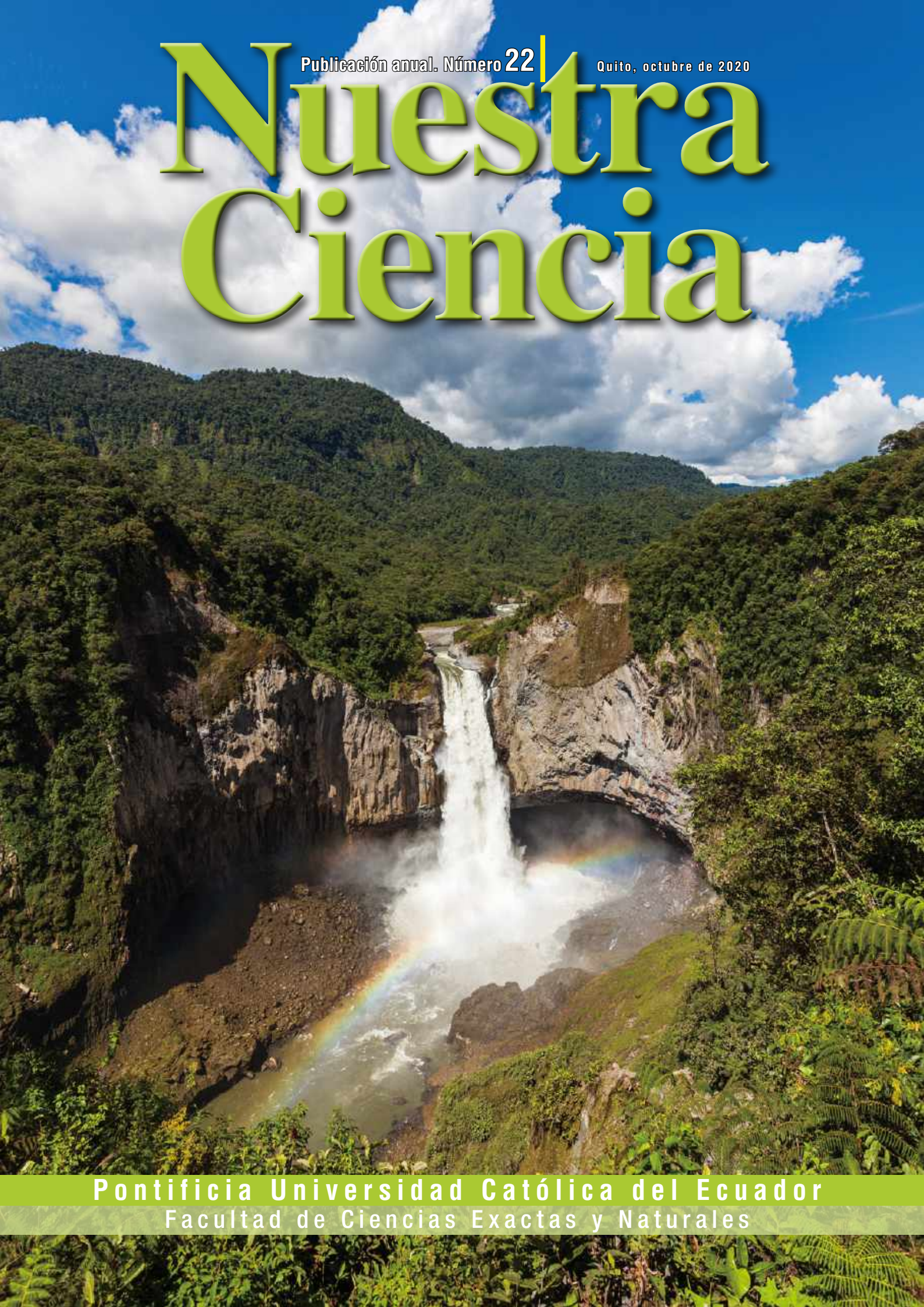




Nuestra Ciencia

Publicación anual. Número 22

Quito, octubre de 2020

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Comprometidos con el Ecuador

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



www.repsol.com



Institut de Recherche
pour le **Développement**
F R A N C E

Instituto francés de Investigación para el Desarrollo

11



19



31



35



49



Contenido

Actualidad Científica

- 3 Nuevos medicamentos para contrarrestar la enfermedad de Chagas
■ Jenny Telleria, Andrea Vela, Jaime A. Costales
- 7 Diseño racional de medicamentos
■ Lorena Meneses Olmedo, Sebastián Cuesta Hoyos
- 11 Microjoyas fotosintéticas
■ Diana Astorga García, Kelly López y Diana Ontaneda
- 15 La descomposición de la materia orgánica: un proceso crucial para sostener el funcionamiento de los bosques tropicales amazónicos
■ Brian Four, Olivier Dangles, Rafael Cárdenas
- 19 *Cannabis*: una aproximación a su bioquímica y posibles usos medicinales en Ecuador
■ Omar Vacas Cruz
- 23 Alternativas agroecológicas al uso de herbicidas en la producción de flores de exportación
■ Diego Guevara, Fernando Ponce V., Carlos Carpio
- 27 ¿El *Campylobacter* spp tiene sabor a pollo?
■ Sonia M. Estrella Vásquez,

Curiosidades Científicas

- 31 Ojos que no ven, corazón que sí siente... a largo plazo
■ Álvaro Lara, Anita G. Villacís
- 35 Primates en la Real Audiencia de Quito
■ Diego G. Tirira
- 39 Ranas en 3D
■ Andrés Merino-Viteri
- 42 La historia de *Cedrela odorata* L. (cedro) contada a través de sus anillos de crecimiento en el enigmático bosque de Yasuní
■ Mayra Nacimba
- 46 Los bosques secos: ecosistemas "solitarios"
■ Álvaro Lara, Catalina Quintana
- 49 Las colecciones del QCAZ-Invertebrados una historia de la vida de los biólogos conservada en el Museo
■ Fernanda Salazar-Buenaño
- 52 Agri Andes Ecuador: una iniciativa ecuatoriana en Inaturalist
■ Diego Mina y Olivier Dangles

Instantáneas

- 56 El bosque del Yasuní
■ Rafael E. Cárdenas

Gente que hace historia

- 57 Lorena Meneses Olmedo: una PH. D. en Química con las pilas bien puestas
■ Alberto B. Rengifo A.

Noticiencia

- 60 Publicaciones

DECANO

Dr. Renato Valencia R.

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

Dra. Diana Astorga,
Dr. Rafael E. Cárdenas,
M. Sc. Carlos Carpio,
Dr. Jaime A. Costales,
M. Sc. Sebastián Cuesta,
Dr. Olivier Dangles,
Magíster Sonia M. Estrella,
Dr. Brian Four,
M. Sc. Diego Guevara S.I.,
Lic. Álvaro Lara,
Microbióloga Kelly López
Dra. Lorena Meneses,
Dr. Andrés Merino,
Ing. Agr. Diego Mina,
M. Sc. Mayra Nacimba
M. Sc. Diana Ontaneda,
M. Sc. Fernando Ponce V.,
Dra. Catalina Quintana,
Dr. Alberto Rengifo,
Lic. Fernanda Salazar,
Dra. Jenny Tellería,
Ph. D. (c) Diego G. Tirira,
Magíster Omar Vacas,
Dra. Andrea Vela,
Dra. Anita G. Villacís

DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

Imprenta Hojas y Signos
hojasysignos@gmail.com, 3319298

TIRAJE: 1000 ejemplares

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

NÚMERO 22, OCTUBRE DE 2020

ISSN: 1390-1893

Quito, Ecuador

Revista *Nuestra Ciencia* n.º 22.

http://issuu.com/hojas/docs/revista_nuestra_ciencia_no22

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.



Por Patricio Hidalgo

Cascada de San Rafael (2019)
antes de su desaparición.

Editorial

Hay gente que todavía piensa que la naturaleza es un baúl de recursos infinitos; por esto, no la cuida, no la defiende; más bien, la esquilda sin escrúpulo alguno. Afortunadamente, otro sector va tomando conciencia de que defender la Naturaleza es defender al hombre y a la vida. De ahí que, como bien lo afirma Leonardo Boff, en su artículo “Ga-

rantizar el futuro de la vida y de la Tierra”, se debe producir “para atender las demandas humanas pero en consonancia con los ritmos de cada ecosistema, cuidando siempre de que los bienes y servicios puedan ser usados con una sobriedad compartida, con vistas a las futuras generaciones”.

Justamente, esta filosofía y ética de vida es la que durante 22 años ha guiado la edición y publicación de *Nuestra Ciencia*. Siempre hemos pregonado que esta revista de divulgación científica, a la par que nos permite conocer y valorar la inmensa riqueza natural que tenemos, nos recuerda la obligación de conservarla y potenciarla al máximo para beneficio de todos los que vivimos en ella. Y este vigésimo segundo número continúa por el andarivel trazado desde 1999.

En efecto, usted apreciado lector, cuando tenga este número en sus manos, se enterará de temas apasionantes cuyo centro de interés es el hombre y su entorno social y natural; por ejemplo, conocerá del trabajo incansable que realizan científicos del Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISEAL) para encontrar nuevos medicamentos que combatan la enfermedad de Chagas, transmitido por ese enemigo silencioso llamado el parásito *Trypanosoma cruzi* al que hay que descubrirlo y eliminarlo. Asimismo, entenderá qué factores se deben tener en mente para desarrollar un medicamento estable, seguro y eficaz. Se sentirá feliz por saber que existen alternativas agroecológicas al uso de herbicidas en la producción de flores de exportación; incursionará por ese mundo misterioso que encierra el *cannabis* y sus posibles usos medicinales en el Ecuador; descubrirá, en el enigmático bosque del Yasuní, la vida del Cedro (*Cedrela odorata* L.) contada a través de sus anillos de crecimiento. En fin, tendrá la oportunidad de leer sustanciales artículos que le harán meditar y comprometerse con la vida.

Pero, también, amigo lector, otros interesantes asuntos, como por ejemplo, “Primates en la Real Audiencia de Quito”, despertarán su curiosidad; “Ranas en 3D” harán salir a flote su incredulidad; y la simpática historia de “Las colecciones del QCAZ-Invertebrados” le llevarán, sin duda, al universo del recuerdo y de la añoranza.

Espero que todos y cada uno de los artículos que se publican en este número de *Nuestra Ciencia* constituyan, especialmente en esta sufrida época del COVID 19, ese rayito de luz que, a veces, lo necesitamos con urgencia para ver la vida con los ojos del corazón; es decir, con los ojos de esperanza que nos permiten crear una cultura de solidaridad que enfrenta a la competencia, al individualismo, a los excesos de poder, al consumismo. Unos ojos de esperanza que nos permitan mirar la vida con fe, optimismo y amor.

Dr. Alberto B. Rengifo A.

Quito, octubre de 2020.

Nuevos medicamentos para combatir la enfermedad de Chagas

■ Por Jenny Telleria, PhD., INTERTRYP, Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) (jenny.telleria@ird.fr).
 Andrea Vela, M.Sc. Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD), Unidad Mixta de Investigación (UMR) INTERTRYP IRD-CIRAD, Universidad de Montpellier, Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISeAL), Pontificia Universidad Católica del Ecuador (andrea.vela@ird.fr).
 Jaime A. Costales, PhD. Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISeAL), Pontificia Universidad Católica del Ecuador (jacostalesc@puce.edu.ec).

Enfermedades de la pobreza

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha catalogado como “enfermedades tropicales desatendidas” o NTDs (correspondiente a las siglas en inglés para “neglected tropical diseases”) a un grupo de 18 enfermedades que afectan, principalmente, a la población pobre de países de medianos y bajos recursos ubicados en áreas tropicales del mundo. Entre otras, se encuentran en este grupo la enfermedad de Chagas, el dengue, la tripanosomiasis africana, la lepra, la oncocercosis, los geohelminths (tales como *Ascaris*) y la rabia (Centers for Disease Control and Prevention, 2018).

El impacto económico de las enfermedades es medido de acuerdo a una unidad establecida en los años noventa por la OMS, en la que se toman en cuenta los años perdidos por discapacidad y los años perdidos por mortalidad prematura debido a una dolencia específica. Este indicador se conoce como “DALY”, por sus siglas en inglés (World Health Organization, 2020). Si bien la estimación exacta del impacto económico de las NTDs no es posible debido a que muchas veces hace falta información precisa sobre variables como morbilidad y distribución geográfica, en un estudio realizado en el 2010, se determinó que son el cuarto grupo de enfermedades que más pérdidas

ocasiona en cuanto a DALYs, y las NTDs están solo por detrás de los desórdenes nutricionales en neonatos, el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) y enfermedades infecciosas comunes (salmonelosis, influenza, neumococo, entre otras). Entre las NTDs, la enfermedad de Chagas es responsable de la pérdida de 800 000 DALYs a nivel mundial y 7.9 mil millones de dólares anuales, ubicándose por encima de enfermedades como la cisticercosis, la enfermedad del sueño, la equinocosis y la fiebre amarilla (Murray *et al.*, 2012). Además, es una enfermedad que afecta a 8 millones de personas, causando alrededor de 7,500 muertes por año.

Sin embargo, existen otras enfermedades para las cuales los medicamentos disponibles no son adecuados. Tal es el caso de la enfermedad de Chagas, causada por el protozoo parásito *Trypanosoma cruzi*.

Medicamentos para tratar enfermedades tropicales desatendidas

Se cuenta con medicamentos u otros tipos de intervenciones con los cuales se puede controlar de manera efectiva y segura ciertas enfermedades tropicales desatendidas. Tal es el caso de la oncocercosis, una enfermedad parasítica causada por un gusano (helmintho) llamado *Onchocerca volvulus*. Se la conoce también como “ceguera de los ríos”, porque las personas afectadas pueden perder la visión y porque las moscas que la transmiten (*Simulium*, spp.), se reproducen cerca de ríos (World Health Organization, 2019). La oncocercosis es una enfermedad originaria de África, que llegó a Latinoamérica con los esclavos africanos durante la época de la colonia (Gustavsen, Hopkins, & Sauerbrey, 2011). En nuestro país, se encontraba en las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas (Guevara *et al.*, 2018). El tratamiento para la oncocercosis es un medicamento llamado ivermectina, que fue empleado de manera muy exitosa en una campaña que duró alrededor de 15 años y gracias al cual la enfermedad ha sido eliminada del Ecuador. Este gran logro fue certificado por la OMS en el año 2014.

Sin embargo, existen otras enfermedades para las cuales los medicamentos disponibles no son adecuados. Tal es el caso de la enfermedad

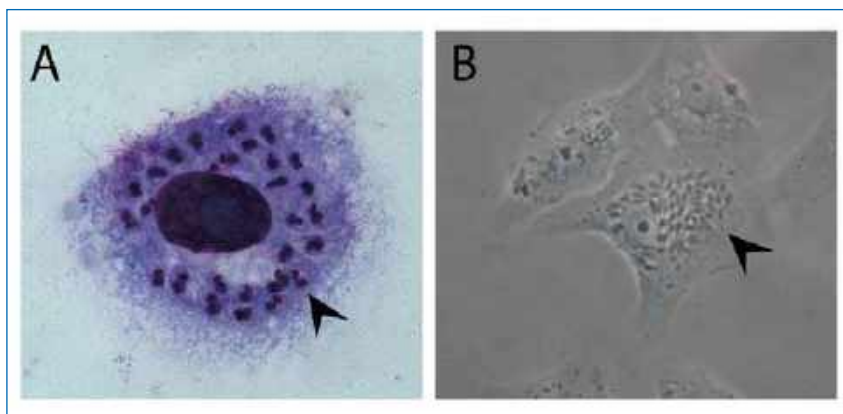


Figura 1. Células de mamífero infectadas por *T. cruzi*. Las flechas indican los parásitos en fase de amastigotes, multiplicándose en el citoplasma de las células infectadas.

de Chagas, causada por el protozoo parásito *Trypanosoma cruzi*. El parásito se transmite principalmente mediante las heces de insectos conocidos como triatomíneos. Al infectar una persona, *T. cruzi* invade las células musculares, cardíacas y de otros tipos y se multiplica dentro de ellas (Fig. 1) Finalmente, sale de las células y pasa al torrente sanguíneo, desde donde infectará nuevas células o tejidos, o será tomado por un nuevo triatómino, completando el ciclo de vida del parásito. Alrededor de 70 millones de personas en Latinoamérica viven en riesgo de ser infectadas, y, actualmente, el parásito infecta a un número estimado de entre 6 y 8 millones de personas. La tercera parte de las personas infectadas por

T. cruzi desarrollan daños irreversibles al corazón o el tracto digestivo, que pueden conllevar a discapacidad grave o incluso la muerte. Desafortunadamente, no existe una vacuna para la enfermedad de Chagas y los medicamentos disponibles no son ideales.

En la actualidad, se cuenta únicamente con dos medicamentos para tratar la enfermedad de Chagas: el benznidazol y el nifurtimox (Fig. 2). Ambos medicamentos son antiguos (descubiertos en la década de los sesenta), funcionan de mejor manera si se usan en la fase inicial de la enfermedad (lo que deja sin muchas opciones a los pacientes en fases avanzadas) y, además, presentan una gran cantidad de efectos secundarios

no deseables. De ahí la importancia de descubrir y desarrollar nuevos medicamentos que faciliten la lucha contra el Chagas.

Retos y alternativas en el descubrimiento de nuevos medicamentos contra Chagas y otras enfermedades desatendidas

Un reto importante para el desarrollo de nuevos medicamentos contra la enfermedad de Chagas es la falta de incentivos económicos. Descubrir y producir un nuevo medicamento toma mucho tiempo y tiene costos sumamente altos (centenas o incluso miles de millones de dólares). Las compañías farmacéuticas realizan inversiones de este tipo porque las ventas de los medicamentos que desarrollan aseguran rentabilidad a largo plazo. Sin embargo, en el caso de las enfermedades tropicales desatendidas, las personas afectadas se encuentran en los segmentos más pobres de la sociedad, por lo que, en muchos casos, no son capaces de adquirir los medicamentos. Esto hace que el modelo tradicional de negocios para la producción de medicamentos no pueda ser aplicado a las enfermedades tropicales desatendidas, y lo vuelve inviable.

Por otra parte, todavía hay mucho por entender acerca de las enfermedades desatendidas y sobre la biología de los patógenos que las causan. Este conocimiento de base es necesario para poder desarrollar tratamientos nuevos y más eficientes, que puedan ser utilizados como alternativas a los medicamentos actualmente disponibles.

En el caso de la enfermedad de Chagas (y otras enfermedades tropicales desatendidas), existen esfuerzos conjuntos entre distintas organizaciones de investigación y desarrollo, para viabilizar el descubrimiento de nuevos medicamentos.

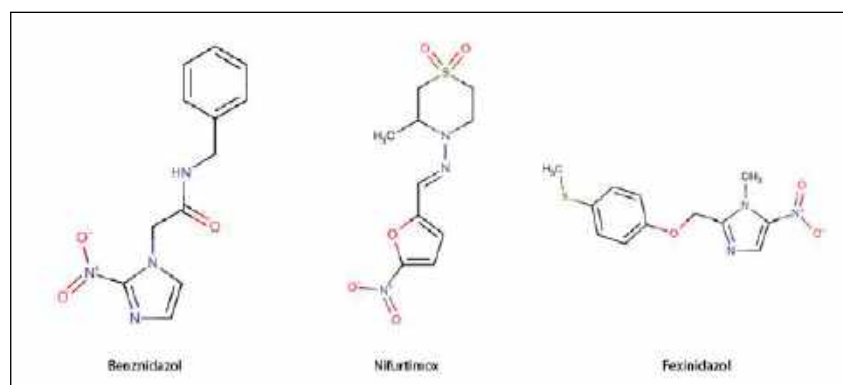


Figura 2. Medicamentos para tratar la enfermedad de Chagas. El benznidazol y el nifurtimox son los únicos en uso actualmente. El fexinidazol es un prometedor candidato que se encuentra en fase de estudios clínicos.

La iniciativa Drugs for Neglected Diseases (DNDi), fue creada en el 2003 y tiene por objetivo promover y proporcionar acceso equitativo a herramientas de punta para la investigación y el desarrollo de nuevos medicamentos. Para el año 2023, DNDi espera haber desarrollado entre 16 y 18 tratamientos nuevos para distintas enfermedades, entre las que se encuentran varias NTDs. El financiamiento de esta iniciativa proviene de entidades públicas pertenecientes a diferentes países y organizaciones internacionales, tales como: el Consejo de Investigación Médica de India, el Instituto Pasteur en Francia, el Instituto de Investigación Médica en Kenia, Médicos sin Fronteras, el Ministerio de Salud de Malasia, la Fundación Oswaldo Cruz en Brasil y la OMS (Drugs for Neglected Diseases Initiative, 2020).

Investigación sobre medicamentos contra Chagas en el CISEAL

Chagas es una de las enfermedades en las cuales el Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISEAL) de la PUCE concentra sus esfuerzos investigativos. En números previos de la revista *Nuestra Ciencia*, los investigadores del CISEAL han presentado distintos aspectos de sus investigaciones sobre *T. cruzi*, como los insectos que lo transmiten y el desarrollo de viviendas que no permiten la presencia de los triatominos en cercanía a las personas. Dentro de este amplio abanico de actividades investigativas en cuanto a la enfermedad de Chagas, también se estudian moléculas con potencial para convertirse en medicamentos. El CISEAL cuenta con la capacidad de realizar cultivo de tejidos y de infectar células con *T. cruzi*, en un estricto ambiente de

bioseguridad. En base a esta capacidad, se ha establecido una plataforma que permite evaluar la capacidad de distintos químicos para eliminar a *T. cruzi*, sin causar daño a las células humanas. Existen varios proyectos en la actualidad sobre este tema.

La cooperación interinstitucional es uno de los pilares de la investigación y, en el caso de los estudios sobre medicamentos contra Chagas, el CISEAL mantiene proyectos colaborativos con varios investigadores del Institute de Recherche pour le développement (IRD) de Francia (Fig. 3) Dicha colaboración se inició en el año 2011, cuando el IRD y el CISEAL de la PUCE iniciaron investigación conjunta a través de un programa de nuevos equipos de investigación (Jeunes équipes associées à l'IRD, JEAI). Este programa tenía por objeto apoyar el desarrollo de las capacidades de investigación para la prevención y control de enfermedades infecciosas, así como para la formación y capacitación de nuevos científicos en el CISEAL (coordinadores: Dr. Mario Grijalva y Dr. Michel Tibayrenc e investigadores principales Dr. Jaime Costales y Dra. Jenny Telleria). Los proyectos de

investigación desarrollados estaban enfocados en el análisis epidemiológico y transmisión de la enfermedad de Chagas, donde uno de los enfoques era la proteómica y el propósito era evaluar la variabilidad biológica de *T. cruzi*, tomando en cuenta su estructura poblacional y su impacto sobre el desarrollo y evolución de la enfermedad de Chagas.

Posteriormente, La Dra. Frédérique Breniere, del IRD de Montpellier, realizó dos estadías de larga duración en el CISEAL (cuatro años en total). Entre las actividades realizadas por la Dra. Breniere, estuvo un proyecto para evaluar compuestos desarrollados en el Departamento de Química de la Universidad de Estrasburgo, Francia, contra distintas variedades genéticas de *T. cruzi* presentes en el Ecuador. Este proyecto resultó en la consecución de una beca doctoral para una estudiante ecuatoriana (Andrea Vela, M.Sc.) que realiza sus estudios en la Universidad de Montpellier, con financiamiento del programa Parafrap del gobierno francés, realizando buena parte de su trabajo de investigación doctoral en el CISEAL de la PUCE. Gracias a estas actividades, otros investi-



Figura 3. Colaboración interinstitucional en la búsqueda de medicamentos contra Chagas. De izquierda a derecha: Dr. Mario Grijalva (director CISEAL-PUCE), Dr. Jean-Luc Le Pennec (Representante del IRD en Ecuador), Dres. Frédérique Breniere y Bruno Oury (Investigadores del IRD durante una misión de investigación en el CISEAL), Dr. Jaime Costales (Investigador CISEAL-PUCE).

gadores del IRD, entre ellos el Dr. Bruno Oury, han visitado el Ecuador y realizado estadías de investigación en el CISEAL y la PUCE. Esta cooperación se ha ido afianzando, generando esfuerzos conjuntos para conseguir financiamiento de organizaciones internacionales que permita dar continuidad a la investigación sobre medicamentos contra Chagas en el CISEAL en los años venideros.

La Dra. Jenny Telleria, del IRD de Montpellier, también ha visitado el CISEAL en estadías de corta y larga duración. Entre los proyectos colaborativos que mantiene en el CISEAL, se encuentran estudios sobre la efectividad de fexinidazol, uno de los candidatos más prometedores como un nuevo medicamento contra Chagas, frente a las variedades ecuatorianas de *T. cruzi*. El fexinidazol es un medicamento que ya se encuentra aprobado para el tratamiento de tripanosomiasis africana, una enfermedad emparentada con el Chagas, y que actualmente está siendo estudiado como una alterna-

tiva para tratar las infecciones con *T. cruzi*. Las actividades de la Dra. Telleria se han centrado en el uso de la metodología denominada “proteómica”, la cual combina diversas disciplinas como la biología molecular, bioquímica, microbiología/parasitología y bioinformática. Dentro del área de enfermedades infecciosas, la proteómica permite: i) explorar el comportamiento de microorganismos; ii) poner en evidencia el dialogo molecular entre el agente patógeno y el huésped; iii) detectar estrategias moleculares utilizadas para la sobrevivencia del patógeno y iv) desarrollar bio-marcadores.

El futuro de los medicamentos para Chagas

En los últimos años, grandes esfuerzos han sido realizados para encontrar nuevas moléculas que puedan ser utilizadas para el tratamiento de la enfermedad de Chagas. A pesar de ello, ninguno de los diversos químicos estudiados ha funcionado de manera totalmente satisfactoria todavía, y el desarrollo de un nuevo tratamiento para Chagas sigue siendo un gran reto para el futuro. El desarrollo de nuevas técnicas celulares y moleculares que permitan conocer más a fondo la biología del *T. cruzi* y la evolución clínica de la enfermedad de Chagas serán esenciales para lograr este objetivo. En este contexto, el financiamiento adecuado y el desarrollo de estrategias colaborativas de investigación científica son esenciales, por lo que la colaboración entre el CISEAL de la PUCE y el IRD son una clara muestra del compromiso de ambas instituciones en la lucha contra la enfermedad de Chagas en el Ecuador.



Figura 4. Dra. Jenny Telleria, investigadora del IRD, actualmente se encuentra en una misión de investigación en el CISEAL.

Literatura consultada

- Centers for Disease Control and Prevention. (2018). *Neglected Tropical Diseases*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/globalhealth/ntd/diseases/index.html>
- Drugs for Neglected Diseases Initiative. (2020). About Us. Retrieved from <https://www.dndi.org/about-dndi/>
- Guevara, Á., Lovato, R., Proaño, R., Rodríguez-Pérez, M. A., Unnasch, T., Cooper, P. J., & Guderian, R. H. (2018). Elimination of onchocerciasis in Ecuador: Findings of post-treatment surveillance. *Parasites and Vectors*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2851-3>
- Gustavsen, K., Hopkins, A., & Sauerbrey, M. (2011). Onchocerciasis in the Americas: From arrival to (near) elimination. *Parasites and Vectors*, 4(1), 2–7. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-205>
- Murray, C. J. L., Vos, T., Lozano, R., Naghavi, M., Flaxman, A. D., Michaud, C., ... Lopez, A. D. (2012). Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 380(9859), 2197–2223. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61689-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61689-4)
- World Health Organization. (2019). Onchocerciasis. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/onchocerciasis>
- World Health Organization. (2020). Health statistics and information systems. Retrieved from https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/

Diseño racional de medicamentos

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

Una larga historia

El descubrimiento y desarrollo de fármacos tiene una larga historia, que se remonta a los primeros días de la civilización humana [1]. En un inicio, culturas de la antigua Mesopotamia, Egipto, China y Grecia usaban principios activos extraídos de plantas, animales y minerales para curar distintas afecciones y enfermedades. Estos eran administrados al paciente en forma de ungüentos, emplastos, colirios, pomadas, infusiones, inhalaciones, maceraciones, decocciones y píldoras.

Ya en el siglo XIX, con el nacimiento de la farmacéutica como ciencia, los científicos empezaron a extraer, identificar y caracterizar las sustancias activas de la naturaleza. Como ejemplo, se encuentra la aspirina (ácido acetilsalicílico), que se extrae de la corteza del sauce, o la morfina que se obtiene a partir de la amapola real.

Así, hasta antes de 1960, un programa de descubrimiento de medicamentos se basaba en probar la actividad de miles de compuestos naturales y sintéticos para determinada enfermedad. Una vez que se identificaba un compuesto farmacológicamente activo, los químicos sintetizaban cientos de compuestos relacionados, hasta encontrar uno que cumpla con las características de seguridad y eficacia para uso en pacientes [2]. Este método se basaba en ensayos de prueba y error en células o animales, hasta producir el efecto

Ya en el siglo XIX, con el nacimiento de la farmacéutica como ciencia, los científicos empezaron a extraer, identificar y caracterizar las sustancias activas de la naturaleza.

deseado. Este era un proceso largo, costoso y que dependía en gran medida de la suerte. Muchos medicamentos hoy disponibles en las farmacias fueron descubiertos por casualidad. El descubrimiento de la penicilina es uno de los mejores ejemplos de cómo la serendipia, que se define como el hallazgo afortunado, valioso e inesperado producido de manera accidental o casual, cambió por completo al mundo.

Aunque actos fortuitos han sido esenciales en la industria farmacéutica a lo largo de la historia, el descubrimiento de medicamentos en la actualidad es un proceso racional que involucra no solo compuestos aislados de plantas, imitaciones de sustratos biológicos, sino también un conocimiento más profundo de los mecanismos moleculares de la enfermedad y la identificación de macromoléculas

biológicas involucradas en vías específicas de señalización celular.

Este enfoque de un desarrollo racional es posible, gracias al desarrollo de nuevas técnicas experimentales para la caracterización de proteínas y objetivos biológicos, como son la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la difracción de Rayos X [3], además de nuevas metodologías en cálculos teóricos como técnicas de mecánica molecular, semi empírica y mecánica cuántica. El desarrollo racional de medicamentos requiere de un trabajo interdisciplinario, donde interviene ciencias como la enzimología, biología molecular, farmacéutica, genética, química orgánica y la ciencia de proteínas [3, 4].

Factores que se deben tener en mente para desarrollar un medicamento estable, seguro y eficaz

Aunque parece un proceso sencillo, hay que tener en mente muchos factores al momento de desarrollar un medicamento, para que pueda cumplir con las características de estabilidad, seguridad y eficacia requeridas. Entre los factores se encuentran las características de absorción, distribución, metabolismo, excreción, toxicidad y farmacocinética (ADMET/PK) de la molécula; además de factores como selectividad (saber si el medicamento se va a unir solo al receptor de interés) y potencia (saber si esta unión es lo suficientemente fuerte para modular al receptor y curar la enfermedad) [5]. Todas estas características dependen de la estructura tridimensional, la

carga y las propiedades moleculares de la molécula sintetizada. La evaluación temprana de todos los factores que afectan el probable éxito de un medicamento, es esencial para el proceso de descubrimiento de un nuevo fármaco. Una farmacocinética deficiente es la principal causa para que un compuesto falle durante el desarrollo de fármacos [6].

