, abajo: MRT-4352.

Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Lathrap, D., Collier, D. y Chandra, H. (1976). *Ancient Ecuador. Culture, Clay and Creativity. 3000-300 B.C.* Illinois: Field Museum of Natural History (2da. Edición).

McCraken, G. (1992). Bats in magic, potions, and medicinal preparations. *Bats Magazine*, 10(3). Bat Conservation International. Obtenido de <https://www.batcon.org/news/bats-magazine/page/12/> (24 de marzo de 2022)

Tirira, D. G. (2012). Revisión Histórica de los Murciélagos en el Ecuador. Pp. 17-32, en: *Investigación y Conservación sobre los murciélagos en el Ecuador* (D.G. Tirira y S.F. Burneo, eds.). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Fundación Mamíferos y Conservación y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología. Quito.

Ugalde, M.F. (2009). *Iconografía Tolita. Lecturas del discurso ideológico en las representaciones figurativas del Desarrollo Regional*. Wiesbaden: Reichert.

# Aportes de la Química Computacional durante la pandemia de SARS-CoV-2

Por Lorena Meneses Ph. D.

Laboratorio de Química computacional, Escuela de Ciencias Químicas, PUCE,  
(lmmeneses@puce.edu.ec)

La pandemia que desencadenó el virus del síndrome agudo respiratorio severo del coronavirus-2 (SARS-CoV-2) ha desatado, en los últimos dos años, grandes cambios en la humanidad, tanto culturales, como económicos, políticos, de salud pública, familiares, etc. Para aminorar el impacto en la sociedad, varios estudios se han realizado para entender mejor a este virus, su modo de acción, el tratamiento más idóneo, reducir los efectos a corto, mediano y largo plazo, el desarrollo de vacunas, entre otros aspectos relevantes que han permitido que, de a poco, volvamos a la normalidad y aprendamos a convivir con esta enfermedad del COVID-19.

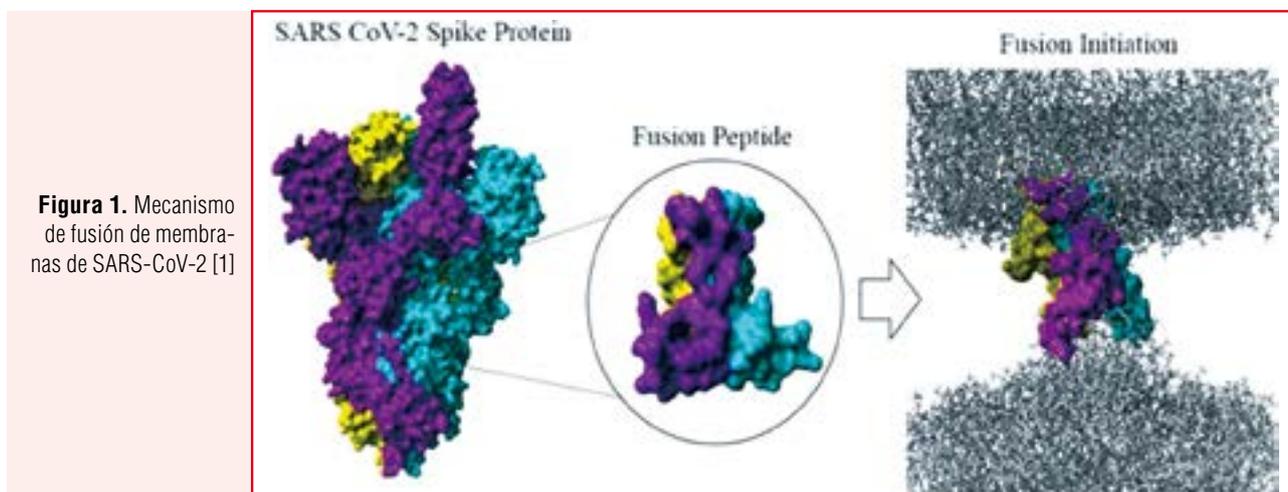
Si bien se han llevado a cabo muchos estudios clínicos y experimentales, la química computacio-

nal ha sido clave en el desarrollo de estrategias para el entendimiento, principalmente del modo de acción del virus, y, por lo tanto, para el desarrollo de vacunas, de fármacos, o el uso adecuado de fármacos que ya estaban en el mercado para otras enfermedades, pero que han resultado efectivos contra este virus.

## Mecanismo de acción

Para entender el mecanismo de acción del virus, se ha propuesto un modelo de fusión de membranas del SARS-CoV-2. La fusión de membranas, un paso clave en las primeras etapas de la propagación del virus, permite la liberación del genoma viral en el citoplasma de la célula huésped. El proceso es iniciado por péptidos de fusión, que son pequeños componentes hidrófobos de glicoproteínas virales incrustadas en la membrana y que normalmente se conservan dentro de las familias de virus.

En un estudio, se intentó identificar la región del péptido de fusión correcta en la proteína Spike del SARS-CoV-2, mediante simulaciones de dinámica molecular de todos los átomos de sistemas de membrana dual con unidades oligoméricas variadas de péptidos candidatos putativos. De todos los sistemas probados, solo una unidad trimérica de una región de 40 aminoácidos (residuos 816–855 de SARS-CoV-2 Spike) fue eficaz para desencadenar las etapas iniciales de fusión de membranas, dentro de los 200 ns del tiempo de simulación. La asociación de esta unidad trimérica con membranas duales resultó en la migración de lípidos desde la valva superior de la bicapa inferior, hacia la valva inferior de la bicapa superior para crear una unidad estructural que recuerda a un puente de fusión (Fig. 1). Se afirma en este estudio que los residuos 816–855



**Figura 1.** Mecanismo de fusión de membranas de SARS-CoV-2 [1]

de Spike representan el péptido de fusión del SARS-CoV-2 y que los métodos computacionales representan una forma eficaz de identificar péptidos de fusión en glicoproteínas virales [1].

También, se ha determinado computacionalmente posibles inhibidores de la proteína principal del virus. La proteasa principal (Mpro) del SARS-CoV-2 es uno de los posibles objetivos farmacológicos. Por lo tanto, en este contexto, se han utilizado métodos computacionales rigurosos, incluido el acoplamiento molecular, la extracción rápida del ligando (FPL por sus siglas en inglés) y la perturbación de energía libre (FEP por sus siglas en inglés), para investigar posibles inhibidores de SARS-CoV-2 Mpro. En estos estudios, los resultados computacionales concuerdan bien con los datos experimentales respectivos [2].

### Métodos terapéuticos

Para estudiar métodos terapéuticos contra la COVID-19, se han propuesto varios mecanismos de inhibición del virus. El bloqueo de la asociación entre el dominio de unión al receptor (RBD, por sus siglas en inglés) de la proteína Spike del SARS-CoV-2 y la enzima con-

## Para estudiar métodos terapéuticos contra la COVID-19, se han propuesto varios mecanismos de inhibición del virus.

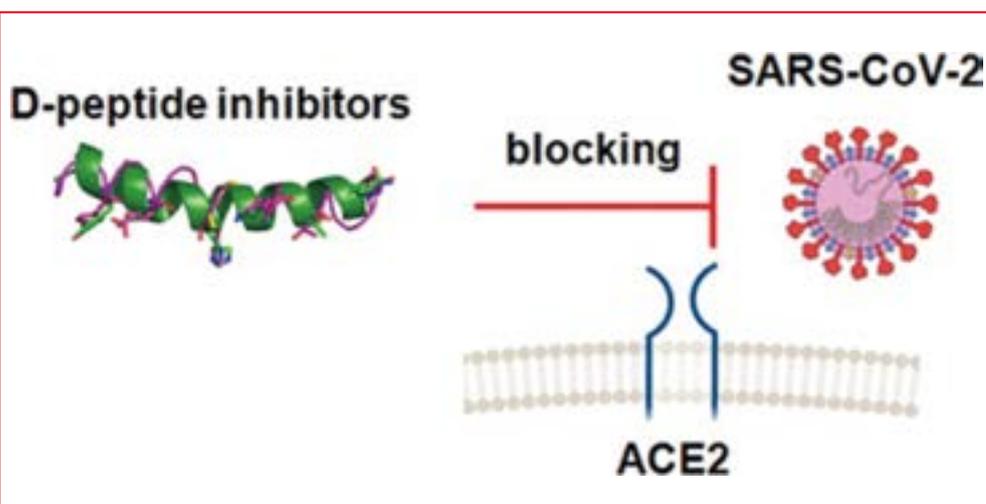
vertidora de angiotensina humana 2 (ACE2 por sus siglas en inglés) es un enfoque terapéutico atractivo para evitar que el virus entre en células humanas.

Si bien se han desarrollado anticuerpos y otras modalidades con este fin, los péptidos de D-aminoácidos ofrecen ventajas únicas, que incluyen estabilidad sérica, baja inmunogenicidad y bajo costo de producción. En este estudio se diseñaron inhibidores de D-péptido novedosos y potentes que imitan la hélice de unión a ACE2  $\alpha 1$  (Fig. 2). Los dos mejores diseños unieron el RBD con afinidades de 29 y 31 nM y bloquearon la infección de células Vero por SARS-CoV-2 con valores de IC<sub>50</sub> de 5,76 y 6,56  $\mu$ M, respectivamente. Estos potentes in-

hibidores del D-péptido pueden ser considerados candidatos prometedores para desarrollar tratamientos profilácticos o terapéuticos contra el SARS-CoV-2 [3].

En la continua búsqueda de fármacos potenciales que inhiban el SARS-CoV-2, también se ha sugerido un enfoque combinado basado en el modelado de los cambios químicos de resonancia magnética nuclear (RMN) y el acoplamiento molecular, para identificar los posibles supresores de la proteasa principal (Mpro) de este virus, entre una serie de productos naturales de diversa naturaleza.

Con la ayuda de una red neuronal artificial, se resolvió el problema de la determinación fiable de la estructura estereoquímica de una serie de compuestos estudiados. Complementario al objetivo principal de este estudio, el modelamiento teórico de los parámetros espectrales de RMN hizo factible realizar una serie de reasignaciones de señales junto con la introducción de algunos datos de RMN faltantes. Finalmente, se aplicó el formalismo de acoplamiento molecular al análisis de varios productos naturales que podrían ser elegidos posibles candidatos para el papel de inhi-



**Figura 2.** Inhibidores D-péptidos diseñados computacionalmente [3]

bidores potenciales de la proteasa principal. Se cree que los resultados de este estudio ayudarán en futuras investigaciones dirigidas al desarrollo de medicamentos específicos basados en productos naturales contra la COVID-19 [4].

### Mutaciones y vacunas

Un aspecto fundamental en el caso de enfermedades infecciosas es la mutación del virus. Este ha sido uno de los principales aspectos por estudiar, ya que la eficacia de las vacunas cambia debido a estas mutaciones. La proteína Spike (S) del SARS-CoV-2 está expuesta en la superficie viral y es el primer punto de contacto entre el virus y el huésped. Por esta razón, representa el objetivo principal de las vacunas contra la COVID-19. En los últimos meses han comenzado a surgir variantes de esta proteína. Su capacidad para reducir o evadir el reconocimiento por parte de los anticuerpos dirigidos contra S plantea una amenaza para los tratamientos inmunológicos y suscita preocupación por sus consecuencias sobre la eficacia de las vacunas.

Para desarrollar un modelo capaz de predecir el impacto potencial de las mutaciones de la proteína S en los sitios de unión de los anticuerpos, se realizó una dinámica molecular imparcial de varios microsegundos de algunas variantes de la proteína S glicosilada y se aplicó una estrategia sencilla basada en la estructura, la dinámica y la energía, para predecir los posibles cambios, en regiones inmunogénicas en cada variante. Al comparar estos resultados, obtenidos en proteínas S aisladas en solución, con datos publicados recientemente sobre la unión de anticuerpos y la reactividad en nuevas variantes S, se ha demostrado que las modificaciones en la proteína S se traducen consis-

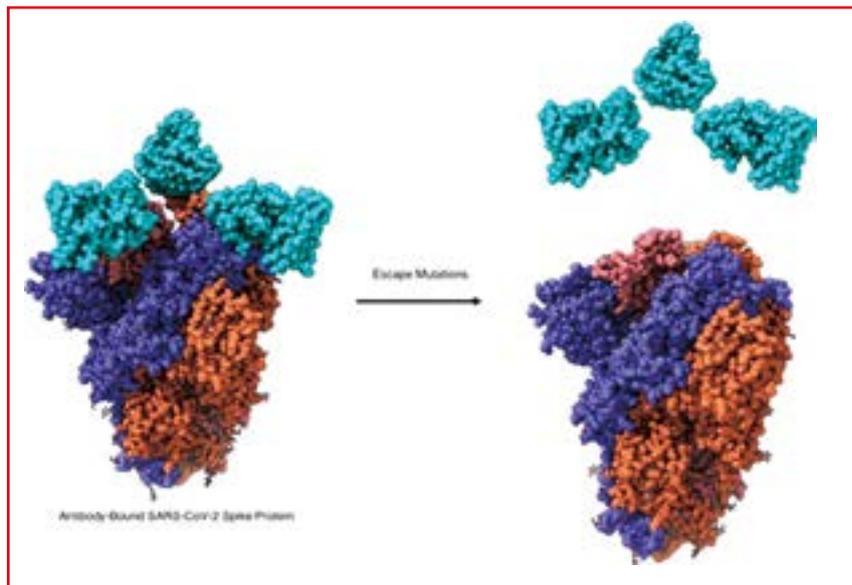


Figura 3. Separación el anticuerpo de la proteína Spike del SARS-CoV-2 [5]

tentemente en la pérdida de regiones potencialmente inmunorreactivas (Figura 3).

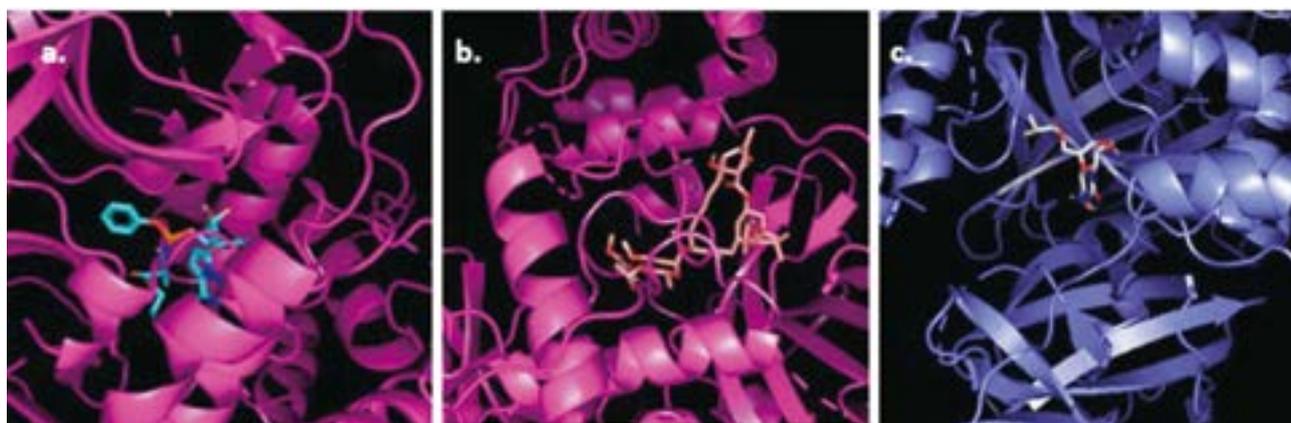
Si bien este estudio se basa en las variantes de la proteína Spike del

SARS-CoV-2, la estrategia computacional de predicción de epítomos es portátil y podría aplicarse para estudiar la inmunoreactividad en mutantes de proteínas de interés, cuyas estructuras se han caracterizado, ayudando al desarrollo/selección de vacunas y anticuerpos. capaces de controlar las variantes emergentes [5].

### En nuestro laboratorio

Aportar con estudios que permitan terminar con la pandemia de SARS-CoV-2 es urgente. En nuestro laboratorio de Química computacional de la PUCE propusimos una alternativa rápida y eficaz para identificar posibles tratamientos contra la COVID-19, como la reutilización de medicamentos ya desarrollados y autorizados. El objetivo de nuestro estudio fue analizar la afinidad existente entre fármacos (Remdesivir, Ivermectina y Molnupiravir) y diferentes proteínas del virus SARS-CoV-2 (proteasa principal, Mpro; ARN polimerasa dependiente del ARN, RdRp; y ácido ribonucleico, ARN) para examinar la posible eficacia de los medica-

**En nuestro laboratorio de Química computacional de la PUCE propusimos una alternativa rápida y eficaz para identificar posibles tratamientos contra la COVID-19, como la reutilización de medicamentos ya desarrollados y autorizados.**



**Figura 4.** Acoplamiento molecular de a. Remdesivir, b. Ivermectina B1a y c. Molnupiravir con la principal proteasa Mpro del SARS-CoV-2

mentos como tratamiento para la enfermedad COVID-19.

El análisis se realizó utilizando programas informáticos y se determinó que los valores de afinidad por las proteínas MPro, RdRp y ARN fueron, con respecto a la Ivermectina B1a -9.70 kcal/mol, -9.20 kcal/mol y -10.60 kcal/mol, respectivamente; para Remdesivir, -8,00 kcal/mol, -7,10 kcal/mol y -9,40 kcal/mol; Los resultados de Molnupiravir fueron -7,50 kcal/mol, -7,20 kcal/mol y -8,30 kcal/mol. También se determinó que los sitios de unión más probables para las diferentes proteínas son: Lys-5 para la proteasa principal y Ala-25 para el ARN (Figura 4).

Se concluyó que la Ivermectina B1a, presente en el fármaco Ivermectina, presentó los valores de afinidad más bajos, lo que significa que podría unirse mejor a las proteínas del virus, inhabilitando los procesos de transcripción y replicación viral, a pesar de no ser un fármaco aprobado por la FDA (Agencia federal de alimentos y medicamentos de USA) como tratamiento para la COVID -19.

También se debe considerar que los medicamentos Remdesivir y Molnupiravir están desarrolla-

dos directamente para humanos y aprobados por la FDA, mientras que la Ivermectina fue creada como fármaco veterinario y actualmente se utiliza como antiparasitario, por lo que el consumo humano de este tipo de fármaco con objetivos de prevención o tratamiento de la COVID-19 no dispone de evidencia fehaciente.

