

CN | Ciencia Nicolaita 95



Diciembre de 2025

Revista Científica

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Ciencia Nicolaita

ISSN: 2007-7068

Jaime Espino Valencia

Director

José López Bucio

Editor

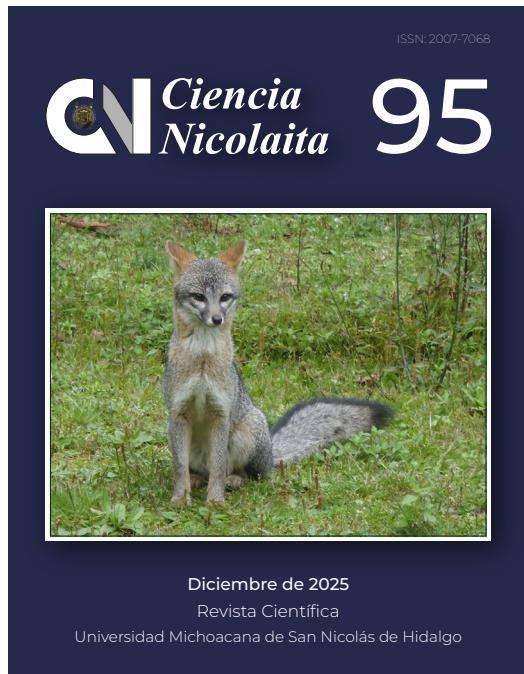
Comité Editorial

Luca Tessieri, Instituto de Física y Matemáticas; **Sabina Irene Lara Cabrera**, Facultad de Biología; **María de Lourdes González Arqueros**, Investigadora por México SECIHTI comisionada al Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; **Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez**, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales; **Jesús Cirilo Trujillo Jiménez**, Facultad de Ingeniería Mecánica; **Elia Mercedes Alonso Guzmán**, Facultad de Ingeniería Civil; **Rosa Elva Norma del Río Torres**, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas; **Joel Edmundo López Meza**, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; **Héctor Eduardo Martínez Flores**, Facultad de Químico Farmacobiología; **Francisco Shidartha Guzmán Murillo**, Instituto de Física y Matemáticas; **José Antonio González Cervera**, Instituto de Física y Matemáticas; **José María Ponce Ortega**, Facultad de Ingeniería Química; **Ernesto García Pineda**, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas.

Comité Editorial Externo

Daniele Colosi, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, México; **Carlos Alonso Maya Lastra**, Columbia University, Department of Ecology, Evolution and Environmental Biology, USA; **Rafael Ángel Reyna Hurtado**, Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Campeche, México; **Zayre Ivonne González Acevedo**, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, México; **Ramón Marcos Soto Hernández**, Colegio de Postgraduados, Postgrado en Botánica, Estado de México; **María Esther Olvera Cortés**, Centro de Investigación Biomédica de Michoacán, Instituto Mexicano del Seguro Social, México; **Ignacio Alejandro Figueroa Vargas**, Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México; **Enrique Acha Daza**, Profesor Emérito de la Universidad de Tampere, Finlandia; **Víctor Manuel Ambriz Díaz**, Instituto Tecnológico de Chihuahua; **Luis Fernando Guerrero Baca**, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Apoyo editorial y maquetación: Fidel Anguiano Rodríguez.



Ciencia Nicolaita

ISSN: 2007-7068

Revista Ciencia Nicolaita número 95, diciembre de 2025
<https://www.cic.cn.umich.mx>

Imagen de portada

Descripción: Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*)

Foto: Jonatan Torres-Pérez-Coeto

Directorio	i
Contenido	ii
Presentación	iv

Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra

Indirect estimates of scalar-tensor modifications of the growth of structure at large scales

Ana Avilez López

1

Biología y Química

Mortalidad masiva de *Chelonia mydas agassizii* asociada a florecimientos algales nocivos

Carlos Delgado-Trejo , Cutzi Bedolla-Ochoa

15

Consumo hídrico y transpiración en juveniles de *Persea americana* y *Pinus pseudostrobus*

Fernando Quiroz Rivera, Alberto Gómez-Tagle Chávez

23

A morphometric assessment of Lake Camedcuaro, Tangancicuaro, Michoacan, Mexico Arturo Chacón Torres  , Catalina Rosas Monge, Frida Sauno Contreras, Alma Itzel Jacobo Escamilla, Gustavo Adolfo Reyes Alvarado, Carlos Alberto Fernández Ledesma	35
Dinámica estacional del sistema del dióxido de carbono en el lago cráter La Alberca de los Espinos: implicaciones para los arrecifes microbianos J. Fernando Alvarado Rodríguez  , Héctor Nava  , Estefanía Izaguirre Quesada, Carlos Orión Norzagaray López 	43
Variación en los patrones de actividad diaria de la zorra gris (<i>Urocyon cinereoargenteus</i>) en tres ecosistemas de México Eduardo Mendoza  , Franceli Macedo Santana	52
Los huracanes y su efecto sobre los animales: el caso de anfibios y reptiles Ireri Suazo Ortúñoz  , Jorge Alejandro Marroquín Páramo	61
Actualización de la riqueza mastofaunística de Michoacán Tiberio C. Monterrubio Rico  , Raymundo Cervantes Barriga  , Iván Díaz Pacheco  , Juan F. Charre Medellín  , Joaquín Arroyo Cabrales 	68
Biotecnología y Ciencias Agropecuarias	
Efecto de la adición del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) a la dieta de ratas con diabetes inducida sobre niveles séricos de glucosa y citoarquitectura pancreática Cyntia Michelle González Borja, Rosa Elena Pérez Sánchez  , Manuel López Rodríguez, Daniel Val Arreola, Juvenal Esquivel Córdova y Ruy Ortíz Rodríguez	92
Associated diseases to prickly pear (<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.) in the South of Morocco Redouan Qessaoui, Salahddine Chafiki, Rachid Bouharroud 	101
Miscelánea	
El aguacate o la vida: percepción social sobre deforestación y cambio de uso de suelo en una comunidad purépecha Sara Ramírez Lorenzo, Josefina Cendejas Guízar 	107
Ética y ciencias para la sustentabilidad: el decenio internacional como oportunidad transformadora Mateo Alfredo Castillo Ceja  , Rosalía López Paniagua 	119
Reseña	
Sobre Miguel Martínez Trujillo (autor), <i>La humanidad joven. Novela de un futuro cercano</i>. Morelia, Michoacán, 2025, ISBN-13: 979-8307294222 Presenta José López Bucio	130

Presentación

Ciencia Nicolaita No. 95, Diciembre 2025.

Estimados lectores:

Este número de *Ciencia Nicolaita* celebra dos acontecimientos relevantes: 1) el impacto y pertinencia social que tiene la revista y que se refleja en un número creciente de accesos para la lectura de sus reseñas y los artículos que se publican, de libre acceso a todo público y 2) el XXX aniversario del instituto de investigaciones sobre los recursos naturales (INIRENA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

En relación al primer aspecto y considerando como referencia la última década, la revisión de los resúmenes, mensualmente hablando, se incrementó desde un máximo de 2000 consultas en octubre de 2015 hasta alrededor de 12000 en noviembre de 2025 (**Figura 1a**), en tanto que la descarga de los artículos aumentó desde alrededor de 1500 hasta más de 7000 en el mismo periodo (**Figura 1b**). Los indicadores anteriores nos hablan de la enorme pertinencia social que tiene la revista para la diseminación del trabajo científico y es menester reconocer a los autores que han hecho posible este crecimiento, a los revisores expertos que han otorgado su esfuerzo para la mejora de los contenidos y de los editores que han conducido con gran acierto los procesos de revisión por pares.