Dentro del descubrimiento racional de fármacos existen dos enfoques. El primero se basa en el conocimiento de la estructura del ligando, mientras el otro en el conocimiento de la estructura del objetivo biológico.

Diseño basado en el ligando

Históricamente, los ligandos bioactivos se identificaron mucho antes de que su receptor biomolecular relacionado pudiera aislarse y antes de poder definir su estructura química [4]. Así, este enfoque se basa en el conocimiento de la estructura del fármaco que se une al objetivo de interés. El proceso más común es partir de una molécula patentada que sea usada para determinada enfermedad y, mediante cambios en la estructura, crear una molécula con mejores propiedades ADMET/PK, más potente y/o selectiva. Así nace el enfoque llamado “me too” o “me better” (yo también o yo mejor) [2].

Para que una molécula sea capaz de unirse al objetivo biológico específico y desencadenar (o bloquear) su respuesta biológica, necesita tener un conjunto de características estéricas y electrónicas que garantice las interacciones. La estructura que cumple con estas características mínimas se denomina farmacoforo [7]. Uno de los ejemplos más relevantes es el mundialmente conocido Viagra (Sildenafil). El Sildenafil, lanzado al mercado por la compañía Pfizer en 1998, fue originalmente diseñado para tratar la hipertensión arterial, aunque encontra-

ría su utilidad en tratar la disfunción eréctil. Dentro de sus propiedades, es un fármaco que posee baja duración, múltiples efectos secundarios e incompatibilidad con otros medicamentos. A partir de esta molécula, la farmacéutica alemana Bayer creó y lanzó al mercado en el 2003 el Varde-nafilo (Levitra). Esta molécula poseía menos efectos secundarios y menos interacciones no deseadas, aunque la vida media no pudo ser mejorada (duración de 4-5 horas en el cuerpo). Paralelamente, Eli Lilly desarrolló y puso en el mercado a finales del mismo año, Cialis (tadalafile). Esta molécula tiene una vida media mucho mayor a sus análogos logrando un efecto hasta por 36 horas (Figura 1).

Diseño basado en la estructura del objetivo biológico

Este proceso consta de 3 pasos. Primero, se debe identificar un receptor o enzima que sea relevante para la enfermedad que se está tratando de curar. Luego, el objetivo identificado debe caracterizarse completamente, y tercero, debe diseñarse una molécula que se una a él con la afinidad y selectividad necesarias.

Para elegir el objetivo biológico, se debe conocer la ruta biológica que modula la enfermedad y elegir un recep-

tor que sea esencial en la ruta. Hay que asegurar que su inhibición no causará que la ruta biológica tome un camino alternativo y que la actividad del receptor de interés pueda ser modulada. Lograr una modulación de un receptor o enzima depende de varios factores: tamaño del receptor, presencia de un bolsillo enzimático, carga total y la hidrofobicidad de la superficie de interacción. Receptores que contengan sitios activos altamente hidrofílicos, bolsillos enzimáticos muy pequeños y/o angostos o la necesidad de enlaces covalentes no pueden ser modulados.

Una vez que el objetivo biológico ha sido identificado, es necesario caracterizarlo. Para esto se utilizan técnicas experimentales que permiten conocer en detalle la estructura molecular y tridimensional de la macromolécula. En casos que no exista esta información y el objetivo biológico no se pueda caracterizar experimentalmente, se cuenta con técnicas computacionales, como es la creación de modelos homólogos a partir de receptores ya caracterizados en otros sistemas biológicos (especies diferentes) (Figura 2).

Con la estructura elucidada del objetivo biológico, se pueden usar nuevas técnicas experimentales y computacionales para visualizar ligandos

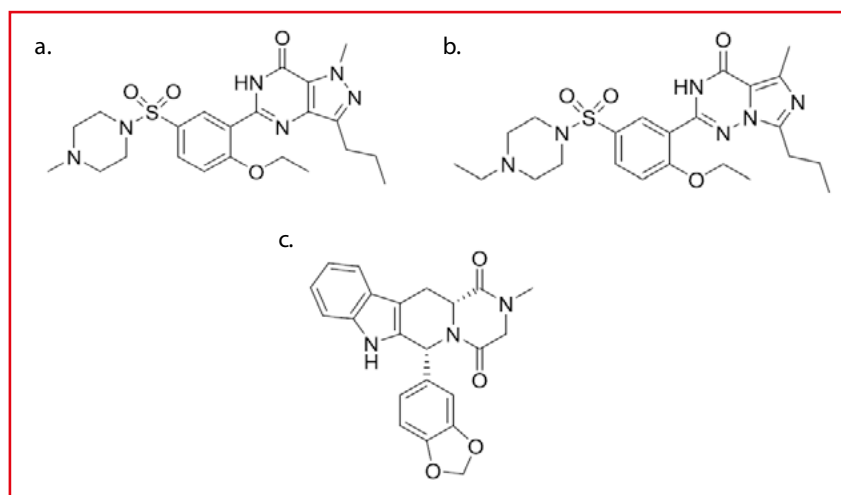


Figura 1. Estructura molecular del Viagra (a), Levitra (b) y Cialis (c).

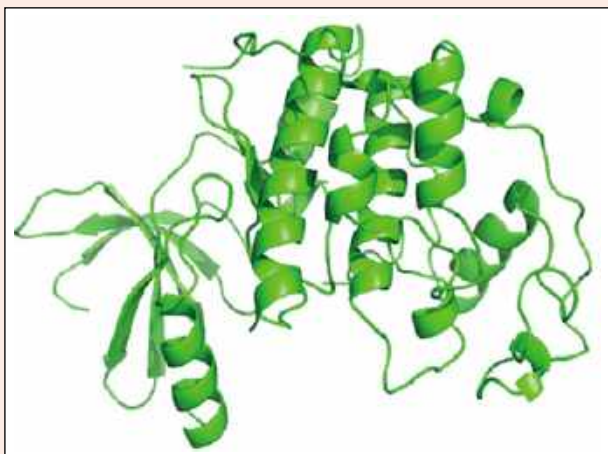


Figura 2. Modelo homólogo de la AGC proteína quinasa del *Plasmodium falciparum* a partir de una quinasa humana (Código PDB: 106L).

unidos a su objetivo, proporcionando una gran cantidad de detalles sobre las interacciones que controlan el proceso de interacción (fuerzas de atracción y repulsión de Van der Waals, enlaces de hidrógeno, puentes salinos y mediación por moléculas de agua e iones). En los últimos años, se han desarrollado varias técnicas computacionales para calificar las interacciones ligando-proteína, incluidos los intentos de estimar la afinidad de unión de nuevas entidades moleculares con actividad farmacológica (Figura 3) [4].

Una vez que se cuenta con toda esta información, es el momento de diseñar una molécula que, de pasar todas las fases del desarrollo, podrá convertirse en un medicamento. Para que la molécula logre modular una enzima, es necesario que la forma tridimensional de la molécula calce en el sitio activo o zona de interacción. Lo ideal sería que la molécula sea complementaria en estructura al sitio activo. Luego, las cargas deben ser optimizadas, ya que, aunque la molécula entre en el sitio activo, si las interacciones electrostáticas no son favorables, la molécula no logrará una interacción y la inhibición no se va a dar.

Normalmente, cuando una enzima se encuentra sin un sustrato, el bolsillo enzimático puede estar ocupado por moléculas de agua. El

una interacción deseada. En el caso del fármaco, es fundamental que en su estructura existan enlaces capaces de rotar, para que la molécula pueda cambiar su estructura tridimensional y acomodarse de una mejor manera al sitio activo. Una alta flexibilidad de la molécula no es óptima, ya que esto hace que la molécula pueda adquirir muchas conformaciones distintas, pudiéndose unir a más de un objetivo biológico, perdiendo selectividad.

En el caso de las enzimas, estas poseen una propiedad llamada plasticidad, la cual se refiere a que su conformación tridimensional cambia, dependiendo de las condiciones y de si su bolsillo enzimático se encuentra vacío u ocupado por un sustrato. Estos cambios tridimensionales deben ser

fármaco debe ser capaz de desplazar las moléculas de agua para poder interactuar o, a su vez, desplazar algunas y usar otras para aumentar su interacción con el sitio activo.

La flexibilidad, tanto del fármaco como de la proteína, es muy importante para lograr

estudiados e identificados durante la caracterización de la enzima, para determinar efectos sobre el sitio activo.

En algunos casos, en especial en receptores que se consideran no modulables, puede crearse una inhibición alostérica. Este tipo de modulación se da cuando el fármaco interactúa con otro sitio de la proteína que no es el sitio activo. Esta interacción causa cambios en la estructura tridimensional de la enzima, deformando el sitio activo donde el sustrato natural ya no va a poder ejercer su acción. Esta modulación es considerada una de las más selectivas, aunque a su vez es muy susceptible a pequeños cambios evolutivos, ya que estos sitios no son conservados entre especies [8].

Una vez que se tiene el compuesto base, también llamado compuesto líder, este debe ser modificado para alcanzar las propiedades óptimas. La lipofilidad es la propiedad física más importante de un fármaco, ya que esta afecta la solubilidad, absorción, unión a proteínas plasmáticas, eliminación metabólica, volumen de distribución, enlace con el receptor/enzima, eliminación biliar y renal, penetración al sistema nervioso central (SNC), acumulación en tejidos, biodisponibilidad y toxicidad.

En esta etapa muchas moléculas son sintetizadas y probadas en ensa-

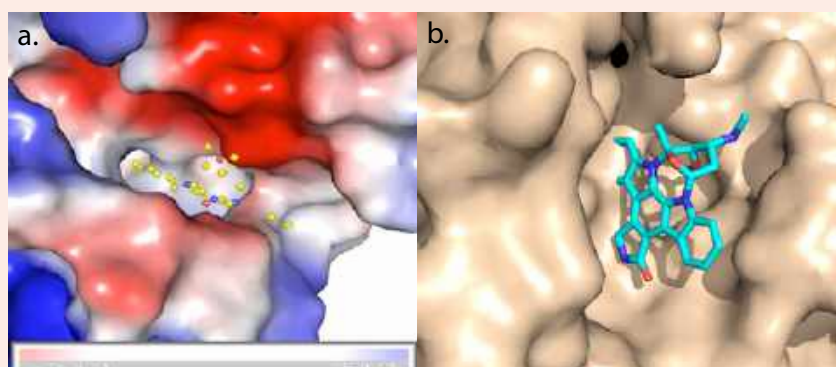


Figura 3. Estudio de la AGC proteína quinasa del *Plasmodium falciparum*. a. Puntos de interacción en el sitio activo obtenidos con el programa LIDEAUS. En amarillo se encuentran interacciones hidrofóbicas; en azul la de donantes y en rojo la de aceptores para enlaces de hidrógeno. b. Molécula obtenida del scan que cumple con las interacciones identificadas.

yos preclínicos, donde se prueba la eficacia, la toxicidad y los perfiles farmacocinéticos y farmacodinámicos del fármaco en ensayos realizados en células, tejidos y animales. Las moléculas que logran pasar esta etapa son examinadas para comprobar su seguridad y eficacia en humanos, en ensayos clínicos que típicamente incluyen cuatro fases [1].

Finalmente, si la molécula pasa todos los ensayos clínicos, puede ser presentada a las autoridades sanitarias para obtener su permiso de comercialización. Todo este proceso puede tomar entre 10 y 15 años con un costo de varios millones de dólares.

Incluso, si un medicamento tiene éxito, puede mostrar eficacia solo en una población seleccionada de pacientes. Por ejemplo, Gefitinib, un inhibidor del receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR), está diseñado para tratar el cáncer de pulmón. El fármaco ofrece una respuesta sorprendentemente potente, pero solo en aproximadamente el 10 % de los pacientes [1].

Diseño con ayuda de computadoras

El avance de la informática ha conducido a la construcción de computadoras potentes y de algoritmos que permiten predecir de una forma más precisa qué moléculas pueden convertirse potencialmente en un medicamento [3]. El diseño de medicamentos por computadora o CADD por sus siglas en inglés (Computer Aided Drug Design), se refiere a la utilización de tecnología informática, métodos computacionales y softwares para apoyar, guiar y optimizar el proceso de descubrimiento de fármacos [9]. La quimioinformática ha contribuido de manera considerable a tener una mejor comprensión de la relación que existe entre la estructura molecular y la modulación de objetivos biológicos [2].

El diseño de medicamentos con la ayuda de computadoras ha demostrado ser útil desde la etapa de identificación del compuesto líder y el objetivo biológico, hasta la optimización de afinidad y selectividad tanto en el diseño basado en la estructura del objetivo biológico como en la del ligando [9].

Esta metodología ayuda a eliminar gastos y tiempo en la síntesis y pruebas de compuestos que no resultan atractivos por sus pobres propiedades ADMET/PK o de potencia y selectividad. Con las computadoras actuales, se puede realizar una evaluación de millones de compuestos orgánicos sobre objetivos biológicos, en tiempos de días o semanas.

En los siguientes años, con el progreso de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático (Machine learning), sumado a la cantidad de datos que existen y la capacidad de cálculo de las computadoras, se espera que se abra un nuevo mundo al descubrimiento de fármacos, donde los tiempos y recursos necesarios para llegar desde la idea hasta el fármaco en las farmacias se reduzca, haciendo el proceso más eficiente y logrando una cura definitiva para enfermedades como el cáncer [10].

Referencias

- [1] Prasad, S.; Gupta, S. C.; Aggarwal, B. B. Serendipity in Cancer Drug Discovery: Rational or Coincidence? *Trends Pharmacol. Sci.* 2016, 37 (6), 435–450. <https://doi.org/10.1016/J.TIPS.2016.03.004>.
- [2] Rami Reddy, M.; L. Parrill, A. *Overview of Rational Drug Design*; 2009. <https://doi.org/10.1021/bk-1999-0719.ch001>.
- [3] Mavromoustakos, T.; Durdagi, S.; Koukoulitsa, C.; Simcic, M.; G. Papadopoulos, M.; Hodoseck, M.; Golic Grdadolnik, S. Strategies in the Rational Drug Design.

Curr. Med. Chem. 2011. <https://doi.org/10.2174/092986711795933731>.

- [4] Lounnas, V.; Ritschel, T.; Kelder, J.; McGuire, R.; Bywater, R. P.; Foloppe, N. Current Progress in Structure-Based Rational Drug Design Marks a New Mindset in Drug Discovery. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2013. <https://doi.org/10.5936/csbj.201302011>.
- [5] Mandal, S.; Moudgil, M.; Mandal, S. K. Rational Drug Design. *European Journal of Pharmacology*. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2009.06.065>.
- [6] Eddershaw, P. J.; Beresford, A. P.; Bayliss, M. K. ADME/PK as Part of a Rational Approach to Drug Discovery. *Drug Discov. Today* 2000, 5 (9), 409–414. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(00\)01540-3](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(00)01540-3).
- [7] Wermuth, C. G.; Ganellin, C. R.; Lindberg, P.; Mitscher, L. A. Glossary of Terms Used in Medicinal Chemistry (IUPAC Recommendations 1998). *Pure Appl. Chem.* 1998. <https://doi.org/10.1351/pac199870051129>.
- [8] Wagner, J. R.; Lee, C. T.; Durrant, J. D.; Malmstrom, R. D.; Feher, V. A.; Amaro, R. E. Emerging Computational Methods for the Rational Discovery of Allosteric Drugs. *Chemical Reviews*. 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00631>.
- [9] Njogu, P. M.; Guantai, E. M.; Pavadai, E.; Chibale, K. Computer-Aided Drug Discovery Approaches against the Tropical Infectious Diseases Malaria, Tuberculosis, Trypanosomiasis, and Leishmaniasis. *ACS Infectious Diseases*. 2016. <https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.5b00093>.
- [10] Zhang, L.; Tan, J.; Han, D.; Zhu, H. From Machine Learning to Deep Learning: Progress in Machine Intelligence for Rational Drug Discovery. *Drug Discovery Today*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2017.08.010>

Microjoyas fotosintéticas

■ Por Ph. D. Diana Astorga García¹, Microbióloga Kelly López¹ y M. Sc. Diana Ontaneda²

¹Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Microbiología Aplicada (GEMA), Escuela de Ciencias Biológicas (dastorga199@puce.edu.ec), (klopez9951@gmail.com).

²Gerencia del Ambiente, Dpto. de Gestión de Recursos Hídricos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable (EPMAPS) (diana.ontaneda@aguaquito.gob.ec). *

El porqué del Oxígeno en el planeta Tierra

I Sabías que el 80% de la historia de vida del planeta Tierra es exclusivamente microbiano? La Tierra tiene aproximadamente 4,6 billones de años y, a pesar de que la evidencia tangible es escasa, no existe discusión acerca de que las primeras formas de vida fueron microbianas. Las primeras células tienen cerca de 3,8 a 3,9 billones de años, pero su expansión de hace 3,5 billones de años coincide en el tiempo con la presencia de agua líquida en el planeta. Nada presume que la ausencia de Oxígeno restrinja la diversidad de mecanismos para generar energía en las formas microbianas. No obstante, los primeros organismos capaces de aprovechar la energía solar surgen recién hace 3,6 billones de años. Pero solo la aparición de las algas verde-azules o cianobacterias hace 2,6 billones de años marca un antes y un después en la historia de la Tierra. ¿Quién iba a decir que el Oxígeno sería un desecho metabólico de la asimilación del Carbono mediante la utilización de la luz solar y el agua, en un proceso conocido como fotosíntesis? Igual, fue la oxigenación del planeta la que permitió el boom de los organismos multicelulares que condujo a la evolución de la mayoría de las plantas y los animales de la Tierra en

solo medio billón de años [1]. De ahí que las cianobacterias reciban el galardón de las primeras microjoyas fotosintéticas.

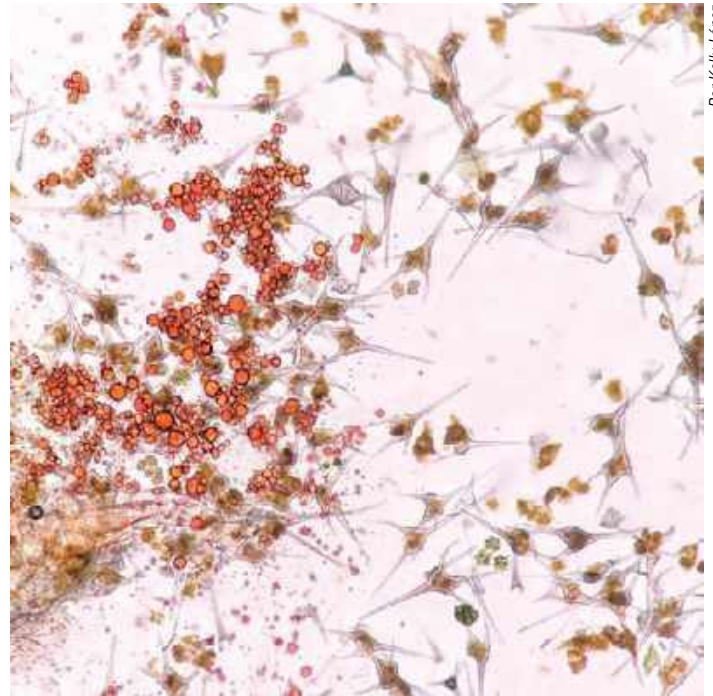
Un tesoro en las microalgas

Una vez que apareció el mecanismo microbiano de fotosíntesis oxigénica, una cantidad variopinta de formas, colores, tamaños y organizaciones de microalgas surgió para aprovechar la luz como fuente de energía en cada rincón del planeta, hasta el más inhóspito e insospechado. Glaciares, volcanes, desiertos y aguas termales dan cabida a multitud de formas de vida microscópica que participan tanto en la regeneración de Oxígeno como en la producción de las moléculas orgánicas responsables del inicio de las cadenas alimentarias, que agrupan a los seres vivos de todos los confines terrestres y acuáticos de la Tierra.

Su clasificación es un quebradero de cabeza hasta para los expertos que han trabajado toda su vida en ellas. Varias clasificaciones han sido propuestas, pero el uso de las nuevas

técnicas moleculares pone constantemente en entredicho nombres, posiciones y hasta divisiones completas, dependiendo de lo que se use como excusa para clasificarlas.

La morfología tiende a ser el criterio tradicional y suele ir desde el color, las características de la pared que las rodea hasta la presencia o la ausencia de apéndices u orgánulos para su desplazamiento. Pero no todos los ojos están entrenados y pueden distinguir, por ejemplo, diferencias entre el verde claro, el verde parduzco, el verde azulado y el verde oscuro y, muchas veces, debe recurrirse a un estudio de pigmentos para saber si lo que predomina en una microalga es la clorofila



Florecimiento de gemas de Kelly

Por Kelly López

*Katherin Clavijo y Karen Rodríguez, estudiantes a punto de obtener su título de Microbiólogas, están trabajando eficazmente en el grupo GEMA. Francisca Cañadas, estudiante de tercer año de Microbiología, ha contribuido significativamente en el mantenimiento de las cepas y su colección. Las tres estudiantes colaboraron eficientemente en la elaboración de este artículo (N.E.).



Por Katherine Clavijo

Volvox y Staurastrum. Dijes de Katherin

verde, la ficoeritrina roja, la fucoxantina parda, el caroteno naranja, la ficocianina azul o la zeaxantina amarilla. ¡Interesantemente complicado!

Desde hace algunas décadas, sin que la morfología deje de ser importante, se usa también la filogenia molecular, una técnica que permite analizar diferencias moleculares hereditarias en las secuencias genéticas o proteicas, que involucra desde uno o pocos genes hasta al conjunto completo de genes de un organismo o grupo de organismos [2,3]. La cosa no se simplifica si a lo que se restringe este tipo de estudio es al conjunto de genes de organelos independientes como, por ejemplo, aquellos responsables de la coloración de las células, los plástidos [4], o los peroxisomas, esas especiales vesículas que se encargan de neutralizar el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada y evitar la combustión espontánea en el interior de las células eucariotas. De todas formas, el resultado es un árbol filogenético que resume las relaciones ancestro-descendientes en las que no siempre cuajan todas las divisiones de organismos fotosintéticos. Siempre quedan grupos u organismos sueltos en un limbo gris que no los hace ni

de aquí, peor de allí y, ¡no se diga!, de allá. Solo comparten dos similitudes: el hecho de ser organismos unicelulares y el poseer un metabolismo fotosintético más o menos igual al de las plantas vasculares.

Las verdaderas maravillas de la diversidad de microalgas y cianobacterias

Primero que nada, son procariotas, organismos unicelulares simples dentro de su complejidad, o eucariotas unicelulares, que poseen una serie de orgánulos rodeados por membranas, que pueden o no reunirse y formar agrupaciones simpáticas. Las procariotas son las cianobacterias, que pueden presentarse en solitario o formar colonias o filamentos. Entre las eucariotas, hay unicelulares flageladas o sin flagelos; simétricas o asimétricas; con o sin manchas oculares o estigmas, que son los orgánulos fotorreceptores; y sin o con paredes de sílice o celulosa, que las convierten en verdaderos microcosmos de tesoros triangulares, cuadrados, circulares, rectangulares o cilíndricos. Las que se reúnen en formas peculiares conforman colonias, cadenas, abanicos, estrellas, zigzags y guirnalda microscópicas. Si a esto le sumas colora-

ciones con diversos matices y, a veces, un espejeante brillo estructural, consigues imaginar la más diversa gama de prodigios generalmente invisibles al ojo humano, pero que consiguen erizar la piel si tienes la suerte de echar mano a un buen microscopio.

Pero las gemas microalgales no se conforman con la belleza de sus formas únicamente. Sus aplicaciones son de lo más diversas e impresionantes [5]. ¿Sabías que ya los mensajeros Aztecas comían tortas cocidas con la cianobacteria *Arthrospira máxima* porque les proporcionaba energía y resistencia para correr durante varios días? ¿Y qué decir del cushuro o “milagro andino”? Se trata de una cianobacteria colonial que forma vesículas aéreas esféricas que pueden llegar a ser tan grandes como la palma de una mano y son consideradas como el alimento del futuro para combatir la desnutrición del planeta. Pues sí, el contenido nutricional de estas, no tan micro colonias, terrestres o de aguas poco profundas de las altiplanicies de los andes peruanos y bolivianos supera los beneficios de la famosa *Spirulina*, que ya eran de por sí alucinantes. Estas superjoyas fotosintéticas, pertenecientes al género cianobacteriano *Nostoc*, contienen más calcio que la leche, más hierro que la lenteja, más proteína que la carne y poseen todos los aminoácidos esenciales para la dieta saludable por excelencia. Además, mejoran el funcionamiento del corazón, combaten la anemia, previenen la osteoporosis al proporcionar colágeno, mejoran la digestión y desintoxican el organismo. Pero esta no es sino una de las múltiples aplicaciones directas de las microalgas y las cianobacterias.

Con microalgas, se pueden elaborar desde colorantes, espesantes y preservantes naturales para los alimentos, los cosméticos y los textiles, suplementos alimenticios altamente nutritivos para animales y el ser humano, antioxidantes, antitumorales,

activadores inmunológicos y hasta biocombustibles. Específicamente, los pigmentos liposolubles, que incluyen a las clorofilas y a los carotenos, son muy utilizados para el tratamiento de enfermedades relacionadas con la presencia o generación de radicales libres, el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y otros procesos degenerativos asociados con el envejecimiento. Los pigmentos hidrosolubles como las ficocianinas y las ficoeritrinas poseen propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias [6], lo que las hace idóneas para el tratamiento de edemas, artritis, diabetes y algunos tipos de cáncer. También han demostrado su importancia en la fabricación de anticuerpos y su eficacia como neuroprotectores, cicatrizantes, marcadores celulares o moleculares no radiactivos y sondas genéticas fluorescentes para estudios moleculares complejos. ¡Todo un dechado de virtudes aprovechables también en otros sentidos!

¿Qué tienen que decir las microalgas y las cianobacterias frente a la calidad de los ecosistemas acuáticos y el calentamiento global?

Si bien las microalgas y las cianobacterias se encuentran presentes en todo tipo de ambientes, son especialmente diversas en ambientes acuáticos. Su distribución y diversidad depende de la dinámica del ecosistema. Por ejemplo, en aguas que discurren como en el caso de arroyos y ríos, estas microjoyas fotosintéticas van a proliferar, de preferencia, en remansos y piedras, vegetación o raíces sumergidas de las orillas. En aguas quietas, conocidas también como lólicas, su distribución depende de la profundidad a la que llegue a penetrar la luz en el agua, las preferencias específicas de cada grupo y la cantidad de nutrientes que se encuentren disponibles en el hábitat. En su distribución vertical en la masa

de agua, influye también el pigmento que predomine en su interior. Así, las microalgas verdes tienden a habitar a poca profundidad, pues la clorofila les ayuda a la captación de la franja roja del espectro de luz; las microalgas pardas pueden realizar fotosíntesis a mayor profundidad que las verdes por la presencia de fucoxantina, con la que aprovechan la luz polarizada; y las microalgas rojas utilizan la luz azul a través de la ficoeritrina, lo que las convierte en las campeonas de la profundidad.

Sin embargo, un aspecto que muchas veces se pasa por alto (por desconocimiento, libre omisión o miedo a las consecuencias mediáticas), es el poder de las microalgas y cianobacterias para determinar la calidad de los ecosistemas acuáticos. Una de sus características fundamentales es su sensibilidad diferencial frente a cambios ambientales derivados de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, contaminación orgánica y otros tipos de polución como, por ejemplo, aquella ocasionada por metales pesados. Justamente por esta capacidad, estas micromáquinas fotosintéticas pueden ayudar a determinar si un ecosistema acuático es oligotrófico o eutrófico en función de la comunidad de microalgas en suspensión o fitoplancton, el grado de transparencia del agua y la concentración de nutrientes y materia orgánica. Así, un ecosistema oligotrófico se caracteriza por una cantidad reducida de fitoplancton, aguas transparentes y concentraciones limitadas de nutrientes y materia orgánica. En cambio, la cantidad de algas fitoplanctónicas, la turbidez del agua, la alta carga de nutrientes y el empobrecimiento de la diversidad constituyen atri-

butos de ambientes eutróficos.

En estos ecosistemas, tanto las microalgas ultrasensibles, que requieren de condiciones hiperrestrictivas para su crecimiento, como aquellas que han desarrollado mecanismos de resistencia y adaptabilidad a condiciones que no cualquier microalga puede tolerar, resultan de importancia fundamental para comprender los cambios ambientales, cómo estos afectan la dinámica de las poblaciones algales y sus consecuencias para todo el ecosistema. Claro está que esa dinámica puede estar relacionada con fenómenos tan vistosos como las mareas rojas o las mareas azules, pero también pueden tener efectos desagradables si lo que nos encontramos son intoxicaciones masivas o aguas fétidas, marrones, natas de algas y muerte de peces y otros organismos. ¡He aquí la importancia de las microjoyas bioindicadoras!

Un indicador biológico es un organismo utilizado para determinar y evaluar el índice de contaminación y/o eutrofización de un hábitat. Es precisamente en lo que se convierten microalgas y cianobacterias con solo estar presentes en un determinado ecosistema, pues su presencia o ausencia dice mucho a la hora de determinar el estado trófico del ambiente en que se desarrollan. Así, especies como *Stauroneis extensus*, *Octacanthium octocorne* y *Staurastrum chaetoceras*, pertenecientes a la división de microalgas más empa-



Closterium. Tiara de Karen

Por Karen Rodríguez



Por Karen Rodríguez

Stigeoclonium. Tesoro de Karen

rentada con las plantas vasculares, las carofitas, son microalgas ultrasensibles cuya sola presencia implicaría un ambiente acuático oligotrófico. Otra carofita, esta del género *Closterium*, es bioindicadora de ambientes alcalinos ricos en calcio, de manera que mínimas variaciones en este nutriente hace que desaparezcan como por arte de magia. En cambio, si nos vamos al otro lado del espectro, encontramos a especies euglenofitas biomonitoras de ambientes altamente enriquecidos como *Euglena* sp. y *Trachelomonas volvocina*.

En resumidas cuentas

El kit de la cuestión, sin embargo, está en cómo la composición de microalgas y cianobacterias de un ecosistema acuático va sucediéndose en el tiempo. En ese sentido, la relevancia recae en especies de ambientes intermedios o mesotróficos como las clorofitas de los géneros *Comasiella*, *Acutodesmus* y *Desmodesmus*. Pero debe ponerse especial cuidado si lo que proliferan son especies con mecanismos adaptativos a condiciones altamente variables como las cianobacterias de los géneros *Doliospermum* o *Anabaenopsis*. Gracias a sus aerótopos, super-células que controlan su flotabilidad en el agua, quienes las poseen pueden acaparar la luz y aprovechar nutrientes en abundancia, sobre todo cuando se trata de Nitrógeno y Fósforo, que irónicamente son introducidos en ambientes acuáticos por actividades humanas. Cuando

esto sucede, estas joyitas fotosintéticas no solo cambian el olor y el sabor del agua, sino que pueden llegar a formar verdaderas natas densas superficiales que acaban con el Oxígeno disponible en capas inferiores y matan todo lo que

podría haberse desarrollado por debajo. ¡Éstas sí que son malas, cuando quieren!