### Conclusión

Si bien en los dos últimos años se ha trabajado intensamente, tanto desde el punto experimental como desde el computacional, para dar rápida solución a la pandemia de SARS-CoV-2 y se ha encontrado de manera eficaz el tratamiento contra la enfermedad y sobre todo el desarrollo de vacunas que nos protejan contra esta enfermedad, se hace cada vez más relevante la aplicación de métodos computacionales que aceleren los procesos de investigación y permitan entender mejor el modo de acción de los virus, de manera de poder prevenir futuras enfermedades, epidemias o pandemias como la que estamos viviendo.

### Referencias

[1] Subhomoi Borkotoky, Debajit Dey, and Manidipa Banerjee,

*Journal of Chemical Information and Modeling*, 2021, 61(1), 423-431 DOI: 10.1021/acs.jcim.0c01231

[2] Son Tung Ngo, Ngoc Quynh Anh Pham, Ly Thi Le, Duc-Hung Pham, and Van V. Vu *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2020, 60(12), 5771-5780 DOI: 10.1021/acs.jcim.0c00491

[3] Pedro A. Valiente, Han Wen, Satra Nim, JinAh Lee, Hyeon Ju Kim, Jinhee Kim, Albert Perez-Riba, Yagya Prasad Paudel, Insu Hwang, Kyun-Do Kim, Seungtaek Kim, and Philip M. Kim, *Journal of Medicinal Chemistry*, 2021, 64(20), 14955-14967 DOI: 10.1021/acs.jmedchem.1c00655

[4] Valentin A. Semenov and Leonid B. Krivdin, *The Journal of Physical Chemistry B*. 2022, 126(11), 2173-2187 DOI: 10.1021/acs.jpcc.1c10489

[5] Alice Triveri, Stefano A. Serapian, Filippo Marchetti, Filippo Doria, Silvia Pavoni, Fabrizio Cinquini, Elisabetta Moroni, Andrea Rasola, Francesco Frigerio, and Giorgio Colombo, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2021, 61(9), 4687-4700 DOI: 10.1021/acs.jcim.1c00857

Por Martín Bustamante  
(mbustamante@quitozoo.org)



El capuchino blanco ecuatoriano o capuchino de frente blanca (*Cebus aequatorialis*) es una de las 25 especies de primates más amenazadas del mundo, al igual que gorilas, gálagos y lémures. Su área de distribución está restringida a varias formaciones boscosas de la región costera. Amenazan la persistencia de sus poblaciones la destrucción de hábitat y la cacería. Esta imagen fue captada en la Reserva Ecológica Manglares Churute, en el Golfo de Guayaquil.

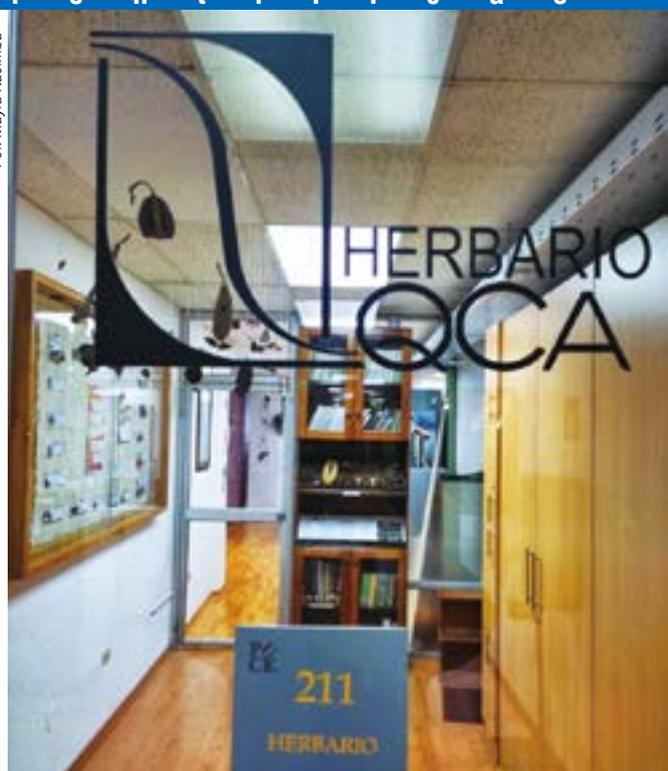


La garza cocoi (*Ardea cocoi*) es una de las aves ligadas al agua más atractivas que hay. Su gran tamaño y vistosos colores conjugan perfectamente con sus movimientos tímidos y elegantes en un vuelo que parece premeditadamente pausado para que su belleza sea contemplada.

# El Herbario QCA y sus tesoros escondidos, 51 años de trabajo e investigación

Por M. Sc. Mayra Nacimba  
Laboratorio de Ecología de Plantas-Herbario QCA  
manacimba@puce.edu.ec

Por Mayra Nacimba



*“Muchas son las lecciones que se pueden extraer del estudio de las plantas, si se procura el verdadero espíritu de la sabiduría” (John Hutton Balfour).*

**E**n mis primeros años de estudiante de Biología, no me atrevía a entrar con frecuencia al Herbario, sentía que era un lugar poco accesible, al que no todo el mundo podía ir y que si llegaba a entrar, quizá podía dañar algo. Con el tiempo, me di cuenta de que en realidad, no era el miedo que tenía a dañar algo lo que me impedía ingresar, sino que, ciertamente, no sabía que era lo que se hacía dentro de un lugar como este. Esta perspectiva cambió con el tiempo, y pude conocer a fondo qué es lo que se hace ahí y por qué es tan importante para los estudiantes e investigadores que lo visitan a diario; precisamente, y ahora que formo parte del Herbario QCA, es para mí muy satisfactorio recibir cada día gente nueva y explicarles que un herbario no es otra cosa que una colección de especímenes bo-

tánicos secos, identificados y muy bien preservados que se caracterizan por contener información importante sobre su origen (Fig. 1).

En particular, el Herbario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en Quito (QCA) es una entidad dedicada especial-

mente a la investigación científica de flora ecuatoriana. La colección de nuestro herbario alberga más de 240 000 especímenes de la flora nacional y mundial, clasificados e ingresados en una base de datos. Por esta razón, la colección del herbario QCA ha sido catalogada como una



Por Mayra Nacimba

**Figura 1.** Ejemplo de una etiqueta. Las etiquetas que acompañan a un espécimen deben poseer toda la información necesaria sobre su origen y características principales (colector, especie, hábitat, coordenadas, lugar y fecha de colección, etc.) y debe estar ubicada en la parte inferior izquierda del pliego de cartulina.

de las más grandes de nuestro país y una de las más importantes de flora ecuatoriana en el mundo.

El 2021, el Herbario QCA cumplió 50 años de existencia; por esto, con este artículo pretendo dar a conocer un poco de lo que se ha hecho en este lugar y su progreso a lo largo de este tiempo; asimismo, informar sobre el incremento de la colección, el cambio en la infraestructura y las colecciones importantes que se encuentran almacenadas y registradas.

### ¿Por qué un herbario es importante en nuestro país?

Ecuador cuenta con 45 tipos de ecosistemas terrestres (tipos de vegetación) y ha sido catalogado como un país megadiverso, a pesar de ser relativamente pequeño (256 370 km<sup>2</sup>). Dentro de estos ecosistemas se albergan alrededor de 25 000 especies de plantas vasculares, lo que representa el 6 % del total de plantas en el planeta. De estas, 4437 especies son endémicas, sin contar con las 63 especies endémicas del grupo de las briofitas. Por esta razón, es esencial que existan herbarios para realizar investigaciones de flora, debido a que estos proveen de material de referencia para los investigadores y se convierten en una herramienta fundamental, ya que poseen un registro permanente de la megadiversidad de nuestro país. Toda esta información puede ser utilizada no solo en Taxonomía, sino también en disciplinas como Biodiversidad, Ecología, Fisiología, Etnobotánica, Evolución, entre otras (Fig. 2).

### El Herbario QCA a lo largo del tiempo

Nuestro herbario fue fundado en 1971 con 1000 primeras muestras donadas por Bruce MacBryde quien, junto con su esposa Olga MacBride, permanecieron a cargo

del manejo de la colección hasta 1972. Los dos años posteriores nadie estuvo a cargo oficialmente del herbario; sin embargo, en el año 1975 la doctora Eugenia del Pino se convirtió en Directora con la ayuda de Lupe Dávalos, quien fue la primera curadora.

En 1977, es Jaime Jaramillo quien se convierte en el nuevo Curador, y a partir de

1979, se crea una estrecha colaboración entre el Herbario QCA y el Instituto Botánico de la Universidad de Aarhus de Dinamarca (AAU); por esto, la dirección del herbario pasa a manos de investigadores daneses, que ayudaron a fortalecer y enriquecer la colección. El orden en el que cada uno de los investigadores daneses asumió la dirección del Herbario QCA es el siguiente: Lauritz B. Holm-Nielsen (1979-1981), Henrik Balslev (1981-1984), Simon Laegaard (1984-1985), Bo Boysen Larsen (1985-1986), Peter Møller Jørgensen (1986-1989), Henrik Borgtoft Pedersen (1989-1990), Benjamin Ollgaard (1990-1993) y Finn Borchsenius (1993-1995). Cada uno de estos investigadores contribuyó activamente en el crecimiento del Herbario QCA, por lo que en este tiempo, muchos jóvenes biólogos ecuatorianos se convirtieron en sus pupilos, se especializaron en botánica y en conjunto trabajaron para incrementar la colección.

A partir de 1995, la dirección pasa de nuevo a manos de investigadores nacionales siendo hasta la fecha cuatro los investigadores que han estado a cargo del Herbario QCA. Los investigadores que han sido directores durante este tiempo

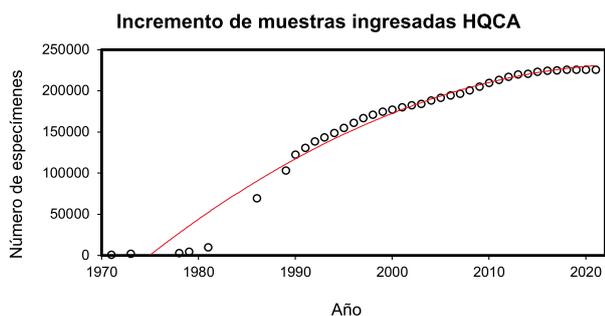


Figura 2: Taller de ilustración científica en el HQCA.

son: Renato Valencia (1995-2001), Hugo Navarrete (2001-2010), Katy Romoleroux (2011-2020) y, actualmente, desde finales del año 2020, se encuentra asumiendo este cargo Susana León-Yáñez.

### Incremento y desarrollo del número de especímenes en la colección

El crecimiento de la colección ha sido vertiginoso en los 51 años de existencia del Herbario. En 1973, año en el que la pareja de esposos Bruce y Olga MacBryde se desvincularon del herbario, la colección constaba ya con 2400 especímenes. Pero no fue, sino hasta la llegada de los daneses, cuando la colección comenzó a crecer casi exponencialmente, ya que pasó de tener 10 000 especímenes en 1981 a 24 242 en 1982 (solo un año de diferencia). En la actualidad, el herbario posee alrededor de 240 000 especímenes, con un incremento promedio de más de 4000 muestras anuales, incorporadas en los últimos 15 años, sin tomar en cuenta los años 2020 y 2021, que fueron dos años en los cuales el herbario cerró sus puertas parcialmente y las salidas de campo se vieron interrumpidas por la pandemia (Fig. 3).



**Figura 3:** Incremento del número de especímenes ingresados en la colección del HQCA. Se puede observar claramente que ha existido un salto en el incremento de especímenes entre los años 1980 y 1990.

Dentro de la colección se encuentran depositados 2190 especímenes TIPO (muestras que ayudaron en la descripción de una nueva especie para la ciencia) y otros continúan en proceso de digitalización y actualización de datos, por lo que este número se encuentra creciendo constantemente, a la par con el descubrimiento científico de nuevas especies en Ecuador (aproximadamente, una especie nueva cada dos días). Por otra parte, albergamos más de 10 000 especímenes de flora endémica de nuestro país. Debido a su importancia, tanto los especímenes TIPO como los endémicos han sido escaneados en un scanner de alta resolución (HerbScan) para que su información pueda ser compartida de forma más sencilla a través del portal BioWeb con otros investigadores que precisan de esta información, sin la necesidad de visitar nuestro herbario o maltratar el espécimen (Fig. 4).

### Áreas que conforman nuestro Herbario

En 1984, gracias a la gestión realizada por la doctora Laura Arcos Terán, se inauguró un nuevo edificio para la Escuela de Biología; en este,

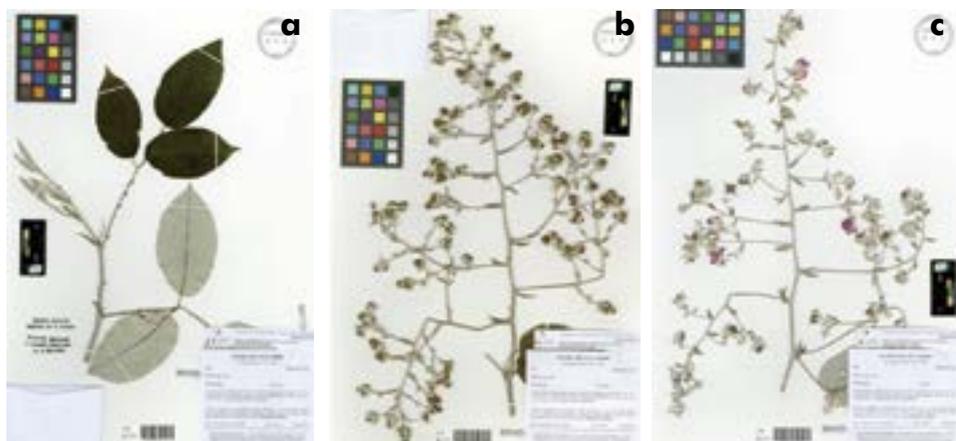
poco espacio e, incluso, los especímenes del herbario de estudiantes se almacenaban en cajas de cartón.

Actualmente, el Herbario QCA se compone de tres secciones: la primera, pertenece al área de la secadora, la cual cuenta con tres hornos de madera, subdivididos en dos compartimentos cada uno y dos hornos de metal, utilizados especialmente para muestras que no fueron preservadas en alcohol; la secadora también cuenta con dos mesones que son utilizados en el proceso de prensado. La segunda sección pertenece a un cuarto frío (temperatura constante de 4 °C), ubicado en el primer piso del edificio de la Escuela de Ciencias Biológicas, este cuarto tiene la función de mantener en

se destinó un lugar para las instalaciones físicas del Herbario QCA. Este espacio fue de gran utilidad, debido a que antes de este año los especímenes se encontraban en armarios con

buen estado a los especímenes que aún no ingresan a la colección.

Asimismo, en el segundo piso del mismo edificio se encuentra la tercera sección que son las instalaciones en donde se albergan los especímenes de la colección. Las muestras según su importancia están ubicadas en el Herbario Internacional, que contiene la colección principal y el Herbario para estudiantes, en donde estos pueden consultar y aprender de las especies sin dañar las muestras principales. En el Herbario Internacional se pueden distinguir tres zonas bien diferenciadas: en la primera, están ubicadas cuatro series de armarios compactores, que almacenan las muestras; la segunda zona contiene seis mesones, ubicados en la parte central del herbario (lugar que se utiliza para la revisión de las muestras), y la tercera zona se encuentra en la parte derecha del herbario; también, en esta área están ubicadas tres oficinas independientes. En la primera oficina está el scanner de las muestras; la segunda, está destinada para la toma de fotos y digitalización de las muestras que posteriormente son subidas a la BioWeb; en la tercera, se halla el área de montaje.



**Figura 4:** Especimen TIPO. *Rubus longistipularis*, es una una de las dos nuevas especies de *Rubus*, descrita el año pasado, por el investigador D. Espinel-Ortiz. En una muestra TIPO es fundamental que se puedan observar todas las estructuras de la especie que se describe; a) Ápice del espécimen en donde se puede observar el haz y el envés de las hojas; b) Infrutescencias; c) Inflorescencias.

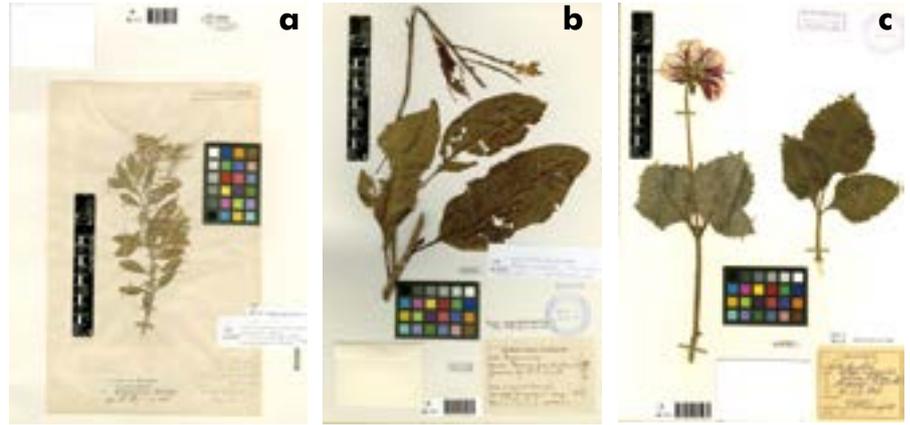
Por Herbario QCA – Base de datos BioWeb

## Tesoros de la colección del Herbario QCA

El espécimen más antiguo y más importante (por su carácter histórico) que se encuentra depositado en nuestro herbario es el QCA33250 (*Columellia*), que fue recolectado por William Jameson (1796-1873). W. Jameson conjuntamente con el sacerdote Luis Sodiro fueron dos de los botánicos más importantes de su época que recolectaron diferentes géneros botánicos, alrededor de todo el Ecuador; con sus especímenes, se pudo comenzar a crear una colección de la flora ecuatoriana para el mundo (Fig. 5).