La Benemérita y Centenaria Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, institución educativa de trascendencia nacional, en su compromiso social de apoyar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la conservación del medio ambiente y la solución de los problemas que afectan el desarrollo de la sociedad mexicana, fundó el INIRENA el 15 de marzo de 1995. Desde ese año, estos principios filosóficos, así como sus bases académicas, no solamente han permanecido vigentes, sino que se han fortalecido con la pertinencia, congruencia, disciplina y calidad académica de cada uno de sus integrantes. Muestra de lo anterior son 7 de los artículos incluidos en este número que abordan temas diversos, enfocados al conocimiento y uso de los recursos naturales que, si se manejan de manera responsable y estratégica para garantizar su conservación y renovación, ofrecen un gran potencial para impulsar el desarrollo social, económico y cultural, contribuyendo así al bienestar general de nuestro país.

En *Ciencia Nicolaita* celebramos este XXX Aniversario del INIRENA y no dudamos del gran impacto que tendrán los artículos que aquí se presentan en



Figura 1. Indicadores de consulta de la Revista Ciencia Nicolaita en el periodo Noviembre 2015 a Noviembre 2025, a) Consulta de resúmenes en la pagina web, b) Artículos descargados de la pagina web.

la implementación de estrategias para cumplir con el objetivo fundacional de dicho instituto, y agradecemos la labor realizada por autoridades del INIRENA y en particular del **Dr. Arturo Chacón Torres** en la compilación de los trabajos.

Este número se complementa con artículos de considerable interés en las áreas de las ciencias físico matemáticas, biotecnología, ética y conservación que avanzan el conocimiento en sus respectivas áreas. ¡Que este año que finaliza esté lleno de parabienes, felices fiestas decembrinas y un feliz y próspero 2026!

José López Bucio
Editor



Indirect estimates of scalar-tensor modifications of the growth of structure at large scales

Ana Avilez López^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Av. San Claudio SN, Col. San Manuel, Puebla, México.

² Centro Internacional de Física Fundamental, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Apdo. Postal 1152, Puebla, Pue., México

Dates

Received: July 2nd, 2025

Accepted: November 5th, 2025

Available online: December 2025

Corresponding author

Ana Avilez-López

email: ana.avilezlopez@correo.buap.mx

Abstract

An estimate to possible modifications to the growth of structure at very large scales according to cosmological observations different to direct measurements of LSS is derived. In order to do so, we construct and constrain the Effective Scalar-Tensor theory (EST) which arises as a phenomenological setup for modified theories of gravity as a first approximation in the very large scales limit where non-linearities are negligible. Estimates of the EST parameters are made using observations of the CMB from Planck and WMAP9(pol), along with other complementary data which lead to an indirect determination of the growth rate of LSS. It is assumed that the growth behaves as a general power law $\mu = \mu_0(1 + ra^s)$ which is one-to-one mapped to an specific effective scalar-tensor theory defined by $\omega(a) = m a^n$ where $m = 1/2r\mu_0$ and $n = -s$. We derive a 1σ constraint for the exponent $n = -0.47^{+0.32}_{-0.47}$ and $m = 50.1 \pm 11.2$ or $m > 3.2 \times 10^3$ according to measurements of the CMB anisotropies from Planck and complementary data from BAO and HST. The result suggests two possible regimes where modifications of the growth may be detected in redshift surveys: 1) $\frac{\mu}{\mu_0} - 1 < 6.2 \times 10^{-3} a^{0.47^{+0.32}_{-0.47}}$ and 2) $\frac{\mu}{\mu_0} - 1 = 10^{-2} \pm 0.089 \times a^{0.47^{+0.32}_{-0.47}}$.

Keywords: Cosmology, Scalar-Tensor Theories, Large Scale Structure of the Universe

Introduction

The large-scale structure of the universe is expected to be observed with unprecedent accuracy by the next generation surveys. These observations will provide a healthy source of data to probe the relationship between matter overdensities and the geometry of space-time quantified by the gravitational potentials. Any metric theory of gravity predicts a specific form for this relationship. These predictions for alternative theories of gravity depart from those of the standard model based on General Relativity. Therefore, this upcoming data will allow us to estimate the viability of a variety of theoretical prescriptions of gravity including the standard model.

A usual way to handle these generic modifications of the growth of structure within linear per-

turbation theory is to parametrize the standard equations describing the dynamics of sub-horizon perturbations in the Newtonian-Conformal gauge in the quasi-static limit. As explained in (Song et al., 2010; L. Pogosian & Zhao, 2010; Hojjati et al., 2012), such parameterizing functions are related to the growth of structure and other observable quantities. If we were able to measure them at every scale and redshift, we would determine a specific theoretical model to describe LSS inhomogeneities. However, such task is difficult if not impossible so far. A more feasible option would be to reduce the space of models by taking a wide set of parametric models based in a particular modified theory. Therefore, the huge task determining two free functions is reduced to estimate parameters. Within the context of models where gravity is modified at large scales aiming to predict the ex-

pansion of the universe, a general phenomenological setup has been proposed by Song et al. (Song et al., 2010). In that work they consider models in which the modification of gravity is achieved by a scalar field coupled to the metric. They assume a massless scalar and they neglect self interactions at linear scales since they only play the role of screening the scalar at small scales, though they may still have considerable effect at large scales this only happens due to non-linear effects. At the end they get the set of Bergmann-Wagoner scalar-tensor theories (Bergmann, 1968). The starting point of this work is indeed such phenomenological setup, an extra simplification we make is to consider a power-law functional form of the growth, the reason of doing this is that its form in the standard model behaves as a very specific power law given by $\Omega_m^{0.6}$ (Dodelson, 2003; Peebles, 1993), so that it is reasonable to consider a generic power-law. What we get at the end is a particular form for the theory free function $\omega(\phi(a))$ given by a power law of the scale factor as well. We dub such particular subset of the Bergmann-Wagoner scalar-tensor theories the effective scalar-tensor theories (EST). Thus, we identify a one-to-one mapping since any specific form of the growth corresponds to a specific function $\omega(\phi(a))$ which uniquely defines a particular EST. This correspondence between the growth and the parameters of gBDT is very useful since it allows us to indirectly derive constraints to growth by using constraints of the parameters of EST and viceversa.

The main goal of this work is to derive an estimate for possible modifications of the growth by using estimations of the parameters of EST by using cosmological observations different to direct observations of LSS. We study the cosmological theoretical predictions of EST in order to figure out observational signatures leading to test the theory with sensible data. We sample the parameter space of EST in order to compute the likelihood function corresponding to recent CMB observations from Planck and other complementary data. This allows us to estimate the range of values of the EST parameters allowed by recent observations and hence to derive indirectly a bound for possible modifications of the growth allowed by these datasets.

This paper is organized as follows, in section

2 we review the construction of EST from the phenomenological setup first proposed by (Song et al., 2010). In section 3 we study the EST model for a perturbed flat FRW universe with standard ΛCDM matter-energy content. We analyse some cosmological predictions either from the background evolution and for perturbations in order to figure out qualitatively the extent of sensitivity of the observables to the parameters aiming to single out possible detectable effects. In section 4 we present methodology and technical aspects of the bayesian analysis we carried out. In the fifth section we present and discuss the results. Finally, we make our conclusions at section 6.