En medio de tanto alboroto, queda una cianobacteria heroína superpoderosa que se llama *Anabaena* sp. cpb 4337. Esta es biomonitora de toxicidad por metales pesados y, por eso, se la usa como indicador biológico autoluminiscente, que detecta la biodisponibilidad de plata, zinc, cobre, cadmio y mercurio en un sistema acuático [7]. Pero, ¡ay de que las temperaturas sigan subiendo por efecto del cambio climático global y de que los humanos continuemos con el ritmo de contaminación de nuestras aguas por el uso irracional de fertilizantes químicos y otras sustancias deliciosas para las cianobacterias! Estas microjoyitas también poseen acinetos, células vegetativas que pueden no dividirse sino hasta encontrar las condiciones óptimas para el desarrollo de largos filamentos. Para malvada la hora, pueden ser productoras de toxinas y hacer imbebibles nuestras fuentes de agua. Pero ¿quién se preocupa por este escenario hasta hace poco tan irreal y, aceptémoslo, bastante pesimista, si lo que prima, por ahora, es la belleza de la forma, el color, la textura y las maravillosas aplicaciones de las microjoyas fotosintéticas? ¿Tú qué dirías? ¿Valdría la pena monitorear la diversidad y evolución de las poblaciones de microalgas y cianobacterias en los ecosistemas acuáticos ecuatorianos? ¡Tú tienes la respuesta!

Literatura consultada

- [1] Madigan, M.T., Martinko y J. M. y J. Parker. (2015). *Brok Biología de los Microorganismos* (14 Ed.). S.I.: Prentice-Hall-Pearson Education.
- [2] Gómez, F., Moreira, D. y P. López-García. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. *Hidrobiológica*, 21(3): 343-364.
- [3] Leliaert, F., Smith, D.R., Moreau, H., Herron, M.D., Verbruggen, H., Delwiche, C.F y O. De Clerck (2012). Phylogeny and evolution of the Green Algae. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31: 1-46.
- [4] Ševčíková, T. et al. (2015). Updating algal evolutionary relationships through plastid genome sequencing. *Scientific Reports* 5, Article number: 10134. doi:10.1038/srep10134
- [5] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2018). El proyecto Life Seacolors del Banco Español de Algas, seleccionado para ser designado como 'El Mejor de los Mejores' de los Proyectos LIFE de la Unión Europea. Recuperado de <https://www.ulpgc.es/noticia/proyecto-life-seacolors-del-banco-espanol-algas-seleccionado-ser-designado-como-mejor>
- [6] Díaz Domínguez, G., Marsán Suárez, V. y L.O. del Valle Pérez (2016). Principales propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias de la ficobiliproteína C-ficocianina. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 32(4), 447-454.
- [7] Guamán, A., Empuño, A. y M. Jaramillo. (2012). Aplicación de la cianobacteria *Anabaena* sp. cpb 4337 como bioindicador de toxicidad por metales pesados en el embalse ES-POL. [ebook] Available at: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20889> [Accessed 25 Nov. 2019].

La descomposición de la materia orgánica: un proceso crucial para sostener el funcionamiento de los bosques tropicales amazónicos

■ Por Brian Four, CNRS, Laboratorio de Ciencias por el Medio Ambiente (UMR 6134 SPE), Universidad de Corte, Francia (bfour36@gmail.com), Rafael E. Cárdenas, Museo de Zoología QCAZ y Laboratorio de Entomología PUCE (recardenas@puce.edu.ec) y Olivier Dangles, IRD, Centro de Ecología Funcional y Evolutiva (CEFE), Montpellier, Francia (Olivier.dangles@ird.fr).

¿De dónde viene la importancia de la descomposición?

Los productores primarios, como por ejemplo las plantas, son los únicos seres que permiten la producción de materia orgánica esencial para la vida de todos los otros organismos (consumidores) de las redes tróficas en los ecosistemas del mundo. En efecto, ya sea un saltamontes (consumidor primario), una mantis (predador), un tucán (consumidor primario y predador) o un humano, considerado como consumidor “superior”, ninguno puede producir su propia materia orgánica y es por eso que todos necesitan una alimentación rica y diversificada. En eso, la producción de materia orgánica vegetal es esencial para el funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas del mundo.

Esta materia orgánica vegetal “primaria” está producida a partir del CO₂ del ambiente y de nutrientes inorgánicos. Estos últimos provienen inicialmente del biotopo (sustratos, ríos, suelo, etc.) pero también del reciclaje de la materia orgánica muerta. Por eso, la tasa de estos nutrientes al nivel de los ecosistemas es muy variable y eso puede influir mucho sobre la productividad y la diversidad en los ecosistemas.

Se conoce que en las zonas continentales, más del 90% de la materia

orgánica producida anualmente por las plantas regresa al suelo nuevamente como materia orgánica muerta (hojarasca, madera, frutas, flores) (Fig. 1). Esta materia orgánica es una fuente central de energía y nutrientes para las comunidades heterótrofas en los ecosistemas terrestres y acuáticos que la usan y la transforman, a través de un proceso llamado “descomposición”, en nutrientes inorgánicos. Además, en esta parte de la Amazonia, debido al tipo de sustrato y al clima, el suelo es muy pobre en nutrientes esenciales para la vida de todos los organismos como por ejemplo el nitrato, el fosfato, pero también otros menos abundantes como el sodio, el calcio, el magnesio o el manganeso. Como

resultado, en zonas muy productivas como en los bosques primarios húmedos de la Amazonia, donde la producción primaria representa alrededor del 35% de la producción terrestre mundial, se necesita una gran cantidad de CO₂ en el aire pero también de algunos nutrientes esenciales a nivel del suelo. De ahí que este proceso de descomposición permite la retroalimentación del suelo en nutrientes y es fundamental para el funcionamiento de este ecosistema forestal.

¿Dónde se realiza la descomposición?

En los ecosistemas forestales, como los bosques primarios de la Amazonia, la gran parte de la descom-



Figura 1. La mayoría de estas miles de hojas que se producen al nivel del dosel acaba, un día, cayendo en el sotobosque.

posición se realiza donde se acumula la hojarasca y/o la madera muerta, es decir al nivel del sotobosque, ya sea en los hábitats terrestres (suelo) o en los hábitats acuáticos (charcos, lagunas, riachuelos y ríos) (Fig. 2). Por una parte, dadas las proporciones que representan los suelos en los bosques, este hábitat es el lugar donde cae la mayor parte de la hojarasca y todo tipo de materia muerta. Por esto, este hábitat es central en la descomposición y en el reciclaje de los nutrientes. Asimismo, en los riachuelos, es decir en las zonas más bajas o de depresión, y en la densidad de la red de los mismos en los bosques húmedos de la Amazonia, estos hábitats colectan poco a poco la hojarasca que cae desde el dosel del bosque y la puede acumular en cantidades significativas lo que hace de estos hábitats, lugares también muy importantes para el proceso de descomposición. La corriente permite además el transporte y la mezcla de este material o de los productos de la descomposición (ej. nutrientes) en diferentes zonas acuáticas. De ahí que este hábitat sea muy importante tanto para la descomposición y el reciclaje de los nutrientes como también para el traslado y su redistribución a través de las cuencas hidrográficas.

¿Cómo se hace la descomposición? ¿Cuáles son los grupos de organismos que realizan este proceso?

La descomposición es un proceso de fraccionamiento, disolución y degradación de la materia orgánica que conduce a la destrucción de moléculas grandes como la celulosa, la lignina, los azúcares, pero también de las proteínas, lípidos, etc. que la constituyen y a la producción de moléculas pequeñas como los nutrientes (ej. N, P, K, Na, Ca, Fe, Mg, Mn, etc.) y el CO₂. Ya sea a nivel del suelo o de los riachuelos, este proceso está prin-



Figura 2. Paisajes típicos del sotobosque que muestran la acumulación de la hojarasca en los hábitats del suelo (izquierda), de los pantanos (centro) y de los riachuelos (derecha) en la Amazonia.

cialmente realizado por diferentes pero similares grupos de organismos entre estos dos tipos de hábitats.

Si bien se puede decir que un tapir andando en el bosque o un caimán nadando en el fondo de un río participa de manera indirecta en la descomposición, fraccionando la madera o la hojarasca, sus acciones, como las de todos los animales grandes, para este proceso son considerados secundarios. En cambio, tres grupos de organismos mucho más pequeños pero mucho más numerosos como son los invertebrados detritívoros, los hongos y las bacterias desempeñan un papel principal; puesto que los invertebrados detritívoros como las termitas, los colémbolos, algunas larvas de coleópteros, las lombrices en el suelo, los camarones, larvas de efímeras, de plecópteros o de coleópteros en el agua, al alimentarse de la materia orgánica muerta, tienen principalmente un rol de fraccionamiento y de degradación de la parte más suave y rica de esta. En efecto, sus heces, “producen” una materia orgánica fina y ‘pre-digerida’ lo que facilita la acción de los hongos y bacterias para la descomposición *per se*. A su vez, los hongos representan uno de los grupos más importantes para este proceso porque ellos pueden producir un cóctel enzimático muy poderoso que permite la degradación de las moléculas más fuertes de la ma-

teria orgánica vegetal como la lignina o como algunos taninos. Finalmente, las bacterias tienen una acción importante que sucede gracias al proceso de los grupos de organismos anteriormente mencionados. Las bacterias son las que culminan con el trabajo químico de descomposición que permite la mineralización y finalmente el reciclaje de los nutrientes que, a partir de ese momento, puede ser utilizado por las plantas según sus propios requerimientos.

Recientes estudios realizados en el Parque Nacional Yasuní evidenciaron una tasa de descomposición similar de la hojarasca tanto a nivel del suelo como en los riachuelos. Los primeros resultados conseguidos en esta área tienden a mostrar que el rol de cada grupo identificado (invertebrados, hongos y bacterias) sobre este proceso es diferente entre estos dos tipos de hábitats: una acción central de los hongos para la descomposición de la hojarasca a nivel del suelo; en cambio, los invertebrados desarrollan su mayor actividad a nivel del agua (Fig. 3).

Dime de qué está compuesta la hojarasca, te diré cuán rápido se va a descomponer en el bosque...

Al tocar las hojas, uno puede darse cuenta de la cantidad de texturas distintas que estas presentan: algunas son muy débiles, otras son muy duras;

unas son gruesas, otras delgadas, unas tienen pelitos, otras no. Esa diversidad proviene de la multitud de estrategias que tienen las especies de plantas que coexisten en el bosque y de las estructuras particulares de sus hojas conseguidas por años y años de evolución dependiendo de sus adaptaciones para buscar la luz, sintetizar sus moléculas de interés para sus vidas o de sus defensas contra los herbívoros. A partir de estas características físicas de la hojarasca, parece obvio decir que algunas pueden influir sobre sus propias velocidades de descomposición. En efecto, uno puede imaginarse fácilmente que una hoja gruesa y dura va a descomponerse más lento que una hoja delgada y débil y eso se puede explicar por diferentes razones. Por ejemplo, si consideramos la actividad de los invertebrados, dependiendo del tipo de mandíbulas, unos no van a poder comer las hojas duras, o les va a costar más energía hacerlo. Además, así como nosotros por la carne, los invertebrados prefieren una comida más suave que tiesa. En eso, si pueden elegir, lo que es el caso en la Amazonia donde en una hectárea se encuentra alrededor de 655 especies de árboles, ellos van a comer, en prioridad, la hojarasca más suave lo que indirectamente va a influir sobre la tasa de descomposición de ciertas hojas más duras.

Pero, atrás de eso, existen otras características que son a priori menos obvias porque no se ven directamente, que dependen de la composición química de las hojas y que también pueden influir sobre la descomposición. Entre estas, la cantidad de macronutrientes o de compuesto refractarios. Estudios conducidos en laboratorio evidenciaron, por ejemplo, que una alta cantidad de nitratos o de fosfatos podía favorecer la descomposición por los microbios y por los invertebrados aumentando la actividad, y el creci-



Figura 3. Hongos y un chiquito invertebrado detritívoro (Diplopoda) participando en la descomposición de una hoja al nivel del suelo en el Parque Nacional Yasuní.

miento de los mismos. Por otra parte, está ampliamente demostrado que una cantidad de compuestos refractarios como los taninos o la lignina pueden influir negativamente en la descomposición de la hojarasca (Fig. 4).

Además, en el Parque Nacional de Yasuní, como otras áreas localizadas en la parte nor-oeste de la Amazonia, es decir muy lejos de la influencia marítima y donde el sustrato es muy pobre en muchos elementos nutritivos esenciales para la vida de los organismos (como por ejemplo el calcio, el magnesio, el sodio), estudios recientes mostraron una relación entre la tasa de algunos micronutrientes contenidos en la hojarasca (o en sustratos celulósicos usados para simular la descomposición de la materia orgánica) y la tasa de descomposición de la materia orgánica. Es, por ejemplo, el caso del manganeso, del sodio o del cobre. Se evidenció que una buena proporción de los dos primeros favorece la tasa de descomposición de la hojarasca y que al contrario una alta proporción de cobre parece desfavorecer la tasa de descomposición. Esto evidencia la importancia fundamental de estos compuestos para las actividades de las redes tróficas basales de

la Amazonia.

De la importancia del ambiente, a la amenaza del cambio climático...

Como todos lo saben, es siempre mejor guardar la leche en la refrigeradora que en la alacena... Y eso viene del hecho de que una temperatura alta favorece la multiplicación y la actividad de las bacterias. Estudios globales evidenciaron la importancia de algunos parámetros ambientales para la descomposición de la materia orgánica y de la hojarasca. Entre todos, la tasa de nutrientes, la temperatura, la humedad, el oxígeno en el ambiente aparecen como factores cruciales para el proceso de descomposición. Por esto, de manera general, se nota una descomposición más rápida en los riachuelos que en tierra. En efecto, los riachuelos recuperando el agua enriquecida en nutrientes que provienen del suelo, están menos limitados por nutrientes que el suelo cercano. Además, el agua *per se*, no es un limitante tampoco por el crecimiento de los hongos en este hábitat, lo que puede ser el caso al nivel del suelo en zonas templadas, por ejemplo.

En el bosque del Parque Nacional

Yasuní, como en una gran parte de la Amazonia, el termómetro indica una temperatura promedio diaria siempre cerca de los 24,5 °C, lo que es un coadyuvante a la general alta tasa de descomposición de la materia orgánica registrada en este ecosistema, bien sea al nivel del suelo o en los riachuelos. Pero, en este ecosistema el clima es asimismo muy húmedo, lo que favorece también mucho a la descomposición, por lo menos en los hábitats terrestres. A propósito, este parámetro debe ser uno de los que explicaría la similar tasa de descomposición entre los hábitats terrestres y acuáticos que fue evidenciado por estudios realizados en el Parque Nacional Yasuní. En efecto, ahora, la humedad ambiental en el bosque queda siempre cerca del 100% lo que favorece el crecimiento y por lo tanto la actividad de los microorganismos al nivel del suelo.

Pero estudios sobre el efecto del cambio climático en la Amazonia pronostican, dependiendo de los modelos, un aumento de la temperatura entre 2.5 °C y 6 °C y una modificación del régimen de lluvia provocando sequías en ciertas épocas del año. También, estas épocas de sequía podrían estar reforzadas por los cambios de usos del suelo en la zona (por la agricultura, la deforestación, etc.). Estos cambios podrían modificar drásticamente el proceso de descomposición y el reciclaje de los nutrientes en los bosques primarios de la zona, lo que, por lo tanto, podría afectar todo el funcionamiento de este ecosistema mega diverso. En este contexto, es una necesidad estudiar el efecto de estas predicciones de cambio para tener bases científicas sólidas, en primer lugar al proceso de descomposición de la materia orgánica (¿cómo afecta a la descomposición?, ¿cómo responden los organismos relacionados?). Después, estos resultados podrán ayudar a prever cómo los cambios evidenciados

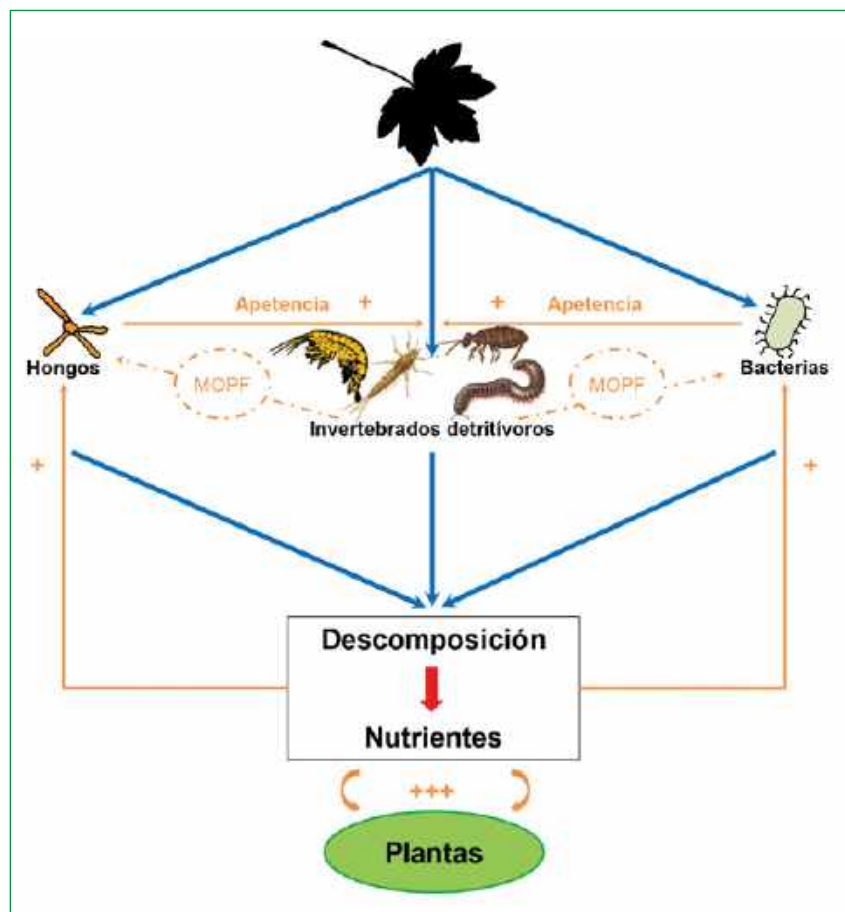


Figura 4. Gráfico teórico de los actores de la descomposición. Los invertebrados comiendo la hojarasca producen una materia orgánica particular más fina (MOPF) que favorece la actividad de los hongos y bacterias. Los hongos y bacterias descomponiendo las estructuras de las moléculas complejas aumentan la apetencia de la hojarasca para los invertebrados. In fine los nutrientes producidos al final de la descomposición pueden favorecer la actividad de los microbios y sobre todo permiten el crecimiento de las plantas.

sobre este proceso afectan el funcionamiento del ecosistema (cantidad de nutrientes en los hábitats, crecimiento de las plantas, diversidad de plantas, etc.). En esto, la ciencia nos puede ayudar para mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas de la Amazonia e intentar encontrar soluciones para reducir nuestros impactos sobre el funcionamiento de estos ecosistemas mega diversos.

Literatura consultada

Capps, K.A., M.A.S. Graça, A.C. Encalada and A.S. Flecker. 2011. Leaf-litter decomposition across three flooding regimes in a seasonally flooded Amazonian watershed. *Journal of Tropical Ecology* 27:205–210.

Cárdenas, R.E., D.A. Donoso, A. Argoti and O. Dangles. 2017. Functional consequences of realistic extinction

scenarios in Amazonian soil food webs. *Ecosphere* 8:e01692.

Four, B., R.E. Cárdenas and O. Dangles O. 2019. Traits or habitat? Distinguishing predictors of leaf-litter decomposition in Amazonian soils and streams. *Ecosphere*. 10:e02691.

García-Palacios, P., B.G. McKie, I.T. Handa, A. Frañer and S. Hättenschwiler. 2015. The importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: a comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes. *Functional Ecology* 30:819–829.

Valencia, R., et al. 2004. Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology* 92:214–229.

Cannabis: una aproximación a su bioquímica y posibles usos medicinales en Ecuador

■ Por Mgtr. Omar Vacas Cruz
(owvacas@puce.edu.ec)

Esquejes de un fenotipo con ascendencia sativa en la Expocannabis-Uruguay, Centro de Eventos Latu Montevideo 12/2019.

Por Omar Vacas Cruz

El ser humano ha cultivado el cannabis, mucho más que a cualquier otra planta, con el propósito de obtener fibras, medicamentos y diversión desde finales de la Edad de Hielo. Los cannabinoides, los principios activos responsables de los efectos farmacológicos característicos de la planta, interactúan con moléculas receptoras proteicas que existen en varias partes de nuestro cuerpo produciendo efectos terapéuticos...

Michael Backes¹

Algunas consideraciones iniciales de *cannabis*

La especie *Cannabis sativa* L., muy probablemente, se originó en Asia Central, cerca del macizo de Altái, donde convergen Siberia, Mongolia y Kazakstán, hace aproximadamente unos 36 millones de años.

El género *Cannabis* incluye plantas trepadoras, enredaderas, hierbas, arbustos y árboles con flores. Filogenéticamente emparentada con la familia Ulmaceae y taxonómicamente hermana del grupo Moraceae más Urticaceae. El taxón agrupa 11 géneros con hasta 170 especies, en su mayoría con distribución cosmopolita.

Los usos médicos documentados de cannabis se remontan hace más de cinco mil años, pero no sería muy descabellado especular que, junto con el opio, fueron las primeras medicinas que descubrió el ser humano desde tiempos inmemoriales.

En 1961, en la Convención Única de Estupefacientes, se incluyó al cannabis y al opio, y además a la hoja de coca, dentro de las listas de drogas prohibidas, ya que fueron catalogadas como estupefacientes, y todo uso de las mismas quedó restringido a fines médicos y científicos.

La fascinante ecología química que comprende decenas de sustancias activas para la medicina

La especie *Cannabis* produce más de 700 compuestos químicos, principios activos para la investigación y posteriores usos tales como medicinales, textiles, cosméticos, alimentarios, etc., entre estos compuesto tenemos: terpenos, flavonoides, aminoácidos, alcoholes simples, ácidos grasos, vitaminas, pigmentos, cannabinoides (+ de 100), el principal es sin duda el THC $-C_{21}H_{30}O_2-$ (delta-9-tetrahidrocannabinol) responsable del efecto psicotrópico, así como también de efectos terapéuticos como antiinflamatorio y anal-

gésico potente, protector neuronal y reductor de la presión intraocular, espasticidad y tensión muscular; por otro lado, el CBD $-C_{21}H_{30}O_2-$ (cannabidiol) que se ha popularizado durante los últimos años, en general es ansiolítico, antipsicótico y no produce las alteraciones sobre la memoria ocasionadas por el THC. Esto no quiere decir que el CBD no sea psicoactivo, lo que ocurre es que su repercusión en la conducta es menos evidenciable que el THC.

Otros cannabinoides que se están empezando a conocer son el THCV $-C_{19}H_{26}O_2-$ (tetrahidrocannabivarina) que actúa como antagonista (es una sustancia que se une a un receptor celular, y no solamente no lo activa, sino que también bloquea su activación dada por los agonistas), de los receptores cannabinoides en dosis bajas, pero puede actuar como agonista (sustancia que es capaz de unirse a un receptor celular y provocar una acción determinada en la célula generalmente similar a la producida por una sustancia fisiológica), en dosis altas, produciendo efectos

¹Fundador de Cornerstone Research Collective, primer colectivo de cannabis medicinal basado en evidencia científica en California.

parecidos a los del THC, desempeña un papel importante en la regulación del sistema inmune, en particular en lo que respecta a la inflamación y al dolor asociado a este síntoma.

El CBG $-C_{21}H_{32}O_2-$ (cannabigerol), si bien se considera un cannabinoide de menor importancia, en realidad juega un papel fundamental en el cannabis. Es un antagonista de los receptores TRPM8² y agonista de los receptores TRPV1, además inhibidor de la recaptación de anandamida. El CBG está presente en la planta en forma de ácido cannabigerólico (CBGA) y es el precursor básico de tres familias principales de cannabinoides: 1) ácido tetrahidrocannabinólico (THCA), 2) ácido cannabidiólico (CBDA) y 3) ácido cannabícroménico (CBCA). Esta transformación a ácido se produce gracias a enzimas específicas conocidas como sintasas. Un estudio publicado por la revista *Carcinogenesis* de Oxford Academic, señala que el CBG puede prevenir la progresión de células cancerosas que se forman en el colon y finalmente el CBC $-C_{21}H_{30}O_2-$ (cannabícromeno), agonista de TRPA1 e inhibidor de la recaptación de anandamida, su acción terapéutica incluye como antiinflamatorio, antimicrobiano y analgésico (en la figura 1, se detallan las fórmulas químicas de todos los cannabinoides aquí mencionados). Es importante indicar que el CBC comparte la misma fórmula molecular que el THC y el CBD ($C_{21}H_{30}O_2$). Aunque muchos cannabinoides comparten la misma fórmula, los átomos dentro de la molécula están dispuestos en formas ligeramente diferentes, esto proporciona a las moléculas individuales

Tabla 1. Principales cannabinoides de acción terapéutica (no todas estas aplicaciones se han mostrado eficaces en el ser humano)

Compuesto	Posible aplicación médica
Cannabigerol (CBG)	Antibiótico, antifúngico, analgésico, antiinflamatorio.
Cannabícromeno (CBC)	Antibiótico, antifúngico, analgésico, antiinflamatorio.
Cannabidiol (CBD)	Analgésico, antiinflamatorio, antipsicótico, ansiolítico.
Cannabinol (CBN)	Antibiótico, sedativo, anticonvulsivante, antiinflamatorio.
Cannabidivarina (CBDV)	Antiepiléptico, tratamiento para el trastorno del espectro autista.
Delta-9-tetrahidrocannabinol (THC)	Euforizante, analgésico, antiinflamatorio, anti-oxidante, antiemético.

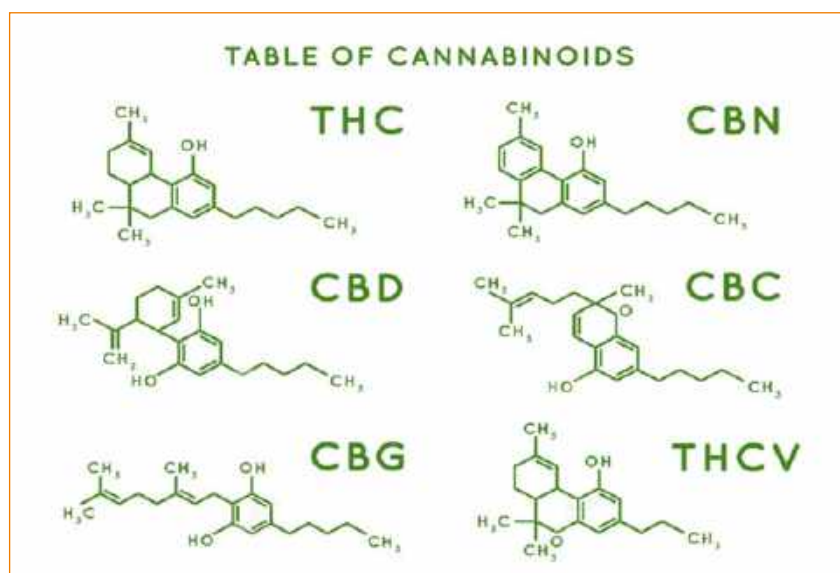


Figura 1. Fórmulas químicas de los principales cannabinoides contenidos en *Cannabis sativa* L.

propiedades químicas muy distintas y por lo tanto habrá efectos medicinales distintos (Tabla 1).

Cabe realizar una aclaración entre los cannabinoides analizados anteriormente, la especie *Cannabis sativa* L., en general produce todos los cannabinoides en su forma ácida, esto es que en lugar de fabricar THC y CBD, sintetiza ácido tetrahidrocannabinólico (THCA) y

ácido cannabidiólico (CBDA) desde su precursor, el ácido cannabigerólico (CBGA).

El THCA no es psicoactivo, no activa los receptores cannabinoides CB1 del cerebro. Para poder tener THC psicoactivo, se necesita calentar el THCA. Esto puede hacerse fumando o vaporizando flores crudas y curadas, horneando productos a los que se les añadió THC

²En mamíferos se reconocen 20 canales TRP, con funciones sensoriales diversas: reconocimiento de la luz y de feromonas, dolor, mecano-sensación, gusto y termotransducción; además se describe su sobre-expresión en células cancerígenas. Estos canales poseen permeabilidad no selectiva a cationes monovalentes y al Ca^{2+} . Se proponen seis canales TRP sensibles a temperatura, de los cuales los TRPV1, TRPV2, TRPV3 y TRPV4 se activan por calor y los TRPM8 y TRPA1 por frío.

como pasteles, galletas, brownies, etc., o calentando la resina en un proceso conocido como descarboxilación. Cuando se fuma la flor curada de cannabis, se estima que más del 95% del THCA se convierte en THC. Si es así, un fumador puede inhalar una pequeña cantidad de THCA remanente, que también podría tener un efecto terapéutico.

El sistema endocannabinoide es probablemente el sistema de regulación fisiológica más antiguo que se conoce

El sistema endocannabinoide endógeno, o sistema endocannabinoide (SEC), es un sistema biológico de comunicación intercelular y de regulación fisiológica cuya principal función es mantener la homeostasis del organismo. Funciona a demanda, poniéndose en funcionamiento ante desequilibrios inesperados del organismo que pueden alterar su homeostasis y por ello producir enfermedad.

El sistema endocannabinoide parece ser la versión evolucionada de un sistema ancestral de comunicación intercelular encontrado también en las plantas como lo es el sistema del ácido araquidónico. De hecho, la naturaleza de los endocannabinoides está directamente relacionada con este ácido.

El ácido araquidónico $-C_{20}H_{40}O_2-$ es un ácido graso omega 6 que participa en el proceso de señalización en plantas y animales. En las plantas modula las defensas frente a las infecciones y la señalización del estrés, mientras que en los animales regula el crecimiento del músculo, la agregación plaquetaria, la vasodilatación y la inflamación.

El sistema endocannabinoide está compuesto de receptores cannabi-

noides, los primeros receptores sobre los que operó el THC fueron CB1 y CB2³, en la actualidad otros más se han descubierto por ejemplo PPARy, TRPV1, GPR18, GPR119, GPR55; por otro lado, también tenemos a los endocannabinoides o moléculas de señalización, entre los que tenemos a la anandamida o N-araquidoniletanolamida (AEA), 2-araquidonilglicerol (2-AG), 2-araquidonilgliceril-éter (2-AGE), entre otros.