Las colecciones en Ecuador de este notable botánico comienzan en 1827, así que la fecha de recolección de este espécimen (realizado en Quito según se menciona en su etiqueta), podría ser desde 1827 hasta 1835, ya que en esos años W. Jameson realizó exploraciones en las provincias de Imbabura, Esmeraldas, Pichincha; ascendió al Mojananda y al Cayambe. O puede ser producto de una expedición de Quito a Cayambe realizada en 1859, de la cual se publicó un artículo avalado por la Royal Geographic Society of London.

La situación política vivida en 1865, cuando Gabriel García Moreno se vio en la necesidad de detener la invasión bélica propiciada por Urbina, determinó un ambiente convulsionado poco apto para la investigación científica; esto motivó a W. Jameson a salir de Quito, y dejó sus colecciones y manuscritos en el Consulado Norteamericano, de donde, tiempo después, fueron trasladados a Estados Unidos. Es posible que de este modo la mayoría de su colección, fuera posteriormente repartida principalmente entre el Herbario del Museo Británico (BM) y el Herbario del Jardín



**Figura 5:** Especímenes de importancia histórica. a) *Columellia oblonga*, colectada en el siglo XIX por W. Jameson en una de sus expediciones cercanas a Quito; b) *Tecoma castanifolia*, colectada en 1925 por el jesuita Luis Mille; c) *Dahlia imperialis*, colectada por J. Tinajero a inicios de 1964 en Quito.

Botánico Real Kew (K). Sin embargo, en la actualidad, sus especímenes también se encuentran en el Jardín Botánico de la Universidad de Berlín (B), Herbario de la Universidad de Harvard (FH), Herbario del Jardín Botánico de Ginebra (G), Herbario de la Universidad de Montpellier (MPU), Real Jardín Botánico de Madrid (MA) y el Museo de Historia Natural de París (P). A esto debe añadirse 43 especímenes que fueron donados por el mismo W. Jameson a Mariano de la Paz Graells, que ahora son custodiados en el Real Colegio Alfonso XII RCAXII (no registrado en el Index Herbariorum).

En realidad, no sabemos cómo llegó esta muestra a nuestro herbario, y hasta hace poco se encontraba intercalada junto con los demás especímenes de la colección. Para nosotros tener un pliego de las colecciones de este científico tiene alta relevancia. A pesar del paso de los años el pliego que custodiamos se encuentra en perfecto estado de conservación, tan solo la hoja de papel en donde fue montado tiene una tonalidad amarillenta, la etiqueta original del espécimen está escrita a mano por el mismo W. Jameson, posee datos sobre su iden-

tificación, procedencia y se encuentra sobre una cartulina blanca con otra etiqueta que informa su actual identificación (*Columellia oblonga*), determinada por la doctora Katya Romoleroux en 2007.

También, contamos con otra colección de relevancia histórica como son los especímenes colectados por el sacerdote jesuita Luis Mille, quien fue discípulo de Luis Sodiro. El rango de fecha de recolección de estos especímenes va desde 1926 hasta 1938; sin embargo, existe un alto porcentaje de especímenes que no cuentan con este dato. La mayoría de estos especímenes llegaron a nuestro herbario de la colección de otras instituciones como el Jardín botánico de Nueva York, el Instituto Smithsonian e inclusive el Museo Botánico de Berlín-Dahlem.

En un artículo publicado en 1992, se menciona que en nuestra colección se encuentran depositados 890 de estos especímenes, pero al realizar la búsqueda en nuestra base de datos digital (BioWeb) solo se reflejan 15 especímenes con nombre de colector de L. Mille; seguramente, esto se deba a que la mayoría de las muestras cuando ingresaron a nuestra colección fueron ingresadas como si el colector fuese el Herbario

QCA. Por lo tanto, actualmente nos encontramos buscando cada uno de los especímenes, lo que representa un gran trabajo y esfuerzo, pero que obligatoriamente tiene que realizarse para poder mantener de mejor forma su estado de conservación y así puedan trascender en la historia.

Otra colección de importancia histórica, aunque no tan antigua en comparación con las dos anteriores es la del ecuatoriano Jorge Tinajero, quien nació en Píllaro, el 15 de septiembre de 1888. Fue un investigador, muy culto, que conocía varios idiomas, practicaba la botánica y la horticultura. Sus estudios los realizó en el Seminario Mayor de Atocha y en el Seminario Mayor de Quito, donde culminó su aprendizaje en Teología. Se desempeñó como catedrático y rector en los colegios Jorge Álvarez de Píllaro y Velasco Ibarra de Guamote. En Quito, se destacó como profesor de Botánica en la Universidad Central.

Su colección personal de alrededor de 3000 especímenes fue donada al Herbario QCA por su familia después de su muerte, acaecida en 1981 a la edad de 93 años. Esta colección principalmente contiene duplicados recolectados por él y por sus estudiantes en la provincia de Pichincha, especialmente en Quito, en un rango de tiempo desde 1951 hasta 1974.

Al igual que con la colección de Mille, al realizar la búsqueda dentro de la BioWeb, con el nombre de colector Tinajero, se encuentran tan solo 31 especímenes, pero como se mencionó con anterioridad, esto se debe a que los especímenes fueron ingresados a la base de datos como Herbario QCA.

Todas las colecciones mencionadas anteriormente, por poseer especímenes que tienen una importan-

cia científica e histórica, se deben mantener en buen estado, rescatar su información y actualizar su taxonomía. Por esto, actualmente se está trabajando en la curación de estos especímenes para almacenarlos en un lugar exclusivo, apartados de la colección principal, para evitar su manipulación innecesaria.

### Qué nos depara el futuro en el Herbario QCA

Los herbarios son verdaderos museos de plantas que tienen la capacidad de conservar la información de sus especímenes para que esta se pueda plasmar y reflejar en el tiempo. Por lo que es de gran importancia mantener este tipo de espacios, para que sirva como una herramienta y permita el desarrollo científico e investigativo de estudiantes, tesis e investigadores nacionales e internacionales (Fig. 6). Por lo tanto, la finalidad de tratar de mantener en buenas condiciones los especímenes que se albergan en nuestro herbario está netamente enfocada en proveer información a diferentes tipos de investigaciones; especialmente, para desarrollar la conservación de los ecosistemas de nuestro país megadiverso, tal como se ha venido realizando en estos últimos 51 años, en los que se han publicado alrededor de 2880 trabajos con información proveniente de este herbario.

### Literatura consultada

- Freire, A., Caranqui, J., Ordóñez, M., *et al.* (2019). Ecuadorian botanical and mycological collections and their importance in the study, sustainable use and of biodiversity. *UTCiencia* 5 (3): 109-119.
- González-Bueno, A., Carrasco, M., Perea, D. (2016). La colección de plantas andinas de William Ja-



**Figura 6:** Visitantes e investigadores del HQCA. a) Investigadores internacionales utilizan nuestra colección para realizar estudios en Taxonomía y Biodiversidad, utilizando novedosas técnicas de espectro de onda, que impiden la destrucción de los especímenes; b) Estudiantes de colegio en una visita guiada, para conocer más sobre la función de un Herbario.

- meson (1796-1873) conservada en el Real Colegio Alfonso XII (San Lorenzo de El Escorial, Madrid). *Botanica Complutensia* 40: 183-191.
- Jergensen, P., Ulloa, C., Borgtoft, H. & Luteyn, J. (1992). The Quito herbarium (QCA): 100,000 important collections from Ecuador. *Taxon* 41: 51-56.
- León-Yáñez, S., Valencia R., Pitmam N., *et al.* (eds). (2011). *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*, 2.ª edición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

# La modernización de la contaminación

Por M. Sc. Eliza Jara  
Escuela de Ciencias Químicas  
(enjara@puce.edu.ec)

La contaminación es hoy en día una noción cotidiana. Sabemos que es posible encontrar sustancias indeseadas o contaminantes en el aire que respiramos, el agua que bebemos, la comida que ingerimos, y varias otras cosas con las que tenemos contacto. Hemos escuchado términos como contaminación visual, contaminación sonora, contaminación con gases de efecto invernadero... todas estas frases nos suenan a peligro, y es que, en efecto, los contaminantes pueden tener efectos perjudiciales para nuestra salud y/o para el medio ambiente. Entre todas estas ideas, sabemos también que hubo una época en la que esta situación no era cotidiana, sino más bien la excepción, pero ¿cuándo fue esa época?

## Por un pequeño atajo de la historia de la contaminación

Se cree que el contaminante a gran escala más antiguo es el plomo. Este elemento químico en su estado puro es “precioso”, y lo digo por su aspecto más que por su valor, ya que tiene un color plateado brillante con destellos azulados que rápidamente se pierden, tornando al metal en una pieza opaca que se oscurece poco a poco gracias a la reacción química con el oxígeno del aire. El plomo fue conocido ya en la prehistoria y se sabe que las civilizaciones griega y romana lo

explotaban de las minas en cantidades apreciables [1], sin saber de los riesgos que implicaba. Gracias a su maleabilidad, es decir a la facilidad para darle forma, en esta época el plomo se empleaba para fabricar diversos objetos, decorativos y utilitarios, incluyendo tuberías para el transporte de agua [2]. Varios siglos después, los usos del plomo se diversificaron y pasó a ser más frecuente como antidetonante de gasolinas y como pigmento en pinturas, pero su declive empezaría en los años 70, cuando, con base en evidencia científica, se fomentaron regulaciones para restringir la exposición al plomo y así evitar daños a nivel neurológico, particularmente en niños [1].

En la época de los romanos, el plomo no era considerado un contaminante; pero sí lo fue desde el siglo pasado. Es claro que el plomo como tal no ha cambiado, sigue siendo un metal maleable con propiedades físicas y químicas definidas; sin embargo, como sociedad tenemos otra percepción de los riesgos y beneficios que nos trae. Al advertir que una sustancia disminuye la calidad de otra o la convierte en no apta para su propósito, decimos que es un contaminante. En relación al medio ambiente, el término se emplea desde el siglo XIX, aunque entonces se lo entendía como una consecuencia inevitable de la industrialización y el progreso, a pesar de los ocasionales debates ciudadanos, particularmente en Francia [3]. En

este mismo país se gestaron las primeras leyes para regular la contaminación industrial, con lo cual se hizo más común el tema.

## Jugando a las escondidas

Recordemos que toda la materia está hecha de átomos y, por tanto, no existe un producto “libre de químicos”, todo lo que percibimos son sustancias químicas. Es siempre necesario matizar la información de acuerdo al contexto, y en el caso de los contaminantes ambientales, para denominarlos como tales, se debe conocer si el elemento o compuesto tiene potenciales efectos en la salud humana y la cantidad en la cual se observan tales efectos [4].

El sentido del gusto nos alerta de la presencia de sustancias indeseables en alimentos y en el agua, y durante un tiempo esta fue la forma en la que se podía decidir si algo era de buena calidad o no, si estaba contaminado o no [2]. Sin embargo, nuestras papilas gustativas tienen muchas limitaciones; por ejemplo, no perciben contaminantes que no tienen sabor o que se encuentran en cantidades insuficientes como para ser reconocidos, y existen contaminantes que son fatales en dosis mínimas. Por esta razón, al estudiar la contaminación ambiental, específicamente la del agua, es necesario realizar mediciones a través de experimentos científicos diseñados específicamente para estas sustancias. Gracias al avance tecnológico, hoy en día contamos con herramientas

de medición más sensibles, es decir que nos permiten encontrar cantidades más pequeñas de cualquier sustancia. Además, contamos con procedimientos reconocidos por su alta efectividad para encontrar ciertos tipos de sustancias, que resultan muy útiles cuando se quiere comparar los resultados de un sitio y otro, o del mismo sitio a lo largo del tiempo. En la Figura 1 se puede ver un esquema de uno de estos procedimientos.

Posterior a la medición del contaminante, se debe comparar el valor obtenido con alguna referencia para interpretar su potencial riesgo. Cada país y, a veces, cada región, tiene lineamientos distintos que están contenidos en normas de calidad y otras regulaciones de leyes particulares. En Ecuador tenemos las normas INEN y también varias normas ambientales. Una norma brinda información de los valores

permitidos para ciertas características del producto, en este caso el agua, para poder juzgar si se cumplen los requisitos y, por tanto, el producto puede ser consumido con seguridad. Si un valor no cumple con el rango establecido, entonces podría entenderse que el producto está, de cierta forma, contaminado. En general, se juzga la contaminación justamente en relación a las normas y a las características que allí se detallan, por ejemplo, la Norma INEN 1 108:2011 define que el contenido máximo de plomo en el agua potable es 0,01 mg/L, y si en una muestra tomada de la red de agua potable se encontrara un valor 0,1 mg/L, al ser mayor que el establecido, se diría que el agua está contaminada con plomo.

Algunas normas también definen cómo deben realizarse las mediciones de cada característica para que los resultados sean confiables.

En caso de que se escoja un procedimiento o técnica de laboratorio que no tiene la suficiente sensibilidad o que resulta inefectiva para un cierto contexto, los contaminantes podrían “escondarse”, en el sentido de que están allí pero las herramientas que se emplearon no nos permiten medirlos. Por otra parte, las normas de calidad del agua abarcan una cierta cantidad de características y dejan de lado muchas sustancias que, también están presentes y que, en ciertos casos, tienen efectos negativos sobre el medio ambiente. Este tipo de contaminantes se denominan emergentes, e incluyen una gran diversidad de moléculas de origen antropogénico, por ejemplo: productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, productos de limpieza, colorantes, retardantes de fuego, entre otros [5]. Es interesante saber que varios contaminantes emergentes se encuentran en cantidades tan pequeñas, que únicamente con los avances tecnológicos en los laboratorios ha sido posible realizar mediciones confiables; estaban allí y nosotros no los veíamos.

### El dilema de los nuevos contaminantes

Los contaminantes emergentes llegan a los sistemas acuáticos por las descargas de aguas residuales de hogares e industrias; por ejemplo, las personas ingieren pastillas para aliviar sus dolencias, los componentes de estas pastillas son metabolizados en el organismo y luego son excretados a través de la orina o las heces y llegan a las denominadas aguas residuales, la mayoría de las cuales en Ecuador no reciben tratamiento [5], y luego se incorporan a ríos y otros cuerpos de agua que son la fuente para potabilizar el agua de la misma población. Evidentemente, para que el agua de un río pase



**Figura 1.** El proceso inicial para el análisis de contaminantes en agua implica tomar una cantidad grande de muestra; luego, con ayuda de técnicas como la extracción en fase sólida (esquina inferior derecha, imagen de Wikimedia Commons) se logra concentrar las sustancias de interés en un frasco pequeño denominado vial (esquina superior derecha) para su análisis posterior con instrumentos dedicados.

a considerarse como agua potable debe cumplir ciertos requisitos según lo establezca la norma correspondiente, y para ello pasa por una serie de procesos que eliminan los contaminantes principales, pero que no son efectivos para la gran mayoría de contaminantes emergentes [1, 5]. Dado que estos últimos no están regulados; es decir, no se encuentran en ninguna norma, se realizan pocos esfuerzos para modificar los procesos de potabilización o de tratamiento de agua residual.

La dosis hace el veneno, decía Paracelso, y en efecto, al hablar de contaminantes emergentes se menciona que se encuentran presentes en concentraciones muy pequeñas, menores a las que se han reportado como peligrosas para la salud humana. Este es otro argumento para la inacción normativa aunque varios estudios científicos muestran indicios de lo contrario. Adicionalmente, compuestos como los antibióticos y los disruptores endocrinos causan preocupación por su efecto en el medio ambiente y las repercusiones para la sociedad; la presencia de antibióticos en aguas naturales facilita que surjan microorganismos resistentes que no pueden tratarse con los productos farmacéuticos convencionales, mientras que los disruptores endocrinos son capaces de alterar el funcionamiento de los ciclos hormonales en peces, llegando a observarse desbalances en el número de machos y hembras en algunas poblaciones [6].

Los metales pesados son otro tipo de contaminantes que, si bien no son emergentes, en algunos casos se los analiza en conjunto con este grupo debido a que comparten problemáticas similares: 1) se originan en actividades relacionadas a la industria y a las actividades humanas cotidianas, 2) se encuentran

cada vez con más frecuencia (aún si las concentraciones no siempre superan los valores de referencia), 3) los tratamientos de agua no siempre son efectivos para su remoción. Por otra parte, se conoce la toxicidad de estos metales para los seres vivos, y la importante propiedad que tienen de acumularse en ellos, ya que no son de fácil metabolismo [7]. Sin embargo, al igual que con los contaminantes emergentes, aún no sabemos los efectos de la exposición crónica a estas sustancias; es decir, ¿qué pasa cuando tenemos contacto con ellas de forma continua en cantidades muy bajas?

### Investigaciones en la PUCE

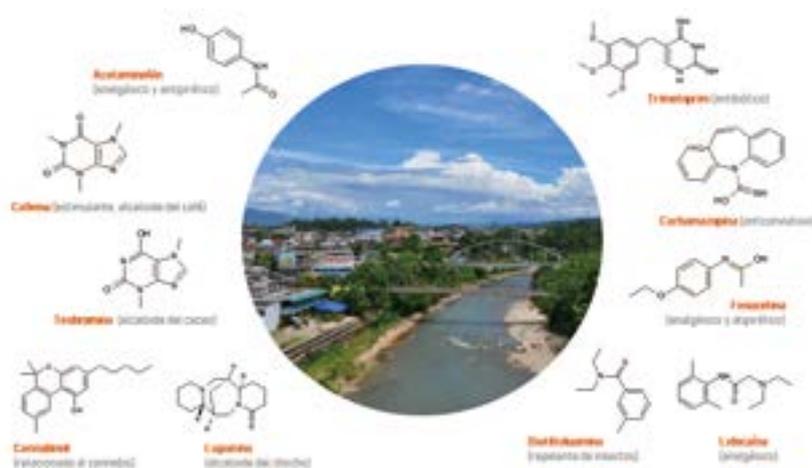
La ciencia es un esfuerzo continuo de mucha gente, arrimando el hombro para descubrir y demostrar cómo funciona el mundo. Desde nuestra universidad hemos realizado contribuciones para conocer más acerca de la contaminación del agua en nuestro país, enfocándonos en los metales pesados y en los contaminantes emergentes.