2. A Phenomenological Setup for Modified Gravity

In order to understand the evolution of inhomogeneities at small scales it suffices to study the dynamics of sub-horizon perturbations in the quasi-static limit which is fully described by the Newtonian prescription. In order to describe the geometry of this perturbed universe we use the perturbed Friedmann-Robertson-Walker metric in the Newtonian-Conformal gauge

$$ds^2 = -(1 + 2\Psi)dt^2 + a(t)^2(1 + 2\Phi)\delta_{ij}dx^i dx^j, \quad (1)$$

where Φ and Ψ correspond to the gauge invariant Bardeen potentials which represent the gravitational potential in the Newtonian limit. The scale factor $a(t)$ quantifies the expansion of the universe. In order to take into account possible modifications to the growth of sub-horizon perturbations usually some undetermined functions η and Q are introduced as follows ¹

$$\begin{aligned} k^2\Phi &= 4\pi G_N a^2 Q(a, k) \rho_m \Delta_m, \\ \Phi + \eta\Psi &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

$\eta(a, k)$ and $Q(a, k)$ are free functions of the scale factor and the wavenumber and are directly related to observable quantities at different epochs and scales. On one hand, measurements of the Newtonian potential Φ (and then Q) can be obtained directly from galaxy distribution, however this is difficult due to the bias of galaxies. On the other

¹if no anisotropic stress at late times is assumed to exist.

hand, weak lensing and Integrated-Sachs-Wolfe (ISW) effect are sensitive to $\frac{\Phi - \Psi}{2} \sim \frac{Q}{2}(1 + \eta^{-1})$ which is an unbiased quantity. Additionally, peculiar velocities are proportional to $\Psi \sim \frac{Q}{\eta}$. In principle, Q , Σ and η might be constrained in a model-independent way, however a quite large number of degrees of freedom are to be determined with a very small amount of observational data. So we are forced to abandon the fully model-independent approach and instead we can use a wide set of parametric models. Regarding to physically viable theories in which a modification of gravity is accomplished by an scalar degree of freedom $\phi = \bar{\phi} + \delta\phi$, the Horndeski theory (HT) represents a large class of this kind. Because we are focusing on the linear regime, it is reasonable to pick the subset of HT whose perturbation $\delta\phi$ tend to that within the Brans-Dicke theory at large scales, as prescribed by the reduced Horndeski theories (RHT) proposed at (Avilez & Skordis, 2014).

In first place, it is well known that, at the level of the background, there exists a degeneracy between ΛCDM and other models like DGP, Galileons, etc. since all of them predict considerably well the observed expansion of the universe. Thus a different kind of phenomena is needed to break down this degeneracy. For instance, observations of the dynamics of coherent sub-horizon linear perturbations. In the limit mentioned above, the equations for the HBDT describing their dynamics reduce to

$$\begin{aligned}\Phi - \Psi &= \delta\phi, \\ k^2\Phi &= 4\pi G_N a^2 \rho_m \delta_m + \frac{k^2}{2} \delta\phi, \\ (2\omega + 3)k^2 \delta\phi &= -8\pi G_N a^2 \rho_m \delta_m - \mathcal{I}(\delta\phi),\end{aligned}\quad (3)$$

where ω corresponds to the Brans-Dicke parameter, ρ_m and δ_m are the matter background density and the density contrast of matter respectively, with

$$\begin{aligned}\mathcal{I}(\delta\phi) &= M^2 \delta\phi + \int \frac{d^3 k_1 d^3 k_2}{(2\pi)^2} \delta(k - (k_1 + k_2)) \\ &\times M(k_1, k_2) \delta\phi(k_1) \delta\phi(k_2).\end{aligned}$$

The M parameter controls the extent of self-interaction of the scalar degree of freedom of gravity. These interactions are important only at the

non-linear regime at very small scales, however they are not relevant for linear cosmological perturbations. It is important to point out that effectively G_N and ω can be functions of the scale factor.

From the previous equations we can obtain analytically η and Q

$$\begin{aligned}Q(k, a) &= \frac{2 + 2\omega + M^2 a^2 / k^2}{3 + 2\omega + M^2 a^2 / k^2}, \\ \eta(k, a) &= \frac{2 + 2\omega + M^2 a^2 / k^2}{4 + 2\omega + M^2 a^2 / k^2}, \\ \mu(k, a) &= \frac{Q}{\eta}.\end{aligned}$$

Though it sounds obvious, we want to state clear that the parameterizing functions reduce to one in the case of GR. For EST there are two ways to recover GR : $\omega \gg 1$ or $\frac{M^2 a^2}{k^2} \gg 1$. From the previous equations we can notice that because $\Sigma = 1$ either the ISW effect and the lensing potential remain the same as in GR.

On one hand, it is a well known result in GR that $\mu_0 \sim \Omega_m^{0.55}$ (Dodelson, 2003; Peebles, 1993). On the other hand we only expect small deviations from the GR predictions within EST, as we already mentioned it is quite reasonable to assume that overdensities grow as in GR plus a small modification behaving as a power law of the scale factor as well

$$\mu = \mu_0(1 + ra^s). \quad (4)$$

For coherent perturbations the linear M^2 term may be important, however because it has been strongly constrained in (Faraoni, 2009) we assume $M^2 \sim 0$. By combining equations (3), the difference of the Bardeen potentials can be written in terms of the density contrast of matter and the Brans-Dicke parameter such that the power law ansatz for μ can be related to an specific power law of ω given by

$$\omega(a) + \frac{3}{2} = \frac{1}{2r\mu_0 a^s} = ma^n \quad (5)$$

where $m = 1/2r\mu_0$ and $n = -s$. Such functional form arises. Thus, for every specific modification of the growth there is a unique scalar-tensor theory defined by (5)

In this work we go beyond the quasi-static limit. Our goal in this work is to test the growth indirectly by estimating the parameters of EST for a full range of scales and hence we take into account relativistic effects. Therefore, care should be taken about the implications mentioned above. For instance, since μ parametrizes the linear growth, it can also be interpreted alternatively as a classical “running” G_N constant in the quasi-static limit. However, beyond that limit, the Newton constant is much more than that, and even in the simplest cases like BDT and EST such interpretation of the growth is not valid. Actually the dynamical G_N encodes much richer phenomenology beyond the growth. Furthermore, in more complicated frameworks such as the Horndeski-like theories, screening mechanisms arise naturally and the GR predictions at small scales are recovered, in turn, at cosmological scales the extra degrees of freedom show up and G_N affects not only the growth but the whole set of cosmological predictions. Indeed, in the specific case of EST the scalar itself plays the role of such dynamical coupling.

3. The Model

The action describing the general scalar-tensor theories is given by

$$S = \frac{1}{16\pi G_N} \int d^4x \sqrt{-g} \left[\phi R - 2\Lambda - \frac{\omega(\phi)}{\phi} (\nabla\phi)^2 \right] + S_m,$$

where matter couples minimally to the metric and the scalar affects matter only indirectly by means of the metric, so the evolution of matter is determined by the conservation equations. The local value of the scalar field is related to the Newton constant that we measure in a Cavendish-like experiments in order to implement the Mach principle.

Let us consider a universe with flat, homogeneous and isotropic spacetime and ΛCDM matter-energy content. The modified Einstein equations describing the geometry of this universe within EST reduce to a modified version of the usual Friedmann and Raychaudhury equations given by (Dodelson, 2003)

$$\begin{aligned} \left(H + \frac{1}{2} \frac{\dot{\bar{\phi}}}{\bar{\phi}} \right)^2 &= \frac{8\pi G_N}{\bar{\phi}} \rho + \frac{\Lambda}{\bar{\phi}} + f(\omega) \left(\frac{\dot{\bar{\phi}}}{\bar{\phi}} \right)^2 \\ -2\dot{H} - 3H^2 - \frac{\ddot{\bar{\phi}}}{\bar{\phi}} - 2H \frac{\dot{\bar{\phi}}}{\bar{\phi}} - \frac{\omega}{2} \left(\frac{\dot{\bar{\phi}}}{\bar{\phi}} \right)^2 &= \frac{8\pi G_N}{\bar{\phi}} P - \frac{\Lambda}{\bar{\phi}}. \end{aligned}$$

The evolution of the background scalar $\bar{\phi}$ in a flat FRW universe is governed by

$$\ddot{\bar{\phi}} + 3H\dot{\bar{\phi}} = \frac{1}{2\omega + 3} \left[8\pi G_N(\rho - 3P) + 4\Lambda - \frac{d\omega}{d\bar{\phi}} (\dot{\bar{\phi}})^2 \right],$$

where $\dot{\bar{\phi}} = \frac{d\bar{\phi}}{dt}$ and $H = \frac{\dot{a}}{a}$ with t the proper time.