Los receptores cannabinoides son proteínas de membrana celular que actúan como la cerradura de los endocannabinoides, estos son ligandos endógenos de naturaleza lipídica producidos por las distintas células corporales, que actúan como una llave perfecta que se une a los receptores (figura 2). Los endocannabinoides en el sistema nervioso central, actúan como neuromodu-

ladores y neurotransmisores y tienen dos particularidades al actuar como estos últimos: 1) son mensajeros retrógrados, es decir la comunicación es de neurona postsináptica a neurona presináptica y 2) no se almacenan en vesículas como el resto de los neurotransmisores, sino que se producen a demanda, en respuesta a estímulos específicos. Cuando la llave se une a su cerradura existe una activación que produce cambios dentro de las células que desembocan en las acciones finales que tiene el sistema endocannabinoide sobre los procesos fisiológicos del cuerpo. Este sistema se implica en una amplia variedad de procesos fisiológicos; por ejemplo, la modulación de la liberación de neurotransmisores, funciones cardiovasculares, gastrointestinales y hepáticas. Numerosos estudios científicos han mostrado que el sistema endo-

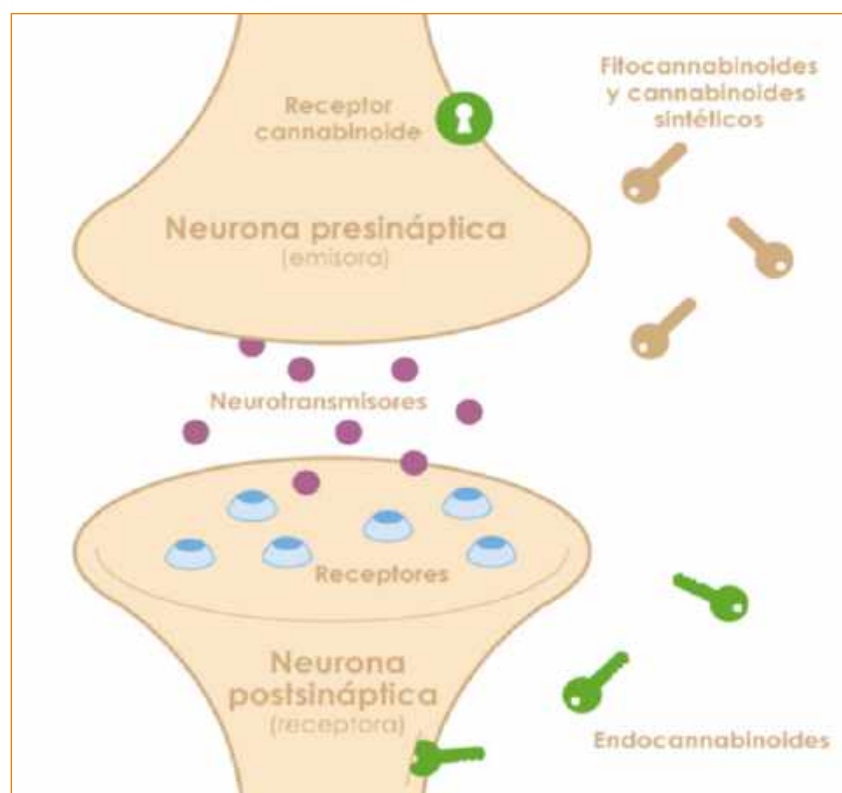


Figura 2. El sistema endocannabinoide está compuesto de receptores cannabinoides y de los endocannabinoides que interactúan del mismo modo que lo hacen una cerradura y su llave.

³Receptores cannabinoides se encuentran ubicados en la membrana celular, predominan en las membranas presinápticas, tienen siete dominios transmembrana y forman parte de la superfamilia de receptores acoplados a las proteínas G (metabotrópicos).

El martes 17 de septiembre de 2019, la Asamblea Nacional del Ecuador aprobó la producción, comercialización, distribución, uso y consumo de cannabis para usos medicinales o terapéuticos en el país.

cannabinoide está muy relacionado con el control del dolor (crónico y neuropático) y la inflamación.

El SEC controla procesos biológicos básicos como la “elección” de las células entre la muerte y la supervivencia, su proliferación y su diferenciación. De ahí, por ejemplo, las líneas de investigación tan prometedoras que existen hoy en día sobre los cannabinoides como potenciales compuestos antitumorales. El SEC es, pues, uno de los sistemas más prolíficos y versátiles presentes en los organismos de los animales, lo que lo convierte en una diana terapéutica para muchas enfermedades, incluyendo algunas neurodegenerativas como el párkinson o el alzhéimer. El Dr. Ethan Russo, uno de los mayores expertos mundiales en cannabis medicinal, habla de la “deficiencia clínica endocannabinoide” para referirse a aquellas enfermedades que tendrían como alteración común un mal funcionamiento del SEC.

Reformas del Código Orgánico Integral Penal (COIP) sobre cannabis medicinal abren la puerta a investigaciones de la salud en Ecuador

El martes 17 de septiembre de 2019, la Asamblea Nacional del Ecuador aprobó la producción, comercialización, distribución, uso y consumo de cannabis para usos medicinales o terapéuticos en el país. Así, el Ecuador se convirtió en el sexto país en América Latina en permitir el uso cannábico con fines terapéuticos. Colombia, Perú, Argentina, Paraguay, Chile, México y Puerto Rico también han legalizado al cannabis parcial o totalmente.

Las reformas del Código Orgánico Integral Penal (COIP) sobre el tema cannabis medicinal fueron publicadas en el Registro Oficial

n.º 107 del martes 24 de diciembre de 2019. De acuerdo con la disposición final estas reformas entrarán en vigencia a partir de 180 días tras su publicación, esto quiere decir en junio de 2020.

Este documento (reformas al COIP) que tiene 127 artículos, abre varias puertas para el ingreso de medicamentos con cannabinoides, así como también a la investigación científica; sin embargo, esto será detallado en la reglamentación que se haga a la Ley.

La investigación futura de cannabis y otras plantas medicinales abriría nuevas posibilidades de tratamientos con alta eficiencia para enfermedades raras y catastróficas

Desde que Raphael Mechoulam *et al.*, en 1964, aisló y determinó la estructura y síntesis del delta-9-tetrahidrocannabinol (THC), se han descubierto a lo largo de estos años sistemas, estructuras bioquímicas, receptores celulares y rutas metabólicas que posee la especie *Cannabis sativa* L., lo que ha permitido después de más de 50 años de investigaciones de esta especie, demostrar concluyentemente la eficiencia que tiene sobre el dolor crónico, vómito y náuseas posquimioterapia, epilepsia refractaria y espasticidad.

En el Ecuador en los actuales momentos se comercializan alrededor de 35 marcas nacionales e internacionales de productos en base a cannabinoides que abastecen a un universo aproximado de 12 000 pacientes que padecen especialmente algunos tipos de cáncer y epilepsias, dolores crónicos, enfermedades autoinmunes, neurodegenerativas, entre otras; por lo expuesto, es de alta importancia científica y social la investigación que se realice en el país por parte de la academia sobre el cannabis y otras especies de plantas medicinales en beneficio de la colectividad en general.

Literatura consultada

- Backes, M. 2015. *La farmacia cannábica: guía práctica para el uso de la marihuana medicinal*. Pampa Books. Argentina.
- Bousso, J.C. 2019. *Cannabis Medicinal. De droga prohibida a solución terapéutica*. Editorial Amat. España.
- De la Fuente, J.R., Álvarez-Icaza, D., Rodríguez-Carranza, R., Ramos-Lira, L., Próspero-García, O., Mesa-Ríos, F., Zabicky-Siro, G. & M. Melgar-Adalid. 2016. *Marihuana y salud*. Fondo de Cultura Económica. Academia Nacional de Medicina. Universidad Autónoma de México. México.
- Earleywine, M. 2005. *Entender la Marihuana: reconsiderando la evidencia científica*. Editorial MASSON, S.A., Elsevier. España.
- Leinow, L. & J. Birnbaum. 2017. *CBD: el cannabis medicinal. Guía para el paciente*. Editorial Sirio, S.A. España.
- Ley Orgánica Reformativa al Código Orgánico Integral Penal. 2019. Suplemento. Registro Oficial 107. Quito.
- Riera, E. 2014. *Cómo cura el cannabis. Descubre sus propiedades y aplicaciones terapéuticas y nutritivas*. RBA Libros S.A. España.

Búsqueda de alternativas agroecológicas al uso de herbicidas en la producción de flores de exportación

(Las flores más hermosas son las flores producidas sin herbicidas)

■ Por M.Sc. Diego Guevara S.I., Laboratorio de Entomología y Sanidad Vegetal (djguevara@puce.edu.ec).
M.Sc. Fernando Ponce V. (fernandoponcev@yahoo.com). M.Sc. Carlos Carpio (ccarpio@esPOCH.edu.ec).

No solo hermosas...

También podríamos decir lo mismo de las frutas: las frutas más sabrosas son las frutas producidas sin pesticidas. En el despertar de la consciencia ecológica de la humanidad, la belleza o perfección de flores y frutos ya no son los únicos criterios de valoración para el uso o consumo de productos agrícolas. Se está generando, poco a poco, toda una nueva línea de investigación en las grandes empresas agrícolas productoras de flores y frutas, sobre todo, de exportación, para satisfacer a un mercado exigente que ya no se contenta solo con las apariencias.

En este escenario, representantes de una empresa ecuatoriana de flores, buscaron apoyo en profesores de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE, Quito) y Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), para probar alternativas agroecológicas en la producción de *Gypsophila paniculata* (Linneo, 1753), una flor pequeña, blanca, llamativa, utilizada en arreglos y decoraciones florales (Fig. 1), la flor más exportada después de la rosa (el Ecuador contribuye con el 70% de su producción a nivel mundial).



Figura 1. Selección y empaquetado de *Gypsophila paniculata* para la exportación.

...También ecológicas

El equipo conformado trabajó en evaluar el uso de cubiertas vegetales vivas y tipos de mulch como posibles alternativas al uso del herbicida Ronstar®, cuyo principio activo es el oxadiazón, herbicida pre-emergente usado en la Empresa para controlar, sobre todo, a *Stellaria media* (Fig. 2), una maleza, o arvense, extendida en la zona. Además, de medir la disminución de la aparición de malezas, se midió el efecto de estas alternativas en la calidad final obtenida de *Gypsophila* para la exportación, pues como comprenderá el lector atento,



Figura 2. Presencia de *Stellaria media* en cultivo de *Gypsophila paniculata*. Obsérvese cómo *Stellaria* rodea el espacio de los tallos alargados de *Gypsophila* e, incluso, invade la vía de circulación y separación de las camas de producción.

además de ser la flor un poco más ecológica, la flor debe seguir siendo hermosa para que pueda venderse en distintos mercados.

Se probaron cubiertas vegetales vivas de rábano, lechuga, acelga, (Fig. 3). Se conocía que las cubiertas vegetales optimizan el uso del suelo, nutrientes y agua; además por la biodiversidad que generan, mejoran las condiciones sanitarias de la planta. Además, se probó el cultivo de orégano, como alternativa de cultivo aromático y este en combinación con mulch. Con todas estas alternativas, se imaginaba una producción de flores hermosas, ecológicas, sanas y hasta olorosas por haberse desarrollado en medio de aromas o aleloquímicos que le podrían brindar efectos benéficos.

...Además recicladoras

Se probó también el efecto del mulch de tallos picados de *Gypsophila* e *Hypericum* (Fig. 4) sobre la reducción de malezas. Aquí las flores sumarían un atributo más, poco elegante, pero muy de moda, “recicladoras”. La empresa florícola, por efecto de la selección para la exportación, genera toneladas de desperdicios orgánicos, allí van a parar lamentablemente las flores que no son tan hermosas. Se toman los tallos frescos de *Gypsophila* e *Hypericum*, otra ornamental de exportación, no tan hermosa como la primera (en gustos estéticos nadie tiene la última palabra...), y se se los pica entre 2 a 3 cm, se mezcla con microorganismos y un abono natural, la gallinaza; después, a la mezcla se adiciona agua para mantenerla fresca y se la revuelve para homogenizarla. Se conocía que el uso de mulch en cultivos de flores frenaba la germinación de arvenses, pero no se conocía su efecto en la calidad final de las flores.



Figura 3. Cubierta vegetal viva de lechuga aplicada en una unidad experimental. Las plantas jóvenes de *Gypsophila paniculata* se encuentran próximas a la manguera que provee de agua al cultivo.

¿O tal vez hermosas y algo ecológicas?

También se probó el efecto combinado del herbicida Ronstar® + la cubierta vegetal de lechuga, con el fin de buscar una posible complementariedad entre estas dos opciones de control. Para implementar este tratamiento combinado, la siembra de lechuga se la realizó después de 15 días de realizada la aplicación del herbicida.

Una investigación en progreso con los primeros resultados

Oportunamente, se publicarán con detalle la metodología, la elaboración del mulch, el manejo del cultivo agrícola de *Gypsophila paniculata*, el diseño experimental usado, los estadísticos empleados, todos los resultados obtenidos durante la investigación, la bibliografía consultada; solo presento a continuación algunos resultados reveladores ob-



Figura 4. Acopio de mulch de *Hypericum* listo para aplicación. Véase al extremo derecho restos de tallos de *Hypericum* listos para ser picados. Al extremo superior derecho se encuentra listo el mulch de tallos de *Gypsophila paniculata*.

tenidos en colaboración con Sofía Loor y Jaime Gavidia, estudiantes de la carrera de Biología del laboratorio de Entomología y Sanidad Vegetal. Sin dejar de resaltar los atributos de las flores más hermosas del futuro, presento de manera pragmática los primeros resultados.

¿Sirvieron o no las diferentes cubiertas vegetales para reducir la aparición de malezas?

Parece una pregunta propia de los dueños y accionistas de las empresas florícolas; y en realidad en base a las respuestas monosilábicas toman muchas decisiones. En una empresa productora los resultados deben ser convincentes, claros en términos de costos; lo cual supone mayor y mejor calidad de producción, reducción de mano de obra, optimización de recursos de la empresa, mayor competitividad en el mercado, mayores ingresos. Digamos que lo estético está en función de todo lo anterior. Los primeros resultados que se pueden evidenciar (Fig. 5) muestran que no hubo reducción de la aparición de malezas, al registrar el peso, con los tratamientos de acelga, lechuga, rábano y compararlos con respecto al testigo.

Lo interesante también es notar que tanto al utilizar el Ronstar® como con el Ronstar®+ lechuga tampoco presentaron reducción de aparición de malezas, al registrar el peso con respecto al testigo (Fig. 5). Resultados que podrían guiar la toma de decisiones para reducir costos en la compra de herbicida, mantenimiento del equipo de fumigación y, sobre todo, en el pago de mano de obra para las fumigaciones. Además es posible que *Stellaria media* haya generado resistencia al principio activo: el oxadiazón.

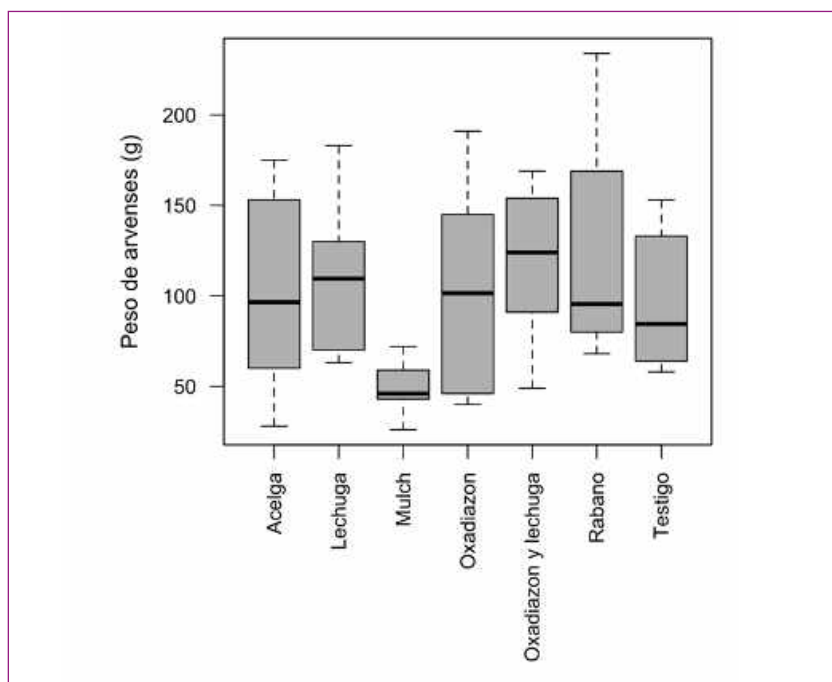


Figura 5. Peso de arvenses en g colectados en cada tratamiento.

Sin más preámbulos y para responder a los empresarios, la respuesta corta es: “no”. Sin embargo, si bien se muestra la baja o nula eficiencia de las cubiertas vegetales para el control de arvenses, se dio un mejor aprovechamiento del suelo, pues se pudo generar simultáneamente la producción de cultivo de acelga, lechuga y rábano que pueden ser comercializables para el consumo local, con el valor agregado que fueron producidos sin uso de herbicidas, dando posibles ingresos extras a la empresa. Además, los cultivos mixtos, si consideramos el aporte de diversidad de microorganismos que aportan al suelo, diversidad de enemigos naturales para plagas del cultivo de flores, pueden ser considerados alternativas para disminuir la presión que un monocultivo de flores produce en el mismo ecosistema agrícola.

¿Sirvieron o no los diferentes tipos de mulch para reducir la aparición de malezas?

Esta vez, comencemos con la respuesta corta: “sí”. En pre-ensa-

yos, los dos tipos de mulch utilizados a diferentes concentraciones redujeron la aparición de malezas. Y tras probar los mejores tratamientos y sobre todo probar el tipo de mulch disponible de la empresa, el mulch de tallos de *Hypericum*, este mostró reducir significativamente la aparición de malezas con respecto al control sin aplicación (Fig. 6).

¿Los tratamientos alternativos mejoraron la calidad o belleza de la flor?

Solo uno por de pronto. En la figura 7 se muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos. El mulch genera un largo de tallo significativamente mayor al resto de tratamientos: rábano, lechuga, acelga, oxadiazon + lechuga, oxadiazon y el testigo. Es decir, el mulch de tallos de *Hypericum* genera flores más largas y esbeltas.

Antes de saltar a patentar el producto

Si bien los resultados muestran que el tratamiento con mulch de

tallos de *Hypericum* genera una reducción de malezas y mayor crecimiento en largo del tallo de *Gypsophila*, todavía faltan algunos elementos a considerar antes de recomendarlo como alternativa para la producción de flores de exportación. Entre los elementos que se deben considerar están los siguientes: los costos de elaboración y aplicación del mulch, disponibilidad de mulch para decenas de hectáreas de producción, concentración óptima de mulch para evitar desperdicios y costos de producción, tipos de mulch que pueden usarse para un mejor control de malezas y rendimiento del cultivo de *Gypsophila*. El presente trabajo también corrobora el de otros investigadores en el área que han encontrado efectos positivos del mulch en la producción de *Gypsophila*.

Peligros latentes de la belleza como obsesión y ventajas de la belleza entendida como bienestar

Sabemos que la aparición de la agricultura alteró la belleza natural de los ecosistemas. Más todavía, cuando a partir de la era industrial aparecieron las fábricas agrícolas imitando la producción en serie de flores o frutos como si se tratara de radios, televisores o teléfonos celulares en invernaderos o sistemas llenos de máquinas y manos frías y eficientes. ¡Este modelo de producción no va más! Porque las plantas no son máquinas, las “plagas” y las “malezas” no son los enemigos de la productividad o de la humanidad. Los seres humanos van comprendiendo que la belleza, la verdadera belleza, en cualquier obra producida por la mente y las manos humanas, sean estas flores o frutas o una pintura artística,

tiene características que le son propias, que permiten disfrutarlas sin comprometer la salud y el bienestar

humano, sin comprometer la salud del planeta.

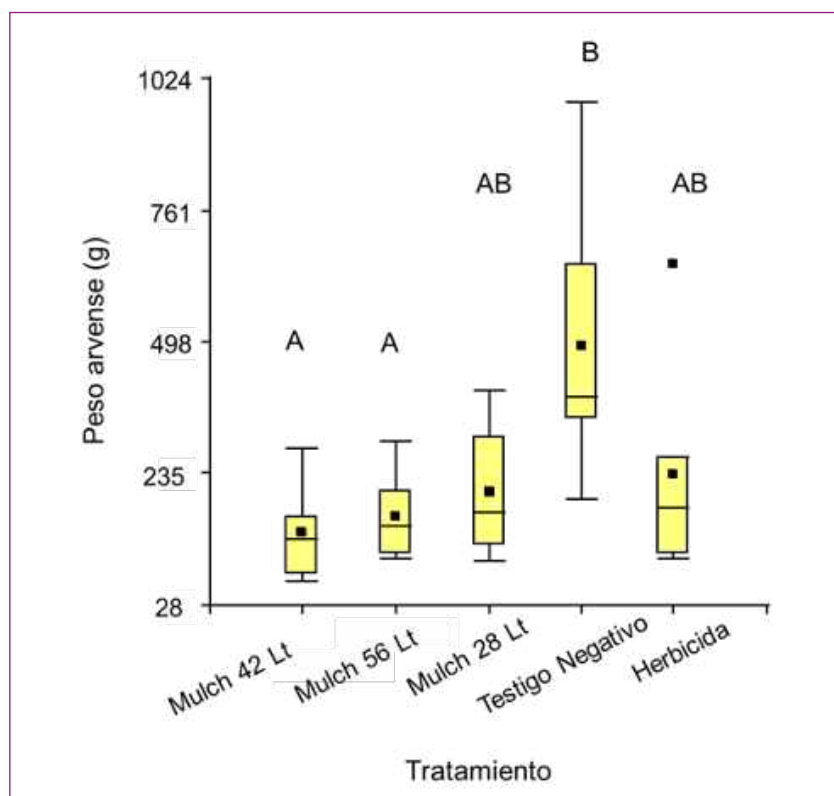


Figura 6. Peso de arvenses en g colectados en cada tratamiento.

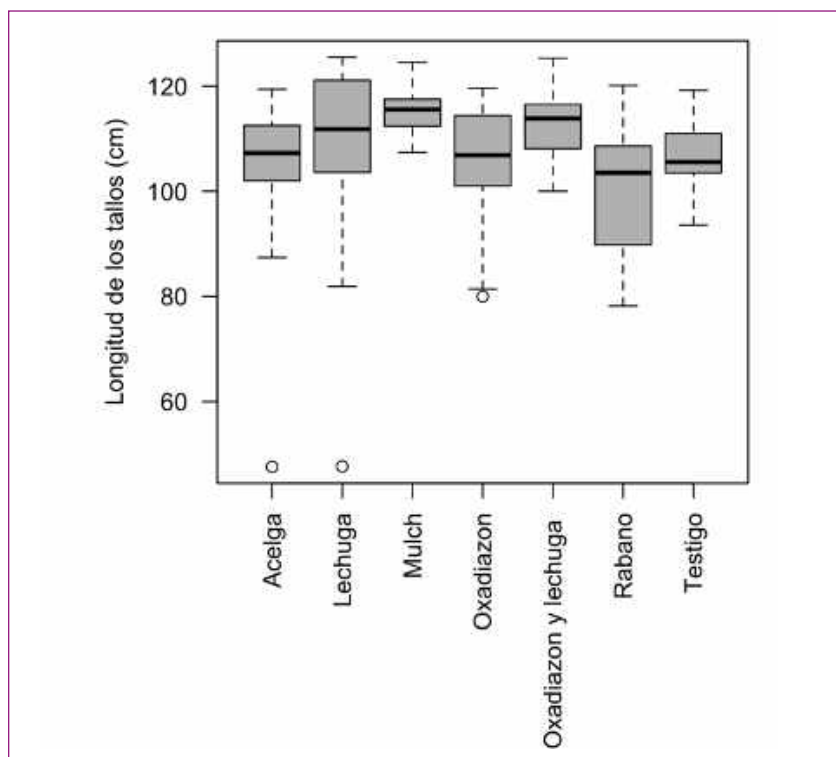


Figura 7. Longitud de tallos de *Gypsophila* en mm desde la base hasta la punta en la semana 13 del desarrollo de cultivo por efecto de los tratamientos.

¿El *Campylobacter* spp tiene sabor a pollo?

■ Por Mgrt. en Microbiología Sonia M. Estrella Vázquez,
Laboratorio de investigación GEMA. Escuela de Ciencias Biológicas
(smestrella@puce.edu.ec).

Introducción

Según la Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador (Conave), la industria de producción de proteína animal que más ha crecido en la última década es la avícola. En el Ecuador, se producen anualmente entre 230 y 500 millones de pollo de engorde aproximadamente. Según esta Corporación, se estima que el consumo de este tipo de carne per cápita está entre 30 y 32 kilogramos al año (El Comercio, 2019).

El Ecuador se caracteriza por tener en su dieta diaria una alta ingesta de carne de pollo, porque es económica, fácil y rápida de preparar; además, permite una gran versatilidad en los platillos elaborados con esta tan deliciosa carne blanca, que puede ir desde un buen caldo de gallina criolla hasta los más sofisticados platos gourmet. Todo esto, debido a sus agradables propiedades organolépticas; es decir, aquellas propiedades que pueden ser percibidas por los órganos de los sentidos, además de poseer un excelente contenido nutricional entre proteína, grasa, vitaminas y minerales (FAO, 2008).

La carne de pollo aporta todos estos elementos esenciales que el cuerpo del ser humano necesita para su supervivencia. Así, la carne de pollo contiene entre 16 y 19 g de proteína de alta calidad por cada 100 g de porción comestible. (Castañeda *et al.*, 2013).

La mayoría de las personas, a lo mejor por falta de información, piensan que el consumir grasa es perjudicial para la salud, esto solo refleja un desconocimiento; pues, no hay que olvidar que en nuestra pirámide de nutrición saludable debe constar la ingesta de grasa, claro está, que lo mejor es consumir la grasa insaturada rica en ácidos grasos tipo omega 3. En el pollo de engorde, los aceites que predominan son los omega 9 (oleico) y el omega 6 (linoleico), también hay que tomar en cuenta que la mayor cantidad de grasa corporal del pollo se encuentra en la piel; por lo tanto, al retirarla, se reduce el consumo de grasa de origen animal (Fig. 1)

En lo referente a las vitaminas, elementos indispensables para una buena salud, las hay liposolubles A, D, E y K e hidrosolubles C, B₁, B₂, B₆, B₁₂, niacina, ácido pantoténico y biotina. La carne de pollo es rica en niacina, mientras que 100 g de hígado de pollo crudo puede contener 0.5 Unidades Internacionales de Vitamina A (Castañeda *et al.*, 2013).

En cuanto a los minerales, la carne de pollo aporta gran cantidad de calcio, sodio, potasio, mag-

nesio, fósforo, hierro, zinc, azufre, cloro y yodo.

Después de haber analizado todo el aporte de la carne de pollo, definitivamente podemos decir que es un alimento relevante en la dieta diaria. Ahora bien, como Microbiólogos nos toca analizar el componente microbiológico de la misma.

El análisis debe abarcar todo el “procesamiento” que comienza con el manejo de las aves desde la granja, su faenado en el rastro y el posterior manejo de la carne para el abastecimiento al consumidor.

¿Qué son las ETA?

La importancia de este proceso, es reconocer el impacto del manejo del pollo desde el nacimiento hasta su consumo en la incidencia de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), que según la OPS (2016), las define como un acontecimiento en el que una o más personas presentan una enfermedad semejante, después de la ingestión de un alimento, que por lo general es de origen animal como carne de ave, carne bovina, porcina, pescados, crustáceos, huevos o productos lácteos (Fig. 2) Pero para que



<https://www.pinterest.es/pin/307230005803493543/>

ocurra una ETA, el patógeno o sus toxinas deben estar presentes en el alimento. Sin embargo, la sola presencia del patógeno no significa que se producirá la enfermedad. Dependiendo de otras circunstancias como la presencia del agente infeccioso o sus toxinas en cantidad suficiente para producir la patología, que el alimento muestre las condiciones necesarias para que el agente infeccioso se reproduzca o libere sus toxinas y también que se ingiera la cantidad suficiente del alimento que contiene el patógeno, para que la barrera inmunológica del individuo sea vencida.

En otras palabras, la infección transmitida por alimentos se refiere a una enfermedad que resulta de ingerir alimentos que contienen microorganismos patógenos vivos, como por ejemplo, bacterias. Este grupo de microorganismos son destacados agentes causales de las ETA. Los géneros bacterianos más importantes implicados en esta patología son: *Salmonella* spp, *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, *Vibrio* spp, *Staphylococcus aureus*, entre otros no menos importantes (Eberle, 2012). No hay que olvidarse que microorganismos como virus, hongos y parásitos, también son causantes significativos de enfermedades transmitidas por alimentos. Otra patología relacionada, que hay que tomar en consideración, es la intoxicación alimentaria, que se refiere a la ingestión de alimentos que contengan las toxinas producidas por bacterias u hongos o ciertos elementos químicos, presentes en cantidades suficientes para afectar la salud.

Para evitar la contaminación bacteriana capaz de producir ETAs, hay que tomar en consideración, cómo se realiza el proceso de producción de la carne y de los alimen-



Figura 2. Pollitos recién nacidos, esperando crecer.

tos en general, en este caso la carne de pollo, motivo de este artículo. La idea es llevarlo a cabo de tal manera que se evite al máximo que los consumidores enfermen al ingerir este tipo de alimento. Para ello, es necesario que se desarrollen programas de reducción de patógenos, así como análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas en inglés). Estos programas tienen como objetivo procesar los alimentos con Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL); es decir, bajo las mejores condiciones sanitarias con el fin de producir alimentos inocuos (alimentos que no representan un riesgo para los consumidores).

Ahora bien, al existir errores en la manipulación de los pollos durante su proceso de faenado, escaldado, desplumado, evisceración, almacenamiento o refrigeración, se puede dar lugar al apareamiento de infecciones zoonóticas en los seres humanos, frecuentemente transformadas en enfermedades gastrointestinales, sobre todo con bacterias que constituyen la microbiota normal del tracto gastrointestinal de las aves, como es el caso puntual de *Campylobacter* (Fernández, *et. al.*, 2016).

Las infecciones intestinales constituyen un importante problema de salud pública en países en vías de desarrollo, produciendo altas tasas de morbilidad y mortalidad sobre todo en niños, adultos

mayores e inmunodeprimidos. Uno de los principales agentes causantes de diarrea es el género bacteriano conocido como *Campylobacter*, que en países desarrollados se considera como el principal agente infeccioso, mientras que en Latinoamérica ocupa el segundo o tercer puesto dentro de los problemas gastrointestinales.

Conozcamos al género *Campylobacter*

Esta bacteria tiene como reservorio propio el intestino de las aves, principalmente las de corral; por lo tanto, su excreción fecal se constituirá como la principal fuente de contaminación de la carne y/o vísceras de pollo, que al ser ingeridas por los humanos podrían sufrir de campylobacteriosis.

La campylobacteriosis es una enfermedad gastroentérica causada por la bacteria *Campylobacter* spp., perteneciente a la Familia *Campylobacteraceae*, con morfología de bacilo Gram negativo curvo, espiralado o en forma de S itálica, no esporulado, de 0,2 a 0,9 μm de ancho y 0,5 a 5,0 μm de largo, con movimientos descritos como tipo sacacorchos, microaerófilo estricto (requiere concentraciones del oxígeno del 5 al 10% para desarrollar) y termófilo o termotolerante, que se desarrolla a una temperatura entre 42 a 43 °C pero no a 25 °C (Fernández *et al.*, 2016) (Fig. 3).

La bacteria ingresa al organismo por vía oral al consumir alimentos o bebidas contaminadas o por contacto con animales infectados. Para que se produzca la infección el microorganismo debe superar el pH gástrico, por tanto, el inóculo debe ser alto (10^{4-6} bacterias). Actúa a nivel de mucosas, sobre todo en las células epiteliales tanto del intestino delgado como del grueso (Fernández *et. al.*, 2016). Este pató-

https://misionesonline.net/2016/05/06/buscar-aumentar-la-produccion-de-pollo-con-inversiones-de-alura/



Figura 3. Bacteria *Campylobacter* spp.

geno usa su flagelo y lipopolisacáridos como adhesinas para adherirse a las células epiteliales y proliferar. Esto produce la formación de ulceraciones en el intestino, acompañadas de diarreas acuosas y sanguinolentas, fiebre y dolor abdominal que pueden durar de dos a diez días, manifestaciones clásicas de la campylobacteriosis. Las dos especies más comunes, *Campylobacter jejuni* y *Campylobacter coli*, producen aproximadamente el 89% de las campylobacteriosis humanas. Existe una marcada relación entre *Campylobacter jejuni* y las aves de engorde, pues se ha observado que más del 80% de los lotes listos de pollos para ser procesados, son positivos para este patógeno.