En dos artículos, reportamos la calidad del agua en Quito, Ibarra, Guayaquil y Esmeraldas. En total, se analizaron 130 muestras provenientes de las redes de distribución de las cuatro ciudades, y, en algunos casos, particularmente en Esmeraldas, donde hay intermitencia en el servicio, se incluyeron muestras de agua de río y agua embotellada comercial. Los resultados indicaron que el agua potable de Quito, Ibarra y Guayaquil cumple con las normas locales e internacionales; sin embargo, unas pocas muestras de Quito y Guayaquil tuvieron una concentración de plomo más alta de la recomendada por la Organización Mundial de la Salud. Desde nuestra perspectiva, es posible que este metal se encuentre en el agua debido

a tuberías antiguas que deberían ser cambiadas [8]. Por otra parte, se encontró una mayor concentración de metales pesados (cadmio, arsénico) en algunas muestras de la ciudad de Esmeraldas, así como en el agua embotellada comercial, indicando que hay corrosión en el sistema de distribución de agua [7]. En cualquier caso, es importante indicar que se requiere una monitorización continua para evaluar los posibles impactos en la población.

En otra investigación tuvimos como objetivo detectar contaminantes emergentes en la ciudad del Tena, ya que hasta el año pasado, no existían datos de la Amazonía ecuatoriana [6], pero al revisar los estudios realizados en el continente americano, se encontraba reportada una gran variedad de compuestos orgánicos polares y no polares [5]. Las muestras de agua se recolectaron en diversos sitios, e incluyeron agua residual y potable. El contaminante más común fue la cafeína, una sustancia encontrada en varias pastillas, en bebidas estimulantes y energizantes, pero también se detectaron trimethoprim y acetaminofén, ambos son principios activos de los medicamentos más vendidos en Ecuador. Con un análisis de datos adicional fue posible sugerir la presencia de otros compuestos en cantidades muy pequeñas, principalmente sustancias farmacéuticas y moléculas de origen natural, los cuales se muestran en la figura 2. Para confirmar la presencia de esas sustancias se requieren más estudios con protocolos y técnicas de mayor sensibilidad.

A medida que aumenta la complejidad de la sociedad, sucede lo mismo con la contaminación ambiental. Si bien es clave realizar estudios para encontrar contaminantes, también hay otras acciones que



**Figura 2.** Contaminantes emergentes encontrados en diversas muestras de agua de la ciudad de Tena [6]. Junto al nombre de cada molécula se indica su uso principal. (Fotografía de la ciudad: Wikimedia Commons).

deben tomarse con urgencia. Por ejemplo, se deben proponer mejoras en las tecnologías de tratamiento de aguas residuales, que sean viables económicamente y efectivas en la remoción de los contaminantes más relevantes para un cierto lugar. Además, en Latinoamérica debemos empezar por implementar más plantas de este tipo, a fin de limitar la incorporación de contaminantes emergentes en fuentes de agua y los consiguientes efectos en el ambiente y en la salud humana. Todo esto, sin dejar de impulsar la legislación que permita regular este tipo de contaminantes y que otorgue incentivos para reducir o sustituir su uso en ciertos productos. Y por último, pero no menos importante, se debe fomentar el consumo responsable, a fin de cuentas, tenemos mucha información disponible para seleccionar un producto haciendo un balance de nuestras prioridades y el bienestar de nuestra casa común. Moderna o posmoderna, esta es la época en la que aún podemos tomar acción frente al cambio climático y al daño ambiental de los últimos siglos.

### Agradecimientos

Las investigaciones mencionadas en el último apartado se realizaron en conjunto con colegas de PUCE-Esmeraldas, Universidad de Cuenca, IKIAM y Universidad del Azuay, con el financiamiento de la PUCE y de la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia-CEDIA a través de los proyectos QINV0151-IINV529020200 y CEPRA-XIV-2020-09, respectivamente.

### Referencias

Sauvé, S., & Desrosiers, M. (2014). A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/1752-153x-8-15>

IWA Publications. (n.d.). *A Brief History of Water and Health from Ancient Civilizations to Modern Times* | IWA Publishing. Retrieved April 25, 2022, from <https://www.iwapublishing.com/news/brief-history-water-and-health-ancient-civilizations-modern-times>

Jarrige, F. & Le Roux, T. (2021). *The contamination of the Earth: a his-*

*tory of pollutants in the industrial age.* MIT Press

US EPA. (2021, October 6). *Types of Drinking Water Contaminants.* United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ccl/types-drinking-water-contaminants>

Pinos-Vélez, V. P., Esquivel-Hernández, G., Cipriani-Avila, I., Mora-Abril, E., Cisneros, J. F., Alvarado, A., & Abril-Ulloa, V. (2019). Emerging Contaminants in Trans-American Waters. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(6), 1. <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.2436>

Capparelli, M. V., Cipriani-Avila, I., Jara-Negrete, E., Acosta-López, S., Acosta, B., Pérez-González, A., Molinero, J., & Pinos-Vélez, V. (2021). Emerging Contaminants in the Northeast Andean Foothills of Amazonia: The Case of Study of the City of Tena, Napo, Ecuador. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107(1), 2–10. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03275-8>

Molinero, J., Cipriani-Avila, I., & Barrado, M. (2021). Heavy metal concentrations in rivers and drinking water of Esmeraldas (Ecuador) under an intermittent water supply service. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09579-w>

Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Jara-Negrete, E., Barrado, M., Arcos, C., Mafía, S., Custode, F., Vilaña, G., Carpintero, N., & Ochoa-Herrera, V. (2020). Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil. *Journal of Water and Health*, 18(6), 1050–1064. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.093>

# Donde juegos hay, saberes quedan: Videojuegos y enfermedades infecciosas

Por Lic. Álvaro Lara, Dra. Anita G. Villacís,  
Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISEAL),  
(baru7279@gmail.com; agvillacis@puce.edu.ec)

## De cómo dos líneas y un punto cambiaron el mundo

El 30 de octubre de 1958, y el físico estadounidense, William Higinbotham, quien algunos años atrás desarrollara parte de los sistemas electrónicos de la primera bomba nuclear, acaba de recibir la tarea de diseñar una exhibición que muestre al público el trabajo que los científicos realizan en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, uno de los centros de investigación científica más avanzados del mundo.

Arma, entonces, un aparato capaz de mostrar el ir y venir de un punto que rebota sobre una línea horizontal, simulando una cancha de tenis vista de lado. La pelota puede controlarse con un mando y un botón a cada lado de la red. De esta manera nace *Tennis for Two* (Tenis para Dos), el primer videojuego jamás creado. Higinbotham no concedió mayor valor a este juego y retiró la máquina unos años después de la exhibición y la utilizó para otros fines.

No sería sino hasta inicios de 1970 que la empresa Magnavox adquiriría la patente para fabricar masivamente las primeras consolas de videojuegos.



Figura 1: Computador conectado a un osciloscopio para jugar *Tennis for Two*.

## Superando los límites de la imaginación

Higinbotham jamás habría podido imaginar que hoy, casi 64 años después de su invención, los videojuegos se convertirían en una industria que mueve tanto a millones de personas como millones de dólares; y que entretienen al máximo, debido a su característica principal: ser un medio completamente interactivo. Con obras como el modo histórico del videojuego *Assassin's Creed: Origins*, que nos lleva por un recorrido virtual a través de todas las facetas del Egipto ptolemaico, es claro que los videojuegos han alcanzado niveles de realismo e interactividad tales, que son considerados herramientas educativas.

## Un medio incomprendido, pero que puede ser inmensamente aprovechado

La pandemia del SARS-CoV-2 evidenció una realidad incómoda: la población no tiene conocimientos básicos sobre enfermedades infecciosas porque los esfuerzos y recursos utilizados en hablar al respecto no han sido suficientes. Entonces, hay que mirar otros medios. Por ejemplo, los videojuegos.

Desgraciadamente, todos sabemos que los videojuegos, por la violencia explícita que algunos muestran, son altamente criticados; sin embargo, no cabe la menor duda de que estos gozan de una popularidad y alcance desmesurados. Por esto, en lugar de maldecirlos deberíamos utilizarlos, por ejemplo,

para concientizar a los más jóvenes, de forma masiva y a través del entretenimiento, sobre la importancia de conocer y prevenir las enfermedades infecciosas.

## El dengue

El dengue es una enfermedad causada por un virus y transmitida por mosquitos hembra de las especies *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Los mosquitos son considerados los “vampiros” del mundo de los insectos y, como tales, han desarrollado sentidos increíbles para encontrar a sus víctimas. Pueden detectar sustancias específicas en nuestro sudor, el CO2 que expulsamos cuando respiramos y hasta el calor que producimos naturalmente.

¿Por qué solo las hembras y por qué sangre? Las hembras se encargan de poner los huevos; producirlos requiere un enorme gasto de energía y varios “bloques de construcción” que se hallan en la sangre (como hierro, proteínas y aminoácidos). Los mosquitos macho, por su parte, únicamente se alimentan de néctar, ayudando incluso a la polinización de algunas plantas.

Pero, si las hembras extraen la sangre del cuerpo, ¿cómo es que son capaces de introducir un virus en él? La respuesta está en su «boca” (formalmente llamada probóscide). Considerada una de las estructuras más intrincadas entre los insectos, la probóscide de los mosquitos es como una aguja que, a la vez que extrae sangre, introduce una saliva rica en una sustancia anticoagulante que le permite conseguir un flujo constante de alimento y evitar la detección por parte de su víctima. El dengue, al igual que otros virus transmitidos por mosquitos, entra a través de la sangre ingerida y se aloja en las glándulas de saliva del insecto, de donde saldrá disparado cuando otra víctima sea picada.

Los mosquitos hembra suelen po-

ner sus huevos en el agua dulce; desde el lago más grande hasta el cuenco más pequeño, cualquier cuerpo de agua relativamente limpia es un criadero potencial. Factores como altas temperaturas, gran humedad ambiental o la construcción de edificaciones sin criterio técnico pueden facilitar la reproducción del mosquito y, por tanto, la transmisión de la enfermedad.

Los síntomas que produce el dengue pueden ir desde dolor de cabeza, fiebre, vómito y, en los peores casos, hemorragias y fallo orgánico. Lastimosamente, como indica el CDC (2021), 400 millones de personas se infectan cada año y 40 000 mueren debido a complicaciones de los síntomas más graves. Puesto que el dengue aún no tiene una cura, los esfuerzos se dirigen a paliar sus síntomas y a campañas para prevenir su transmisión.

## Plague Inc. – Jugando a la extinción

¿Qué haría usted si tuviera el poder de convertirse en un virus, una bacteria o un parásito y le asignaran la misión de acabar con la raza humana? Esa es la pregunta que plantea *Plague Inc.*, un videojuego desarrollado por el estudio británico Ndemic Creations.

Las enfermedades y las formas en las que interactuamos con ellas en la realidad son asuntos muy complejos. Consecuentemente, a fin de entender un poco más la verdadera dimensión del problema y a todos sus actores, es necesario ponerse en los zapatos del enemigo y pensar: ¿qué hace que un patógeno sea exitoso?

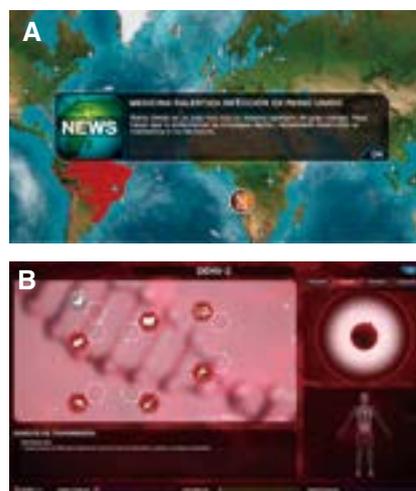
Para ello, *Plague Inc.* se presenta como una simulación del mundo real, donde existe comercio aéreo y marítimo, un organismo de salud mundial capaz de coordinar una respuesta inmediata, una sociedad que se puede fracturar cuando la enfermedad ha segado demasiadas vidas y

la capacidad del patógeno de mutar y hacer retroceder los esfuerzos de los científicos.

El jugador escoge el país donde se dará el primer caso; tal decisión afectará la partida, pues un país desarrollado responde mejor y más rápido a una crisis sanitaria que un país en vías de desarrollo, y eso se ve reflejado en *Plague Inc.*

Además, tiene a su disposición un amplio repertorio de habilidades que puede comprar con puntos que gana al infectar a la población. Se puede controlar el medio de transmisión del patógeno (aire, agua o un insecto), escoger los síntomas que produce (pudiendo aumentar la letalidad y rapidez con la que se desarrollan) o hacer la vida difícil a los científicos (generando resistencia a los medicamentos).

El principal enemigo por vencer en *Plague Inc.* es el desarrollo de una cura; cuando aquella haya sido encontrada, la partida habrá terminado. Al finalizar, el juego brinda información sobre el grado de infectividad, gravedad y mortalidad de la enfermedad; tal retroalimentación es de gran utilidad para que, en una próxima partida, el jugador pueda desarrollar una mejor estrategia hasta convertirse en el patógeno perfecto.



**Figura 2.** Interfaz del videojuego *Plague Inc.*: A) Mapa del mundo. B) Mejoras para la transmisión de la enfermedad.

Si bien no es un modelo científico, todos los elementos con los que construye su propuesta son los que uno observaría en el desarrollo de cualquier epidemia. Así, *Plague Inc.* no es solo relevante por su gran capacidad de transformar conceptos y procesos muy complejos en elementos con los que uno puede “jugar al apocalipsis”, sino que también tiene un gran apoyo por parte de usuarios jóvenes.

Los números hablan por sí solos: para mayo de 2021, en el contexto de la pandemia provocada por el SARS-CoV-2, el juego había llegado a un total de 160 millones de descargas desde su lanzamiento, resultando una herramienta informativa sobre cómo funcionan las enfermedades.

### La enfermedad de Chagas

La Enfermedad de Chagas (ECh), conocida también como Tripanosomiasis Americana, es una enfermedad parasitaria causada por el parásito *Trypanosoma cruzi* (WHO, 2021), y transmitido a humanos y otros mamíferos principalmente a través de las heces de insectos (triatominos) que se alimentan de sangre (hematófagos), conocidos en Ecuador como “chinchorros” o “chinches”.

Los síntomas de la enfermedad de Chagas pueden oscilar entre leves y graves, aunque muchas personas no presentan síntomas hasta que llegan a la etapa crónica. Se estima que existen aproximadamente 8 millones de personas infectadas y 28 millones en riesgo en el continente americano. En el Ecuador se estima una seroprevalencia total de 1,38 %, en la Costa de 1,99 % y 1,75 % en la Amazonía. No obstante, estos datos no demuestran la realidad actual, ya que muchos casos no son diagnosticados (WHO, 2021).

Se han reportado mundialmente alrededor de 150 especies de estos vectores y se distribuyen desde el sur de Estados Unidos hasta el sur de Ar-

gentina. En el Ecuador se han reportado 16 especies de triatominos, los cuales se encuentran en 18 de las 24 provincias.

Los triatominos son hemimetábolos; en otras palabras, los insectos inmaduros presentan una morfología similar a los adultos, de modo que sufren una metamorfosis sencilla o incompleta. De huevo pasan por cinco estadios ninfales (insectos inmaduros sin alas) y luego pasan a ser adultos alados y sexualmente maduros, con los genitales completamente desarrollados. Tanto los estadios ninfales como los adultos se alimentan de sangre y pueden llegar a transmitir la enfermedad de Chagas.

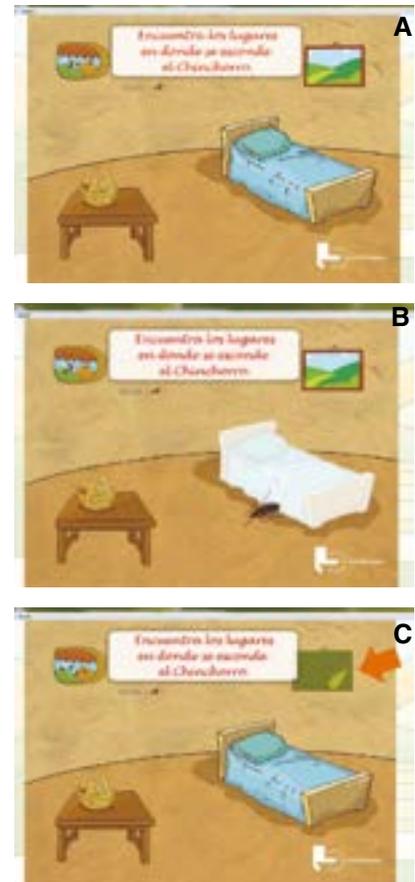
Los triatominos pueden encontrarse en diferentes ambientes (domiciliar, peridomiciliar y silvestre). Esta enfermedad comenzó siendo una zoonosis y, como tal, existe en el medio natural. Los cambios que se han dado en la sociedad (antropización) y en el ambiente (cambio climático) han influenciado en la dinámica de la transmisión de la enfermedad. A pesar de que ya han pasado más de cien años de su descubrimiento y se han hecho grandes avances en el control de la misma, también han aparecido nuevas dificultades. Por ese motivo, la educación es fundamental para prevenir las enfermedades.

### Jugando a combatir un asesino silencioso

Las condiciones ambientales y los factores de riesgo de la enfermedad de Chagas son muy diferentes en cada región. Por ello, se han creado dos videojuegos, uno enfocado a la realidad de la provincia de Loja y el otro contemplando las condiciones de la provincia de Manabí.

Por ejemplo, para la provincia de Loja se utilizó un videojuego diseñado con el programa Macromedia flash v.8 y Camtasia Studio v8.5 en el que se enfatizaba qué es un chincho-

rro (triatomino) y los posibles lugares donde podemos encontrarlos (intradomicilio y peridomicilio), tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.** Pantalla interactiva que permite conocer: A) en qué lugares se esconden los chinchorros. B) debajo de la cama, o C) detrás de cuadros

En el caso del videojuego de Manabí, nos enfocamos en los factores de riesgo de esta enfermedad y plasmamos en los lineamientos de *Game Document Design*; su desarrollo se basó en la metodología ágil *Scrum* (estructurada en *sprints*) y el motor de videojuegos *Unity*.

En este videojuego, los usuarios deben encontrar los chinchorros y capturarlos. A diferencia de lo que ocurren con la versión diseñada para Loja, en este se les proporciona un puntaje por cada triatomino capturado, tanto en el ambiente intradomiciliar como en el peridomiciliar,

tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4.** Sprints donde se permite interactuar al usuario A). Intradomicilio B) Peridomicilio de una vivienda típica en la provincia de Manabí.