In the particular case we are concerned of, $\frac{d\omega}{d\bar{\phi}} = \frac{Ha}{\dot{\bar{\phi}}} \frac{d\omega}{da} = \frac{Ha}{\dot{\bar{\phi}}} nm a^{n-1}$. For $n = 0$ we clearly have the original Brans-Dicke theory.

Strictly speaking, the initial conditions must be fixed by the boundary conditions of the solution on small scales where observers in bound systems in the quasi-static regime like our solar system, would measure (Brans & Dicke, 1961; Clifton, Ferreira, Padilla, & Skordis, 2012)

$$\bar{\phi}_0 = \frac{1}{G_N} \frac{4 + 2\omega_0}{3 + 2\omega_0},$$

where $\omega_0 = \omega(a = 1) = m$.

We use units where $\bar{\phi}_0$ is dimensionless. However, we consider modifications of GR at the very large scales, where $\bar{\phi}_0$ should be allowed to have different values than those for EST, for that reason we study models in which it is a free derived parameter. From now on, we shall call such models as “unrestricted models” (uEST). For completeness, we also consider models which gravitational coupling is fixed as usual, we call them “restricted models” (rEST).

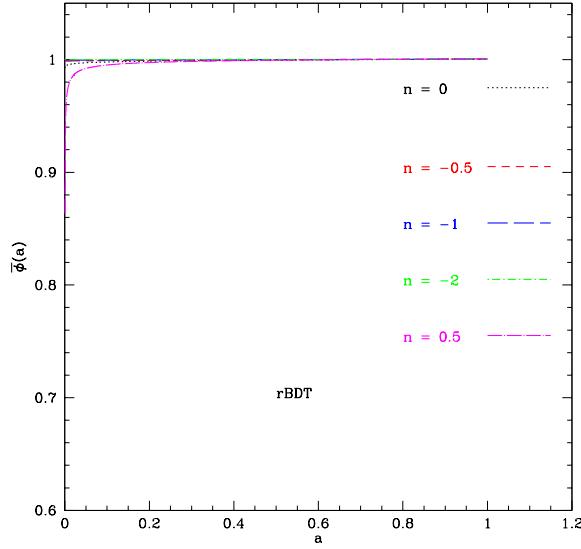


Figure 1. The scalar field solutions for $\omega(a) = ma^n$. As m increases the variation of the field decreases, it determines the value of the gravitational current strength. Negative values of the exponent suppress the scalar while positive ones enhance it.

In contrast to BDT where the field stays approximately constant during the radiation era, EST with $n \neq 0$ might lead to a dynamic solution. Although, during radiation domination the field might hold a non trivial solution since it obeys the following equation

$$\frac{d(a^3 \dot{\bar{\phi}})}{da} + \frac{nm a^{(n-1)}}{2\omega + 3} (a^3 \dot{\bar{\phi}}) = 0.$$

For $n \neq 0$, the solution for the first derivative of the scalar is

$$\dot{\bar{\phi}} \sim a^{-(3+\frac{n}{2})}. \quad (6)$$

Notice that $\dot{\bar{\phi}}$ appears in the right hand side of the Friedmann equation, so it can be thought that it plays the role of an extra component of the matter-energy density. If the exponent is negative as $a \rightarrow 0$ the field variation tends to infinity. In particular, for theories near to the BDT when limit $n \rightarrow 0$ the derivative of the scalar behaves as a matter term density, for larger $n \sim 2$ it behaves the radiation density does. For larger positive values of n $\dot{\bar{\phi}}$ would be dominant at early times, however for such large values of $|n|$ the theory is not physically feasible at late times so those effects at early times are not going to be considered.

Figure 1 shows us numerical solution for the scalar over the whole history of the universe within restricted models. Clearly, the trend of the field is the same for a wide range of n values, it grows monotonically along with time. The overall variation of the field is larger as n increases. In order to illustrate better how the field grows at late times, we will use an approximation of (6) for low redshifts $z \ll 1$. In that case $\omega(z) = m(1 - nz)$ and the scalar equation (6) is

$$\left(4 - mn \frac{1}{(2m+3)\phi_0^{-2}} \left(1 + \frac{2nz}{2m+3} \right) \right) H \dot{\bar{\phi}} = \frac{8\pi G}{2m+3} \Omega_m \left(1 + \frac{3(2m+3) + 2n}{2m+3} z \right).$$

Since $z \sim 0$, the approximation works only if we set $\frac{1}{z} \gg |n|$ so that the last term in the r.h.s is small. Within this bounds if $|n| \gg 1$ and $m \sim 1$, then the first term in the left hand side can be neglected and then $\dot{\bar{\phi}}_{z=0} \simeq -\frac{\Omega_m \phi_0^2(m)}{m} \frac{H_0}{n}$. If $n < 0$ the field's variation increases at late times and vice versa for $n > 0$. Since the field evolves monotonically, and its derivative is suppressed by n , then this parameter also suppresses the field, as shown in the figure. It is clear that for large fixed values of m , negative n suppresses more efficiently the scalar. Thus we can expect these two parameters to be strongly correlated. In summary, at the level of the background, at a given small redshift z the GR limit is accomplished at least in two ways: $(m > 1, -\frac{1}{z} \sim n \ll 0)$ or $(m \rightarrow \infty, n = 0)$.

In order to analyse the expansion, consider $m, |n| > 1$ and ignore the radiation term. As $\dot{\bar{\phi}} \sim \frac{H_0}{nm}$ at late time the left hand side correction term FRW is $O(\frac{1}{nm})$ whilst the additional term in the right hand side can be neglected. However, the dominant contribution of m and n comes up from the normalization on G_N in the matter term at the right hand side. For rEST models, the larger the mean value of ω is, the closer is universe to a FRW ΛCDM . As the scalar and its derivative are enhanced when $\omega \rightarrow 1$, the universe expands quicker due to the scalar's derivative contribution in the l.h.s of the Friedmann equation. In this models the mean value of G_N has a significant variation for small values of ω whilst it stays constant in the unrestricted case. Thus, in unrestricted models the

effects of $\bar{\phi}$ and $\dot{\bar{\phi}}$ over the expansion are uncoupled since ω and ξ control each of them independently.

In order to understand effects arising from the physics of recombination we shall see how effectively the n parameter affects the visibility function, which is usually interpreted as the probability that a photon interacts with baryons by Compton scattering during recombination. This function is sensitive to the expansion history of the universe which is affected by the dynamics of the gravitational scalar degree of freedom. Let us consider two regimes for both parameters of the model:

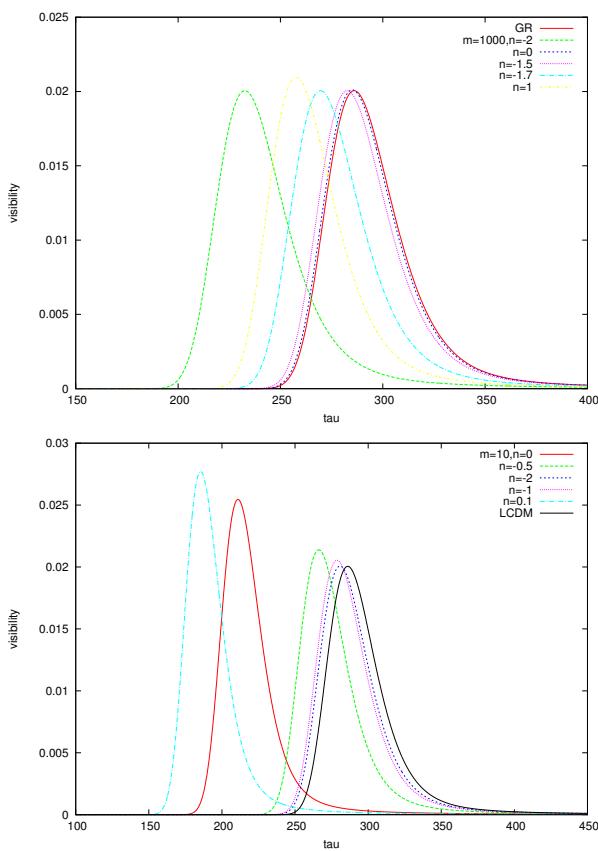


Figure 2. Visibility function for EST in two scenarios: $m = 1000$ and $m \rightarrow \infty$ and different values of n .