Sin embargo, por lo general, las personas que contraen *Campylobacter*, se recuperan completamente dentro de los dos a cinco días posteriores a la infección, pero puede llegar en algunas ocasiones a ser letal. Sobre todo, en grupos de riesgo como infantes y mujeres embarazadas, adultos mayores e individuos inmunodeprimidos (como personas con VIH/SIDA, cáncer, diabetes, insuficiencia renal o trasplantados).

Por otro lado, *Campylobacter* puede atravesar la mucosa intestinal por traslocación y proliferar en

la lámina propia y ganglios, a partir de allí pueden existir complicaciones posteriores como colecistitis aguda, pancreatitis, artritis, síndrome ureico hemolítico, meningitis e infecciones del tracto urinario. También, se asocia a la infección con el síndrome de Guillain-Barré, un tipo de parálisis y al síndrome de Miller-Fisher, enfermedades autoinmunes que destruyen componentes neuronales, ocasionando que los individuos experimenten disminución de la fuerza muscular en sus extremidades y en su respiración (Fernández *et. al.*, 2016).

Importancia de la alimentación en el plantel avícola

Pues como se observa, “no todo lo que brilla es oro”... Ahora, nos falta analizar la parte más compleja de todo este proceso de producción avícola que, de acuerdo a las estadísticas que manejan los gobiernos, es muy exitoso y creciente en todo el mundo.

Para lograr un pollo de venta en el mercado, cuya jugosa producción se “cosecha” apenas entre 35 y 45 días, las aves deben alcanzar el tamaño y peso deseado en relativamente poco tiempo (Fig. 4). Para ello, se consideran cuatro ejes fundamentales a saber: en primer lugar la genética de los progenitores; en segundo lugar el proceso de manejo en sí; luego conseguir que los pollos estén libres de enfermedades y, por último lo más importante, una nutrición de buena calidad.

Los pollos durante toda su vida deben recibir una alimentación sana, correcta y balanceada, como cualquier otro ser viviente, porque si esto no existe, por más que la raza sea mejorada genéticamente, o se



Figura 4. Pollos vivos listos para la venta.

hagan todos los esfuerzos para obtener pollos con el peso y tamaño apto para el mercado, no se lo conseguirá.

El sustento de la alimentación saludable del pollo de engorde se basa en granos como maíz, trigo, arrozillo, cebada, etc. lo cual significa un costo alto en alimentación por cada kg de carne de pollo. Es por ello, que los productores avícolas abaratan los costos añadiendo a los granos molidos una mezcla de aditivos, enzimas, antibióticos, aminoácidos, vitaminas y minerales. Todos estos aditivos pueden representar alrededor del 3 y el 8 % de la ración final que ingerirán los pollos. Por otro lado, en muchos planteles avícolas se acostumbra el uso de promotores de crecimiento, que consiste en la aplicación de antimicrobianos a los pollitos de pocos días de nacidos, con la finalidad de disminuir la presencia de patógenos en el tracto digestivo, que de existir, retardarían su crecimiento al causar algún tipo de enfermedad aviar, que inclusive les puede causar la muerte. Razón claramente justificable, desde el punto de vista del empresario avícola para la aplicación de antibióticos, pero nada conveniente desde el punto de vista microbiológico. (Castañeda *et al.*, 2013).

Los productores avícolas nos podrían preguntar a nosotros los Microbiólogos: ¿cuál es el problema, si estamos aplicando antibióticos, hormonas, vitaminas, etc. en muy pequeñas cantidades? La respuesta sería que si estas dosis son administradas empíricamente o sin control estricto de profesionales en la rama, las bacterias, como por ejemplo, *Campylobacter* spp, podrían crear mecanismos de resistencia a los antibióticos administrados, mismos que serán transmitidos a los huma-

nos que ingieren la carne de pollo que ha sido contaminada por una incorrecta manipulación durante el proceso de producción.

¿Resistencia bacteriana en la carne de pollo?

Hasta hace pocos años, se creía que la resistencia bacteriana se debía únicamente al uso indiscriminado de antibióticos en pacientes hospitalizados y de la comunidad y también a la automedicación. Pero hoy en día, sabemos que no solo se debe a estas razones, sino también al consumir agua y alimentos contaminados con bacterias que nos transmiten sus mecanismos de resistencia.

Resistencia que siempre existirá y se actualizará... indistintamente de si los antibióticos fueron utilizados o no de la manera adecuada. Los mecanismos de resistencia son parte del fenómeno de selección natural de las bacterias; dicho de otra manera, se refiere a la herramienta que tienen las bacterias para defenderse de sus destructores, con la única finalidad de sobrevivir.

Sea cual fuere la razón, es de conocimiento de todos que diariamente se están agotando las opciones antibióticas terapéuticas, lo que cobra día a día la vida de las personas. Por ello, la ciencia está buscando otras alternativas en lugar de los antibióticos como son las interesantes y prometedoras terapias con fagos y sus productos génicos.

Estimado lector, espero no haberle quitado el gusto por ese crujiente pollo al horno, ese jugoso



Figura. 5. ¡Qué sabroso pollo!

seco de pollo con sabor manaba o el delicioso caldo de gallina criolla hecho por la abuela. Únicamente, esperemos que ese deleitable pollo, haya sido procesado con la calidad microbiológica que se debe. Así que ánimo y... ¡Buen provecho! (Fig. 5).

Literatura consultada

- Castañeda-Serrano, M., Braña-Varela, D., Martínez-Valdés, W. (2013). *Carne de pollo Mexicana*. Dziball Impresos: Querétaro.
- Eberle K. N. y Kiess. A. (2012). Phenotypic and genotypic methods for typing *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* in poultry. *Poult. Sci.* 91:255–264
- FAO. *Perspectivas Alimentarias Análisis del Mercado Mundial*. Depósito de documentos de la FAO. Junio de 2008. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/011/ai466s/ai466s08.htm>
- Fernández, H., Ochoa, S., Simaluiza, J. (2016). *Bases metodológicas para el diagnóstico bacteriológico de las infecciones por Campylobacter*. Valdivia: Copygraph.
- Redacción Economía, (5 de julio, 2019). Ecuador celebra el Día del Pollo. *El Comercio*. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-consumo-pollo-carne-celebracion.html>

Ojos que no ven, corazón que sí siente... a largo plazo

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

Una larga H/historia...

Las enfermedades causadas por parásitos han tenido un papel crucial en la evolución de la vida en nuestro planeta y han moldeado el desarrollo de la humanidad. El parásito más antiguo es también la entidad biológica más abundante del planeta: el bacteriófago, un virus que infecta bacterias y utiliza los complicados mecanismos genéticos de sus víctimas para multiplicarse y provocarles la muerte. Los parásitos pueden utilizar diversos caminos para llegar hasta su "objetivo": desplazarse por el aire, el agua e, incluso, introducirse en el cuerpo de animales que los transportan. Cuando un animal hace las veces de vehículo para un parásito, se le llama transmisor o vector. La mayoría de transmisores son artrópodos, tales como moscas, mosquitos, garrapatas o pulgas.

Con el propósito de entender cómo funciona una enfermedad causada por parásitos y transportada por un transmisor, considere la siguiente analogía: suponga que su cuerpo es un hotel y brinda hospedaje a una gran cantidad de visitantes. Un día, un grupo de extraños (parásitos) toma un avión (mosquito transmisor), llega al hotel y se encierra en una habitación (infección). Con el pasar del tiempo, se multiplican e invaden otras habitaciones (células). Además de crecer en número, estos invitados indeseados son irrespetuosos y empiezan a causar destrozos en el edificio (síntomas). A fin de mantener el orden, usted contrata a una empresa de seguridad (su sistema in-

mune) que se encarga de encarcelar y expulsar al que cause problemas. Dado que estas personas indeseables no están dispuestas a abandonar las instalaciones y los guardias no están dispuestos a tolerar tal comportamiento, se inicia una lucha entre ambos bandos. Lastimosamente, los altos niveles de violencia que alcanza el conflicto empiezan a verse reflejados en la gran destrucción del lugar, un hecho que podría comprometer la integridad de la construcción (enfermedad). Al transformar esta explicación en términos técnicos, se dice que cuando un parásito invade a un hospedador, este alberga una infección. Si la infección causa síntomas que afectan negativamente al hospedador, se dice que este último está enfermo (Fig. 1).

Una de las enfermedades transmitidas por artrópodos más conocida es la malaria. Los registros más antiguos del parásito que causa esta enfermedad en humanos se remontan al 1333 a. C., en los restos momificados de la sangre de Tutankamón. La malaria ha sido decisiva en el pedregoso camino de la Historia; en efecto, se cree que mató a Alejandro Magno, detuvo al imparable ejército de Atila (el Huno),

asesinó a Genghis Khan, mató a César Borgia y destruyó el primer intento de construir el canal de Panamá.

Estudios recientes revelan que la malaria podría haber afectado incluso a los dinosaurios durante el Cretácico Medio, hace 140 millones de años. En Myanmar, se encontró una muestra de ámbar que contenía los restos preservados de un mosquito extinto del género *Protoculicoides*, infectado con una especie del parásito de la malaria, *Paleohaemoproteus burmacis*. Es bastante improbable que la malaria fuera la causa principal de la desaparición de los dinosaurios, pero podría ser otro de los muchos problemas que tuvieron que enfrentar durante su camino hacia la extinción.

Un enemigo silencioso

El hecho de que el continente americano se encuentre aislado del resto del mundo, no significa que no haya sido azotado por el monstruo de la enfermedad. Los habitantes de América se han enfrentado por miles de años a un enemigo aterrador que acecha a la gente hasta nuestros días, que puede mantenerse en silencio por décadas y cuyo medio de transporte visita a sus víctimas solo por la noche; uno que

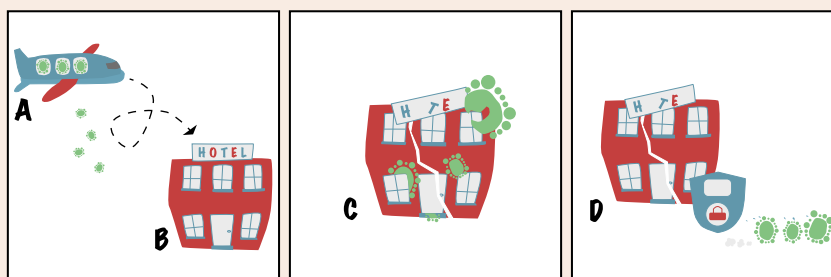


Figura 1. Analogía de cómo funciona la enfermedad causada por parásitos y transportada por un insecto transmisor. A. Insecto transmisor (mosquito-avión). B. Cuerpo humano (hotel). C. Microorganismos presentes (infección). D. Enfermedad.

los ojos no pueden ver, pero que el corazón siente: el parásito *Trypanosoma cruzi*, causante de la enfermedad de Chagas. Los registros más antiguos de esta enfermedad datan de hace 9000 años, en Chile, donde momias de la cultura Chinchorro presentaban un crecimiento inusual del esófago y el colon. Mucho más tarde, hace 1600 años, en Bolivia, momias de la cultura Wankarani mostraban signos de haber sufrido un agrandamiento de los intestinos y el corazón, síntomas clásicos de una enfermedad de Chagas crónica. Sabemos que esta dolencia puede llegar a dañar los nervios del corazón encargados de controlar el latido.

Algunos historiadores creen que Charles Darwin pudo haber muerto afectado por la enfermedad de Chagas. Precisamente, Darwin, durante su paso por Sudamérica, menciona en sus notas que dejó a un triatominos (insecto transmisor) picarle a fin de comprobar sus hábitos alimenticios. Años más tarde, síntomas como depresión, fatiga y fiebre lo atormentarían de por vida. Precisamente, la evidencia más contundente de este hecho fue que el naturalista inglés parecería haber sufrido algún tipo de daño en el corazón, un fenómeno que podría estar relacionado con su contacto con el insecto.

A lo largo de la historia, las enfermedades transportadas por insectos transmisores han asesinado a grandes mentes, destruido ejércitos y cambiado el rumbo de la humanidad. Sin embargo, ¿se ha preguntado qué pasaría si aquellos que transportan estas enfermedades, aparentemente imparables, fuesen destruidos por la misma naturaleza o el ser humano?, ¿desaparecerían las enfermedades por completo?, ¿buscarían los parásitos otro medio de transporte? La respuesta a estas preguntas es tan esquiva como los protagonistas del tema que trataremos en este artículo: los insectos transmisores secundarios.

Más vale Triatominos principal conocido, que secundario por conocer...

En el Ecuador, la enfermedad de Chagas va de la mano con la distribución de los triatominos, y está presente en 18 de las 24 provincias. La picadura de un triatominos no es la responsable directa de transmitir la enfermedad, son sus heces infectadas por el parásito: cuando el triatominos pica y se alimenta de sangre, acostumbra defecar cerca de la herida dejada por la picadura. Al rascarse involuntariamente, la persona introduce los desechos del insecto en la sangre, y provoca el contagio. Los científicos-epidemiólogos, que estudian qué, cómo, cuándo y por qué una enfermedad afecta a los seres humanos, dicen que *Rhodnius ecuadoriensis* y *Triatoma dimidiata* son las especies transmisoras más importantes de esta enfermedad en nuestro país. Pero, así como usted considera el color, olor, sabor y textura de una fruta para asegurarse de que se encuentra en buen o mal estado, los científicos toman en cuenta ciertas características de un triatominos para determinar si es un transmisor de importancia primaria o secundaria. En consecuencia, para que un triatominos sea clasificado como un transmisor primario, debe: i) estar ampliamente distribuido a lo largo de una provincia, país o región, ii) ser capaz de colonizar las casas de las personas y sus alrededores, iii) encontrarse en gran cantidad en un ambiente silvestre (como un bosque cercano), de forma que, si es eliminado de un lugar habitado por personas, pueda volver a invadirlo (reinfestación), iv) exhibir un tiempo de desarrollo (de huevo a adulto) relativamente corto, es decir, entre 6 y 8 meses de duración, v) que sea un buen transmisor; en otras palabras, que defaque después de haberse alimentado, y vi) que pueda transportar y trans-

mitir el parásito. Mas, ¿qué pasaría si los insectos que cumplen a cabalidad con estos requisitos disminuyeran en número o, de plano, llegasen a desaparecer? Igual que el director técnico de un equipo de fútbol coloca a un suplente en el hueco que dejó un jugador lesionado, la naturaleza permite que otras especies, las secundarias, ocupen el espacio vacío dejado por la especie primaria. Ahora bien, suponga que la lesión del jugador fue tan grave que no podrá regresar hasta después de unos meses... o más. El suplente no es tan bueno como el titular, pero muestra suficiente talento como para justificar su integración al equipo. Con el tiempo, el talento y la popularidad del suplente empiezan a aumentar, mientras que la del antes titular, quien no puede siquiera practicar debido a su condición actual, empieza a disminuir hasta que es opacado por el suplente ante los ojos del director técnico. Esta situación es un poco irreal en el contexto del fútbol, pero puede ser cierta para los triatominos. Pese a que la especie secundaria no posee todas las excepcionales características de la especie primaria, es lo suficientemente buena como para justificar la ocupación del espacio dejado por esta última. Luego, aumenta paulatinamente su capacidad para colonizar las casas, sus alrededores, e incluso el ambiente silvestre, moviéndose entre los distintos entornos con mucha facilidad y, por tanto, ganando espacio e importancia ante los ojos de los epidemiólogos.

Un ejemplo claro de dicho fenómeno son las especies del género *Panstrongylus*. En el Ecuador encontramos cinco representantes: *Panstrongylus rufotuberculatus*, *P. geniculatus*, *P. lignarius*/*P. herreri*, *P. chinai* y *P. howardi*. Estas dos últimas son las que más importancia han ganado en los últimos años (Villacís *et al.*, 2015). *Panstrongylus chinai* se distri-

buye en las provincias de El Oro y Loja, mientras que *P. howardi* vive únicamente en la provincia de Manabí. Al inicio, a *Panstrongylus chinai* se la consideraba como una especie propia del ambiente silvestre; sin embargo, a pesar de haber realizado un gran esfuerzo de búsqueda en ese entorno en la provincia de Loja, solo se hallaron individuos en las casas y sus alrededores (Grijalva *et al.*, 2015). En contraste, los individuos de *P. howardi* se encontraron en los tres ambientes: en las casas, sus alrededores y en el ambiente silvestre (Suárez-Dávalos *et al.*, 2010; Villacís *et al.*, 2015).

Con respecto al ciclo de vida, *P. chinai* necesita poco más de un año para completarlo (Mosquera *et al.*, 2016) y *P. howardi* alrededor de 6 meses. Por otra parte, el 13% de los individuos analizados de *Panstrongylus chinai* estuvieron infectados con el parásito *T. cruzi*, mientras que en el caso de *P. howardi*, el 60%. Si, como ya se indicó, un buen insecto transmisor debería (como mínimo) abarcar una gran cantidad de territorio, cumplir su ciclo de vida en 6 a 8 meses y portar y transmitir una gran cantidad de parásitos, al comparar estas dos especies, ambas tienen sus ventajas e inconvenientes. *Panstrongylus chinai* ocupa una buena cantidad de territorio, pero su ciclo de vida es muy largo y pocos individuos cargan el parásito. En cambio, *P. howardi* ocupa poco territorio, pero se desarrolla rápidamente y muchos individuos pueden portar el parásito. Todo este razonamiento deriva en las siguientes preguntas: ¿qué ocurriría si se pudiese tener lo mejor de los dos mundos en una sola especie?, ¿qué ser extraño surgiría de una combinación así? ¡Reflexione acerca de estas preguntas hasta el final del artículo y más allá de lo escrito! (Fig. 2).

La creciente importancia que han ganado las especies secundarias las ha



Figura 2. Foto de adultos de las especies de *Panstrongylus chinai*, *Panstrongylus howardi* y sus híbridos.

hecho sujeto de un análisis cada vez más profundo. A fin de atacar el problema desde varios frentes, se empezó a investigar la distribución de los triatomíneos en ambientes naturales. Luego, una vez que supimos dónde encontrarlos, se recolectaron individuos de varias especies a lo largo y ancho del país, y se ejecutaron diversos estudios de laboratorio que nos permitieran ampliar nuestro conocimiento sobre: i) ciclos de vida (tiempo que invierten los triatomíneos en completar su desarrollo, es decir, desde huevo hasta adulto), ii) hábitos de alimentación y defecación (tiempo que se demora en picar, alimentarse de sangre y defecar durante la alimentación), iii) análisis moleculares (estudios de los genes para diferenciar especies y hasta grupos de individuos de una misma especie), iv) determinación del fenotipo antenal (examinación de los receptores antenales que permiten diferenciar especies, grupos de individuos de una misma especie y sexo, como también comprender de mejor manera su capacidad de dispersión y el modo en que buscan sus fuentes de sangre, y v) estudios de morfometría geométrica, una herramienta que, actualmente, es una de las más utilizadas y más económicas. A continuación, hablaremos de ella con más detenimiento.

Estudio de las formas biológicas

La técnica que nos permite clasificar a los insectos transmisores es la morfometría (fusión entre Biología y Geometría). Los seres humanos tendemos a ordenar y clasificar todo lo que nos rodea; es así que, a edades muy tempranas, los niños aprenden a separar las cosas por su tamaño, color o forma. En ese sentido, la mente de un naturalista no es muy diferente de la de un niño, lo único que cambia es la complejidad de las herramientas que emplea para realizar dicha tarea (Fig. 3). La morfometría utiliza el tamaño y la forma de un organismo con el fin de clasificarlo dentro del gran árbol de la vida. Es interesante observar que estos parámetros están estrechamente relacionados, a tal punto que dos individuos de una misma especie pueden tener tamaño y forma distintos. Tales diferencias pueden deberse a condiciones como la temperatura, la humedad, el estado nutricional o el desarrollo de un ser vivo. Mientras que el tamaño puede ser propenso a los efectos del medio ambiente, la forma es un rasgo más “objetivo” y brinda información esencial sobre la distancia genética entre organismos.



Figura 3. Alas del género *Panstrongylus*, puntos de referencia utilizados para realizar los análisis morfométricos.

Hibridismo: ¿mito o realidad?

La mitología está llena de seres extraños; muchos de ellos parecerían ser producto de una imaginación desbordada, no obstante, como todo mito,

siempre tiene detrás algo de verdad. Entre esas tantas criaturas, una de las más particulares es la *quimera*, una *mezcla* de tres animales que posee cabeza de león, cuerpo de cabra y cola de serpiente. Pese a que la *quimera* es, en efecto, irreal, el concepto al que alude, el del híbrido, es tan real como usted o yo. Un híbrido surge de cruzar dos especies diferentes, con frecuencia, cercanamente emparentadas; el ejemplo más evidente de este fenómeno es la mula, un animal que nace del apareamiento entre un burro y una yegua. En la mayoría de los casos, los híbridos son incapaces de dejar descendencia, y así ocurre para mantener la separación entre especies. Mas, si la definición clásica de especie nos dice que es un conjunto de

organismos que pueden reproducirse entre sí, y no con miembros de otras especies, entonces la línea que separa una especie de otra empieza a tornarse borrosa. El caso de los triatomíneos es muy interesante; dos especies que habitan en el Ecuador, *Panstrongylus chinai* (proveniente de la provincia de Loja) y *Panstrongylus howardi* (que vive en la provincia de Manabí) se cruzaron en el laboratorio y produjeron híbridos. Como era de esperarse, al intentar cruzar los híbridos resultantes, estos no tuvieron descendencia viable. No obstante, al analizar las alas de estas “quimeras” mediante morfometría, observamos que su forma se parecía más a *Panstrongylus chinai* que a *Panstrongylus howardi* (Fig. 4). Este hallazgo nos reveló que

estas especies eran diferentes, pero se encontraban cercanamente emparentadas (Fig. 5). Tal parece que nuestra pregunta: ¿qué ocurriría si se pudiese tener lo mejor de los dos mundos en una sola especie? aún tendrá que esperar por una respuesta que bien nos brindará tranquilidad o bien será una pesadilla; puesto que, hasta el día de hoy, no se han reportado híbridos naturales de estas dos especies. ¿Quién sabe?, tal vez se convierta en un misterio que nunca podamos resolver. A fin de cuentas, la ciencia es la mejor herramienta que tenemos para entender el mundo que nos rodea, y, aunque su alcance pareciera no tener límites, tal vez existen preguntas que es preferible no responderlas, para no conocer sus consecuencias porque existen seres que, más bien, vale la pena dejarlos en los casilleros de nuestra imaginación.

Literatura consultada:

- Grijalva MJ, Villacís AG, Ocana-Mayorga S, Yumiseva CA, Moncayo AL, Baus EG: Comprehensive Survey of Domiciliary Triatomine Species Capable of Transmitting Chagas Disease in Southern Ecuador. *PLoS Negl Trop Dis* 2015, 9(10):e0004142.
- Mosquera KD, Villacís AG, Grijalva MJ: Life Cycle, Feeding, and Defecation Patterns of *Panstrongylus chinai* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) Under Laboratory Conditions. *J Med Entomol* 2016, 53(4):776-781.
- Suarez-Davalos V, Dangles O, Villacís AG, Grijalva MJ: Microdistribution of sylvatic triatomine populations in central-coastal Ecuador. *J Med Entomol* 2010, 47(1):80-88.
- Villacís AG, Ocana-Mayorga S, Lascano MS, Yumiseva CA, Baus EG, Grijalva MJ: Abundance, natural infection with trypanosomes, and food source of an endemic species of triatomine, *Panstrongylus howardi* (Neiva 1911), on the Ecuadorian Central Coast. *Am J Trop Med Hyg* 2015, 92(1):187-192.

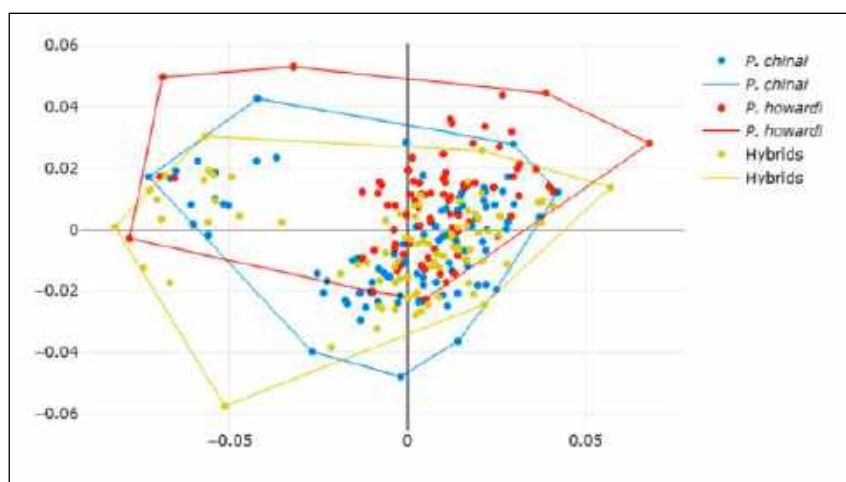


Figura 4. Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestran la forma alar de *Panstrongylus chinai*, *P. howardi* e híbridos.

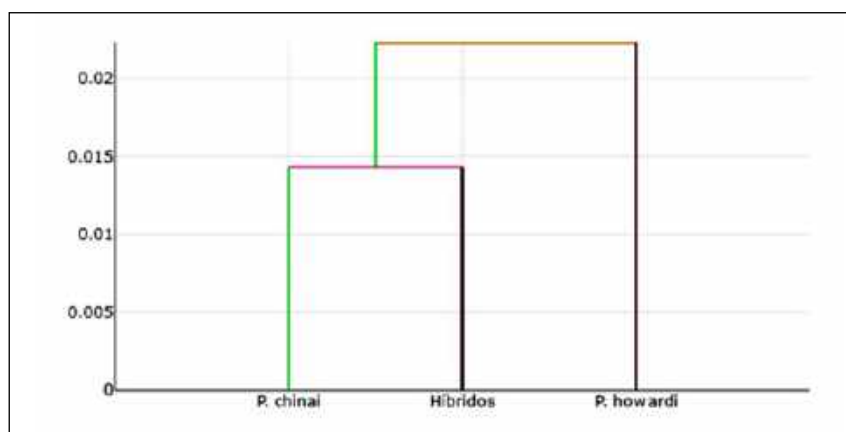


Figura 5. Árbol fenético de *Panstrongylus chinai*, *P. howardi* e híbridos.

Primates en la Real Audiencia de Quito

■ Por Diego G. Tirira, M.Sc. Ph.D. (c)
Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador
(diego_tirira@yahoo.com).
Ilustraciones: Jean de Spix, *Simiarum Brasiliensium* (1823).



Sapajus macrocephalus (mico grande o capuchino negro)

El conocimiento de la vida silvestre en lo que ahora llamamos Ecuador fue un proceso lento, tanto que a partir de la conquista española y durante los siguientes trescientos años, los documentos que tratan sobre este tema se pueden contar con los dedos de las manos. Y cuando esta búsqueda la limitamos a un tema como los primates, una mano es más que suficiente.

La Real Audiencia de Quito

Luego del ajetreo que implicó la conquista española, regresó la calma. Cientos de ciudades se habían fundado y miles de colonos europeos habían migrado al Nuevo Mundo. Así nació el período que conocemos como la Colonia. Una época oscura en nuestra historia, no solo por la violación a los derechos de los pueblos ancestrales, sino, también, por el escaso aporte que este período dio a las ciencias.

Durante la Colonia se estableció la Real Audiencia de Quito, una forma de gobierno impuesta por la corona española para el manejo de la provincia homónima, que incluyó el territorio del actual Ecuador y las áreas colindantes de las repúblicas de Colombia y Perú. Una forma de gobierno colonial que tuvo vigencia durante 259 años (entre 1563 y 1822).

La contribución escrita durante este período fue escasa. En la segunda mitad del siglo XVI, aparecieron

algunos escritos que se limitaron a narrar observaciones generales. Sin duda, aportes de valor histórico para el conocimiento de las primeras sociedades ecuatoriales, pero de escaso aporte para las ciencias. Sobre la fauna, en aquellos años, apenas aparecen menciones generales, ambiguas y de poca relevancia.

El siglo XVII siguió la misma línea: nada se publicó en el campo de las ciencias, al menos en el territorio de Quito. Un período de la historia marcado por la religión y que podría costarle la vida a quien osara escribir algo diferente a ese tema. Por el contrario, fue una época próspera en las artes. La Escuela Quiteña, como se conoce al período en el que se desarrollaron las manifestaciones artísticas de la época, tuvo uno de los períodos más productivos y en el cual destacó el trabajo creador de Miguel de Santiago, uno de los grandes pintores de la época.

Llegó el siglo XVIII y con él nacieron las ciencias en el Ecuador, hecho que estuvo marcado por tres acontecimientos independientes y que ofrecerían a nuestra historia las primeras menciones sobre nuestra fauna. A saber:

La misión geodésica francesa

El primer acontecimiento ocurrió a partir de 1736, cuando llegó a Quito un grupo de científicos franceses y españoles con la misión de medir la distancia de un grado de latitud en el ecuador para

comprobar la forma del planeta. Si bien, el objetivo de la expedición no estaba dirigido al conocimiento de la vida silvestre, algunas publicaciones de sus integrantes ofrecerían los primeros aportes sobre nuestra fauna y algunas descripciones de interés.

El líder de la expedición fue el geógrafo francés Charles Marie de La Condamine, quien publicó la *Relación abreviada de un viaje hecho por el interior de la América meridional* (París, 1751), en el cual narra sus observaciones y anécdotas de viaje. Sobre los primates es escasa la información que aporta y es poco específico en sus datos, aunque destaca la riqueza de especies que observó en su viaje por el río Amazonas, de regreso a Europa: «he visto tantos [monos] y he oído hablar de tantas especies diferentes, que su sola enumeración sería larga». En el texto dedica algunas líneas a la descripción de los monos tamarines o chichicos, del género *Leontocebus*.

Otros dos integrantes de la expedición geodésica fueron los españoles Antonio de Ulloa y Jorge Juan, quienes publicaron en conjunto el libro *Relación histórica del viaje hecho de orden de su Majestad a la América*



Leontocebus nigricollis (tamarín o chichico negro)



Aotus vociferans (usñaga o mono nocturno)

Meridional (Madrid, 1748). En su relato mencionan haber observado durante su viaje de Guayaquil a Guaranda «cantidad de Monos... entre ellos ... una especie, que llaman Marimondas: son tan grandes, que quando se ponen en dos pies, tienen de alto vara, y media [123 centímetros], ò mas; el color de su Pelo es negro, y en todo son muy feos...» [sic], e indican que es común. Información valiosa para conocer la distribución y abundancia del mono araña de cabeza marrón (*Ateles fusciceps*), una especie que en la actualidad es una de las más amenazadas del país.

La expulsión de los jesuitas

El segundo acontecimiento fue la expulsión de los jesuitas de los territorios de España, ordenada por el rey Carlos III en 1767. Entre los sacerdotes desterrados se encontraban Mario Cicala y Juan de Velasco, el primero siciliano y el segundo riobambeno, quienes durante su exilio en Italia escribirían todo cuanto vieron, conocieron y recordaban de su estancia en la provincia de Quito.