Finalmente, algo muy importante, tal como menciona Mantilla *et al.* (2020), es que los videojuegos deben cumplir con ciertos requisitos que permiten que sean atractivos para el usuario:

- i. **Contexto:** Es decir, que la historia del juego se desarrolla en un ambiente específico para una determinada área de estudio y características propias del ecosistema y los elementos de su propagación en la zona.
- ii. **Antecedentes:** El juego se desarrolla a partir de una situación de propagación de la enfermedad preocupante que se viva en las comunidades en ese momento.
- iii. **Usuarios/as:** El juego debe tener una audiencia específica, por ejemplo, niños y jóvenes de las comunidades o ciudades afectadas por una determinada enfermedad.
- iv. **Elementos:** De la vida real, que permite a los niños y jóvenes relacionarse con lo que pasa en el juego y sus personajes; además, la existencia de elementos de ficción, que aportan a la diversión en el juego. Esto incrementa su nivel de aprendizaje y motivación.
- v. **Historia:** Esencial para la motiva-

ción del juego y superación de los diferentes retos que se presentan, y

- vi. **Personaje principal:** Al ser orientado a niños y jóvenes, ellos son los protagonistas del juego y su desarrollo.

### Un salto de fe: ¿Qué nos depara el futuro?

El camino hacia la erradicación de las diversas enfermedades tropicales que azotan al Ecuador y a muchos otros países del mundo está plagado de retos en todos los frentes. En el que nos compete, el de la prevención, todavía falta un largo camino por recorrer, pues resulta evidente que las campañas educativas no tienen el alcance necesario para llegar a quienes más las necesitan. Parece mentira que en la era de la tecnología y el Internet los videojuegos educativos aún sean la excepción y no la norma.

Propuestas innovadoras como *Plague Inc.* o los juegos que enseñan sobre Chagas en distintos contextos, son herramientas extremadamente útiles para poner a las personas en los zapatos de los científicos. Es decir, experimentar, fracasar una y mil veces hasta llegar a la evidencia más contundente, terminar con más preguntas que respuestas... a fin de cuentas, tratar de comprender la inconmensurable complejidad del mundo que nos rodea.

Los videojuegos nacieron para entretener, pero también lograron lo que ningún medio consiguió antes de él: convertir al usuario en un sujeto capaz de interactuar con mundos más allá de su imaginación. Es aquí donde cabe preguntar: ¿cuál es el límite de la interacción en los videojuegos?

Aún no tenemos la respuesta a esa pregunta y tratar de responderla nos lleva al terreno de la ciencia ficción; pero sí podemos estar seguros

de algo: los niños aprenden de su entorno al interactuar con él, al jugar con los elementos que tienen a su disposición. Si los niños juegan para aprender y los científicos también (aunque con juguetes más sofisticados), ¿no son los videojuegos el paso adicional que necesitamos para revolucionar la educación?

Los videojuegos arrastran el estigma de no poder ser tomados en serio; el temor y el desconocimiento de su verdadero potencial se encuentran en una mezcla heterogénea en la que a veces prima uno sobre otro. Es momento de enfrentar ese miedo y mirar aquello que es diferente con otros ojos, pues como decía la gran científica, Marie Curie: “nada en la vida debe ser temido, solo comprendido; ahora es momento de entender más para que podamos temer menos”.

### Literatura consultada

- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2021). About Dengue: What You Need to Know. <https://www.cdc.gov/dengue/about/index.html>
- Dobrilova, T. (2021). How Much Is the Gaming Industry Worth in 2021? [+25 Powerful Stats]. TechJury. <https://techjury.net/blog/gaming-industry-worth/>
- Mantilla, D., Rodríguez, F., & Villacís, A. G. (2020). Diseño y desarrollo de un videojuego Educativo mediante una metodología ágil, como herramienta orientada a niños de 7 a 11 años para la prevención de la enfermedad de Chagas. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E33), 338-350.
- World Health Organization (WHO). (2021). Chagas disease (American trypanosomiasis). [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-\(american-trypanosomiasis\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis))

# ¿Reptiles reservorios de *Salmonella* spp.?

Por Mtr. Andrea Rodríguez-Guerra  
 Coordinadora del Centro de Investigación y Desarrollo  
 Tecnológico, Instituto Tecnológico Universitario Cordillera  
 (andrea.rodriguez@cordillera.edu.ec)

Los reservorios animales actúan como focos de dispersión de enfermedades; en muchas ocasiones, el reservorio no se afecta o no muestra síntomas de la enfermedad. Las bacterias, virus, hongos o parásitos pueden vivir en reservorios humanos o animales y causar enfermedades al permanecer estables en estos organismos (Palós *et al.*, 2020).

*Salmonella* es una bacteria que vive en el tracto digestivo de aves de corral, ganado vacuno y porcino principalmente y puede ser fuente de infección importante de los alimentos derivados de dichos reservorios. El género *Salmonella* presenta actualmente alrededor de más de 2500 variedades o serotipos, de los cuales cerca de 200 causan enfermedad en humanos. Esta bacteria comúnmente vive en el ambiente y en el tracto digestivo de animales cuya transmisión incluye al ser humano dentro de su ciclo.

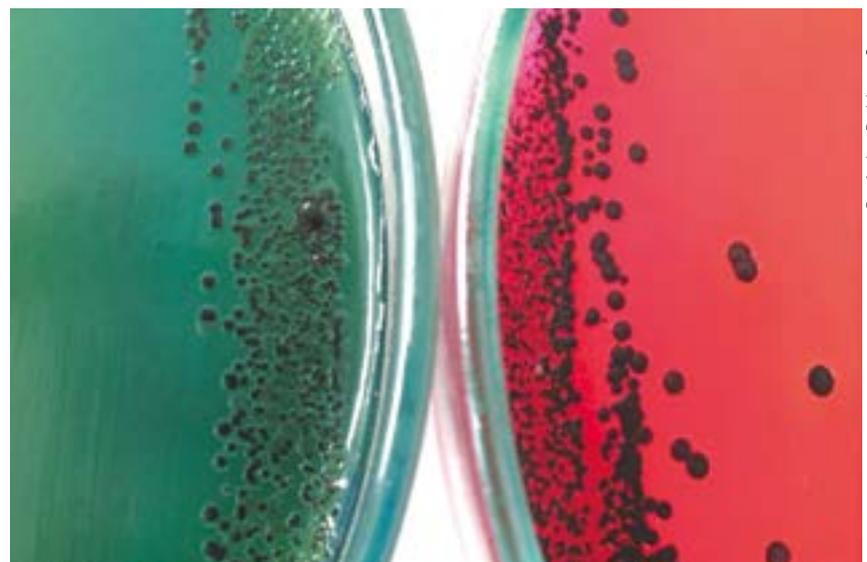
La salmonelosis, causada por *Salmonella Enteritidis*, es una enfermedad de gran importancia en la salud pública que afecta a humanos y causa la mayoría de cuadros clínicos diarreicos en hospitales y centros de salud. Constituye una de las cuatro principales causas de enfermedades diarreicas a nivel mundial (OMS, 2018).

*Salmonella Enteritidis* es considerada una pandemia a nivel mun-

dial desde los años 60 a partir de su uso como raticida en varios países de Centro y Sudamérica. Luego de varios años, los casos de gastroenteritis causadas por la bacteria aumentaron, principalmente por la ingestión de huevos contaminados con la bacteria y su inadecuado almacenamiento con deficiente control de temperatura.

A pesar de los esfuerzos de control de esta enfermedad, la OMS (2018) reporta que los factores del huésped y el serotipo de la bacteria influyen directamente en la gravedad de la enfermedad. Además, la misma organización reporta que entre el 60 % y 80 % de los brotes de *Salmonella* son considerados esporádicos o no son diagnosticados. (Fig. 1).

Esta bacteria ha desarrollado propiedades patogénicas e invasivas específicas para cada hospedero, lo que le ha brindado la capacidad de habitar en una amplia gama de reservorios animales. El hábitat nativo de las variedades de este género es el tracto digestivo de vertebrados homeotermos (aves y mamíferos) y poiquilotermos (anfibios y reptiles) en donde se encuentran totalmente adaptadas y no causa ninguna afectación a sus huéspedes. Estos animales son portadores asintomáticos de la bacteria; sin embargo, cuando esos serotipos son transmitidos al humano pueden ser invasivos y en ocasiones mortales (causa de zoonosis). Las poblaciones más vulnerables al contagio de esta bacteria son los niños, los adultos mayores y



**Figura 1.** Crecimiento de colonias características de *Salmonella* spp. tras incubación a 37 °C por 24 h. en Xilosa Lisina Desoxicolato Y Hektoen, medios de aislamiento selectivo. De izquierda a derecha, placa de Hektoen y placa de XLD.

Por Andrea Rodríguez-Guerra

personas inmuno comprometidas, quienes pueden tener, en los peores casos, una septicemia o muerte.

La infección de *Salmonella* es reconocida como zoonosis ya que el patrón epidemiológico de esta bacteria está relacionado predominantemente a reservorios animales (Briones *et al.*, 2004; Bauwens *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2020). La salmonelosis asociada a manipulación de reptiles es considerada actualmente como una enfermedad reemergente. Una de las primeras infecciones humana asociadas a una tortuga se reportó en 1963 en los Estados Unidos. (Fig. 2).

cuáles son transmisores e, incluso, aquellos que son portadores no eliminan la bacteria constantemente; de esta manera, los microorganismos en sus heces permanecen vivos y pueden causar serias afecciones a humanos.

Los reptiles tienen esta bacteria en su tracto digestivo, razón por la cual se les ha atribuido a estos animales como causa de salmonelosis por casi 50 años. Varios estudios han reportado casos de salmonelosis asociados a la exposición a animales salvajes domesticados (a veces exóticos) como los reptiles y anfibios. En Estados Unidos, se estima que

A pesar de que la transmisión de *Salmonella* a humanos se da a través de agua o alimentos contaminados con células vivas de esta bacteria, se conoce que alrededor del 3 al 5 % de los casos de salmonelosis reportados en humanos están asociados a la exposición a animales salvajes o exóticos (Woodward *et al.*, 1997; Berendes *et al.*, 2007).

## Resultados locales de prevalencia

El estudio de esta fascinante bacteria nace de mi curiosidad y motivación de fusionar dos áreas de la biología que me apasionaban: la microbiología y la herpetología.

Luego de una larga búsqueda de temas de investigación, la versatilidad y características de esta bacteria rápidamente llamaron mi atención, sobre todo porque mis animales favoritos, los reptiles, se encontraban entre sus huéspedes.

Los reptiles criados en cautiverio son identificados como reservorios de *Salmonella* spp., bacteria causante de salmonelosis asociada a manipulación de estos animales.

En Ecuador existen escasos datos de las variedades o serotipos de *Salmonella* spp. que circulan en el medio, y son pocas las investigaciones acerca de la prevalencia de *Salmonella* en reptiles. Los datos existentes incluyen, únicamente, cepas aisladas de pacientes hospitalizados y/o de alimentos sin especificación del serotipo

Con el fin de presentar una evidencia más de la prevalencia de esta bacteria en poblaciones locales de reptiles, se registró la presencia de *Salmonella* en animales en cautiverio en el Distrito Metropolitano de Quito en tres principales centros de manutención: Vivarium de Quito, Zoológico de Guayllabamba y una pequeña muestra de hogares y

Por Andreea Rodríguez-Guerra



Figura 2. Espécimen analizado durante el estudio

De acuerdo con estudios realizados en otros países, se estima que más del 90 % de todos los reptiles pueden portar *S. enterica* en sus heces con más de cinco diferentes variedades en cada individuo; y la eliminación de la bacteria a través de su heces puede ser un proceso intermitente por lo que en algunos casos no se va a poder evidenciar su completa prevalencia (Ackman *et al.*, 1995; Ward, 2000; Aguilar *et al.*, 2005). Los animales portadores de *Salmonella* no muestran ningún síntoma, por lo que es difícil saber

existen alrededor de 1.4 millones de casos de infección por *Salmonella*, de los cuales 74 000 están asociados a la exposición a reptiles y anfibios (Hoelzer *et al.*, 2011; Bertrand *et al.*, 2007).

Los resultados de investigaciones epidemiológicas de los Centros para el control y la Prevención de Enfermedades (CDC) de Estados Unidos han atribuido el origen de brotes de *Salmonella* a la comercialización de tortugas y otras especies de reptiles como mascotas en varios países.

almacenes de estipendio de dichos animales.

Luego de analizar 200 muestras obtenidas de la cloaca de reptiles mediante pruebas bioquímicas, se identificaron 78 cepas de *Salmonella* spp. pertenecientes a 37 especies de reptiles: tortugas, serpientes, lagartos. Mediante el uso de sueros para identificación del serotipo Enteritidis (causante por Salmonelosis). Dentro de las cuales, el 12,8 % de las muestras fueron de la variedad Enteritidis y el 87,2 % de otros serotipos que no fueron identificados durante el estudio. (Fig. 3).

Además de la identificación de *Salmonella*, se reportaron otras especies de bacterias gastroentéricas de los géneros: *Citrobacter*, *Escherichia*, *Proteus*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Providencia* y *Klebsiella*. (Fig. 4).

A pesar de que no se conoce con certeza la razón de la convivencia particular de esta bacteria con reptiles, se presume que podría ser la cercanía del hombre a animales de compañía no tradicionales, como los reptiles, y su manejo en cautividad. Este hecho pudo haber provo-

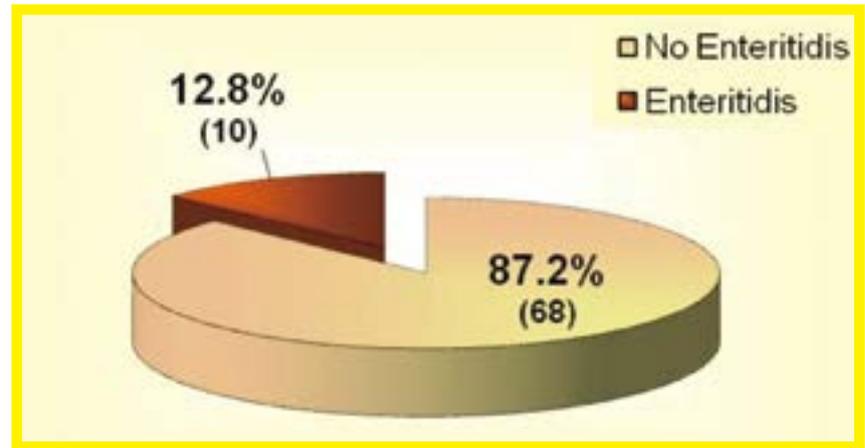


Figura 3. Porcentaje de presencia/ausencia de *Salmonella* Enteritidis de las muestras positivas para *Salmonella* spp.

cado el cambio de nicho ecológico del serotipo Enteritidis que hizo que pase de vertebrados endotérmicos a vertebrados poiquilotermos.

El estudio de las rutas de transmisión y posibles reservorios de microorganismos podrían facilitar el seguimiento de la estructura y dinámica de las poblaciones bacterianas. Los resultados pudieron detectar el riesgo que puede representar la presencia de esta bacteria patógena para el humano en el tracto digestivo de animales mantenidos en Centros de manejo de fauna en la ciudad.

Los métodos moleculares desarrollados en la actualidad son de suma importancia y sirven como complemento a la identificación bioquímica y serológica de las bacterias. A pesar de que el método de serotipificación para identificación de *Salmonella* spp. es considerado uno de los métodos más eficientes entre los microorganismos, se debería considerar, adicionalmente, métodos moleculares para poder caracterizar los aislados. (Fig. 5).

Luego de realizar análisis de electroforesis de campo pulsado se identificaron tres clones de *Salmonella enterica* (enteritidis), los cuales que se asociaron a distintos hospederos: clon1 a los géneros de serpientes *Boa* y *Epicrates*; clon 2 a *Iguana* y clon 3 al género *Corallus*. (Fig. 6).

Es de gran importancia realizar la caracterización de cepas bacterianas para realizar la asociación de las mismas con reservorios animales. Los análisis moleculares permiten describir la presencia de bacterias que en muchas ocasiones pueden pasar desapercibidas o pueden ser subestimadas. Este hecho, quizá representa un grave problema de salud pública ya que en los huéspedes la enfermedad no se manifiesta.

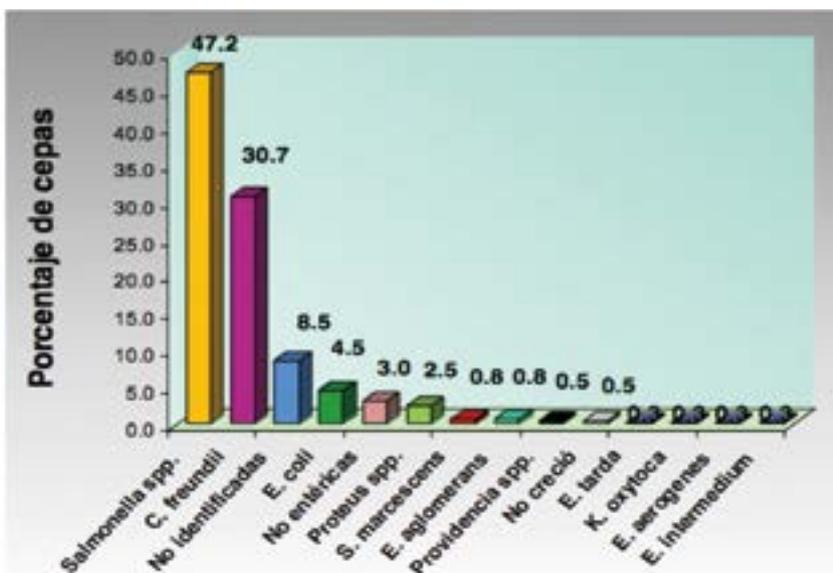
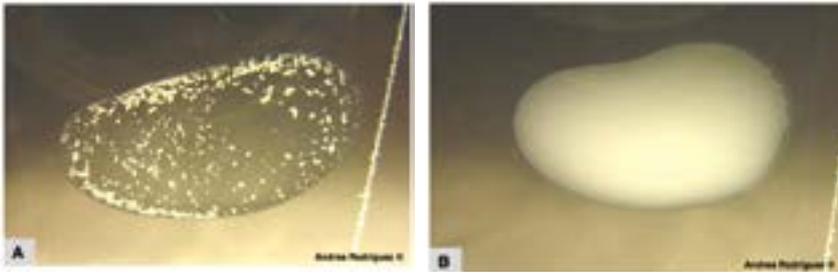


Figura 4. Porcentaje de organismos identificados en las muestras de cloaca de los individuos analizados



**Figura 5.** Serología de *Salmonella* spp. A. Aglutinación positiva. B. Aglutinación negativa.

### Medidas de prevención

La prevalencia actual de la variedad Enteritidis en reptiles la convierte en la actualidad en una enfermedad zoonótica transmisible al humano en condiciones naturales. Este estudio reveló cifras de prevalencia considerables en la población de reptiles estudiada, que denotan la importancia de la incorporación de prácticas básicas de higiene y manipulación de estos y otros animales reservorios de esta bacteria (mascotas, animales de granja), especialmente en establecimientos que tienen alta frecuencia de visita de poblaciones vulnerables pediátrica y geriátrica.