1. $m = 1000$. For large m the model is close to $LCDM$ today and then it is a viable model, if $n < 0$ the whole ω is large all along the expansion history and the visibility approaches to that of GR. Otherwise, when $n > 0$, the scalar is enhanced all along and so the expansion history is greatly modified unless ω is sufficiently large to counter the effect. As shown in **Figure 2**, the width and height of the visibility remains the same for negative val-

ues of the exponent. The shift in τ_{rec} happens due to changes in the expansion rate since the temperature $\sim 1\text{eV}$ is reached at different time.

2. $m \sim 1$. In this case, unless the exponent is negative and large, the scalar field's effects are important. As in the previous case, increasing the absolute value of the exponent affects the visibility in the same way as in **Figure 2**, as expected the exponent only helps to approach the ΛCDM . It's worth to mention that for $n > 0$ even for small values of n the visibility departs in great extent from ΛCDM then, as we confirm later, they are very likely to be rejected by data as preferred models.

It is important to point out that restricted and unrestricted models with $\phi_0 = 1$ and $n < 0$ tend to be indistinguishable for large values of m as shown in **Figure 3**. On the contrary, even for small values of positive n the visibility of both types of models differs significantly. The reason why this happens is that the expansion rate quickly goes to ΛCDM as $n \rightarrow -1$ for a given m . Additionally, regarding the rEST models, since the overall value of ω gets large if $n < 0$, the rescaling factor $(2\omega + 4)/(2\omega + 3)$ of the Newton constant tends to be equal to 1. Otherwise, if $n > 0$ then $(2\omega + 4)/(2\omega + 3) > 1$, the expansion rate is proportional to the gravity strength, so in this case, the rEST model, having weaker Newton's constant than uEST, reaches the time of recombination before and it is easier for electrons to recombine hence the visibility function is slightly narrower than in uEST. We would like to make a comment here regarding matter perturbations in this kind of models, because we have ignored the self-interactions of the scalar, the perturbations are coherent. Thus the growth of sub-horizon matter perturbations only depends non the background evolution. As we are in the Jordan conformal frame the equations for matter perturbations are the same than GR, however the background is not FRW necessarily in this theories, then the matter perturbations grow differently in these models. As mentioned before, in practice EST models are indistinguishable by looking at their expansion history, however thanks to the sensitivity of the growth of matter perturbations to the EST parameters such degeneracy could be broken down. **Figure 4** shows the growth for some models for which the expansion history is practically FRW and the growth of mat-

ter perturbations is modified though. Therefore it would be interesting to test EST by using this sort of measurements.

Another useful tool to probe EST models is the Alcock-Paczynski test. Although it does not bring important insight when applied to BDT, this effect is sensitive to the n parameter. The Alcock-Paczynski effect arises as a consequence of the peculiar velocities of galaxies. Spherical objects i.e. those possessing equal co-moving tangential and radial sizes L_0 , appear distorted in the redshift space (Alcock C., 1979). The observed tangential dimension is the angular projection given by

$$\Delta\theta = \frac{L_0}{(z+1)D_A(z)}. \quad (7)$$

The observed radial dimension is given by the redshift projection

$$\delta z = L_0 H(z). \quad (8)$$

There is no need to know L_0 in order to make the measurement since the observable is given by

$$\frac{\Delta z}{\Delta\theta} = (1+z)D_A(z)H(z), \quad (9)$$

this measurement is independent of any assumption about spatial curvature. An Alcock-Paczynski measurement does not necessarily need to be applied to cosmological “objects” but is equally valid for an isotropic process such as the 2-point statistics of galaxy clustering (Ballinger W.E., 1996) (Matsubara T., 1996).

Actually, general analysis of the tangential/radial galaxy clustering pattern in the presence of baryon acoustic oscillations demonstrates how the information may be divided into an overall scale distortion, quantified by a distance parameter (D_A/H), and a warping, quantified by the Alcock-Paczynski distortion factor $D_A H$, enabling the disentangling of D_A and H (Padmanabhan N., 2008) (Taruya A., 2011). Such approaches are just becoming possible with the current generation of large-scale galaxy surveys, and will be very powerful when applied to future datasets such as the Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) (Eisenstein et al., n.d.).

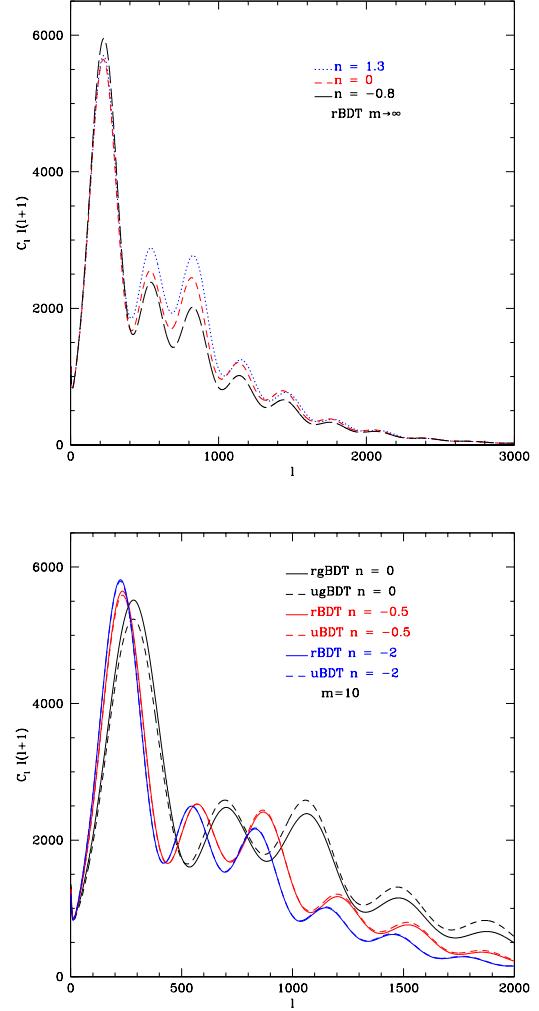


Figure 3. Top: Temperature spectrum in the limit $m \rightarrow \infty$ for extreme values of n within the restricted model. Bottom: Restricted and unrestricted ST models are contrasted for small $m (= 10)$ and a range of values of n .

As the bottom panel of **Figure 4** shows, the APD for in EST starts to be more sensitive to n from $z > 1$ onwards. As expected such sensitivity is reduced as m increases. As mentioned in previous chapters, $m \rightarrow 0$ may be associated with self-accelerating theories when a potential $V(\phi)$ plays the role of dark energy, thus if it is true that our $m \sim 0$ model is an approximation for a shallow-potential case, we can imply that the APD is a powerful test for these self-accelerating theories, such like DGP in the decoupling limit and some $F(R)$.

Anisotropies in the Cosmic Microwave Background

In this subsection we aim to figure out signatures of the EST parameters in the anisotropies of the CMB, that would help us figure out the power of the current measurements to constrain the full set of parameters of EST.