Durante casi 25 años, Mario Cicala permaneció en el actual Ecuador. La mayor parte entre las ciudades de Quito, Guayaquil y Ambato, aunque por los apuntes de su obra, habría recorrido todas las provincias de la Sierra y algunas de la Costa.

A partir de 1768, Cicala empezó a escribir su obra, compuesta por dos volúmenes, a los que llamó *Descripción histórica de la provincia de Quito de la Compañía de Jesús*, terminados en 1771. Esta obra, escrita en italiano, permaneció inédita durante casi doscientos años, hasta que fue descubierta alrededor de 1960. El primer volumen vería la luz en 1994 y el segundo, que trata, entre otras cosas, sobre la flora y la fauna, recién en 2004.

La obra de Cicala tiene la virtud de presentar descripciones concisas y en las cuales destaca su capacidad de observación. En el campo de la fauna, el autor dedica seis capítulos y más de ciento cuarenta páginas a describir las especies que observó; entre ellas, los mamíferos ocupan un capítulo que incluye una sección dedicada a los «simios», según sus propias palabras.

Al hablar de primates, Cicala comenta que las «diversas especies que hay de simios en la América meridional... son tantas», y describe a nueve de ellas (tabla 1). Si bien algunas de las descripciones son confusas, para la mayoría ha sido posible inferir la especie.

Entre los primates que menciona, habla del «simio negro», una descripción que hace referencia a dos especies de la Costa, el mono araña antes mencionado y el mono aullador de manto dorado (*Alouatta palliata*). Cicala indica que se trata de un primate agresivo: «Dios libre que algún hombre caiga en sus garras, lo despedazará inmediatamente y envolviéndole la cola al cuello lo estrangulará», para luego contar algunas experiencias de su presumida agresividad. Sobre los aullidos que emite indica: «qué gritos, qué mugidos... Infundían horror, miedo y espanto... Yo confieso... que siempre dormía con gran temor en esos bosques...». Como ahora sabemos, ambas son descripciones exageradas y que nada tienen que ver con la dócil conducta de estas especies.



Alouatta palliata (mono aullador)

Tabla 1. Primates mencionados por los sacerdotes jesuitas del siglo XVIII y su relación con la taxonomía actual y la existente durante la Real Audiencia de Quito (hasta 1822)

N.º	Taxonomía actual ¹	Taxonomía binomial (hasta 1822)	Mario Cicala (1771)	Juan de Velasco (1789)
1	<i>Alouatta palliata</i>	Ninguna	Simio negro	Horro
2	<i>Alouatta seniculus</i>	<i>Simia seniculus</i> Linnaeus, 1766	Simio rojo	Omeco
3	<i>Aotus</i> sp.	<i>Aotus</i> Illiger, 1811	-	Usñaga
4	<i>Ateles belzebuth</i>	<i>Ateles belzebuth</i> É. Geoffroy, 1806	-	Maquisapa ² *, marimonda ³ *
5	<i>Ateles fusciceps</i>	Ninguna	Simio negro	Maquisapa, marimonda ³
6	<i>Cebuella pygmaea</i>	Ninguna	Simio verde*	Chichico verde
7	<i>Cebus albifrons</i> (incluye <i>C. aequatorialis</i> y <i>C. yuracus</i>)	<i>Simia albifrons</i> Humboldt, 1812	Simio machin ²	Yurac maqui, mico pardo
8	<i>Cheracebus lucifer</i>	<i>Callithrix torquata</i> Hoffmannsegg, 1807	Simio monja*	Monja ³ *
9	<i>Lagothrix lagothricha lagothricha</i>	<i>Simia lagothricha</i> Humboldt, 1812	-	Yana maqui*
10	<i>Lagothrix lagothricha poeppigii</i>	Ninguna	Simio rojo y castaño	Choro ³
-	<i>Leontocebus</i> spp.	<i>Saguinus</i> Hoffmannsegg, 1807	-	Chichico ²
11	<i>Leontocebus lagonotus</i>	Ninguna	-	Chichico rojo oscuro
12	<i>Leontocebus nigricollis</i>	Ninguna	-	Chichico pardo, chichico negro, pinche ³ o pinchi*
13	<i>Pithecia</i> sp.	<i>Pithecia</i> Desmarest, 1804	Simio cabelludo	Cachapaz
14	<i>Plecturocebus discolor</i>	Ninguna	-	Monja ³ *
15	<i>Saimiri cassiquiarensis</i>	<i>Simia sciurea</i> Linnaeus, 1758	Simio fraile, simio hermano	Frailecito, mico pequeño*
16	<i>Sapajus macrocephalus</i>	<i>Simia apella</i> Linnaeus, 1758	Simio castaño más pequeño*	Mico grande

¹ Tirira et al. (2019), *Lista actualizada de los mamíferos del Ecuador*. Versión 2019.1. Asociación Ecuatoriana de Mastozoología. Quito.

² Nombre común que todavía es usado en el Ecuador.

³ Nombre común que todavía es usado en la Amazonía de Colombia o Perú.

* Indica que la taxonomía binomial atribuida no está confirmada debido a que la descripción es confusa.

El realismo maravilloso¹

Durante más de veinte años permaneció exiliado en Italia el sacerdote Juan de Velasco, tiempo que le permitió escribir tres tomos de su obra *Historia del Reino de Quito en la América meridional*. Una vez terminados, en 1789, los envió a España para su publicación. Al poco tiempo, el sacerdote fallece y su obra fue almacenada en un archivo de Madrid, en donde sería descubierta cincuenta años más tarde, para ser repatriada y publicada por primera ocasión en Quito, entre 1841 y 1844. Desde entonces, mucha tinta se ha gastado sobre su obra. Para muchos, considerada «la primera no-

vela ecuatoriana» y la precursora del «realismo maravilloso»; para otros, un documento fiel a nuestra historia.

El primer tomo de la obra de Velasco está dedicado a la historia natural. La fauna aparece en nueve capítulos y ocupa algo más de ochenta páginas. Los mamíferos son descritos en cuatro capítulos y los primates aparecen dentro del tercero, al que denominó «Cuadrúpedos menores de diversas clases».

Velasco indica conocer hasta treinta especies de primates, pero solo nombra a diecisiete. Para referirse a ellas emplea nombres comunes,



Pithecia sp. (simio cabelludo o mono saki)

principalmente en lengua quichua, para luego describirlas. Aunque la información que provee es escasa y algo confusa, además de que muchos

¹ El primer escritor en usar el término “real maravilloso” fue Alejo Carpentier, escritor cubano; quien, en la introducción de su novela *El reino de este mundo* (1975), manifiesta, entre otras cosas, “que la presencia y vigencia de lo real maravilloso es patrimonio de la América entera. Que lo real maravilloso comienza a serlo de manera inequívoca cuando surge de una inesperada alteración de la realidad (el milagro), de una revelación privilegiada de la realidad. La sensación de lo maravilloso presupone una fe. Los que no creen en santos no pueden curarse con milagros de santos” (N. E.).

nombres han caído en desuso (si es que alguna vez fueron de uso común), para la mayoría ha sido posible determinar la identidad de las especies a las que hizo referencia (tabla 1).

Entre las especies de monos, de Velasco describe un ser fantástico, el *pishco-cushillo*, «esto es, mono ave pequeño...», tiene plumas perfectas de ave, desde la nuca por todo el espinazo y mucho más en la cola. El hocico es algo más prolongado que el de los otros».

Historias cruzadas sin cruzarse

No queda duda de que las obras de Cicala y de Velasco son comparables, como también fue mucha de su historia, tanto antes como después de su destierro. Si bien existen varios aspectos en común entre ambos escritos, no he hallado evidencias que demuestren que alguno de los autores, o ambos, conocían del trabajo del otro. También ignoro si ambos sacerdotes se conocían, aunque todo indica que esto habría ocurrido. Cicala llegó a Quito en 1743 y permaneció hasta 1748, período que dedicó a completar sus votos sacerdotales y a estudiar teología en la Universidad de San Gregorio de la capital. Por su parte, Velasco ingresó al seminario San Luis de Quito en 1743, para luego de un año mudarse a Latacunga y regresar a la capital en 1747, cuando empezó sus estudios en la misma carrera y universidad que Cicala.

Durante el exilio, los dos sacerdotes se establecieron en Italia, el primero en Viterbo y el segundo en Faenza, ciudades separadas entre sí por poco más de trescientos kilómetros, y en donde vivieron hasta su muerte, en 1790 y 1792, respectivamente, sin que ninguno pueda ver su obra publicada.

Entre los dos trabajos, dentro de los primates aparecen descripciones en común para unas diez especies (tabla 1). Entre ellas, solo dos comparten

nombres: el «fraile» o «frailecito» y la «monja». Lo curioso para este segundo primate es que el nombre común corresponde a una especie que sería añadida por primera vez para nuestra fauna doscientos años más tarde, cuando fue descubierta en la Reserva Cuyabeno. Se trata del tití de manos amarillas (*Cheracebus lucifer*).

La expedición Malaspina

El tercero y el último de los acontecimientos que durante el siglo XVIII contribuyeron a las ciencias del país, y de forma específica a la zoología, fue la visita de la expedición Malaspina, enviada por el rey de España para recorrer sus territorios y que arribó a Guayaquil en 1790.

En esta expedición participó Antonio Pineda, un marino y naturalista guatemalteco encargado del estudio de la fauna. Durante su permanencia de cuatro semanas en Guayaquil y sus alrededores (entre el 4 y el 28 de octubre), Pineda indica que en su navegación por el «río de Guayaquil» escuchó el «chillido disonante de los monos, que gateando y orinando por los árboles arrojan... hojas y ramas. Esta feísima bestia, que procura imitar en todo a la especie humana, la veíamos incitarse á la luxuria...». Sin duda, el autor se refiere al mono aullador (*Alouatta palliata*).

Durante su estadía, Pineda preparó un manuscrito: *Descripción de aves, cuadrúpedos y peces del puerto de Guayaquil*, en el cual describe siete especies de mamíferos y utiliza por primera vez para la historia del país nombres en latín, según el sistema de nomenclatura binomial propuesto por Linneo. Entre sus descripciones, Pineda incluye un «primate», *Lemur catta*; sin embargo, el texto corresponde con una especie de carnívoro, el coatí sudamericano



Cheracebus lucifer (monja o tití de manos amarillas)

(*Nasua nasua*), cuya cola anilla confundió al guatemalteco con un lémur de Madagascar.

Antes de abandonar Guayaquil, Pineda envió su manuscrito a España para su publicación, junto con los ejemplares recolectados. Por desgracia, el autor falleció dos años más tarde a causa de una enfermedad tropical en las Filipinas y su manuscrito permaneció olvidado durante doscientos años, hasta que fue descubierto en Madrid y publicado en 1996.

El final de una época

Y esto es todo lo que conocemos de un extenso período que tomó más de dos siglos y medio: apenas dos trabajos que fueron publicados mientras sus autores vivían y otros tres que permanecieron inéditos por entre cincuenta y doscientos años. Quién sabe si todavía exista alguna otra referencia que se ignore y que repose en algún archivo de historia en espera de salir de su anonimato. Por lo pronto, al terminar el período colonial, para la provincia de Quito, se habían mencionado unos 16 taxones de primates (un 76% de los actualmente conocidos) (tabla 1).

Ranas en 3D

■ Por Dr. Andrés Merino-Viteri
Laboratorio de Ecofisiología PUCE
(armerino@puce.edu.ec).

Sin duda alguna, la generación de nueva tecnología ha sido fundamental para el avance del conocimiento. Gracias a ella, nuevos análisis y nuevas herramientas de integración de datos pueden llevar a la decodificación del entendimiento de los fenómenos que ocurren en nuestro planeta. Gracias a herramientas bioinformáticas para poder leer el código genético (siempre con el esfuerzo intelectual de los investigadores), por ejemplo, ahora conocemos que la diversidad de ranas y sapos de nuestro país ha sido largamente subestimada. En algunos casos, la riqueza de especies se ha logrado incrementar en porcentajes importantes, duplicando a veces el número de especies conocidas para una localidad. Esto convertirá a nuestro país, me atrevo a vaticinar, en un país ultradiverso en lugar de “solamente” megadiverso.

La industria, en general, genera miles de nuevos productos cada año. La capacidad de los aparatos electrónicos incrementa con cada nuevo modelo que se produce y cada vez se puede lograr hacer más cosas con menos aparatos. Pensemos en nuestros teléfonos celulares. Seguramente, salir a la calle a buscar un taxi o buscar comida ya son cosas del “pasado”, y para los adolescentes actuales debe ser cosa “de los abuelos”.

Por lo general, los objetos tecnológicos han sido diseñados y desarrollados con el fin

de solucionar algún problema de la humanidad, no por nada la frase: “La necesidad es la madre de la invención”, nos ha acompañado desde hace aproximadamente 2500 años, desde que Platón la estableció en la Antigua Grecia. Sin embargo, a veces, los inventos de unos terminan siendo herramientas de trabajo para otros y han ayudado a solucionar problemas para los cuales no habían sido diseñados. Este artículo es una historia de este tipo.

El problema

Para los lectores que no me conocen, mi interés científico se enmarca en tratar de entender cómo los organismos se interrelacionan entre ellos (con los de su misma especie y de otras especies) y con su ambiente. Desde hace 20 años, decidí que las ranas y los sapos iban a ser los seres que me acompañarían en el laboratorio y centrarían mi atención cuando saliera al campo.

Una de las características que hacen a las ranas y los sapos animales únicos es su piel. Ella es permeable a diferencia de la nuestra. Esto sig-

nifica que líquidos y gases pueden difundirse por su estructura y entrar y salir del organismo. A su vez, el hecho de no tener ni pelos, ni plumas, ni escamas que la protejan, la hacen muy sensible a cualquier amenaza.

Uno de los procesos que hemos decidido estudiar en el laboratorio de Ecofisiología es el movimiento del agua desde el organismo hacia el ambiente, lo cual bajo ciertas circunstancias podría producir deshidratación del organismo y producir su muerte. A pesar de que pensaríamos que las ranas y los sapos son muy sensibles a la desecación, son animales muy resistentes a la misma. Podrían soportar hasta un 40% de la pérdida de su peso antes de llegar a estar cerca de sus límites letales. Para tener un nivel de comparación, los seres humanos solo podríamos perder un 10% de nuestro peso por deshidratación antes de llegar a nuestro límite letal.

La evaporación del agua al ambiente es un proceso físico y por lo tanto es afectado por diferentes parámetros ambientales que nosotros los científicos estamos tratando de replicar en el laboratorio. Algunos de ellos son la temperatura, la humedad relativa del aire, la velocidad del viento. También el comportamiento del animal es importante para entender su proceso de pérdida de agua. Por ejemplo, si la rana es diurna o nocturna, si se esconde bajo un tronco o duerme en el envés de una hoja a dos metros sobre el suelo. Asimismo, un parámetro importante es la determina-



La Balsa de los Sapos es una iniciativa que busca conservar y estudiar a ranas y sapos.

ción de la superficie de la piel de la rana que está expuesta a los factores ambientales. Mientras más piel se esponga, más agua se pierde.

He ahí el problema. Imagine por un minuto, ¿cómo haría usted para calcular exactamente la superficie de la piel de la rana? Piense, además, que algunas ranas y sapos tienen verrugas y glándulas que sobresalen de su cuerpo. Complicado, ¿verdad?

Algunos científicos se han dado el trabajo de hacerlo. Muchos métodos se han desarrollado, lastimosamente todos han implicado la muerte del animal, la remoción de su piel y el cálculo casi manual (sobre papel milimetrado) de la superficie expuesta. Por lo general, se ha asociado esta información con el peso de los animales, generando formulas que podrían lograr estimar la cantidad de piel expuesta en función del peso de una rana.

Los estudiantes que se han atrevido a investigar este tema para sus trabajos de titulación han utilizado estas fórmulas para aproximar la superficie expuesta de sus animales experimentales. Sin embargo, la diversidad de ranas y sapos, que comenté al inicio, también implica que las formas de los animales, texturas y estructuras de la piel sea altamente diverso y la aplicación de este método no sea el más exacto. Era nuestra única opción.

La pregunta del millón era la siguiente: ¿podemos encontrar un método no invasivo que nos permita conocer la superficie expuesta exacta de cada una de las ranas que usábamos en los experimentos?

La solución

Finalmente y conversando con algunos colaboradores una idea surgió: usar una herramienta tecnológica que fue diseñada para otro fin

y aplicarlo a nuestro problema. Un escáner de 3 dimensiones.

Pusimos en marcha entonces un plan para poder generar un modelo digital 3D de las ranas reales y sobre la base de este modelo generar las mediciones que eran necesarias.

Contratamos un técnico que tenía experiencia en el tema e iniciamos este camino. La primera preocupación era conocer si la resolución de los aparatos comerciales eran lo suficientemente finos como para registrar las características de la piel de las ranas. Las primeras pruebas realizadas con un individuo juvenil de la rana de hoja amazónica (*Agalychnis craspedopus*) fueron promisorias. Esta es una rana que tiene unos pliegues en la piel que simulan cortes realizados por hormigas cortadoras de hojas (Fig. 1). Los detalles del modelo fueron bastante buenos.

Después de las primeras pruebas, tuvimos que realizar ajustes al método. Buscar una base no reflectora apropiada y giratoria para el proceso del escaneo y estuvimos listos para continuar el trabajo con otras especies de mayor tamaño. Los resultados fueron mucho más impresionantes. Logramos realizar impresiones en resina de los modelos y la similitud con las ranas reales fue grandiosa.



Figura 1. Juvenil de la Rana de Hoja Amazónica (*Cruziohyala craspedopus*) siendo escaneada.

El proceso de escaneo se realiza con haces de luz laser que después de chocar contra el objeto rebotan a un sensor que calcula la distancia a la que se encuentra cada segmento de superficie de la rana. El programa de computación asociado integra toda la información de tal manera que genera gráficamente una superficie digital de la rana. Al mirar el detalle de la superficie digital podemos observar que esta conformada por pequeños triángulos que, dependiendo de la forma y tamaño, logran recrear la superficie de la piel y la forma de las ranas (Fig. 2).

Gracias a esta manera de integrar la información gráficamente, si vamos sumando la superficie que cada uno de estos triángulos tiene podemos conocer de manera bastante exacta cuál es la superficie de la piel que nos interesa. Podemos calcular así, la superficie de las ranas que están bajo experimentación sin necesidad de recurrir a métodos invasivos

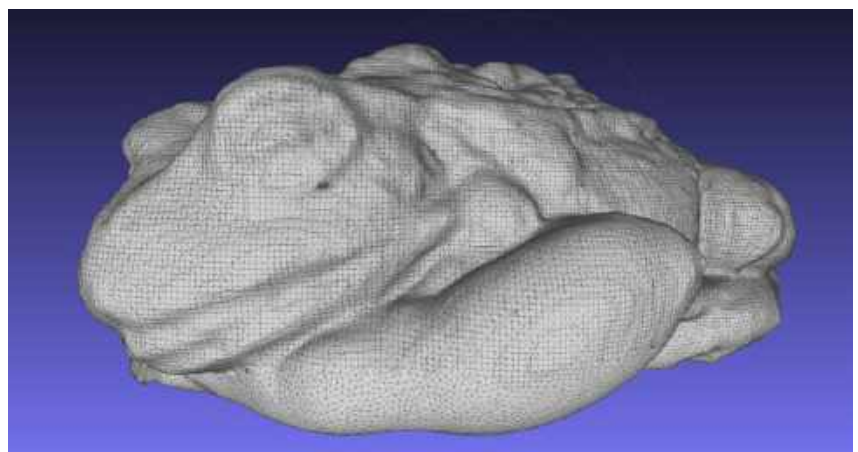


Figura 2. Modelo digital de la Rana Marsupial de San Lucas (*Gastrotheca pseustes*).

y que nos dan un estimado directo de la piel considerando la forma y el tamaño de rana real. En el programa de computadora podemos también modificar el tamaño del modelo y conocer cuál podría ser la superficie de otras ranas de la misma especie con tamaños diferentes.

De este modo, hemos solucionado nuestro problema. La intención del proyecto es que podamos escanear ranas y sapos con diferentes formas “generales” y poner a disposición de la comunidad científica los escaneos, por medio de una plataforma digital con el fin de que si algún científico necesita realizar un estudio de este tipo pueda escoger el modelo de rana que se parezca más a su especie y pueda realizar sus análisis de una manera más realista que depender de las formulas previas en la literatura científica.

En nuestro caso, los modelos 3D de las ranas y su potencialidad de modificar el tamaño nos permite, por ejemplo, realizar múltiples impresiones en tres dimensiones de los mismos (Fig. 3). Con estas impresiones podemos generar moldes para realizar réplicas de las ranas experimentales con una solución de agar a una concentración de 3%. El agar es una sustancia parecida a la gelatina, que es sólida a temperatura ambiente y a una concentración de 3% tiene la capacidad de evaporar agua a la misma velocidad del agua libre. Cuando comparamos la cantidad de agua que pierde una rana y la comparamos con un modelo de agar con su mismo tamaño, forma y color entonces podremos adicionalmente determinar si la rana tiene algún mecanismo para evitar la desecación, esto se conoce técnicamente como “resistencia cutánea”. Este es un parámetro fisiológico que se ha reportado y que está



Figura 3. Impresiones de tres dimensiones de diferentes tamaños de la Rana Arbórea de Almemdáriz (*Boana almemdarizae*).

relacionado con algunas características ecológicas de las especies y es lo que buscamos probar, en nuestro laboratorio, para las especies ecuatorianas. Al fin y al cabo, este tipo de interrogantes son las que nos motivan como científicos, ¿verdad?

Otras aplicaciones

El poder contar con un modelo digital de una especie de rana o de cualquier otro organismo puede tener múltiples aplicaciones. Aunque, como mencioné antes, cada investigador puede encontrar diferentes aplicaciones para los desarrollos tecnológicos; sin embargo, algunas ideas que tenemos sobre los modelos es que pueden ser aplicados a diferentes contextos.

Por ejemplo, al realizar los escaneos de individuos juveniles se pueden estudiar las proporciones de las diferentes partes del cuerpo y analizar si este crecimiento fue uniforme hasta la adultez. Entender si existen secciones del cuerpo con crecimiento alométrico (“diferente medida”) también puede ser interesante desde el punto ecológico.

Hemos considerado también realizar modelos con las ranas para estudiar la predación de ranas por otros animales. Sería muy complicado conseguir cientos de ranas para evaluar cómo ciertas especies de aves se alimentan de ranas, por

ejemplo. Pero sí podemos imprimir muchos modelos de ranas o hacer incluso cientos de ranas de materiales como el agar y ver cómo los predadores reaccionan frente a ellas.

Cambiando completamente de campo, las impresiones de las ranas pueden ser considerados como juguetes. La posibilidad de imprimirlos en diferentes tamaños y en diferentes colores se presenta de alguna manera como una actividad “divertida”. Sin embargo, nos imaginamos que se podría generar un kit que incluya pinturas y cada niño pueda pintar su rana de los colores y formas que su imaginación le permita. Esta sería una manera de promocionar, por ejemplo, nuestra Iniciativa de Conservación de Anfibios Amenazados “Balsa de los Sapos”.

Sea cual sea el uso que les demos a estos modelos, lo importante es considerar que debemos aprovechar todas las herramientas disponibles para poder imitar a la naturaleza y entenderla. Armar un equipo interdisciplinario también fue una parte importante del proceso. Considerar los otros puntos de vista siempre enriquecen los procesos de desarrollo del conocimiento. Así que, sin miedo, pensemos en cuál es la próxima pregunta que queremos responder y busquemos, no solo en la biología, las herramientas para poder responderlas.

La historia de *Cedrela odorata* L. (cedro) contada a través de sus anillos de crecimiento en el enigmático bosque de Yasuní

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

Recuerdo que, desde pequeña, los bosques siempre fueron mi debilidad. Tenía un alma exploradora, que para “desdicha” de mi madre (siempre quiso que fuera doctora en medicina), en lugar de disminuir, se fue incrementando con los años. En mi niñez vivía frente a un río y cerca de un pequeño bosque; en la parte delantera de mi casa había árboles de capulí y me apasionaba ver lo inmensos y majestuosos que eran, podía pasar horas jugando con los pies descalzos debajo de ellos y siempre me preguntaba: ¿desde cuándo estarán ahí? ¿Cuántos años tendrán? ¿Por qué serán tan grandes?

Con el paso de los años, una a una mis dudas se fueron despejando y por fin pude entender cómo es la vida de estos grandulones, al estudiar la dinámica de los codiciados “cedros” dentro del bosque del Parque Nacional Yasuní.

Todas las especies de árboles son importantes; entonces, ¿por qué estudiar a *Cedrela odorata*?

El estudio de la dinámica de *Cedrela odorata* (cedro) en la Amazonia ecuatoriana es de gran importancia debido a que se trata de una especie cuya madera es altamente valorada en el mercado local

e internacional, y debido a su gran demanda ha provocado su cosecha y explotación desmedida e ilegal. El cedro es una especie caducifolia (pierde sus hojas en una época del año), tiene un gran rango de tolerancia ecológica y crece en bosques tropicales bajos (<600 m de altitud), situados a los dos lados de los Andes y puede encontrarse tanto en bos-

ques secos como en ambientes húmedos y no estacionales, tales como los de la Amazonia occidental, lugar en donde se encuentra ubicado el Parque Nacional Yasuní. Es destacable mencionar que en algunos de estos ecosistemas la especie prácticamente ha desaparecido o se encuentra en un inminente peligro de extinción local.



Por Pablo Alvia

Figura 1: Toma de datos en un árbol de *Cedrela odorata*. Es necesario tomar los datos sobre las raíces tablares, lo que conlleva que en algunos casos sea a algunos metros de altura.

Además de todo lo antes mencionado, una característica muy importante para el estudio del cedro, es su anatomía, debido a que tiene la capacidad de formar anillos de crecimiento, tanto en bosques secos como en lluviosos. Esta peculiaridad en algunas especies de árboles como el cedro, ha sido aprovechada por los investigadores que, de alguna manera, hemos podido “leer” y comprender un poco de su historia, a través de la Dendrocronología, que no es otra cosa que el estudio de los anillos de crecimiento que se forman con el pasar de los años y que sirven para determinar la edad de los árboles y los cambios climáticos a los que un determinado individuo ha estado sometido. El hecho de que podamos conocer un poco más sobre su vida pasada, resulta fascinante, porque estos individuos logran vivir durante largas temporadas y son partícipes de los cambios que existen dentro de los bosques.

Conociendo al cedro a través del increíble mundo de la Dendrocronología

Una vez que tuve la oportunidad de descubrir el maravilloso mundo de la dendrocronología, mi única y gran preocupación fue pensar que para el estudio de los árboles tenía que talar algunos individuos, para de esta manera obtener una muestra y observar sus anillos. Sin embargo, para mi tranquilidad, y de seguro para la de otros tantos, comprendí que no es necesario matar árboles y que, en la actualidad, tan solo se toman pequeños testigos de madera, con unas barrenas muy delgadas, sin que esto afecte al individuo que se va a investigar.

Si bien este tipo de estudios ya se realizaba desde hace muchos años atrás en países de zonas templadas (con una estacionalidad bien mar-

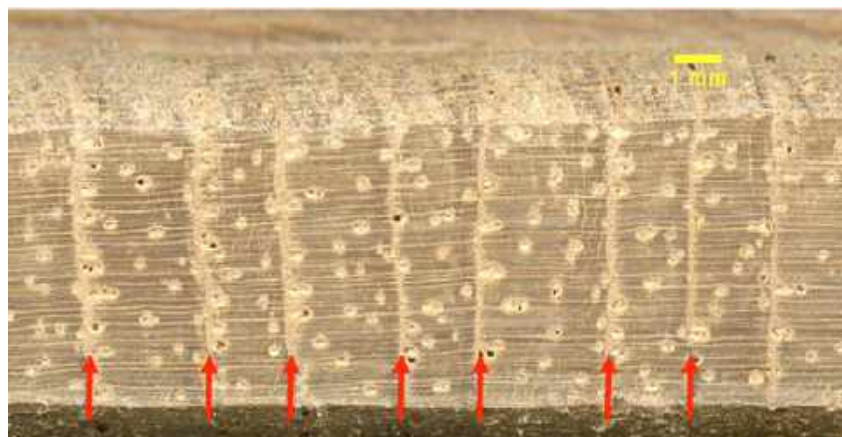


Figura 2: Descripción macroscópica de las estructuras que definen los anillos de crecimiento de *Cedrela odorata*. Las flechas indican el inicio de cada período anual y se puede observar que existe variación en el tamaño de los anillos (anchos y estrechos).

cada), en donde los anillos anuales se forman cuando los árboles experimentan latencia cambial y pierden sus hojas durante el invierno, en bosques tropicales con cierta estacionalidad, como la Amazonia central, el estudio es reciente y a diferencia de los anteriores, lo que rige la latencia cambial y por ende la formación de anillos en los árboles, son las condiciones ambientales desfavorables que se presentan anualmente, tales como inundaciones periódicas, fluctuaciones en la salinidad de los manglares y una aparente estacionalidad climática, como es el caso de los bosques de la Amazonia boliviana, en donde en una cierta época del año existen meses menos lluviosos con una precipitación que baja hasta los 60 mm mensuales y son el gatillo para que la latencia cambial suceda.

En Yasuní, a pesar de que no existen meses con una precipitación menor a 162 mm (en enero que es el mes más seco), los cedros han sido capaces de formar anillos de crecimiento anual claramente diferenciados. La sensibilidad de esta especie, al incremento del CO₂ en la atmósfera y a los cambios climáticos mínimos (precipitación y temperatura) de los bosques amazónicos,

parece ser suficiente para favorecer la construcción de anillos anuales en la anatomía de su tallo.

¿Cuánto interviene la precipitación, la temperatura y el incremento de CO₂ en la atmósfera en el crecimiento anual del cedro?

Por lo visto, la correlación entre la precipitación y el crecimiento anual (ancho de cada uno de los anillos) es altamente significativa y comparable a la de otros estudios realizados con cedro en bosques tropicales, esta estrecha relación determina el ciclo hidrológico del cedro. Según estudios anteriores, en bosques amazónicos con cierta estacionalidad, se sugiere que el crecimiento del cedro posiblemente comenzaría dos o tres meses después de la estación menos lluviosa. En Yasuní, la estación menos lluviosa termina en enero, por lo que es probable que la latencia se rompa en abril o mayo y que el crecimiento se vuelva evidente en julio. De esta forma, se puede decir que el ciclo hidrológico de los cedros, en esta zona, podría iniciar en julio del año previo y finaliza en junio del año corriente. Este ciclo hidrológico no comienza específicamente en el mes más lluvioso, mayo (378.79

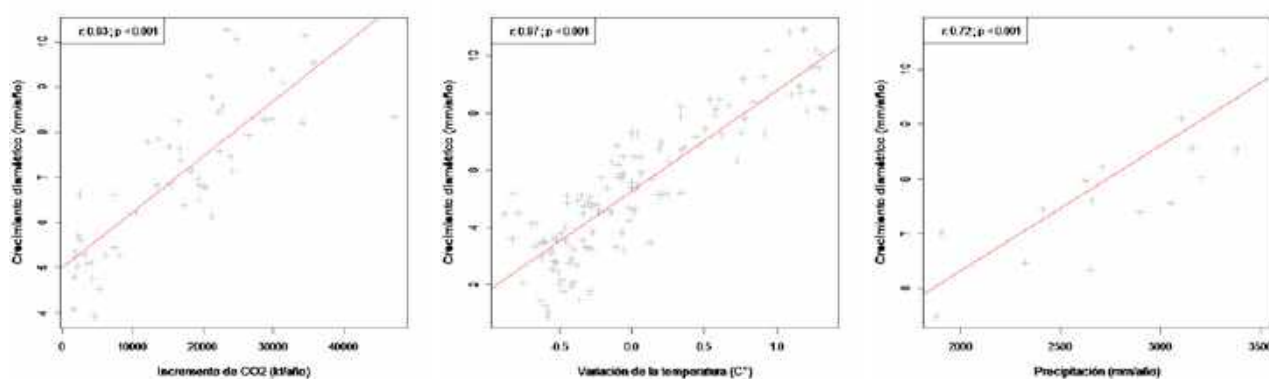


Figura 3: Crecimiento anual de *Cedrela odorata* en relación con precipitación, temperatura y concentración atmosférica de CO₂. Cada punto en las figuras representa un año. a) Crecimiento en función de la precipitación entre 1995–2012; b) Crecimiento en función de la temperatura entre 1880–2012; c) Crecimiento en función de la concentración de CO₂ entre 1960–2012

mm), sino que lo hace dos meses después, cuando el crecimiento es mayor y más evidente en la anatomía del tallo. Esto podría deberse a la necesidad que tienen los árboles de acumular reservas de nutrientes antes de crecer.