Procedimientos inadecuados de manipulación de alimentos contribuyen directamente a la transmisión de esta enfermedad.

Existe evidencia sobre la presencia de *Salmonella* en superficies

luego de la higienización y la razón de su permanencia puede deberse al uso inadecuado de estropajos de limpieza. La desinfección o descarte de esponjas y otros utensillos puede ser la mejor manera de evitar el contacto con esta bacteria.

### Literatura consultada

Bauwens, L., Vercammen, F., Bertrand, S., Collard, J., De Ceuster, S. Isolation of *Salmonella* from environmental samples collected in the reptile department of Antwerp Zoo using different selective methods. *Journal of Applied Microbiology*, 101: 284-289, 2006.

Berendes, T., Keijman, J., Te Velde, L., Oostenbroek, R. Splenic Abscesses Caused by a Reptile-Associated *Salmonella* Infection. *Digestive Surgery*, 24: 397-399, 2007.

Bertrand S., Rimhanen-Finne R., Weill FX., Rabsch W., Thornton

L., Perevoscikovs J., van Pelt W, Heck M. (2008). *Salmonella* infections associated with reptiles: the current situation in Europe. *Euro Surveillance: Bulletin Europeen sur les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin*, 13(24):717-727.

Briones V., Téllez, S., Goyache, J., Ballesteros, C., Lanzarot, M., Domínguez, L., Fernández-Garayrabal, J. F. *Salmonella* diversity associated with wild reptiles and amphibians in Spain. *Environmental Microbiology*, 6: 868-871, 2004.

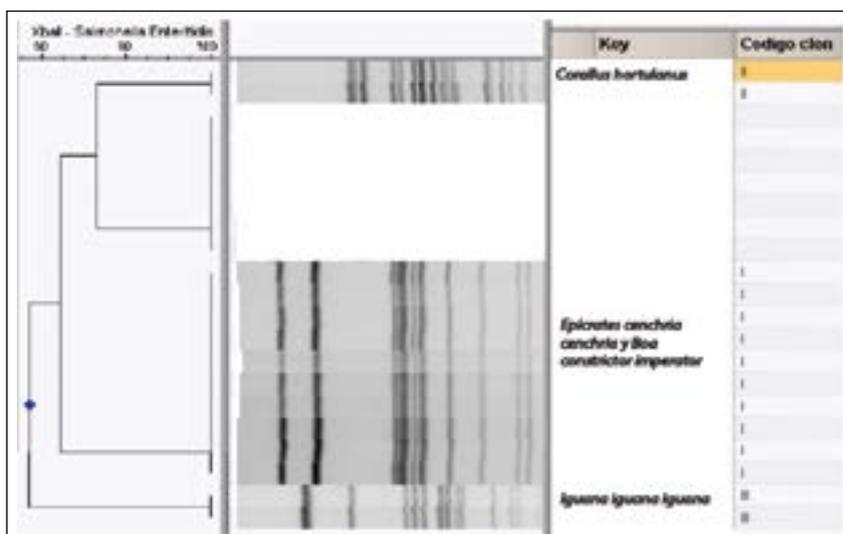
Centros de Control de Enfermedades y Prevención (CDC). *Salmonella*. [En línea] (Consultado el 20/02/2017). Disponible en: <https://www.cdc.gov/salmonella/index.html>

Hoelzer K, Moreno Switt AI, Wiedmann M. (2011). Animal contact as a source of human non-typhoidal salmonellosis. *Veterinary Research*, 42:34. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs139/es/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Salmonella* (no tifoidea). En línea: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal)).

Palós Gutiérrez, T., Rubio Lozano, M. S., Delgado Suárez, E.J., Rosi Guzmán, N., Soberanis Ramos, O., Hernández Pérez, C.F., & Méndez Medina, R.D. (2020). Linfo nodos y carne molida de res como reservorios de *Salmonella* spp. de importancia en salud pública. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(3), 795-810. Epub 05 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5516>

Woodward, D., Khakhria, R., Johnson, W. Human Salmonellosis Associated with Exotic Pets. *American Society for Microbiology. Journal of Clinical Microbiology*, 35: 2786-2790, 1997.



**Figura 6.** Resultados de electroforesis de campo pulsado de cepas de *Salmonella Enteritidis*.

# Unos padres amorosos entre los insectos



Por Lic. Fernanda Salazar-Buenaño  
Museo de Zoología, QCAZ, Sección invertebrados PUCE  
mafersalazar@yahoo.es

**L**a pronta llegada de un bebé despierta el instinto de protección en los progenitores; al menos, eso sucede en algunos animales como anfibios, aves y mamíferos, pero... ¿que sucede con los insectos?

Antes de entrar en la vida privada de los insectos, primero hay que saber que el cuidado parental es una conducta que adoptan algunos animales, que les permite incrementar la viabilidad de su descendencia. Por ejemplo: proporcionar un refugio, aprovisionar alimentos, proteger de los depredadores son algunas de las conductas de los buenos padres.

Los motivos por los que existe un cuidado parental no son tan románticos, sino más bien corresponden a una estrategia en la que los padres buscan su beneficio al perpetuar sus genes y mantener su linaje en el futuro. La inversión proporcionada por los padres aumenta la probabilidad de que su descendencia llegue a ser adulta y pueda reproducirse. Este tipo de comportamiento no es muy común entre los insectos, es más, se creía que estaba restringido a un grupo de animales avanzados evolutivamente.

La mayoría de insectos han adoptado estrategias reproductivas como las siguientes: tener progenes grandes en cortos períodos, un macho puede copular con varias hembras y viceversa, tomar largos tiempos de pausa y esperar que haya las condiciones adecuadas para su

desarrollo y hasta la reproducción a partir, únicamente, de células femeninas (partenogénesis).

Otros insectos, en cambio, evitan el cuidado parental y han desarrollado estrategias como ubicar sus huevos con sustancias protectoras que los hace duros e impenetrables, colocarlos en lugares ocultos lejos de los depredadores, poner los huevos por separado en diferentes partes del huésped, poner huevos en lapsos separados de un día o dos entre cada puesta; todos estos mecanismos les dan mayor probabilidad de perder la menor cantidad de prole por depredación.

Si bien estas estrategias nombradas son eficaces y requieren menor gasto de energía; algunos insectos, incluso a costa de sus vidas, han adoptado el cuidado parental, para reproducir sus copias genéticas y mantenerlas en el tiempo. La razón es aún muy discutida y no se tiene muy claro. Algunos autores hablan de una respuesta a condiciones ambientales favorables o desfavorables que gatillan este comportamiento. Lo cierto es que sí existen padres amorosos entre los insectos.

## ¿Y quién cuida a las bendiciones?

Los que somos padres hemos oído decir: el instinto aflorará y sabrás qué hacer cuando llegue el momento. ¿Será este el instinto paternal/maternal al que muchos se refieren?

Si bien en los mamíferos, el cuidado parental depende principal-

Los motivos por los que existe un cuidado parental no son tan románticos, sino más bien corresponden a una estrategia en la que los padres buscan su beneficio al perpetuar sus genes y mantener su linaje en el futuro.

mente de la madre, en los insectos esto es menos frecuente, puesto que el padre también puede asumir esta responsabilidad solo. Hay casos de cuidado compartido por el padre y la madre; otros, en los que este trabajo es asumido por varios miembros de una comunidad, y unos más en los que niñeras de una especie diferente se encargan de la prole.

Algunos ejemplos del cuidado parental en los insectos: el caso del escarabajo tortuga (*Acromis sparsa*) que cuida sus crías desde que son huevos, protege a sus ninfas manteniéndolas debajo de su cuerpo y se encarga de llevarlas en busca de alimento. Esta madre se encarga de su prole hasta que son adultos capaces de reproducirse.

Los escarabajos de la familia Passalidae en general buscan en pareja

un tronco que brinde protección, alimento y un ambiente estable para la crianza de su progenie. Los padres se encargan de proveer alimento digerible a sus hijos hasta que son adultos y son capaces de abandonar el nido, reproducirse y establecer su propio hogar.

Los machos de un chinche acuático (*Belostomatinae*) se encargan del cuidado de los niños, ya que las hembras pegan los huevos en su dorso y estos deben encargarse de mantenerlos oxigenados, húmedos y a salvo de los depredadores hasta que eclosionan.

El caso de las abejas, avispas y otros insectos sociales es particular ya que hay una separación en grupos o castas, entre los que se designa a un grupo de cuidadoras de larvas que son estériles y se encargan únicamente de alimentar y proteger a las bebés que no son sus descendientes directas. El caso de estos insectos sociales es controversial justamente porque cuidan los genes que no son suyos; una de las teorías para explicar este comportamiento es que custodian linajes familiares al proteger a las hijas de sus hermanas o parientes en un nido.

Otro tipo de cuidado que también es un poco extraño es el que proporcionan algunas hormigas a las ninfas de cigarras, en una interacción en la que los dos grupos se ven beneficiados: por un lado, las pequeñas cigarras reciben protección por parte de las hormigas y a cambio estas reciben una especie de néctar dulce.

### Madres y niñeras una dupla perfecta

Sin lugar a dudas, la mejor forma de aprender es experimentar uno mismo, así que contaré mi encuentro con estos insectos padres amorosos que cuidan de su prole.



Por Fernanda Salazar Buenafío

Figura 1. *Aetalion reticulatum* madres e hijas.

*Aetalion reticulatum* (Linnaeus 1758) es una pequeña cigarra que mide 11 mm. Es de color marrón con líneas blancas en sus alas y manchas negras en sus patas, está ampliamente distribuida en la región Neotropical y ha sido registrada como plaga de algunas plantas frutales y de interés agrícola. El daño causado con sus picos para absorber la savia puede llegar a secar las ramas y convertirse en un problema serio (Fig. 1).

Desde hace dos años estas cigarras se tomaron la planta de higos (*Ficus carica*) de mi jardín, es fácil encontrarlas sentadas en las ramas sobre unas masas de color café, que resultaron ser los huevos. Una detrás de otra las madres aguardan el nacimiento de sus hijitos. Según Alarcón & Cazorla 2021 la incubación dura 30 días y aproximadamente otro mes hasta llegar a adultos. Las masas semicirculares de entre 10 y 12 mm de radio contienen aproximadamente 100 huevos envueltos en una sustancia de color café similar al barro (Fig. 2).

El instinto de protección de las madres es evidente, no huyen frente al peligro, sino que más bien

agitan sus patas en forma frenética para tratar de asustar al enemigo; no pude observar directamente un depredador específico, sin embargo,



Por Fernanda Salazar Buenafío

Figura 2. Masas de huevos de *Aetalion reticulatum*.

en la literatura se reportan avispas y chinches como controladores de estas cigarritas.

Pero la historia no termina ahí, una vez que las pequeñas ninfas salen del huevo entran en escena las niñeras hormigas que se unen al cuidado de las bebés y se encargan de protegerlas a cambio de gotitas de miel producidas por las ninfas (Fig. 3). Las pequeñas recién nacidas son gregarias; es decir, permanecen juntas hasta que alcanzan su madurez reproductiva. Forman colonias con las hijas de otras hembras cercanas, por lo que no es raro ver grupos de varias edades.



Figura 3. Madres cuidando sus huevos y ninfas recién eclosionadas junto a sus niñeras hormigas.

El trabajo de las hormigas es únicamente en horas hábiles; mientras hay luz, las hormigas van y vienen estimulando a las ninfas con sus patas para producir la miel, pero al llegar la noche quedan otra vez totalmente al cuidado de las madres (Fig. 4).

### Unas madres abnegadas, una segunda observación

*Leptoglossus zonatus* (Dallas 1852) es un chinche que mide 18 mm. Es de color café oscuro con una línea amarilla distintiva en for-

ma de zigzag que atraviesa las alas en forma transversal, sus patas tienen una prolongación por lo que son conocidos como chinches patas de hoja (Fig. 5). Está distribuido en toda América, es una especie que se alimenta de la savia de una amplia gama de plantas.

A inicios de este año, mi planta de taxo (*Passiflora mixta*) floreció y apenas empezó a producir los primeros frutos noté la presencia de estos chinches, bastante grandes y ruidosos al volar. Según Tepole *et al.* 2016, los chinches colocan sus huevos en hileras de hasta 20 individuos sobre ramas y hojas, los huevos tardan en eclosionar entre 8 y 10 días. Seguramente, hay un cuidado de su prole desde huevo, etapa que no pude observar porque su estrategia es colocarlos camuflados



Figura 4. Madres cuidando sus huevos y ninfas recién eclosionadas, vistas desde otro ángulo.



Figura 5. *Leptoglossus zonatus* adulto

entre el follaje, fuera del alcance de sus enemigos.

Entre las hojas y frutos aparecieron las pequeñas ninfas de color rojo en grupos de entre 6 y 10, estas permanecen junto a su madre día y noche. Frente al peligro, la madre les protege con su cuerpo o distrae la atención del enemigo moviéndose lejos de sus pequeños mientras les da la oportunidad de esconderse entre las hojas secas cercanas.

Adultos y ninfas se alimentan de los frutos del taxo, las madres pastorean a sus hijos en busca de los frutos maduros y dulces. Estas familias permanecen juntas hasta que los hijitos alcanzan la madurez reproductiva (Fig. 6).



**Figura 6.** *Leptoglossus zonatus*, madre y pequeños hijos.

### Sacrificios y costos para los padres

El cuidado parental implica un gasto y/o inversión de energía, tiempo y recursos muy alto. Es por esto que son pocas las especies de insectos que han adoptado esta estrategia y se juegan el todo por el todo. Están registrados algunos casos extremos en los que el sacrificio de los padres

es dar la vida misma, como el caso de los machos de mantis religiosa que sirven de alimento nutritivo de la hembra con la que copulan y que la mantendrá en buen estado para tener sus bebés.

Los padres que cuidan a su prole sacrifican su vida amorosa, se toman en serio lo de ser padres y mientras su prole no llegue a ser adulta no vuelven a copular, y, es más, en algunos casos le apuestan a un único encuentro amoroso en toda su vida. El poco tiempo que los padres cuidadores dedican para alimentarse también puede afectar y disminuir su vigor y salud; por esto, para cuando terminan de criar a sus hijos posiblemente no estarán aptos para una nueva puesta y el cuidado parental que implica.

Para que todo sacrificio valga la pena es importante saber elegir la mejor pareja, este es en uno de los pasos más trascendentes y que aseguran que la energía invertida se vea recompensada con ganancias: en este caso, un número grande de bebés sobrevivientes. Por esta razón, los insectos han desarrollado una serie de adornos, danzas, secreciones y comportamientos que les ayudan a ser elegidos y a elegir a la pareja más fuerte, saludable y capaz.

Por ejemplo, unos cuernos grandes en los machos de escarabajos son signo de fortaleza y salud, los colores llamativos o una adaptación en forma de cepillo para mandar mensajes químicos son indispensables para atraer a las hembras de algunas mariposas, ser buenos constructores de nidos o dar prueba de su habilidad cuidando bebés los hace excelentes candidatos para perdurar su linaje.

### Algunos aprendizajes

Definitivamente la unión hace la diferencia: un cuidado parental

compartido disminuye el aporte individual de energía invertido y les permite mantener comunidades sanas y en buen estado con un mínimo de sacrificio de los padres.

El cuidado parental en los insectos incluye una serie de técnicas adicionales que dan soporte y funcionalidad a esta estrategia con buenos resultados de viabilidad y sobrevivencia en estas especies.

Aún quedan muchas interrogantes en torno al cuidado parental, los niveles de sobrevivencia de estos y su vulnerabilidad frente a los cambios que en el planeta se están dando. En los últimos años, se ha hablado de la desaparición de los insectos; quizá aprender un poco más sobre su vida privada nos ayude a conservar nuestra casa común.

### Literatura consultada

- Tepole R., Ramírez S., Bartolo J. & Castrejón V. 2016. Ciclo de vida y análisis de riesgo climático de *Leptoglossus zonatus* Dallas (Hemiptera: Coreidae) para las zonas productoras de sorgo en el estado de Morelos, México.
- Alarcón M. & Cazorla D. 2021. *Aetalion reticulatum* (L.) (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Aetalionidae) asociada con *Piper auritum* Kunth (Piperaceae) y dos taxa de Hymenoptera (Formicidae, Vespidae) en Mérida, Estado Mérida, Venezuela. *Revista Nicaraguense de Entomología* 227: 1-29.
- Fernández I. 1999. Evolución de la Eusociabilidad en los insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 26:713-726.
- Garibay L. & Contreras H. 2009. Cuidar, invertir: la economía de la vida. *Revista de divulgación científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana* 22(1).