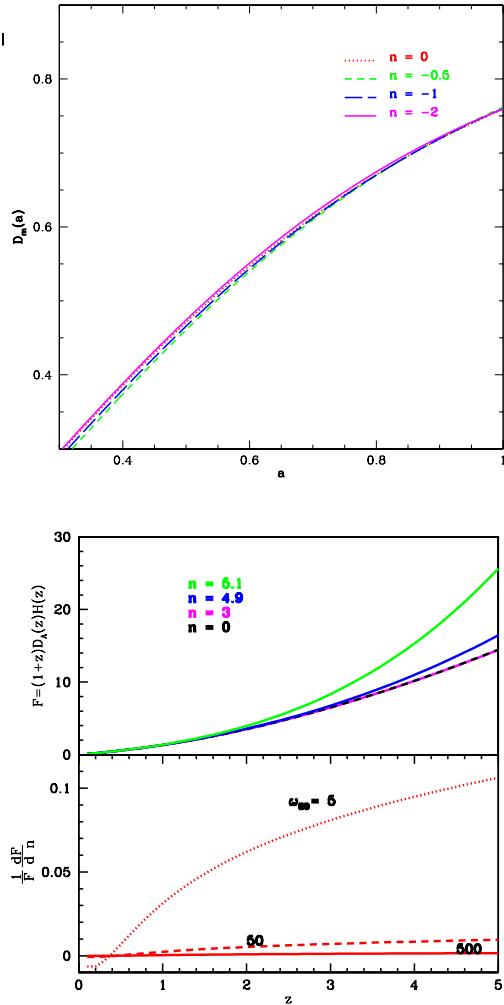


Figure 4. Top: The growth of matter for various values of n . Even when $m = 10$ is not too large, relatively small negative values of n help to approach GR. Bottom: The Alcock-Paczynski parameter for different values of the exponent n and $m = 100$. The sensitivity of APD to the exponent is almost absent today, however it increases as the redshifts increases as well, this tell us that high-redshift surveys are more capable of detecting a possible AP effect in BDT. Also Variation of the APD with respect to the exponent for different gBDT models. As we see if $m \rightarrow 1$ the sensitivity of APD to the exponent is larger. For the extreme case of $m = 5$ APD is detectable even at relatively low redshift.

On one hand, there is a damping of the anisotropies at small scales due to rescalings of G_N , since increasing the strength of gravity makes the visibility function wider it is more difficult for electrons to recombine. On the other hand, the size of the anisotropies estimated by the locations of the peaks is also affected due to modifications of the expansion history which give rise to different times of recombination.

In order to devial effects due to the variation of ω controlo by the n parameter it is convienient to consider the following two regimes

1. **Large m .** For large m the model today is close to Λ CDM and then it is a viable model, if $n < 0$ the whole ω is large all along the expansion history and the visibility approaches to that of GR. Otherwise, when $n > 0$, the scalar is enhanced all along and so the expansion history is greatly modified unless m is sufficiently large to counter the effect.
2. **Small m .** In this case, unless the exponent is negative and large, the effects due to the scalar field are important. As expected the exponent only helps to approach the Λ CDM limit, as a result the visibility is sensitive only to the overall value of ω . However, even for small values of $n > 0$ the visibility departs in great extent from Λ CDM then they are very likely to be rejected by data as preferred models.

The following Table shows the values of ω at the time of recombination for relevant values of m and n within rEST models. Notice that even for small m , ω at recombination gets considerably large for relatively small values of $n < 0$.

	$\omega(\tau_{rec})$		
	$m = 10$	$m = 100$	$m = 1000$
$n = 0.1$	4.96	49.7	496.9
$n = 0$	10	100	1000
$n = -0.5$	330.5	3301.7	33013.8
$n = -1$	1×10^4	1×10^5	1×10^6

The top panel of **Figure 3** shows that restricted and unrestricted models with $\phi_{in1} = 1$ and $n < 0$ tend to be indistinguishable for large values of m . On the contrary, even for small values of positive n

the visibility of both types of models differs significantly. In practice, if we aim to test the theory, such feature is useful since we suspect that the negative n are likely to be preferred by data because the average of ω along time is pushed to the Λ CDM limit if $n < 0$ for a given m . Nevertheless, the recombination history of rEST and uEST are too different for small $\omega(\tau_{rec})$ since they have different expansion rates. Regarding the rEST models, since $\omega(\tau_{rec})$ gets large if $n < 0$, the rescaling factor $(2\omega+4)/(2\omega+3)$ of the Newton constant easily tends to 1 at early times. Otherwise, if $n > 0$ then $(2\omega+4)/(2\omega+3) > 1$ hence the rEST model would have weaker Newton's constant than uEST, so it would reach the time of recombination before giving rise to a slightly narrower visibility function than in uEST.

Another observable quantity that responds to the EST parameters is the acoustic scale, Depending on the value of m , the extent of sensitivity of θ to n changes. The larger m is the lesser θ changes when n is varied as shown in the following Table.

$\theta(\tau_{rec})$		
n	$m = 1000$	$m = 10^6$
1	0.933639	1.035941
0.1	1.032737	1.037637
0.0	1.034614	1.037319
-0.3	1.036291	1.037173
-0.5	1.036713	1.036639

These results make clear that the measurement of the acoustic scale by the CMB could provide a good measurement of n and m . Although the location of the first peak remains unchanged when n varies (see **Figure 3**), the peaks at smaller scales suffer a further shifting which may provide a good measurement of θ .

Late ISW effect affecting photons travelling from the last scattering surface due to well potentials of galaxies formed at late times is considerably modified in EST models. Another source of ISW are the possible temporal variation of the potentials at late times. The former effect is manifested in the monopole of the temperature perturbation of the photon. **Figure 5** shows the ISW contribution to the temperature anisotropy in the line of sight integration for various EST models. For sufficiently large $n > 0$ the ISW gets enhanced and the scale at which it takes its maximum remains unaffected.

In turn for $n < 0$ the spectrum is lowered and it takes its maximum on smaller angular scales. The BDT case ($n = 0$) differs considerably from the Λ CDM limit model, this tell us about a signature of BDT models and their close cousins with $n < 0$ imprinted in the ISW.

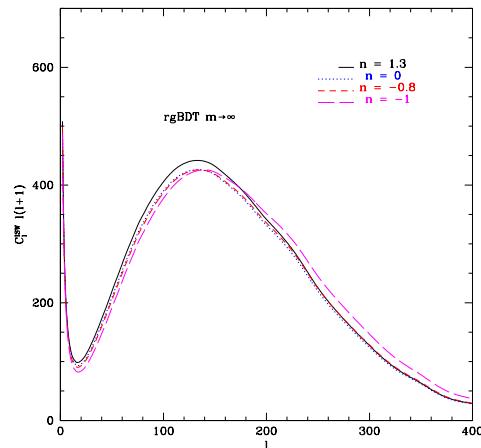


Figure 5. Effect of the EST parameters on the late ISW contribution to the temperature spectrum. For negative values of n the ISW spectrum shifts with respect of $n = 0$ due to different expansion histories while for positive n the ISW is enhanced.

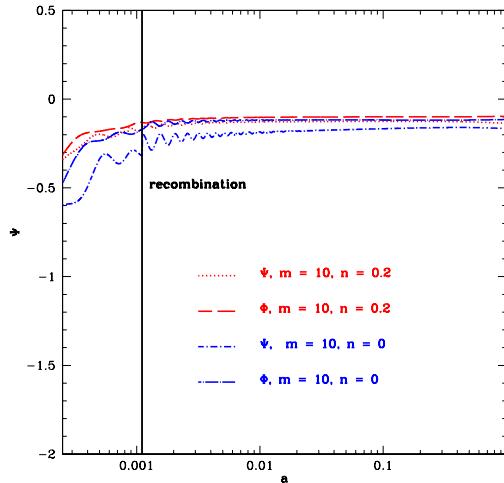


Figure 6. The gravitational potential Ψ within the EST for fixed m at the scale corresponding to the first peak in the temperature CMB spectrum. Acoustic driving also affects the third peak for positive n owing to these time-varying modes of the potentials.