En estos árboles, también se puede ver que las correlaciones entre las variables crecimiento-temperatura y crecimiento-incremento de CO₂ en la atmósfera, son altamente significativas en los periodos 1880–2012 (132 años) y 1960–2012 (52 años) respectivamente. Sin embargo, en algunos años en donde la temperatura tiende a subir fuera de rangos normales, el crecimiento de los árboles puede verse afectado y de esta manera detenerse, lo que conlleva a la formación de anillos más estrechos, como se pudo observar en los años 2005 y 2010 (años de sequía y altas temperaturas en la Amazonia), en donde se vio disminuida la tasa de crecimiento en la mayoría de los individuos estudiados.

Además, sin duda alguna la dendrocronología es la manera más segura y más reproducible para la datación de la edad de los árboles. Por lo que en los cedros estudiados de Yasuní (42 individuos), fue factible conocer la edad de todos los individuos, la cual se encontraba entre 14 (el más joven) y 147 años (el más viejo). Asimismo, fue sencillo cono-

cer también sus tasas de crecimiento, desde juveniles hasta adultos. En promedio los cedros crecieron 5,53 mm al año lo cual es casi el doble de lo reportado por Pérez *et al.* (2014) para los cedros que crecen en la parcela de 50 ha de investigación permanente (Proyecto Dinámica del Bosque de Yasuní). Esta diferencia podría deberse principalmente a que los periodos de estudio fueron diferentes en las dos investigaciones. Los anillos de crecimiento abarcaron 147 años (correspondiente al cedro más longevo de nuestra muestra) mientras que en el otro estudio se indican datos de 12 años (1995–2007).

También, se puede demostrar que existieron grandes cambios en la tasa de crecimiento anual y una tendencia marcada al incremento de la tasa de crecimiento en los últimos 90 años. Así, los árboles más longevos muestran un crecimiento promedio de 4.67 mm al año entre 1865–1912, de 5.06 mm al año entre 1913–1962 y de 6.94 mm anuales en los últimos 50 años (1962–2012). Este hallazgo no es un acontecimiento aislado, ya que el mismo patrón se ha visto en diversos estudios en toda la región amazónica en los que se menciona que el CO₂ (producto del cambio climático) actúa como un fertilizante al estimular el crecimiento de los árboles.

El incremento de CO₂ en la atmósfera podría estar afectando directamente al aumento de las tasas de crecimiento de los árboles. Por lo menos desde 1990, la densidad de la biomasa ha aumentado consistentemente en los bosques globales, a pesar del aumento de la mortalidad en algunas regiones, lo que sugiere que un controlador global como el aumento de CO₂ puede estar fomentando las ganancias de biomasa. Sin embargo, como solo se cuenta con datos del incremento de CO₂ desde el año 1960, no es factible aseverar con certeza que este sea el responsable directo del aumento en la tasa de crecimiento de los cedros en la Amazonia ecuatoriana.

Por otra parte, otro factor que también podría estar incidiendo directamente en el incremento de la biomasa es la temperatura superficial del océano (SST, por sus siglas en inglés), debido a que en la Amazonia occidental, específicamente, la variabilidad de la precipitación está determinada en gran medida por las anomalías de la SST en el Atlántico Norte Tropical. Es decir, que la precipitación en esta zona puede variar según el índice de Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés).

Según lo que se conoce, el AMO tiene un ciclo de alrededor de 65 años, con fases cálidas y frías. Una

fase cálida de este índice se desarrolló antes de 1900 (desde el año 1860), en los cedros de Yasuní, se observó que en este mismo periodo existió una tasa de crecimiento más alta. A su vez, que en la fase fría persistente que abarcó desde 1903 a 1924, la tasa de crecimiento del cedro se vio disminuida. Al contrario de esto, la tasa de crecimiento comenzó a aumentar nuevamente cuando se inició una fase cálida moderadamente fuerte en 1925-1970. Así que no se puede acreditar exactamente que el aumento de la tasa de crecimiento del cedro en la Amazonia ecuatoriana, se deba estrictamente al aumento de CO₂ en la atmósfera.

Po otro lado, también es claro ver que entre los años 1865-2012 el crecimiento óptimo se alcanzó en los árboles con diámetros intermedios (400-700 mm), por el contrario la tasa de crecimiento fue menor en los árboles de mayor diámetro y más edad. Esto quiere decir que existe una tendencia a que los árboles crezcan menos según aumenta su edad; lo cual, podría deberse a que los individuos adultos gastan sus recursos energéticos en la producción de flores y frutos, mientras que los juveniles gastan energía en su crecimiento vertical para alcanzar el dosel. También puede deber-

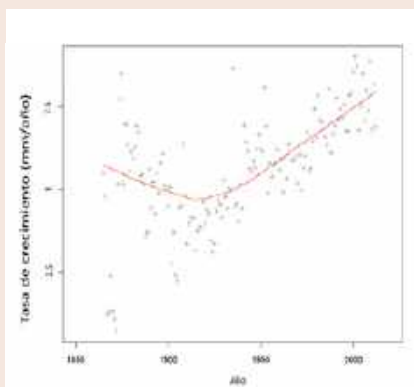


Figura 4: Crecimiento histórico de *Cedrela odorata* entre los años 1865–2012. La línea de tendencia indica un incremento en el crecimiento en los últimos 50 años, cada punto representa el crecimiento de un árbol en un año.

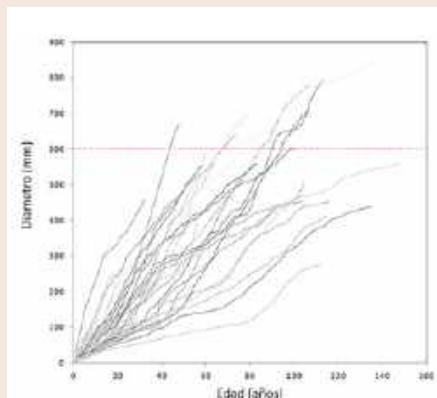


Figura 4: Relación entre la edad y el crecimiento acumulado en diámetro, la línea roja discontinua, paralela al eje de las abscisas, indica el diámetro mínimo de corta para el cedro en Ecuador.

se a que algunos de los árboles más longevos son senescentes y han dejado de crecer.

Al mismo tiempo, otro aspecto destacable de los cedros, es la gran variación de diámetro en árboles con edades parecidas. Así, por ejemplo, un individuo con diámetro >60 cm puede tener edades entre 48 y 148 años. A su vez, los anillos de crecimiento anual muestran que árboles de edad similar no siempre tienen diámetros similares, ya que un individuo de la misma edad que otro puede llegar a tener hasta el doble de su diámetro y, también, hay individuos que pueden alcanzar un diámetro de 600 mm en ~50 años, mientras otros de más de 140 años aún no llegan a este diámetro.

Finalmente, ¿qué nos queda después de todo?

A manera de conclusión, es factible decir que el cedro en la Amazonia ecuatoriana (o por lo menos en el bosque del Parque Nacional Yasuní) es muy dinámico y no existen estadísticas precisas que se repitan en todos los individuos, a pesar de pertenecer a la misma especie. Tan solo se puede sugerir que debido a la tasa de crecimiento promedio, un árbol alcanzaría el diámetro mínimo de corte a la edad de los 96 años aproximadamente. Por lo tan-

to, el periodo de rotación y tamaños de corte establecidos por la normativa ecuatoriana (turnos de rotación en la tala cada 20 años y diámetro mínimo de corte de 600 mm) llegarían a ser insostenibles para la especie. Por esta razón, deberían ser reconsiderados y reevaluados.

Por lo pronto, al día de hoy, el cedro junto con la caoba (*Swietenia macrophylla*) se encuentran en veda dentro de nuestro territorio nacional; pero es necesario que se continúen realizando estudios en estas especies que son altamente valoradas y explotadas por la tala ilegal, antes de que sus poblaciones se vean irremediamente afectadas.

Literatura consultada

- Brienen, R., Zuidema, P. (2006). Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology* 94: 481–493.
- Pan, Y., Birdsey, R., Phillips, O., *et al.* (2013). The Structure, distribution and biomass of the World's forests. Review. *Ecology Evolution System* 44: 593–622.
- Pereyra, M., Inga, G., Santos, M., *et al.* (2014). Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Tropical Biology* 62 (2): 783–793.
- Pérez, A. J., Hernández, C., Romero-Saltos, *et al.* (2014). *Árboles emblemáticos de Yasuní. Ecuador 337 especies*. Publicaciones del Herbario QCA. Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Fernandes, K., Baethgen, W., Bernardes, S., *et al.* (2011). North Tropical Atlantic influence on western Amazon fire season variability. *Geophysical research letters* 38: L12701

Los bosques secos: ecosistemas “solitarios”

■ Por Lic. Álvaro Lara (baru7279@gmail.com),
Catalina Quintana PhD, Laboratorio de Ecosistemas Secos
(cquintanam@puce.edu.ec).

A manera de introducción

Los ecosistemas secos son el punto de reunión de un gran número de especies que tienen una larga historia que contar; sobre cómo los animales y plantas se resistieron a cambiar cuando los grandes colosos se levantaron e impusieron un nuevo régimen de humedad, temperatura y precipitación. Muchas familias botánicas fueron separadas unas de otras y tuvieron la oportunidad de diversificarse, llenando diversos nichos en el nuevo ecosistema. A los científicos les gusta darle a esta historia el nombre de evolución; dilucidarla nos permite comprender la intrincada relación que existe entre los distintos miembros que construyen la gran familia de la vida a lo largo del tiempo. Con estas palabras queremos contar la historia de los bosques secos en el Ecuador, sus amenazas y estado de conservación, cómo es su diversidad y endemismo a nivel regional, de manera que ayude a entender los procesos que los hacen ecosistemas “solitarios”, incluso cuando se encuentran rodeados por páramos, bosques montanos y amazónicos.

¿Dónde se encuentran los bosques secos?

Los bosques secos en el Ecuador se encuentran distribuidos en la sierra y en la costa con una extensión de 47 260 km². Las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena,

El Oro y Guayas presentan bosques secos hacia el Pacífico, mientras que en la serranía las zonas secas se concentran en los valles interandinos (800-2800 m). Los ecosistemas secos han sido preferidos para asentamientos humanos y zonas de cultivos desde hace milenios (Piperno & Dillehay, 2008). Civilizaciones pre-colombinas se asentaron hace más de 10 000 años en zonas secas de Ecuador, Perú y México para iniciar un proceso de domesticación de plantas y animales. El clima y los suelos fértiles de las regiones secas dieron origen a zonas con alta densidad poblacional y a una demanda constante por energía y tierra, factores que intensificaron la degradación de la vegetación original (Blackie *et al.*, 2014). Importantes ciudades del Ecuador como Quito, Cuenca, Loja, Portoviejo, Manta,

entre otras, se ubican en zonas de bosque seco.

Un ecosistema amenazado

Lamentablemente, este ecosistema está entre los más amenazados del mundo, y los fragmentos que prevalecen son refugios de plantas nativas que incluyen parientes silvestres de plantas cultivadas como chirimoyas (*Annona cherimola*), aguacates (*Persea americana*), tunas (*Opuntia ficus-indica*), maní (*Arachis hypogaea*) entre los más conocidos. En épocas recientes, la destrucción del bosque seco se vuelve evidente, debido a la agricultura intensiva de productos como caña de azúcar, arroz, soya, maíz, papayas y pastizales para ganado. Anualmente, el Ecuador pierde 71 km² de bosques secos. Según el Ministerio del Ambiente, desde 1978, existe la



Renato Valencia.

Grandes extensiones de bosque seco de los alrededores de Bahía, en la provincia de Manabí, se encuentran transformadas en camaroneras.



Los ceibos son árboles característicos de los bosques secos del Pacífico ecuatorial.

declaratoria de veda a la extracción de especies nativas de flora y fauna en todos los territorios de bosque seco del Pacífico, bajo los 1000 m; por lo cual, teóricamente estos bosques estarían protegidos. Lastimosamente, la realidad es diferente y hoy en día la urbanización, la agricultura intensiva, la tala selectiva y el pastoreo son las causas para la transformación de estos bosques en grandes ciudades, pastizales y potreros, donde apenas el 2.3 % de su extensión se encuentra bajo algún nivel de protección. Estos bosques están sujetos a altas tasas de deforestación: así en la provincia de Loja, ubicada al sur del Ecuador, donde existen las mayores extensiones de bosque seco, la deforestación es de 30 km²/año. Los estudios indican que la deforestación unida al efecto del cambio climático afectará en la composición de especies y provocará la pérdida definitiva de varias especies de plantas y animales.

Se requieren acciones urgentes para conservar este ecosistema que alberga alrededor del 10% de especies endémicas registradas para todo el país (Quintana, Girardello, y Bals-

lev, 2019). El 21 % de las especies reportadas para la región seca del Pacífico ecuatorial son endémicas.

¿Qué se encuentra protegido?

Tanto el gobierno como organizaciones privadas unen esfuerzos para proteger estos bosques, así el Parque Recreacional Jerusalem protege 1110 ha, convirtiéndose en el único refugio para valles secos de altura del norte del Ecuador. En la costa del Ecuador, el Parque Nacional Machalilla protege 56000 ha, la Reserva Ecológica Arenillas protege 13170 ha. A nivel privado, en la provincia de Manabí, la Fundación Ceiba protege 200 ha de bosque seco, al igual que varias comunidades locales protegen cerca de 500 ha. La Fundación Naturaleza y Cultura Internacional preserva alrededor de 40000 ha de bosque en la zona tumbesina de la provincia de Loja. La reserva cantonal Los Guayacanes en Mangahurco y Cazaderos protege 15000 ha. En el suroeste del Ecuador en las provincias de El Oro y Loja la Reserva de la Biosfera de Bosque Seco protege 500000 ha.

El estudio de los bosques secos podría considerarse una carrera contra el tiempo debido a la velocidad con la que han sido devastados. A finales del siglo pasado, apenas



Estudios de monitoreo de la vegetación del bosque seco del Campus de Bahía de la PUCE.

quedaba 10% de la cobertura original de estos bosques en el neotrópico (<10%). En Ecuador, los bosques secos de la costa y del callejón interandino son los más deforestados; actualmente, apenas existen <5% de estos bosques. Pese a estos esfuerzos gubernamentales y privados la amenaza a este ecosistema continúa, por lo que son necesarias nuevas estrategias de conservación.

Hotspots de diversidad

Los bosques secos se caracterizan por presentar una estacionalidad climática que origina la pérdida de hojas de la mayoría de las especies y por presentar una distribu-



Fauna asociada a los refugios de bosque seco.



Salida de campo con los estudiantes de la materia optativa de Ecología de Ecosistemas Secos.

ción a manera de parches aislados unos de otros. En Ecuador, este ecosistema forma parte de dos importantes “hotspots” de biodiversidad: Tumbes-Chocó–Magdalena y Andes Tropicales.

A nivel regional, se sabe que los bosques secos son ecosistemas considerablemente diversos, especialmente cuando se habla de los bosques secos andinos (Särkinen, Pennington, Lavin, Simon, y Hughes, 2012). Así, los Andes presentan gran heterogeneidad a nivel de topografía y hábitat, lo que brinda a las especies muchas oportunidades ecológicas (Särkinen *et al.*, 2012). En un estudio realizado por Quintana *et al.*, 2016, se observó que los arbustos son la forma de vida más diversa, seguidas por las hierbas y los árboles, probablemente debido a la capacidad de captar agua y a la resiliencia al disturbio que presentan estas plantas. En contraste, las epífitas son poco diversas, probablemente debido al aislamiento geográfico, la falta de humedad y la poca complejidad del hábitat.

Varios autores creen que el levantamiento de los Andes provocó un gran aislamiento que, junto a la baja tasa de inmigración, aumentó en gran proporción el número de especies endémicas en los bosques secos interandinos. La separación puede llegar a ser tal que las especies

endémicas quedarían restringidas a un área muy limitada, donde cada pico y valle tendría su propia configuración de especies (Quintana, Girardello, Barfod, y Balslev, 2016)

Särkinen *et al.*, 2012, dice que el segundo levantamiento de los Andes durante los últimos

10 millones de años tuvo un gran impacto en la distribución de los bosques secos de las montañas andinas. Los cambios en la topografía, la temperatura y la precipitación llevaron a muchas especies a habitar parches considerablemente aislados unos de otros, donde las condiciones climáticas se encontraban en rangos altamente específicos. De esta forma, las plantas de los bosques secos conservaron fuertemente sus nichos; en consecuencia, su morfología y fisiología cambiaron poco a lo largo del tiempo. En este sentido, los bosques secos son los más antiguos entre los ecosistemas verdaderamente andinos. Algunos autores piensan que los patrones de aislamiento, diversificación y endemismo de los bosques secos los asemejan a islas en la mitad del océano, algo comprensible cuando se toma en cuenta su fuerte aislamiento geográfico (Särkinen *et al.*, 2012).

En conclusión...

Los bosques secos son lugares con una historia geológica y evolutiva única. No solo poseen una diversidad impresionante, sino que también se caracterizan por albergar a tantas especies endémicas como un bosque montano lluvioso. Su existencia es el resultado de la increíble convergencia entre poderosos fenómenos naturales y la asombrosa ca-

pacidad de la vida para labrarse un camino a pesar de la adversidad. La historia de los seres vivos es también nuestra historia y tenemos el deber de desenterrarla para cuidarla, pues el bosque seco es un viejo solitario y aislado que pide poco y da mucho; no obstante, un día, cuando menos lo esperemos, su generosidad se terminará junto con nuestra insaciable sed de recursos.

Literatura consultada

- Blackie, R., Baldauf, C., Gautier, D., Gumbo, D., Kassa, H., Parthasarathy, N., ... Sunderland, T. (2014). Tropical dry forests: *The state of global knowledge and recommendations for future research*.
- Piperno, D. R., & Dillehay, T. D. (2008). Starch grains on human teeth reveal early broad crop diet in northern Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(50), 19622–19627.
- Quintana, C., Girardello, M., & Balslev, H. (2019). Balancing plant conservation and agricultural production in the Ecuadorian Dry Inter-Andean Valleys. *PeerJ*, 7, e6207. <https://doi.org/10.7717/peerj.6207>
- Quintana, C., Girardello, M., Barfod, A. S., & Balslev, H. (2016). Diversity patterns, environmental drivers and changes in vegetation composition in dry inter-Andean valleys. *Journal of Plant Ecology*. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw036>
- Särkinen, T., Pennington, R. T., Lavin, M., Simon, M. F., & Hughes, C. E. (2012). Evolutionary islands in the Andes: Persistence and isolation explain high endemism in Andean dry tropical forests. *Journal of Biogeography*, 39(5), 884–900. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2699.2011.02644.x>

Las colecciones del QCAZ-Invertebrados una historia de la vida de los biólogos conservada en el Museo

■ Por Lic. Fernanda Salazar-Buenafío.
Museo de Zoología, QCAZ, Sección Invertebrados PUCE
(mfsalazar@puce.edu.ec).

Recordar es volver a vivir

Revisar la colección de Invertebrados del museo de Zoología, QCAZ, constituye un viaje en el tiempo por mil lugares, reconocer personas, palabras, momentos, sentimientos, aprendizajes; en fin, un cúmulo de recuerdos que marcaron mi vida.

Pero los recuerdos también nos llevan a la nostalgia de aquellos amigos que ya no están pero que dejaron su huella con su trabajo, entusiasmo y curiosidad por conocer más de nuestro Ecuador.

Llevo vivos recuerdos de paisajes: la luna llena reflejándose en el agua de una laguna, un amanecer en un páramo cerca del cielo, una carretera larga con el Sangay como marco en el fondo, un Antisana majestuoso totalmente despejado, una lluvia torrencial en la selva;



Al fondo, Volcán Sangay con sus fumarolas.

detalles difíciles de olvidar que alimentan el alma, la sencillez de las personas de una casa en el campo, un atún compartido entre diez, o el suelo duro y frío de una escuela que se convertía en el sitio estratégico para descansar y estar en contacto con la naturaleza.

Todo empieza y termina aquí

La colección de Invertebrados QCAZ, creada en 1982, es uno de los referentes más completos de la fauna de invertebrados del Ecuador; conserva especímenes recolectados por estudiantes e investigadores como fuente fundamental de crecimiento y desarrollo del conocimiento de la biodiversidad.

Hace 29 años, surgió la necesidad de enseñar a los estudiantes de la carrera de Biología técnicas de campo para la recolección de especímenes con fines científicos. Tomando en cuenta que esto implicaba cumplir estándares internacionales que garantizan la conservación de los especímenes y de la información adjunta.

Estimamos que al momento conservamos cerca de un millón de especímenes en la colección en seco (es decir montada y pinchada en alfiler) y se maneja otra cifra similar en la colección en alcohol. Además, contamos con la valiosa colección de especímenes tipo (especímenes únicos con los que se describe una especie) con 3000 ejemplares.

Cerca de un 60 % de la colección está identificada a nivel de especie y científicamente avalada por los expertos. Cada año recibimos decenas de solicitudes e investigadores que nos visitan y manifiestan su deseo de realizar estudios con nuestros especímenes, lo que demuestra que nuestra colección científica está activa y en constante movimiento generando nuevos descubrimientos e investigaciones anexas.

Lugares comunes en tiempos estratégicos 1992



Figura 1. Cascada de San Rafael

La Cascada de San Rafael (Fig. 1) ubicada en el límite de las provincias de Napo y Sucumbíos, que hasta hace pocos días era uno de los atractivos turísticos más impresionantes del Ecuador¹, fue el destino de varias generaciones durante el curso de Invertebrados.

Las cabañas de la estación de INECEL eran el punto de encuentro el día 1, el punto de salida en Quito era el partidero a Tumbaco ahora desvío al puente Guayasamín, el transporte era a

¹Lamentablemente, el 2 de febrero de 2020, esta imponente cascada sufrió una implosión (para unos) o una tubificación (para otros) y se quedó sin agua (N. E.).

tu elección, o sea lo primero que conseguías: bus, camioneta, camión, tráiler, etc., esta experiencia te daba la oportunidad de ver y vivir en forma distinta nuestro país; pero sobre todo te enfrentaba a la realidad del trabajo de un biólogo y ponía a prueba tu creatividad para sortear dificultades.

¿Las fechas? Fiestas de Quito, estratégicamente elegidas; un feriado largo que hasta hoy es aprovechado para estas clases vivenciales, en las cuales pones en práctica todo lo aprendido en teoría, como por ejemplo preparar frascos caseros de recolección, instalar trampas, reconocer el hábitat y su biodiversidad.

¿Qué encontramos?

Recuerdo claramente los bichitos que un poco inquietos acudieron a la trampa de luz colocada cerca del mirador de la cascada. Algunos saltamontes en forma de hojas (para mí los más grandes que había visto jamás), miles de mariposas con colores brillantes cubrían la sábana blanca parte de la trampa, pequeños escarabajos, mosquitas y avispas también revoloteaban cerca de la luz, y para mi sorpresa también ranitas y murciélagos acudían aprovechando la reunión descomunal de los insectos para conseguir un bocadillo.

La sorpresa no terminaba ahí; pues, ya en la mañana, muy temprano, partimos con rumbo a las faldas del Reventador, hermoso paisaje con quebradas impresionantes. A nuestro paso íbamos revisando plantas, troncos y piedras, esta es otra técnica de recolección. Chinchas, cigarritas, insectos palo, escarabajos, abejas de todos los tamaños, formas y colores que uno puede imaginar estaban ahí, en su hábitat; algunos, apenas perceptibles confundidos con



los colores de las plantas y las formas de las ramas.

En una poza los chinchas patinadores iban y venían a gran velocidad sobre el agua; recuerdo que bebimos de esta agua después de escuchar que ellos únicamente pueden vivir en aguas no contaminadas.



Stolas saundersi (Boheman 1856)

Los molestos tábanos hicieron de las suyas, con sus grandes y fuertes aparatos bucales traspasaban la ropa causando dolor e hinchazón con su picadura.

Después de caminar alrededor de 6 horas llegamos al lecho vacío de un río que había cambiado su curso después de la erupción del Reventador en 1987, aquí debíamos buscar bajo las piedras, recuerdo haber recolectado pequeños escarabajos.

Ya de regreso, al atardecer, aparecieron otros insectos que se ponen activos a la hora crepuscular; algunas mariposas (Hesperiidae) y polillas revolotean entre las flores, y grillos y chicharras empezaron a entonar sus cantos crepusculares.



El trabajo no termina en el campo

Las muestras tomadas en las diferentes salidas durante el semestre debían ser preparadas y entregadas al profesor como parte de la calificación en esta materia.

Esta era la parte más importante, porque si tu colección estaba bien preparada podría pasar a formar parte del QCAZ y sería considerada para estudios científicos posteriores.

Recuerdo que los insectos montados en triángulo tenían mayor nota, cabe anotar que solo los ejemplares pequeños (unos pocos milímetros) o frágiles se deben montar así. Esta técnica se la realiza bajo el estereoscopio y requiere de mucha práctica y precisión porque el individuo debe ser pegado del lado derecho al triángulo de cartulina y el lado izquierdo debe quedar totalmente visible para su clasificación, es por eso que no muchos nos arriesgamos a preparar así.

Si bien la técnica dice que los insectos deben ser pinchados en el lado derecho del tórax, entre la segunda y tercera pata en forma perpendicular, ya en la práctica es un poco más complicado porque se debe reconocer el lugar adecuado dónde pinchar cada ejemplar. Por eso, este era otro parámetro para calificar la colección.

El resto de invertebrados, que no eran insectos, debían ser entregados en funditas de plástico selladas con sus respectivas etiquetas (todo esto hecho a mano), o en frasquitos de anestesia que utilizaban los dentistas, conservadas en alcohol al 75 % que era el alcohol que se adquiría en las farmacias.

Entre los invertebrados que tenían mayor calificación ese año estaban los peripatus (invertebrados que se asemejan a gusanos considerados fósiles vivientes) especímenes raros en la colección del Museo. Y vaya suerte en mi colección tenía 10 de ellos de 3 lugares diferentes (Fig. 2).

Por último, la colección debía estar perfectamente etiquetada; es decir, junto a cada espécimen debía estar un papelito de 5 mm de largo por 4 mm de ancho en letra diminuta toda la información del lugar de recolección, lo más detallado posible, la fecha y el colector.

Sin esta información los especímenes pierden valor científico y no son aceptados para el QCAZ.



Figura 2. *Oropiripatus* sp.

Florencio Maza, técnico de la colección, es quién hasta hoy es el encargado de revisar las colecciones y de seleccionar los bichitos aptos para formar parte del Museo, lamentablemente no todos pasan la rigurosa prueba.

Una ventana que se nos abre al pasado y nos proyecta al futuro

Con el proceso de catalogación de los especímenes del Museo, se abre una ventana para redescubrir y saber: ¿qué paso con los bichitos que recolectamos?

El proceso de catalogación consiste en asignarle a cada ejemplar un número y recopilar la información de las etiquetas en una base de datos. Al momento, se tienen catalogados 160352 especímenes es decir apenas el 8% de la colección total. Y ahora está a disposición de todos en la Bioweb Ecuador <http://bioweb.bio/portal/>

Veintiocho años después les comparto algunos datos interesantes haciendo énfasis en reconocer a mis compañeros, los recolectores de estas especies nuevas (Fig. 3).

Coleoptera, Carabidae, *Pseudoxyscheila nitidicollis*, 4 paratipos recolectados en el Reventador y La Cascada de San Rafael por María José Troya, Ximena Carrillo, Lucía de la Torre y Eduardo Barahona.

Figura 3. Estudiantes de Biología año 1991.



Coleoptera, Passalidae, *Verres ono-rei*, 1 paratipo del Reventador recolectado por Pablo Salvador

Coleoptera, Passalidae, *Passalus kaupi*, 2 paratipos recolectados en Santo Domingo de los Colorados por Isabel Pallares y Ana María Quiñones, 2 paratipos de Nanegalito recolectados por Lucía de la Torre y Carlos Segovia (Fig. 4).

Orthoptera, Acrididae, *Loepacris diaphana*, 1 paratipo de Palmeras recolectado por María José Troya y 1 paratipo de Sangolquí recolectado por María Augusta Baldeón.

Hymenoptera, Vespidae, *Agelaia silvatica*, 1 paratipo de Palmeras recolectado por Julio Molineros.



Figura 4. Especies nuevas de escarabajos

Si usted es uno de los que se tomó en serio la recolección y preparación de los invertebrados cuando fue estudiante, no dude en buscar en la bioweb y reconocer sus bichitos para saber en qué forma está contribuyendo al conocimiento de la biodiversidad de nuestro país.

Dejando huella al andar

Los especímenes de la colección permanecen como testigos de expediciones a lugares que quizá se perdieron en el tiempo y atestiguan el trabajo arduo de personas arriesgadas y comprometidas con estudiar y conservar nuestra biodiversidad.

Como las piezas de un rompecabezas, cada ejemplar nos ayuda a recrear, por ejemplo, la fauna de insectos de un Quito de hace 30 años con más bosques y menos contaminado.

Lugares a los que quizá nunca más volveremos porque quedan en el fin del mundo o porque simplemente ya no están porque sucumbieron a la deforestación. Cientos de lugares muestreados y otros tantos que probablemente nunca visitaremos. Miles de bichitos conocidos y otros tantos, quizá millones, que nunca los conoceremos.

Desde aquí, desde el Museo de Invertebrados QCAZ seguiremos trabajando para que todos los ejemplares de la colección puedan estar al alcance de la comunidad, a través de la bioweb. Y, en especial, seguiremos inspirando y motivando a los estudiantes para que con sus colecciones sean parte del presente y futuro científico de nuestro país, de esta manera se conviertan en verdaderos entes de conservación de una biodiversidad conocida y estudiada.

Agri Andes Ecuador una iniciativa ecuatoriana en Inaturalist

■ Por Diego Mina^{1,2} y Olivier Dangles³, *

¹ Laboratorio de Entomología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. (dfmch.777@gmail.com), (jheniffertunja@gmail.com)

² Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Maestría en Agonomía: Mención Agroecología y Sanidad Vegetal, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Ecuador

³ Institut de Recherche pour le Développement, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR 5175, CNRS, Université de Montpellier, Université Paul Valéry Montpellier, EPHE, Montpellier, France.