# El Sistema Endocannabinoide: sistema biológico de regulación fisiológica cuya principal función es mantener la homeostasis del organismo

Por Máster Omar Vacas Cruz  
omarvacas@yahoo.com

*Aunque el ser humano lleva siglos haciendo uso del cannabis, recién en el transcurso de los últimos 50 años, aproximadamente, hemos conseguido entender un poco acerca del funcionamiento del cannabis en el cuerpo humano. Mientras que el descubrimiento de los primeros cannabinoides tuvo lugar en la década de los 40, no fue hasta 1964 que el THCA que produce la planta se pudo caracterizar y sintetizar.*

Michael Backes<sup>1</sup>

## Un rompecabezas que aún no cuenta con todas las fichas

**A**unque se descubrió en fechas relativamente recientes, el sistema endocannabinoide es extremadamente importante y responsable de dos actividades básicas: La primera es modular el placer, la energía y el bienestar. La segunda es impulsar lentamente al cuerpo a recuperar la homeostasis frente a lesiones y enfermedades. La complejidad asociada a estas tareas ha generado una cantidad asombrosa de investigaciones en estas últimas décadas, que, en los últimos 10 años, ha culminado en una comprensión básica del campo de acción de este sistema.

Cabe señalar que el nombre más asociado a la ciencia del cannabis es el químico israelí **Raphael Mechoulam**, a quien se le atribuye el primer aislamiento e identificación del delta-9-tetrahidrocannabinol ( $\Delta^9$ -THC). Pero dada la actual moda del cannabidiol, CBD, existe otro investigador que debería ser mencionado, es el químico americano **Roger Adams**, el trabajo más importante que desarrolló fue su investigación sobre el cannabis a principios de la década de los 40, cuando aisló el CBD, y en 1942, obtuvo una patente por su método de aislamiento. Adams también fue el primer investigador en identificar el  $\Delta^9$ -THC, y publicar sobre este tema algunos estudios en *American Journal of Chemistry*.

El  $\Delta^9$ -THC fue aislado por primera vez en 1964 por un equipo de

científicos conformado por Habib Edery, Yechiel Gaoni y Raphael Mechoulam, del Instituto Weizmann de Ciencias, en Rejovot, Israel, lo que desencadenó la búsqueda de un receptor en el cuerpo humano con el cual pudiese interactuar. Recién a finales de los ochenta se lograron caracterizar los primeros receptores, y resultó que formaban una serie nueva de mecanismos regulatorios del cuerpo humano.

El sistema endocannabinoide está compuesto de receptores a cannabinoides (CB1, CB2, entre otros), y endocannabinoides (AEA, 2-AG, 2-AGE, etc.) que interactúan del mismo modo que lo hacen una cerradura y su llave (Fig. 1). Los receptores son proteínas de membrana celular que actúan como la cerradura de los endocannabinoides, o sea

<sup>1</sup> Co-Founder and Chief Product Officer at Perfect, Author - Cannabis Pharmacy, SMA - Maui Grown Therapies.



**Figura 1.** Sistema endocannabinoide y su funcionamiento.

ligandos endógenos de naturaleza lipídica producidos por las distintas células corporales, que actúan como una llave perfecta que se une a los receptores. Esta activación produce cambios dentro de las células que desembocan en las acciones finales del sistema endocannabinoide sobre los procesos fisiológicos del cuerpo.

El sistema endocannabinoide se implica en una amplia variedad de procesos fisiológicos; por ejemplo, la modulación de la liberación de neurotransmisores, la regulación de la percepción del dolor y las funciones cardiovasculares, gastrointestinales, hepáticas, entre otras de importancia.

Debido a su papel en el restablecimiento del equilibrio, cuando se produce una enfermedad o lesión, el sistema endocannabinoide desempeña un papel fundamental en la regulación de la enfermedad.

La modulación de la actividad del sistema endocannabinoide puede tener un potencial terapéutico en casi todas las enfermedades que afectan a los humanos, incluidas la obesidad y el síndrome metabólico; la diabetes y sus complicaciones;

las enfermedades neurodegenerativas, inflamatorias, cardiovasculares, hepáticas, gastrointestinales y cutáneas; el dolor, los trastornos psiquiátricos, la caquexia, el cáncer y las náuseas y vómitos inducidos por la quimioterapia, entre muchos otros problemas de salud.

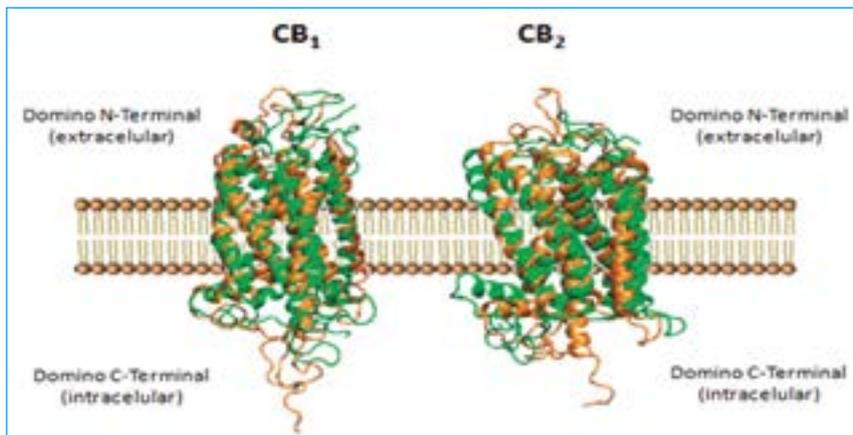
Según la comprensión actual que tenemos del sistema endocannabinoide, consta de los siguientes componentes (Tabla 1):

**En definitiva, los efectos terapéuticos del cannabis ocurren gracias a la interacción entre los endocannabinoides y los receptores a cannabinoides.**

En 1988 se descubrió el receptor cannabinoide de tipo 1 (CB1) y unos cinco años más tarde (1993) el receptor cannabinoide de tipo 2 (CB2) (Fig. 2). Un año antes de que se descubriera el receptor CB2 se identificó la Araquidonoiletanolamida (AEA)

**Tabla 1.** Lista de componentes del sistema endocannabinoide.

RECEPTORES A CANNABINOIDES	ENDOCANNABINOIDES	ENZIMAS
CB1 (Receptor cannabinoide de tipo 1).	Araquidonoiletanolamida (AEA) o Anandamida.	DAGL- $\alpha$ (para la síntesis del 2-AG).
CB2 (Receptor cannabinoide de tipo 2).	2-araquidonilglicerol (2-AG).	DAGL- $\beta$ (para la síntesis del 2-AG).
PPAR (Receptores Activados por Proliferadores Peroxisomales).	éter 2-araquidonilglicerol (2-AGE).	Fosfolipasa D selectiva para la NAPE (N-acil-fosfatidiletanolamina) (para la síntesis de la AEA).
TRPV1 (Receptor de potencial transitorio V1).	N-araquidonildopamina (NADA)	MAGL (monoacilglicerol lipasa) (para la degradación del 2-AG).
GPR18 (Receptor acoplado a proteínas G 18), GPR119, GPR55 (subtipos de receptores cannabinoides huérfanos).		FAAH (amida hidrolasa de ácidos grasos) (para la degradación de la AEA).
5-HT1A, 5-HT3 (Receptores de serotonina)		



**Figura 2.** Estructura de los receptores CB1 y CB2.

o Anandamida y posteriormente el 2-araquidonilglicerol (2-AG). Este descubrimiento fue seguido en la búsqueda y el descubrimiento de las enzimas responsables de sintetizar y degradar la AEA y el 2-AG. Hoy en día, aún se está tratando de comprender cómo funciona la totalidad de este sistema.

El sistema endocannabinoide no se limita a trabajar dentro de sus propios límites, interactúa fuertemente con otros sistemas no cannabinoides del organismo para llevar a cabo sus tareas de regulación de las enfermedades y el bienestar. Al modificar otros sistemas, el sistema endocannabinoide regula inflamación, dolor, salud ósea, formación de nuevas células nerviosas, el procesamiento de la grasa y el azúcar, estado de ánimo, energía, salud cerebral y equilibrio hormonal.

### Breve descripción de los receptores a cannabinoides CB1 y CB2:

**CB1:** Se encuentran principalmente en el **sistema nervioso central**, SNC, en mayor proporción en ganglios basales, cerebelo, neocórtex e hipocampo, la cual es una zona esencial en los procesos de aprendizaje y memoria, localizados en áreas relacionadas con funciones cognitivas, memoria, ansiedad, dolor, percepción sensorial, percepción visceral, coordinación motora y funciones

endocrinas. La gran presencia en los ganglios basales se correlaciona por ejemplo con los efectos sobre la actividad locomotora y la presencia en áreas del hipocampo y del córtex cerebral con los efectos sobre la memoria, el aprendizaje y el efecto anticonvulsivante. Los receptores CB1 son los responsables del efecto psicoactivo del cannabis.

**CB2:** Se encuentran predominantemente en las estructuras relacionadas con el **sistema inmunitario**: línea linfocítica y línea mieloide, células gliales del SNC y bazo. En menor proporción están presentes en células de otros tejidos y órganos periféricos como corazón, endotelio, huesos, hígado y páncreas. Los receptores CB2 del sistema nervioso están presentes sobre todo en células gliales aumentando su presencia significativamente (unas 100 veces) en procesos de inflamación o después de una lesión tisular. También

se ha descrito su presencia en células progenitoras neuronales y neuronas de la corteza cerebral, hipocampo, globo pálido, áreas límbicas y áreas mesencefálicas. Los receptores CB2 son los responsables de las propiedades inmunomoduladoras del cannabis (Fig. 3).

### Breve descripción del endocannabinoide Araquidonoiletanolamida (AEA):

La Araquidonoiletanolamida (AEA) o Anandamida es producido naturalmente por nuestro cuerpo y sintetizado en el cerebro, se activa, actúa y se descompone de forma muy rápida por la actividad de unas enzimas de degradación llamadas FAAH (amida hidrolasa de ácidos grasos).

Es capaz de interactuar con los principales receptores CB1, CB2 y TRPV1 participando en los siguientes procesos fisiológicos y cognitivos:

- Modula los procesos cognitivos de memoria, atención y las funciones ejecutivas superiores, además de estar implicada en el procesamiento emocional influyendo sobre el estado de ánimo.
- Participa en la planificación motora y en los mecanismos de puesta en acto y control del movimiento.
- Está implicada en la regulación del apetito.



**Figura 3.** Receptores CB1 y CB2: ubicación y funciones en el organismo.

- Participa en el ciclo reproductivo y en el desarrollo fetal, jugando un papel muy importante específicamente en el desarrollo del sistema nervioso y de las funciones neurológicas.
- Se activa ante desequilibrios físicos como pueden ser los procesos inflamatorios para incrementar la eficacia en la respuesta del organismo y modular la transmisión del dolor.
- Tiene un rol fundamental en los mecanismos de motivación ya que modula el sistema cerebral de recompensa, el cual permite dirigir nuestro comportamiento hacia tomar decisiones y realizar acciones que nos provocan el sentimiento de placer.
- Influye en el sistema circulatorio, favoreciendo la dilatación de los vasos sanguíneos.
- Modula los mecanismos de gestión del estrés tanto en su forma aguda como en su forma crónica, influenciando positivamente la respuesta fisiológica y psicológica ante situaciones estresantes o traumáticas, ayudando a reducir los síntomas psicológicos y cognitivos de ansiedad y miedo y participando en los mecanismos de extinción de memorias adversas.

### El sistema endocannabinoide, tiene una gran importancia para nuestra supervivencia.

Los endocannabinoides en el SNC actúan como neuromoduladores, es decir que modulan a los sistemas de neurotransmisión clásicos y tienen dos particularidades: 1) son mensajeros retrógrados y 2) se producen bajo demanda, con precursores químicos para su síntesis y enzimas para su degradación.

Actúan como *neurotransmisores* porque envían mensajes químicos entre las células nerviosas (*neuronas*) a través de todo el sistema nervioso y activan ambos tipos de receptores, independientemente de dónde estén ubicados. La activación de los receptores CB1 del cerebro da como resultado una experiencia de alivio del dolor y de la ansiedad, estabilización del estado de ánimo, bienestar y placer, los receptores CB1 activados también afectan a la liberación de otros neurotransmisores, como noradrenalina, serotonina, dopamina, orexina, histamina, GABA y endorfinas.

Mientras que cuando se activan los receptores CB2 situados en el cerebro, se producen respuestas antiinflamatorias locales. El resultado es muy superior al mero alivio del dolor, ya que está comprobado que la inflamación crónica del cerebro está relacionada con el alzhéimer, el trastorno de estrés postraumático, la esclerosis múltiple, el parkinson, la depresión, los trastornos autoinmunes y el cáncer.

Finalmente, podemos señalar que el sistema endocannabinoide, es el sistema de regulación fisiológica más antiguo que se conoce, Esta regulación fisiológica como en todo sistema orgánico, se realiza mediante la comunicación de información contenida en moléculas químicas, en este caso los cannabinoides.<sup>1</sup>

Tales cannabinoides primigenios ya se encontraban en un ancestro unicelular común de las plantas y los animales; cuando ambos linajes se fueron separando a lo largo de la evolución, el sistema endocannabinoide se fue desarrollando y haciéndose más comple-

jo en los animales como principal sistema fisiológico de regulación del equilibrio (homeostasis) de los organismos. Por ello, el sistema endocannabinoide está implicado en el mantenimiento de la salud de los organismos, se ve alterado cuando aparece una enfermedad y actuando sobre él se pueden tratar numerosos padecimientos.

### Literatura consultada

- Backes, M. 2015. *La farmacia cannábica: guía práctica para el uso de la marihuana medicinal*. Pampa Books. Argentina.
- Bouso, J.C. 2019. *Cannabis Medicinal. De droga prohibida a solución terapéutica*. Editorial Amat. España.
- Fundación Canna. 2022. *El Sistema endocannabinoide*. Disponible en <https://www.fundacion-canna.es/sistema-endocannabinoide> [consultado en 2022].
- Laboratorios Beemine. 2020. *¿Qué es y cómo funciona el sistema endocannabinoide?* Disponible en <https://thebeeminelab.com/el-sistema-endocannabinoide/> [consultado en 2022].
- Laboratorios Beemine. 2022. *Anandamida y CBD: definición, funcionamiento y efectos de este neurotransmisor*. Disponible en <https://thebeeminelab.com/anandamida-cbd/> [consultado en 2022].
- Leinow, L. & J. Birnbaum. 2017. *CBD: el cannabis medicinal. Guía para el paciente*. Editorial Sirio, S.A. España.
- Kalapa Clinic. 2022. *Receptores Cannabinoides*. Disponible en <https://www.kalapa-clinic.com/receptores-cannabinoides/> [consultado en 2022].
- Pacher, P. & G. Kunos. 2013. *Modulating the endocannabinoid system in human health and disease—successes and failures*. FEBS J. 280(9):1918-43.

<sup>1</sup>La palabra cannabinoides hace referencia a todas aquellas sustancias químicas, independientemente de su origen o estructura, que se enlazan con los receptores cannabinoides del cuerpo y del cerebro, y que tienen efectos similares a los producidos por la planta *Cannabis sativa* L.

# Rommel Montúfar Galárraga: el científico natural que da voz y dignidad a las personas del campo a través de la investigación científica

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

**H**ablar de Rommel Montúfar es hablar de un joven científico quiteño que en silencio, sin aspaviento de ninguna clase, ha hecho de la investigación, en especial, sobre la agrobiodiversidad y el rol de los campesinos como creadores y guardianes de esta diversidad olvidada en el país su campo de acción preferido, y de la docencia universitaria su instrumento para valorar lo que significa “interactuar más ..... con este mundo rural que vive con la naturaleza, conocer sus necesidades, sus historias, sus percepciones y construir con ellos”, porque detrás de lo biológico siempre estará palpando el ser humano.

Generalmente, viste de sport. Excepto, cuando debe asistir a algún evento académico de alguna importancia. Entonces, utiliza leva, pero no corbata. Quien no le conoce y le ve caminar sin prisas; a menudo, con las manos en los bolsillos, no se imagina que esa persona ha realizado su masterado y doctorado en una institución superior muy connotada a nivel mundial: la Escuela Superior Agronómica de Montpellier (ENSAM), Francia. Que “se defiende” hablando y escribiendo francés e inglés, y que también tiene un mastera-

do en Botánica Sistemática obtenida en Aarhus-Dinamarca, entre otros títulos. Que es Coordinador Nacional del Laboratorio Mixto Internacional en Biodiversidad y Agricultura sostenible en los Andes Tropicales. Que por un tiempo fue Director de Investigación y Postgrado de la PUCE, Director del Postgrado en Biología de la Conservación, PUCE y Secretario

del Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos; asimismo, entre otras funciones.

Recuerdo, como si fuera ayer, la conversación que, en enero de 2011, mantuve con él en el pasillo que conduce a la entrada al edificio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la PUCE. Yo estaba sentado en una de las dos bancas de madera que



En uno de sus sitios preferidos de trabajo e investigación.

tiene este pasillo. De pronto, le vi que salía del edificio; sin más, lo abordé: —Rommel, buenos días. Me permites unos minutitos. Rommel me saludó, como siempre, muy respetuoso: —Buenos días, Dr. Rengifo. Con gusto. Estoy a sus órdenes, me dijo. Este fue el preámbulo de un diálogo que me permitió conocer al joven científico que se había preparado para hacer que la ciencia esté al servicio de la naturaleza y de la humanidad, y que me permitió engancharlo para que escribiese para *Nuestra Ciencia* (Ya lleva escrito 8 artículos, hasta el momento).

Ese año escribió un artículo por demás interesante: “El simbolismo de la palmera en la edad antigua” (Cfr., Rommel Montúfar, *Nuestra Ciencia* n.º 13, abril de 2011, pp. 51-54). Este texto me sirvió para mis clases de Redacción tanto que, con su permiso, lo incluí en el Apéndice de mi libro *Manual de enseñanza-aprendizaje de lectura y redacción* como un modelo de un ensayo expositivo de divulgación científica correcto, claro y atrayente. Para tener una imagen más cabal de quién es Rommel Montúfar, me permití enviarle un cuestionario cuyas respuestas nos hablasen por sí solas de la visión que tiene él acerca de la ciencia, investigación, docencia, experticia, realidad social, injusticia ambiental, etc., en pocas palabras: su visión de la vida. ¡Y vaya que sus respuestas han dibujado al ser humano comprometido con su país, que cuestiona la injusticia ambiental existente, que no se “tapa los ojos para no ver al ser humano que vive a lado de las palmeras”! Para mí, como editor de esta revista de divulgación científica, constituye un grato honor transcribir sus respuestas



En plena faena de investigación y clasificación.