The local time variation of ω carries much wealthier phenomenology in contrast to the BDT.

In the latter, the shape of the temperature and Doppler components of the spectrum is not significantly altered when constant ω is varied. In turn the shape of the components of the temprature spectrum is dramatically altered. When $n > 0$, on one hand, the spectrum stays within its 10% at scales larger than $l = 400$. On the other hand, for $500 < l < 1000$ the spectrum is boosted upwards (more significantly in the second and third peaks). At smaller scales $l > 1500$ the spectrum is not particularly sensitive to n . For $n < \sim 0$ the predominant effect is due to damping oscillations, however a special signature can be spotted in the first two peaks of both the monopole and Doppler spectra. When $|n|$ takes a more extreme value, the first two peaks get greatly enhanced whilst the next ones get importantly damped. This effect at large scales may be happening due to a combination of the ISW effect, Silk damping and acoustic driving. It is interesting that, in this last case, the CMB looks like one without CDM.

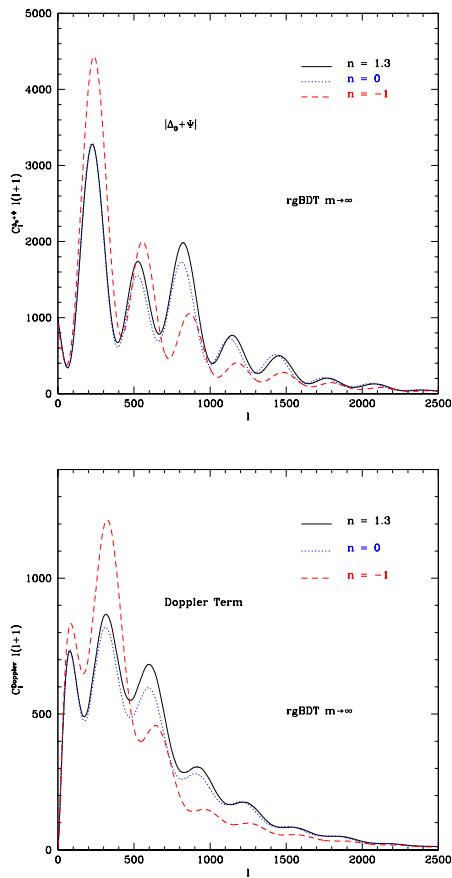


Figure 7. Angular spectrum of the monopole and the Doppler terms of the effective temperature perturbation of photons in the limit $m \rightarrow \infty$.

In EST the potentials vary in time **Figure 6** at some relevant scales and lead to an acoustic driving manifested in an enhancement of the amplitude of some modes. For small ω_{rec} , the last scattering surface is not far from the radiation to matter equality and so there are modes for which the potentials are still time varying to some extend. We can spot in **Figure 7** that around the 3rd peak is boosted due to this effect.

Photons of the CMB diffuse through the baryon fluid as a random walk leading to Silk damping of their perturbation (Silk, 1968.). The average distance that a photon goes across dubbed as “the diffusion lenght” is given by $\lambda_D \sim \frac{1}{\sqrt{n_e \sigma_T H^{-1}}}$. The effect of this photon diffusion is to wash out anisotropies with wavelengths smaller than λ_D . The following Table shows the values of the scale of damping k_D for different EST models.

	k_D		
	$m = 10$	$m = 100$	$m = 1000$
$n = 0.1$	0.1834	0.1426	0.1385
$n = 0$	0.1698	0.1412	0.1384
$n = -0.5$	0.1457	0.1388	0.1381
$n = -1$	0.1408	0.1383	0.1381

The physics governing the effects on the Doppler term carried by the variation n can be understood easily. This term is the contribution due peculiar velocities of galaxies along the line-of-sight. Therefore, before recombination the velocity of matter is proportional to the dipole of the baryon-photon fluid whilst after decoupling the more matter the universe contains the larger is the Doppler effect since the velocity of matter increase as the density of matter does. Thus if decoupling happens right after the time of equality, the Doppler term gets enhanced. The following table displays the time of equality happens for different EST models. By using it along with **Figure 2**, we can understand how the Doppler term is affected by n : On one hand, if $n < 0$ the larger is $|n|$ the closer are the times when recombination and equality of matter happen. On the other hand, if $n > 0$ as it increases either recombination and equality happen earlier so the effect is less important in this case.

	τ_{EQ}		
	$m = 10$	$m = 100$	$m = 1000$
$n = 0.1$	75.77	115.03	120.76
$n = 0$	87.96	117.25	120.99
$n = -0.5$	113.09	120.56	121.34
$n = -1$	118.34	121.13	121.36

4. Constraints On The Effective Scalar-Tensor Theory

Methodology and Analysis

In order to obtain accurate predictions from EST, we numerically solved the background and linearized equations for perturbations in Jordan frame presented. Since matter is minimally coupled to the metric, equations for different components of the matter-energy in the universe remain just like in GR. This feature ensures that the effective gravitational strength is correctly implemented in the code. We implemented the synchronous gauge equations for scalar modes in a modified version of the CAMB package (Lewis, Challinor, & Lasenby, 2000).

In order to carry out a Bayesian analysis of the EST we sample the parameters space using the MCMC implementation in cosmology. We generated multiple chains for various combinations of models and data sets by means of the Metropolis-Hastings algorithm. Our chains were long enough to pass different convergence diagnostics processed by the GetDist program. The convergence diagnostics that we used are mainly the Gelman and Rubin "R= variance of chain means/mean of chain variances" statistic for each parameter using the second half of each chain (Brooks & Gelman, 1998). Also the Raftery and Lewis convergence diagnostics were used (Raftery & Lewis, 1992).

The main datasets we used are from the Planck satellite(Ade et al., 2013), WMAP-9 (Komatsu et al., 2011), the South Pole Telescope (SPT) (Schaffer et al., 2011) and the Atacama Cosmology Telescope(ACT) (Dunkley et al., 2013) and BAO (Eisenstein et al., n.d.).

As usual, the chains were generated for both rEST and uEST models. In rEST models have 8 parameters, the m and n parameters and the cosmological parameters which are the dimensionless baryon and dark matter densities ω_b and ω_c

respectively, the ratio of the angular diameter distance to the sound horizon at recombination θ , the reionization redshift z_{re} , the amplitude and spectral index of the primordial power spectrum A_s and n_s . The Hubble constant H_0 and the (dimensionless) cosmological constant density ω_Λ are derived parameters. The uEST models have one additional parameter which is the initial condition $\bar{\phi}_{ini}$. All the other parameters including foreground astronomical parameters, fast parameters, calibration and beam parameters remain the same as in the original code (Ade et al., 2013; Neal, 2005; Lewis, 2013).

We now turn to the issue of priors. For the cosmological parameters we assume the same priors as for Λ CDM since the two types of cosmological evolution are very similar. A prior on H_0 (HST) from the measurement of the angular diameter distance from SHOES (Riess et al., 2009) is also imposed for some chains. The priors for the EST parameters are flat on $\bar{\phi}_{ini}$, $\ln(m)$ and n . In order to determine the allowed ranges by the analysis made in the previous section we take regions where EST resembles to GR at first glance. We left a wide range around these central values where these parameters are allowed to vary

5. Results and Discussion

Let us first discuss the results for the restricted models, which contain m and n as additional parameters to Λ CDM. We already proved that restricted and unrestricted models behave similarly. Nevertheless we did sample the space of parameters and obtained estimations for the parameters of both models in order to infer this conclusion a posteriori.