Las nuevas tendencias de recepción y manejo de información

En los últimos años, ha existido una tendencia en la forma de obtener datos que alimenten bases de datos en favor de la ciencia (*big data*). El “crowdsourcing” o ciencia ciudadana, aparece como una opción, y es que debido al dramático ritmo de cambio de la Tierra, necesitamos una recopilación rápida de datos de todo tipo, entre los más importantes los registros ambientales. Esta necesidad, ha provocado que se integren nuevas clases de registros e información y en este caso nacen los registros de ciencia ciudadana digitales (Kays *et al.* 2019).

Sin embargo, en esta creación y manejo de bases de datos, existen ciertas ventajas y desventajas:

Entre las ventajas se puede mencionar que recolectar y manejar información digital a partir de bases digitales, ha permitido a los científicos hacer preguntas básicas a escala mundial (Tucker *et al.* 2018). Esto sumado a la rapidez con que las observaciones documentadas crecen, en comparación con los sistemas tradicionales de levantamiento de datos. En una experiencia específica de crowdsourcing observaron que la limpieza de bases requiere mucho

menos tiempo, y que ya no es necesario pasar la información del papel a las hojas de cálculo; básicamente, se crean hojas de información e informes automáticamente basados en datos digitales, alimentados por la motivación y compromiso de los usuarios en participar (Van Etten *et al.* 2016). Así mismo, es importante mencionar que la recolección de registros digitales también puede ser integrada en proyectos de tipo social (Kays *et al.* 2019). Tener nubes abiertas con datos, instrumentos y capacitación accesible, provoca una estimulación para posibles colaboraciones multidisciplinares entre investigadores, aumentando la potencialidad del impacto social (Pauliuk, 2020).

Como desventajas se puede anotar que muchas veces la precisión de estas observaciones es típicamente imposible de comprobar, ya que la mayoría no tiene registros que puedan ser verificados (Kays *et al.*

2019). Sin duda para las organizaciones colaboradoras y desarrolladoras, esto demandará una gran cantidad de esfuerzo, pues estas bases de datos deben ser sostenibles y duraderas en el tiempo (Fig. 1).

La tecnología al alcance de un solo botón

Hoy en día la ciencia está inmersa en el diario vivir de los seres humanos, y se ha vuelto parte fundamental del quehacer habitual. Últimamente, uno de los objetos tecnológicos que más usamos los seres humanos es el teléfono celular. Si a esto le sumamos contar con internet móvil, estamos hablando de un recurso muy potente. En 2017, dos tercios de los 7.6 billones de habitantes del planeta, ya contaban con un teléfono móvil (Gonzalez, 2018).

Actualmente, el uso de celulares, está volcado básicamente a las redes sociales (82.5% de las conexiones móviles), esto a más del uso



Figura 1. Esquematización de una colecta de datos a través del crowdsourcing o ciencia ciudadana

*Jheniffer Tunja, estudiante de Biología, colabora activamente con el Proyecto Agri Andes Ecuador en Inaturalist; asimismo, ha participado en la elaboración de este artículo.

de diversas apps., análisis realizados por organizaciones como *eMarketer*, *We Are Social* y *Hootsuite*, confirman estas tendencias, pese a existir realidades distintas dependiendo de la región del mundo.

A través del crowdsourcing, ciertas apps contribuyen para que estas observaciones digitales impulsen a la ecología espacial a la era de los grandes datos, todo al alcance de un solo botón. Algunas, incluso están incorporando mecanismos de facilidad para los usuarios, como por ejemplo el uso de la respuesta de voz interactiva usando el teclado de los teléfonos móviles (Van Etten *et al.* 2016). De este tipo de necesidades nacen un sinúmero de apps y webs de ciencia ciudadana para colaborar con la biodiversidad: *Biodiversidad Virtual*, *Ebird*, *Forest 112*, *Liquencity*, *Natusfera*, *Inaturalist*, entre otras.

Inaturalist: No solo una app para amantes de la naturaleza

Dentro del Proyecto Estrategias de manejo Integrado de plagas para el cultivo de chocho *Lupinus mutabilis* (LEGUMIP), financiado por la Fundación Mcknight y ejecutado con el apoyo científico del IRD, teníamos el compromiso de entregar un producto tangible, donde se pueda visualizar la diversidad de insectos (fitófagos y benéficos). Una de las prioridades en el proyecto es fortalecer el flujo de información y conocimientos entre agricultores, para mejorar su conocimiento sobre la entomofauna de sus cultivos y las posibles estrategias de control.

Para lograr esto, hoy en día la agricultura de precisión propone un amplio segmento de herramientas y tecnologías (Steele, 2017), algunas de estas ligadas al uso de apps, basadas en la confiabilidad y seguridad de almacenar datos en la nube.

Dichos sistemas incluyen todos los componentes necesarios para permitir a los agricultores monitorear remotamente sus cultivos, planificar tareas agrícolas desde cualquier dispositivo típico (PC, tableta o teléfono inteligente) de una manera muy fácil (Pavón *et al.* 2017).

El tema de las plagas es un tema presente en la agricultura y la realidad de nuestros productores; sin embargo, no es un tema que convoque el interés de los agricultores, y menos para hablarlo a nivel comunitario, existen muchas dificultades para hacer participar a las comunidades locales en las cuestiones de ordenación de los recursos (véase Borgerhoff Mulder & Coppolillo 2005; Williams 2007). Considerando lo mencionado anteriormente, junto con nuestros colaboradores, buscábamos una app que, a más de las características antes mencionadas, puedan conectarse a la razón de nuestra investigación, que es la gente del campo. En esa búsqueda nos encontramos con la app inaturalist, y apostamos a esta como una forma en que los agricultores puedan identificar su biodiversidad.

Inaturalist es una app que comenzó como proyecto final de maestría de tres estudiantes, en la Escuela de Información de la Universidad de California en Berkeley

2008. Con ayudas y colaboraciones adicionales, dos de los tres estudiantes continuaron trabajando en el sitio después de la graduación. Para 2011, logran organizarse como iNaturalist, y comenzaron a expandir el sitio a través de numerosas colaboraciones. En 2014, iNaturalist se convirtió en una iniciativa de la Academia de Ciencias de California, y en 2017, apoyó esta propuesta la National Geographic Society.

Esta es una de las aplicaciones de naturaleza más populares del mundo, ayuda en la identificación de plantas y animales. Actualmente, esta app nos conecta con una comunidad de más de 1000000 científicos y naturalistas (www.inaturalist.org). Los usuarios cuentan con la posibilidad de presentar de manera gratuita observaciones de organismos vivientes, en diferentes formas (fotografías, grabaciones de sonido o indicando avistamientos). Sin embargo, nada de esto sería posible sin todos los observadores, que aportan a esta comunidad. Inaturalist cuenta con 3 versiones; página web, app para iOS y app para Android (Fig. 2).

La app está vinculada a una gran base de datos, una vez que el usuario carga su observación, la app emplea inteligencia artificial, usando una red neuronal que maneja



Figura 2. Vista principal de la interfaz de app Inaturalist (Información tomada al 4/03/2020)

millones de imágenes y archivos, permitiendo tener la capacidad de suministrar recomendaciones automatizadas, acerca del tipo de vida silvestre que el usuario está observando. El algoritmo se nutre de la información proporcionada por la comunidad, y aprende a medida que va incrementando la base de datos, con los aportes de los cientos de miles de usuarios. Al ingresar una observación, arroja un top ten de las opciones más cercanas a una categoría taxonómica de la observación presentada. En ese momento, la observación queda ingresada como un registro de tipo “casual”; el algoritmo elige un taxón con el que más de 2/3 de los identificadores estén de acuerdo, con esto la observación pasa a la categoría “grado de investigación”, cuando la observación está en esta categoría, se integra a bases de datos en línea para uso de los investigadores (Fig. 3).

Agri Andes Ecuador: Nuestra propuesta inaturalist para redescubrir la biodiversidad de los agrosistemas ecuatorianos

Comprometidos con el desarrollo de la ciencia y el conocimiento, el proyecto LEGUMIP, apostó a este producto como un insumo para apoyar las investigaciones sobre el manejo integrado de plagas

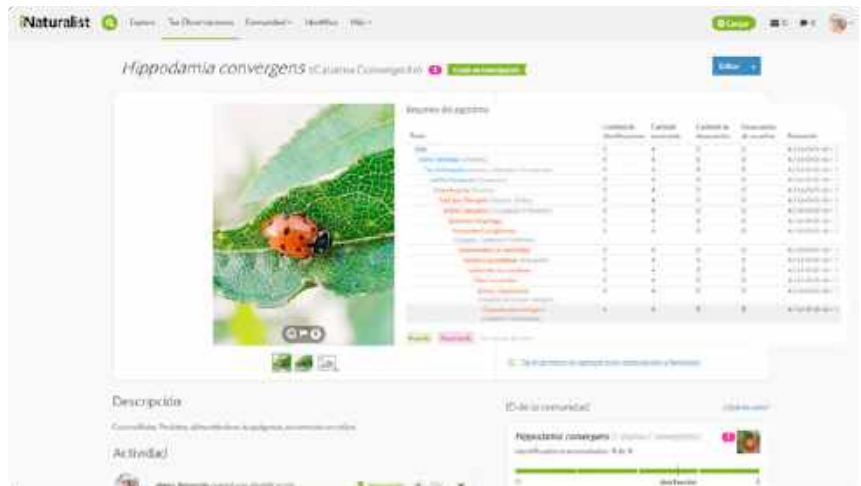


Figura 3. Datos del algoritmo detrás de las identificaciones realizadas en Inaturalist (Información tomada al 4/03/2020)

y agroecología, realizados en estos últimos tres años.

Agri Andes Ecuador es un proyecto dentro de la app inaturalist, que nace con el propósito de descubrir, aprender y compartir información sobre la diversidad de organismos (plantas, insectos, otros artrópodos y aves), que viven en los paisajes agrícolas de los Andes ecuatorianos. Somos un grupo de estudiantes, agricultores y científicos; amantes de la naturaleza convencidos de que los paisajes biodiversos son necesarios para los cultivos, la vida saludable y para una agricultura sostenible. El proyecto apuesta a esta alternativa, para marcar una diferencia de lo que actualmente ya se trabaja en temas de biodiversidad

de parques nacionales, pero que es menos apreciado con la biodiversidad que nos rodea (Fig. 4).

Actualmente contamos con 19 observadores entre estudiantes, profesores, científicos y agricultores, dentro de los cuales se encuentran agrónomos, biólogos, docentes, ecólogos, e ingenieros ambientales. Hasta marzo 2020 Agri Andes ha aportado con un total de 903 observaciones (sólo zona andina), de las cuales se han identificado 454 especies (58,37% plantas y 41,63% insectos), esto con la ayuda de 153 identificadores alrededor del mundo. Como se mencionó antes, por la naturaleza del proyecto nuestro

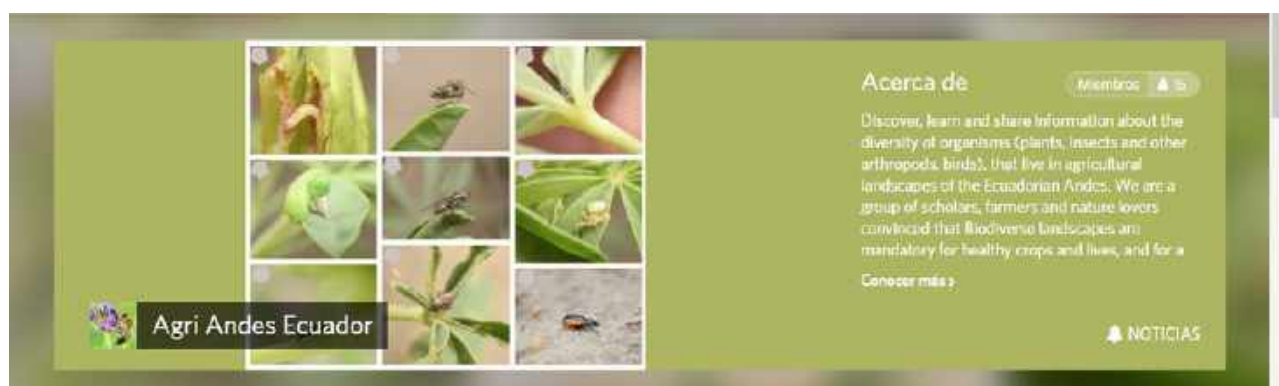


Figura 4. Portada proyecto Agri Andes Ecuador en app Inaturalist (Información tomada al 4/03/2020)



Figura 5. Estadísticas proyecto Agri Andes Ecuador en app Inaturalist (Información tomada al 4/03/2020)

centro de información sobre entomofauna (biología y ecología), gira en torno al cultivo de chocho; sin embargo, en Agri Andes, hemos incorporado observaciones no solo de plagas de chocho, sino también de otros insectos fitófagos y benéficos de otros cultivos, además de algunas plantas hospedadoras de dichos insectos (Fig. 5).

Como investigadores reflexionamos sobre varios puntos positivos en los que la app inaturalist puede contribuir a nuestro proceso de investigación, las ventajas son directas y van desde que: i). Es muy útil en el caso de identificaciones de insectos, pues a comparación de otras bases de datos, no se necesita registrar la identificación hasta nivel de especie, lo que es ventajoso cuando se trata de algunos grupos de insectos en Ecuador, que suelen ser poco estudiados, ii). Es una oportunidad para generar interacciones entre especialistas de mismos grupos taxonómicos, tanto nacionales como extranjeros, iii). La app es dinámica y muy versátil, una especie no identificada en un inicio lo puede ser después, iv). Es colaborativo y bueno para el manejo colectivo de plagas, v). Por la facilidad de usar la app a través de un dispositivo móvil, puede ser atractiva para jóvenes que ya no están interesados en el cam-

po, vi). Aporta a documentar la progresión de especies invasoras etc..., todo esto contribuye al desarrollo y conocimiento de la biodiversidad.

Nuestro reto es usar esta app como una herramienta para fortalecer la “entomo literacy”, y monitorear la aceptabilidad que puede tener una app de este tipo, frente a usuarios como agricultores, estudiantes, investigadores y personas en general que normalmente están día a día en sus campos. Este reto se llevará a cabo a través del proyecto Agro-ecological Management of crop Insects: Towards a Sustainable Collective Goal or Farmers (AMI-GO), que inicia en 2020, donde al igual que LEGUMIP, apostaremos a provocar un intercambio y fortalecimiento de conocimientos y habilidades, entre múltiples amantes de la naturaleza que se desarrollan en distintos contextos. Esta es otra forma de despertar el interés de las personas en manejar de una manera diferente sus cultivos, además de aportar para el conocimiento de la entomofauna en general y responder inquietudes de qué es, y como se pueden controlar ciertas plagas.

Referencias

Mulder, M. B., & Coppolillo, P. (2005). Conservation: linking ecology, economics, and culture. Prin-

ceton University Press.

Gonzalez I., (2018). Usuarios de internet y redes sociales en el mundo en 2018. iLifebelt Times. <http://bit.ly/2ySkV2H>

Kays, R., McShea, W. J., & Wikelski, M. (2019). Born-digital biodiversity data: Millions and billions. *Diversity and Distributions*.

Pauliuk, S. (2020). Making sustainability science a cumulative effort. *Nature Sustainability*, 3(1), 2-4.

Pavón-Pulido, N., López-Riquelme, J. A., Torres, R., Morais, R., & Pastor, J. A. (2017). New trends in precision agriculture: a novel cloud-based system for enabling data storage and agricultural task planning and automation. *Precision agriculture*, 18(6), 1038-1068.

Steele, D. (2017). Analysis of precision agriculture adoption & barriers in western Canada. Final Report.

Tucker, A., Böhning-Gaese, K., Fagan, F., Fryxell, J., Van Moorter, B., Alberts, C., Mueller, T. (2018). Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science*, 359(6374), 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>

Van Etten, J., Beza, E., Calderer, L., Van Duijvendijk, K., Fadda, C., Fantahun, B., ... & Kiambi, D. (2016). First experiences with a novel farmer citizen science approach: Crowdsourcing participatory variety selection through on-farm triadic comparisons of technologies (tricot). *Experimental Agriculture*, 1-22.

Williams, J. (2007). Linking science and practice: The pros and cons of the participatory research model. *Ecology, Management and Restoration* 8: 158-159.

El bosque del Yasuní tiene muchas caras, cientos de miles, y todas dependen de dos procesos ecológicos conocidos como servicios ecosistémicos de soporte: la fotosíntesis y la descomposición. Estos mantienen las plantas vivas, y al estar ellas en la base de la cadena trófica, toda la vida allí conocida está a merced de su buena salud y funcionamiento. ¿Qué factores bióticos y abióticos están detrás? Este es un tema que lo estudiamos en los Laboratorios de Entomología y de Ecología de Plantas de la Escuela de Ciencias Biológicas de la PUCE.

■ Por Dr. Rafael E. Cárdenas



instagram: @rafaelcardenas.photography

Pericos en Saladero Añangu despegan hacia el dosel.



instagram: @rafaelcardenas.photography

Serpiente *Bothrocophias hyoprora* (Viperidae) acechando en la noche.

Lorena Meneses Olmedo: una Ph.D. en Química con las pilas bien puestas

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

La primera vez que conocí y que me percaté de la importante presencia de Lorena Meneses Olmedo en nuestra Facultad, fue cuando nos reunimos todos los profesores para compartir los posibles cambios que se pensaban realizar en el pensum de las carreras que conformaban la facultad de Ciencias Exactas y Naturales: Biología y Química (Física-Matemática ya no contaba, pues no tenía alumnos; sus profesores se limitaban a prestar sus servicios a las facultades que lo requerían).

La Dra. Laura Arcos, a la sazón Decana de la facultad, dirigía la reunión mientras caminaba por el Auditorio 1 de la Torre 1. En la palestra de debate estaba el pensum de Biología. La doctora daba la palabra, interrumpía con pertinentes acotaciones, solicitaba ser concretos en las preguntas, motivaba a que expresemos inquietudes y sugerencias. El tiempo, como siempre, nos presionaba y apretaba. Habíamos rebasado ya las 13:00 h. Todos, o casi todos, pensábamos en ir a almorzar y en las clases que debíamos impartir desde las 15:00 h.

La Dra. Arcos, antes de dar por finalizada la reunión, preguntó en voz alta si alguien de la Escuela de Química tenía algo que expresar sobre el asunto en cuestión. Enton-

ces, vi una mano que se levantó y escuché una voz clara que dijo: “sí, yo doctora”. Y pasó adelante, como aquel que sabe qué, cómo y cuándo decirlo. La doctora, *sotto voce*, le pidió que no pasase de 20 minutos. Lorena, también en voz baja, le contestó: “no se preocupe, doctora, lo que necesito son, precisamente, veinte minutos”. Esbelta, con dominio de escenario, empezó su exposición. El tono de su voz era (es) agradable. Sus gestos naturales se volvían elocuentes, cuando su explicación lo necesitaba. Sus grandes ojos negros parecían mirar a todos y a cada uno de nosotros. En el auditorio reinaba el silencio producto de una atención concentrada. Y fueron veinte minutos de una exposición serena, clara, concisa, atrayente.

Cuando salimos del Auditorio, abordé a Lorena y le pedí que escribiese un artículo para *Nuestra Ciencia*. Aceptó con gusto, y desde el 2008 hasta la fecha no ha dejado de escribir sobre su querida especialización la Química, ciencia que,



Siempre con una mirada esperanzadora.

como bien lo anota en uno de sus artículos, “se la debe llamar Ciencia para la vida, y es a esta ciencia a la que debemos dedicarnos todos los que estamos involucrados en el quehacer científico, buscando siempre soluciones sustentables con el menor impacto a la naturaleza, proporcionando toda la ayuda necesaria para que la humanidad tenga una vida más confortable y feliz” (“Ciencia falsa”, *Nuestra Ciencia*, n.º 11, 2009, pp. 34-36).

Nos place, sobremanera, escribir el perfil de esta joven científica que nació en Ambato; pero que se considera ibarreña porque en esta “ciudad blanca” vivió toda su infancia y adolescencia. Ahí estudió



Poniéndose al día, a través de la lectura.

la primaria en la escuela Luis Leoro Franco y la secundaria en el Colegio Nacional de Señoritas Ibarra (hoy se llama Unidad Educativa Ibarra). Justamente, en este colegio, cuando pasaba a cuarto curso, tomó la especialidad de Químico-Biólogo. Y gracias a la licenciada Cecilia Palacios, profesora de esta materia, quien era muy entusiasta y tenía metodologías innovadoras para enseñar Química y que la motivó y desarrolló sus destrezas, Lorena comenzó a amar con pasión la ciencia que se convertiría en el destino profesional de toda su vida; pues, en su cerebro, cuando terminó la secundaria, había una idea fija: entrar a la Universidad Central para estudiar la carrera de Química.

Lorena no se contentó con ser Química, siempre aspiró ser más. Por esto, dejando parte de su corazón en Ibarra, viajó a Chile para obtener su doctorado en la facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la universidad de Chile, en

Santiago de Chile. Además, sus estudios de postgrado los realizó en Alemania, gracias a una beca del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), por sus siglas en alemán, puesto que ganó una beca en una convocatoria a nivel de Latinoamérica.

Como verá, amigo lector, se necesita tener bien puestas las pilas para, sin aspavientos, sin palabras altisonantes, mantener vigente la Escuela de Química de la PUCE, impidiendo que la “espada de Damocles” descienda y la elimine; en especial, en esta época en la que los jóvenes bachilleres no logran entender la verdadera importancia de la Ciencia Química en diferentes aspectos, tales como la defensa de la vida, proporcionar comida saludable y agua de mejor calidad, creación de nuevos combustibles que permitan reducir las emisiones de dióxido de carbono, combatir el calentamiento global, etc., etc. Tarea inmensa que solo alguien, con las pilas bien puestas (como dicen los estudiantes), puede llevarla a cabo y sostenerla.

Justamente, para conocer más detalles de su vida y obra le enviamos unas cuantas preguntas, que Lorena se dignó contestarlas. Eh aquí sus respuestas que las compartimos, para tener una mejor imagen no solo de la científica sino también de la maestra, compañera y amiga.

¿Cómo llegó a la PUCE y cuántos años lleva ya en ella?

Yo estaba en Chile, había terminado mi tesis doctoral y estaba esperando que me den fecha para la defensa pública de mi trabajo. Empecé a trabajar en la Universidad de Chile y en la Universidad Andrés Bello. Aún no había decidido si iba a volver al Ecuador o no. Un día, empecé a enviar mi currículum

a varias Universidades del Ecuador con una consigna: si había una oferta aceptable en Ecuador hasta el día de mi grado, volvía, caso contrario, me quedaba en Chile.

Resulta que el día que defendí mi tesis doctoral, el 30 de mayo de 2005, me llamaron de la PUCE porque estaban interesados en mi perfil. Me ofrecieron el cargo de profesora a tiempo completo y las facilidades de hacer investigación, así que ese momento tomé la decisión: vendí todo, hice maletas y volví al Ecuador. De eso, han pasado ya 14 años y medio.

¿Qué le gusta más: ser maestra o ser investigadora?

Las dos actividades son muy gratificantes. Cuando recién empecé creía que lo más importante era ser investigadora; pero, con los años, me he dado cuenta que la actividad docente es tan o más importante que la de investigación, pues en nuestras manos está la formación profesional de los jóvenes. Ahora disfruto mucho de las dos actividades: ser profesora me permite formar profesionales y ser investigadora me permite formar estudiantes desde el ámbito científico.

¿Cómo se lleva con sus estudiantes?

En general, mi relación con los estudiantes es buena. Suelo ser bastante estricta, pues creo que la formación que les damos debe ser integral y no solo centrarse en dar clases, sino en una formación basada en valores fundamentales. Eso no significa que no sea flexible con ciertas cosas. Pero temas como la honestidad, la puntualidad, el respeto, son imprescindibles dentro de mis clases. Uno se da cuenta que va dejando una buena huella, cuando los estudiantes se convierten en colegas y amigos al ser profesionales.

¿Qué significó para usted ser la Directora de la Escuela de Ciencias Químicas?

Fue un reto muy importante. Yo venía con muchas ideas de fuera y tenía inmensos deseos de implementarlas en la Escuela. Ser Directora, durante seis años, me dio la oportunidad de hacerlo. Claro que cristalizar las ideas no fue tan fácil como lo pensé, pero fue posible hacer muchos cambios y mejoras gracias al apoyo incondicional de los profesores de la Escuela y de las autoridades de la Facultad y de la Universidad. Ha sido una de las mejores experiencias de mi vida, pues pude retribuir a la Escuela y a la Universidad la confianza que pusieron en mí al contratarme.

Cuando estuvo como Directora, ¿cómo fue su relación con los colegas profesores?

Tuve una excelente relación con los profesores en esa época. A pesar de que yo era más joven que ellos, siempre me apoyaron mucho y trabajaron conmigo para conseguir los cambios que nos habíamos propuesto. Yo solía convocar a reuniones seguido y hacer partícipes a los profesores de todas mis ideas, para recibir retroalimentación y apoyo. Tuve mucha colaboración y fueron muy duros los golpes cada vez que un profesor se jubilaba. Reemplazarlos en la Escuela ha sido todo un reto.

¿Usted fue la creadora de la revista de Química: INFOANALÍTICA? ¿Por qué?

En la Escuela de Química se hacían trabajos de investigación muy interesantes, pero eran conocidos por pocos en la Escuela, pues quedaban solo en las disertaciones y se archivaban. La idea de visibilizar los trabajos de los profesores y estudiantes de la Escuela gatilló la idea

de tener una revista propia. También se dio la coyuntura de que el Centro de Publicaciones quería aumentar el número de publicaciones, así que aprovechamos ese impulso y sacamos el primer número en el año 2013. La revista pasó de ser un Boletín anual a ser una Revista semestral indexada en 5 bases de datos, entre ellas Latindex, DOAJ y Dialnet Plus.

¿Qué retos le plantea haber sido nombrada Subdecana de la facultad de Ciencias Exactas y Naturales?

Es un reto muy importante, sobre todo por la situación actual de la Educación Superior y de la Universidad. Creo que debemos todos aunar esfuerzos para que nuestra Universidad siga creciendo y continúe siendo un referente a nivel nacional e internacional. El estar en un cargo directivo me da la oportunidad de cristalizar varias ideas que estaban latentes. Si bien esto representa un reto, pienso que más que eso son oportunidades que nos da la vida para hacer más y trabajar por todos y para todos. Es una oportunidad de “Ser más para servir mejor” como dice el lema de nuestra querida Universidad.

¿Cuál sería su mensaje para los estudiantes de Química y para los estudiantes de la PUCE, en general?

En todo ámbito de la vida, debemos ser honestos, perseverantes, respetuosos y humildes. Siempre debemos actuar buscando el bien común. Si actuamos así, la vida nos recompensará y podremos lograr todo lo que nos propongamos, por más difícil que consideremos la meta. Todos tenemos capacidades excepcionales que debemos aprovecharlas. Mi mensaje para los estudiantes es que crean en ellos y que



Trabajando con la tecnología a la mano.

siempre busquen la felicidad a través de la carrera que han escogido.

Cuando estoy listo para poner el punto final a este perfil, se me viene a la memoria, no sé por qué extraña asociación de ideas, uno de los personajes claves de la novela de Saramago, *Ensayo sobre la ceguera*: la mujer del médico, quien, sin estar ciega, acompañó y guió a su esposo y a todos los otros ciegos en ese cruel peregrinar que significó estar ciegos perentoriamente. Y entonces, me digo, qué importante es que existan en la academia universitaria estos personajes, como Lorena, por ejemplo, que no se contentan solo con instruir sino que procuran transmitir valores como la honestidad, perseverancia, humildad, solidaridad. Seguramente, estos seres así formados “serán capaces de llevar encima el peso del universo y se les podrá ver como si nada estuviese ocurriendo”.

REVISTA infoANALÍTICA

La Revista infoANALÍTICA es una revista de la Escuela de Ciencias Químicas, publicada por el Centro de Publicaciones de la PUCE, desde el año 2013. En su volumen 8 número 1, presenta importantes novedades desde el punto de vista editorial y de contenido.

El cumplimiento de rigurosas características de calidad de una revista electrónica, de acuerdo con los requerimientos internacionales que deben cumplir las publicaciones científicas de acceso abierto, ha permitido que ya estemos indexados en Latindex, DOAJ, PKP, AmeliCA y Dialnet Plus, y en las bases de datos Academia y Google Scholar. Seguimos aunando esfuerzos para que la Revista infoANALÍTICA sea reconocida a nivel nacional e internacional como un portal de difusión de las ciencias químicas.

En este número, por segunda ocasión, hemos incluido la sección de Artículos de revisión, además de las tradicionales secciones de Artículos científicos y de Notas científicas. A pedido de nuestros lectores y autores, en esta nueva sección se presentan estudios bibliográficos que recopilan, analizan, sintetizan y discuten temas recientes o emergentes, que no hayan sido revisados de manera exhaustiva y crítica en los últimos años.

En el presente número, se han publicado artículos de revisión sobre variantes histónicas y la regulación de la expresión génica, análisis de métodos nucleares modernos (NRA y PIGE) y un protocolo de categorización de minerales arcillosos. En la sección de artículos científicos se presenta la eficiencia de encapsulación y capacidad de carga de antocianinas, el estado



trófico de la laguna de Yambo, estudios nutricionales del catzo y del chontacuro, una correlación de ensayos de la mina Copeto en Santo Domingo de los Tsáchilas y la síntesis y caracterización de compósitos de Halloysita.

En cada número, el comité editorial se compromete a la publicación de artículos con alto contenido científico y relevante para el desarrollo de la ciencia en el país y el mundo.

Dra. Lorena Meneses Olmedo
Editora

El universo novelesco en *El secuestro del general* de Demetrio Aguilera Malta (Alberto B. Rengifo A.)

Escribir sobre los grandes escritores es un desafío que obliga a enfrentarse a la crítica literaria y replantear horizontes interpretativos novedosos que enriquezcan el campo de los estudios literarios. Precisamente, Alberto Rengifo en este libro ahonda en el universo literario del insigne escritor ecuatoriano Demetrio Aguilera Malta, con un objetivo claro: encontrar el significado profundo de una obra que atañe a uno de los personajes más recurrentes de la literatura latinoamericana: el dictador.

Esta obra concluye con una profunda reflexión sobre el valor de la literatura en una época donde las humanidades luchan por no ceder su espacio a la tecnocracia. “El universo novelesco en *El secuestro del general*...” enfatiza sobre el poder de la literatura, que sin alejarse de su valor artístico y estético, pone en evidencia las situaciones anómalas que afectan a la condición humana y la capacidad de este arte para cuestionarlas en pos de su transformación. De esta manera, Alberto Rengifo hace eco de la propuesta creativa de Aguilera Malta: escribir para denunciar la



injusticia social, redimir a todo ser humano y dejar viva la esperanza.

Karina Ortiz Pacheco
Docente de la PUCE



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador



APPUCE



Por Rafael E. Cárdenas - @rafaelcardenas.photography

El volcán Antisana: uno de los grandes colosos de nuestra cordillera oriental ecuatoriana. Testigo de la llegada del ser humano a América, de horrendas batallas entre pueblos y culturas, y base para el entendimiento de la ecología de sus organismos desde Humboldt hasta los científicos de nuestros días.