### ¿Por qué estudiaste Biología en la PUCE?

Yo cursé la carrera de Finanzas (UCE) por cerca de 4 años, y realmente me gustaba las finanzas y mercados de valores; pero siempre hubo un interés desde mi infancia en la naturaleza. Pero como en muchos jóvenes, quizás por falta de información, cogemos carreras que no nos identifican. Las finanzas es una hermosa carrera pero que no me representaba. Así que fui honesto conmigo mismo, me retiré a la mitad de cuarto año, y busqué lo que siempre estuvo allí como interés: el contacto con el mundo natural. Sin embargo, hoy en día, realmente no lo veo como un fallo o error en mi formación el haber estudiado Finanzas, todo lo contrario, fue una experiencia que me permitió tener visión diferente del mundo y que ha enriquecido mi percepción de la realidad.

### ¿Cuál fue tu conexión para ir a estudiar el masterado y doctorado en la Escuela Nacional Superior Agronómica de Montpellier (ENSAM), Francia.

La relación con ENSAM fue a través de una beca de maestría dada

por el IRD y la embajada de Francia, y con el apoyo de Jean Christophe Pintaud (investigador del IRD), quien posteriormente fue mi director de maestría y doctorado, y sobre todo un amigo inolvidable. Yo quiero recalcar la suerte que tuve al trabajar con Jean Christophe, una de las mentes más brillantes y generosas que he conocido, y que lamentablemente ya no está con nosotros (N. E.: Falleció en Lima, Perú, en 2015) y a quien expreso mi eterna gratitud.

### ¿Qué experiencias te marcaron estudiar en Francia?

Es una pregunta muy difícil, porque son muchas e inolvidables experiencias, y porque Francia aún me sigue marcando día a día. Creo que lo principal es haber encontrado colegas franceses que han sido generosos, en todos los sentidos, mucho de ellos tan comprometidos con nuestro país y nuestros estudiantes, como si fueran connacionales

### ¿Cuál es tu experticia, propiamente dicha?

Después de más de 20 años en la academia, de lo que sí estoy seguro, es que no tengo ninguna experticia. Voltaire decía que “la duda es un estado incómodo, pero la certeza es un estado ridículo”, y así lo creo, al fin y al cabo la ciencia es el arte de la duda. No me considero especialista de nada. He realizado investigación en muchas cosas desde palmeras, nutrias, delfines, páramos, ácidos grasos, biología floral o nutrición; desde la agricultura, ecología, conservación, manejo, hasta la genética poblacional, y llegando a curiosear en la bioinformática; e inclusive explorando actualmente la investigación social; personalmente, me parece injusto especializarme, la biodiversidad es tan hermosa y con variados matices e interacciones.

### ¿En qué consiste o qué campos abarca la seguridad alimentaria y soberanía?

En los últimos años estoy interesado en el estudio de la agrobiodiversidad y el rol de los campesinos como creadores y guardianes de esta diversidad “olvidada” en el país. Y es justamente allí donde entran los conceptos de seguridad y soberanía alimentaria, los cuales nos llaman a reflexionar al derecho de tener alimentos suficientes y culturalmente apropiados. Esta agrobiodiversidad juega un rol estratégico para adaptarnos frente a los efectos negativos del cambio climático. Sin esta agrobiodiversidad, la seguridad y soberanía alimentaria de las próximas generaciones en nuestro país podría estar comprometida. Si nos admiramos de la biodiversidad de nuestros bosques tropicales, de igual manera deberíamos valorar la increíble agrobiodiversidad que han desarrollado los campesinos y pueblos ancestrales de Ecuador. Un claro ejemplo de esta agrobiodiversidad constituye las diversas variantes de domesticación que se han generado con el fruto de la “chonta” y que actualmente estudiamos con diferentes enfoques.

**¿Cuál ha sido tu experiencia como Coordinador Nacional en Laboratorio Mixto Internacional en Biodiversidad y Agricultura sostenible en los Andes Tropicales?**

Muy positivo, me ha permitido abordar la construcción de una plataforma de investigación internacional junto a los colegas del IRD y de la Universidad de Los Andes en Colombia; y también afrontar los retos modernos de la investigación, como la interdisciplinariedad, bio-culturalidad y nuevos enfoques “más humanos y responsables” para el desarrollo de una “ciencia para gente” y no una “ciencia sin gente”. Un importante objetivo del LMI es generar escenarios de cooperación entre investigadores de Ecuador y Colombia, para lo cual trabajamos en la construcción



Junto a un árbol de tagua, también conocido como cade o marfil vegetal.

de proyectos en común entre investigadores de ambos países, con el apoyo del IRD-Francia.

**¿Qué representó para ti haber sido Director de Investigación y Postgrados de la PUCE?**

Un gran reto. Los investigadores vivimos en una burbuja, una hermosa burbuja que va desde las aulas hasta nuestras investigaciones, pasando por los congresos y otras interacciones académicas. Pero el mundo real es más complejo y diverso. Mi estancia como Director fue una interesante experiencia que me permitió valorar aún más el trabajo que desarrollan los administrativos y directivos de la universidad; trabajo que muchas veces no se visibiliza desde nuestras oficinas y laboratorios. Personalmente, aprendí que para hacer bien las cosas, muchas veces tienes que aprender a decir NO; algunos te querrán, otros no; pero al fin y al cabo, una posición directiva no es concurso de simpatía.

**¿Cuáles fueron las metas alcanzadas como director del Postgrado**

**en Biología de la Conservación?**

Creo que la principal meta fue demostrar-nos a nosotros mismos, como claustro académico, que podemos construir en conjunto. Fue mi primera experiencia administrativa al ingresar a la universidad, y de la cual estoy muy agradecido con todos mis colegas, quienes se unieron a un proyecto en común, todos aportaron de forma desinteresada y generosa, y se construyó algo innovador en ese momento.

También fue importante el aprender a

tocar puertas y saber pedir apoyo. Se unieron en este proyecto varios organismos internacionales, universidades externas, ONGs, profesionales de varias instituciones públicas y privadas, quienes junto con el apoyo de los colegas de Biología, se logró construir la primera maestría en Biología de la Conservación, una temática que era además un reto para la facultad.

**¿Cómo congenias tu trabajo como investigador y la docencia universitaria?**

Bueno, ha habido periodos en los cuales el exceso de horas de docencia afecta a la investigación, y eso es muy negativo, ya que una docencia sin investigación nos convierte en meros repetidores de ideas ajenas. Una universidad es generación de conocimiento, y esta experiencia investigativa, que se genera de forma orgánica, nos nutre como académicos y como seres humanos; y este es el capital intelectual que transferimos a los estudiantes. Cerrar los ojos ante esta realidad es no entender el fin último de la universidad.

### ¿Cómo es tu día a día?

Trabajar en los proyectos, pensar en palmeras / insectos / lípidos/ agricultura y otros, reuniones con mis colegas, iniciar procesos administrativos, construir ideas nuevas, destruir las ideas construidas anteriormente, rehacer nuevas preguntas, formar a estudiantes, jalar la oreja a los tesisistas, buscar siempre las mejores opciones para los estudiantes, leer, equivocarme mil veces, volver a aprender, olvidar de poner el dedo en el biométrico, disfrutar la familia y amigos.....y al final.....una copa de vino.

### ¿Cuál sería tu mensaje a los jóvenes que están estudiando Biología u otra carrera en la universidad en estos tiempos difíciles?

El mundo actual demanda mucho más de las nuevas generaciones. Y en este mundo, los futuros graduados deben desarrollar una visión y espíritu integrador, sin que esto signifique la pérdida de destrezas disciplinares. Los problemas de nuestro mundo son urgentes, emergentes y complejos, y no pueden ser abordados desde una sola visión, y es aquí donde lo interdisciplinar juega un rol fundamental en la formación de los jóvenes. Para estos problemas críticos que enfrenta nuestra humanidad (cambio climático, sostenibilidad, pandemias, migraciones, sistemas alimentarios fallidos, etc.), los jóvenes deben desarrollar una amplia gama de habilidades que transgredan las estructuras de las disciplinas. Es también importante el desarrollo de un pensamiento crítico que conlleve al desarrollo de innovaciones, no solo tecnológicas, sino también, y más que nunca, sociales. Y por último, cultivar los valores y la apreciación de la cultura, que nos impulsan a desarrollar empatía, inclusión y respeto por la diversidad humana.



El trabajo de campo es ineludible en su tarea de investigación.

\*\*\*

Ahí están las respuestas del Ph. D. Rommel Montúfar. Seguramente, usted, amigo lector, sabrá valorarlas y entrará, a no dudarlo, en el mundo de la reflexión y acción. ¡Manos a la obra!

No puedo concluir esta semblanza sin conversar frente a frente con Rommel. Por esto, por teléfono le invito a vernos en el parque central de la PUCE para tomarnos un café. El encuentro se da y caminamos hacia el Qinti Coffee que queda en la 6 de Diciembre y Wilson esquina (emprendimiento de mis hijos). Después de tres años y medio, nos volvemos a ver cara cara con Rommel. Nos hemos quitado las mascarillas para poder servirnos con deleite un cafecito expés con una tortita de choclo con queso. Hablamos de todo: de este Covid-19 que no da tregua, de la despreocupación social, en especial de los jóvenes, de la docencia universitaria, de la PUCE, de la imagen señera de Laura Arcos Terán, etc., etc. Ante mi pregunta de cómo se dio su vinculación con la PUCE, me cuenta que al regreso de su doctorado él había estado trabajando con el Dr. Valencia. Al producirse

una plaza en Biología Molecular, él habló con la Dra. Arcos, a la sazón Decana de la Facultad, para ocupar esa plaza. La doctora, conociendo su “carpetita”, dio su visto bueno, y Rommel siguió trabajando con todo empeño, empeño que fue creciendo día tras día y que no cesa. Cuando dice estas palabras, su rostro se ilumina y sus ojos brillan de alegría y compromiso. Terminamos el café, nos despedimos. Él se encamina por la Wilson para subir a la PUCE, yo permanezco algún tiempo más en el Qinti Coffee. Y mientras tomo un sorbo de un cafecito árabe, mi mente se transporta a la PUCE, mi *alma mater* (siempre será mi *alma mater*, a pesar de estar jubilado) y me siento feliz de saber que en mi exfacultad existen seres sencillos como Rommel Montúfar que transmiten no solo conocimiento, sino en especial sabiduría, solidaridad, compromiso con la ciencia y la gente, inmensos deseos de seguir construyendo en comunidad, porque de “nada sirven las bibliotecas, laboratorios, doctas conferencias, si no hay además y sobre todo un corazón juicioso y una mirada perspicaz” (Anthony de Melo, S. J., *¿Quién puede hacer que amanezca?*, Bilbao, Editorial Sal Terrae, 1985, p. 239).

# Doctorado en tiempos de COVID

Por Subhaji Gosh

**C**laudia Vera Arias obtuvo su licenciatura en Ciencias Biológicas en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en diciembre del 2015. Actualmente, se encuentra estudiando su doctorado en la Universidad de Notre Dame (N.D.), Indiana, Estados Unidos.

Desde muy pequeña soñaba con ser “doctora” y anhelaba, para alcanzar este sueño, estudiar en una universidad fuera de los linderos patrios. Luego de mucho esfuerzo y muchas aplicaciones a varias universidades del mundo, en junio del 2019, inició su Ph. D. en Epidemiología Molecular de la malaria en N. D. (Fig. 1).

Al final del primer semestre del Ph. D. de Claudia, en una de sus clases se comenzó a hablar de una nueva enfermedad que estaba causando estragos en China. Las noticias no eran muy claras y la falta de información hizo que muchas personas especulen respecto a ella. A medida que pasaba el tiempo, muchos países comenzaron a dar signos de alerta por la presencia de la enfermedad que tomó el nombre de “COVID-19”.

El 11 de marzo del 2020 fue declarado el COVID-19 pandemia. Eso trajo como consecuencia que todo el planeta se recluyese en sus casas y se prohibió salir de ellas. Notre Dame cerró sus puertas, y las clases por plataformas virtuales (vía Zoom) entraron en vigencia. Para Claudia esto fue un golpe fuerte en su doctorado, porque no podía



**Figura 1.** Claudia en el “Golden Dome”, edificio emblemático de la Universidad de Notre Dame.

avanzar con su investigación. Sin embargo, esto le favoreció, de alguna manera, pues pudo enfocarse solo en las clases y de esa forma completó el número de créditos requerido por el programa.

A los tres meses del inicio de la pandemia, N. D. permitió a todos los laboratorios de investigación regresar a su funcionamiento. Para ello, la universidad desarrolló protocolos de bioseguridad para evitar contagios; algunos de los puntos clave fueron los siguientes:

- Dependiendo del tamaño de la habitación/laboratorio, podían estar un número determinado de personas.
- Se crearon horarios de asistencia, por lo que no era raro ver a estudiantes de doctorado yendo a sus laboratorios a las horas menos pensadas.
- Uso OBLIGATORIO de mascarilla en todos los edificios de N.D.

- Toda persona que trabajaba en oficina compartida debía limpiar todas las superficies con alcohol y/o desinfectante al llegar y al salir de oficina.

Claudia iba al laboratorio todos los días por 4 horas en la mañana, de esa manera logró avanzar en sus experimentos. Como resultado, ella estandarizó y perfeccionó el protocolo de dPCR (reacción en cadena de la polimerasa digital) para la detección de la usencia del gen *pfhrp2* que codifica la principal proteína blanco de las RDTs (Pruebas de Diagnostico Rápido) de malaria. Además, gracias a los resultados obtenidos, ella presentó su primer artículo científico de su Ph. D. Como parte de dicho artículo, Claudia analizó más de 1000 muestras de malaria provenientes de todo el mundo.

Koepfli’s Lab (laboratorio al que pertenece Claudia) en conjunto con AHRI (Armauer Hansen Research

Institute [ubicado en Addis Ababa-Etiopía]) ganaron un Grand de la fundación de Bill y Melinda Gates para la caracterización molecular del gen *pfhrp2* mediante dPCR. Debido a que Claudia es quien maneja a la perfección esa técnica, fue enviada a Etiopía para realizar el entrenamiento de dPCR a los miembros de AHRI.

Hasta el momento, Claudia ha viajado dos veces a Etiopía. La primera visita tuvo como objetivo conocer las instalaciones de AHRI y a las personas con las que iba a trabajar en la implementación del método de diagnóstico (dPCR). Una vez en AHRI, ella asistió a un sinnúmero de reuniones; además, impartió una corta capacitación en la caracterización molecular de los parásitos que causan la malaria humana mediante el uso de marcadores moleculares. Asimismo, en esta visita ella tuvo la oportunidad de conocer personalmente a Lucy (*Australopithecus afarensis*, 3.2 Ma), su fósil se encuentra en el museo nacional de Addis Ababa (Fig. 2). También conoció a Ardi (*Ardipithecus ramidus*, 4.4 Ma) y Selam (*Australopithecus afarensis*, 3.3 Ma), dos de los fósiles de humanoides encontrados más antiguos del mundo. Para Claudia fue cumplir el sueño de muchas personas, sobre todo biólogos. La segunda parte del viaje tuvo lugar en Gondar (ciudad situada al norte de Etiopía), donde conoció las instalaciones de uno de los laboratorios de campo, donde Claudia realizará una parte de su investigación.

Debido a que la segunda visita de Claudia a Addis Ababa fue de un mes, ella tuvo la oportunidad de explorar un poco más la ciudad. Descubrió que Addis Ababa es una linda ciudad, pero, como toda capital, es caótica y bulliciosa. En cambio,

Gondar es una ciudad mucho más tranquila y tradicional.

Esa segunda visita tuvo como objetivo impartir entrenamiento en varias técnicas moleculares, entre las que destacan dPCR para la detección de *pfhrp2* y la determinación de multiclonalidad de muestras de *Plasmodium falciparum* (uno de los agentes causantes de la malaria en humanos) mediante el uso del marcador molecular *pfmsp2*.



Figura 2. Claudia y Lucy.

Para Claudia el mes que pasó impartiendo el entrenamiento en AHRI fue muy enriquecedor en más de un aspecto. En el plano profesional, tuvo la ocasión de enseñar y compartir con el personal del instituto, lo que le dio la oportunidad de ayudar en la optimización de varios procesos y protocolos. En cuanto al aspecto personal, ella forjó una linda amistad con tres chicas. Ellas enseñaron a Claudia un poco de amárico (uno de los cinco idiomas oficiales que se hablan en Etiopía), le hicieron probar la gastronomía etíope, la llevaron a conocer varios lugares, entre otras cosas.

Aunque Claudia ha tenido mucha suerte porque ha sido capaz de continuar con su investigación, la pandemia le sumó complejidad a su Ph. D. El hecho de haber tenido que poner en pausa toda actividad por algunos meses, la imposibilidad de asistir a reuniones presenciales (porque muchas personas desarrollaron agorafobia), las continuas apariciones de nuevas variantes, el retraso en la entrega y envío de suministros fueron y siguen siendo factores que generan una fuente extra de estrés.

Durante este tiempo, Claudia ha tenido tiempo de reflexionar sobre muchas cosas, entre ellas que estar estudiando en el exterior, lejos de la familia y amigos, representa un desafío inmenso. Pero al mismo tiempo, es una de las mejores oportunidades para crecer como persona, aprender muchísimas cosas nuevas (en todo aspecto), hacer nuevos amigos, conocerse a sí mismo y mil cosas más.

Claudia ha llegado a la conclusión de que el estudio del doctorado es un proceso lleno de cuevas y valles, el camino no siempre es recto, pero recorrerlo vale la pena. Ella está consciente de que no todo es color de rosa, porque la verdad es que muchas veces todo se ve gris. Existen ocasiones en las que el doctorando se siente solo y si a eso se le suma la pandemia, el sentimiento puede ser aún más fuerte. Sin embargo, el apoyo de la familia (desde Ecuador) y amigos ayudan notablemente a sobrellevar los momentos más difíciles. Por todas las razones antes expuestas, Claudia se siente agradecida con la vida, con sus padres y su hermana y con los amigos que se convirtieron en su familia, por estar presentes tanto en los momentos difíciles como en los momentos más alegres y emotivos que ha vivido en estos tres años.



Instituto francés de Investigación para el Desarrollo



**APUCE**