As probed in the previous section, both EST parameters are degenerate since the change in the expansion history depends on the overall value of ω . The effective result is a shift of the peak locations and peak heights. In order to single out the effect over the perturbations, we distinguish two regimes at which the theory approximate Λ CDM. The first one is characterized by $m \sim 1$ and $n < 0$ and the other one consists of models with $m \rightarrow \infty$ and n taking any value. It is reasonable to expect that the second region is preferred since it corresponds to a very small correction to the growth

of LSS in the phenomenological setup of rEST. In this region, when n is varied two main effects arise: at large scales the temperature anisotropy is enhanced due to the ISW and at intermediate scales, there is also a combined effect due to acoustic driving and silk damping affecting intermediate scales which is manifested as a boost in the amplitude of the second and third peaks. Other peaks for higher multipoles feel this effect in less extent.

It turns out that using Planck + WMAP9(pol) alone is not enough, in such case even if the number of samples is huge, the posterior distributions fail to pass the convergence diagnostics within an acceptable level. This lead us to the conclusion that further data was needed to constrain the parameters space. In order to get better results, we added HST and BAO. However, as we will see in short, some remaining degeneracies are still present.

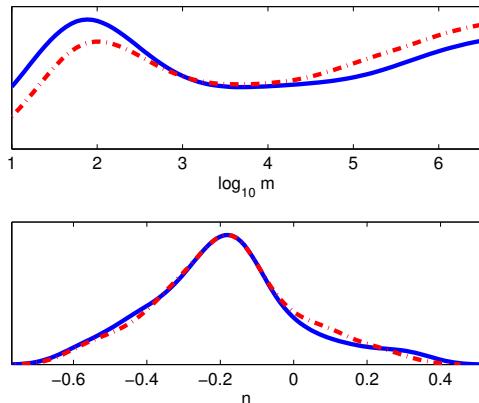


Figure 8. 1D marginal posterior distributions for uEST(red-dashed) and rEST(blue-solid) models with Planck+WMAP9(pol)+BAO+HST. Both sort of models have well defined regions of good likelihood: $m \sim 1$ and $m \rightarrow \infty$. According to Planck, the exponent n prefers small negative values which lead to a big overall value of ω along the expansion history.

According to the baseline set: Planck+WMAP9(pol)+BAO+HST we can see that uEST and rEST 1D marginal posteriors have similar shape (see **Figure 8**). Notice that the high-likelihood regions that we foresaw in the previous section, clearly are picked by the data in both kind of models.

However we can spot a very small difference: uEST prefers the BDT region ($m \rightarrow \infty$) while the restricted models get on well with smaller m . This places rEST in an interesting place over uEST: if

we keep in mind the indirect measure of modifications to the growth motivating the phenomenological setup of EST, it can be concluded that, according to combined measurements of the CMB by Planck and the expansion history by BAO and HST, a modification of the growth in GR is allowed and it would be of order $(1/m)$ today within 68% of confidence level. Thus, since smaller values of m lead to larger value of the modification to the growth, according to Planck, it is possible to detect deviations which are lesser suppressed in rEST than in uEST.

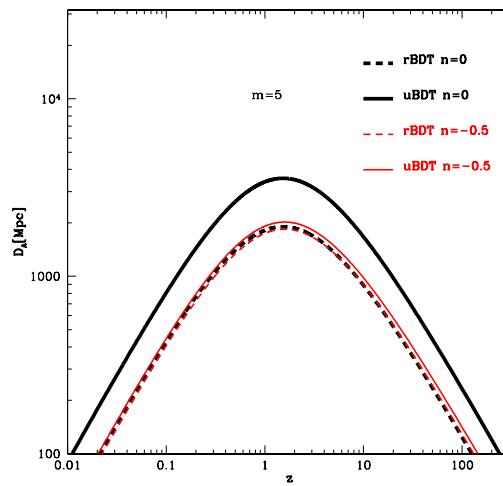


Figure 9. Angular diameter distance as function of the scale factor for different EST models.

Different preferred regions of uEST and rEST are closely related to the different sensitivities of the angular diameter distance to the n parameter of each type of model. **Figure 9** shows the predicted D_A in both types of models. A possible explanation would be that, once the CMB alone is fitted, the restricted case fits better the D_A measurements from BAO and HST than the unrestricted one.

In order to have a better idea on the features and quality of the 2σ and 1σ estimations for the EST parameters, lets have a look to their 2D marginal posteriors. The first outstanding characteristic is a considerable correlation between m and n . At 2σ such the well-constrained direction is well determined, however at 1σ two disconnected constraints arise at different degeneracy directions.

Above $m > 10^4$, the extent of correlation is the

same as for 2σ , in turn for $10 < m < 10^3$ the 1σ region(mild orange) bends in complicated way leading to a large correlation between the parameters. From projecting the l.h.s region of the 1σ constraint on vertical axis gives us an estimate for n (table 1). Notice that at 2σ the upper bound moves to larger values due to the leaning shape of the constraint.

Constraints of n with
Planck+WMAP9(pol)+HST+BAO

CL	mean	lower	upper
68	-0.47	-0.94	-0.15
95	"	-1.39	0.57
99	"	-1.45	0.84.

Results with Planck and other data different than WMAP(pol) give rise to very different constraints. Let us start from analyzing the 1D posteriors in **Figure 10** for the restricted model for the following datasets: Planck + WMAP9(pol) + High-l and Planck + lensing.

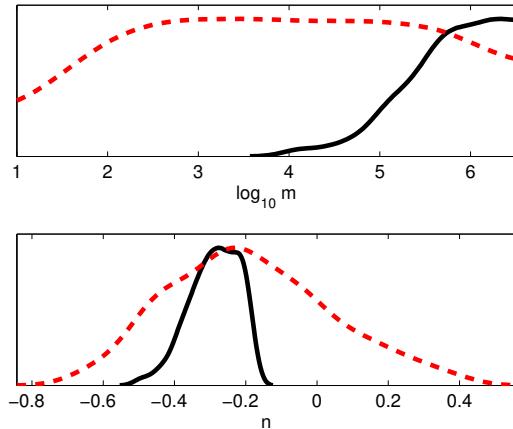


Figure 10. 1D posterior for m and n respectively within the restricted model with Planck + WMAP9(pol) + BAO + HST+ LENSING (red) and Planck + WMAP9(pol) + BAO + HST + ACT+SPT (black). Bottom: The inclusion of lensing gives rise to weak estimates of n whilst by adding the high-l data from ACT and SPT, the constraints become very strong. Top: the inclusion of lensing doesn't improve significantly the lower limit for m . Models with very large m , which were in principle expected to be close to Λ CDM, seem to be less likely than others with lower m ; further analysis is needed in order to determine the reason why this happens. In contrast, when small-scales measurements are included, the lower limit of m is very well constrained.

As it happens small scales measurements of the

CMB strongly constrain the EST parameters, the inclusion of high-l data dramatically changes the shape of the 1D marginal posteriors in comparison to Planck + WMAP9(pol). The well-spotted preferred low-high-m regions vanish for this dataset and the model gets strongly constrained, the lower limit of m is pushed up to the $m \rightarrow \infty$ limit while n firmly sticks to the $-1/2$ value and rejects positive values.

For Planck + lensing , the distribution shows us that a wide range of models with intermediate values of m are picked by the data and even though the exponent prefers negative values, $n < 1$ are not fully rejected as SPT does. It is interesting that lensing does not prefer the limit $m \rightarrow \infty$ as expected at first place. The fact that posteriors for Planck + WMAP9(pol) + SPT are tighter than for Planck + lensing tells us something about the extent of sensitivity of this datasets to the EST parameters.

6. Conclusion

The growth of LSS assumed in the phenomenological setup for modified theories of gravity considered here is assumed to behave as a power law $\mu = \mu_0(1 + ra^s)$. There is a correspondence between this setup and the effective scalar-tensor theory with $\omega(a) + 3/2 = m a^n$ where $m = 1/2r\mu_0$ and $n = -s$. We tested indirectly the free parameters involved using cosmological observations different to LSS. The main data set is the CMB anisotropies from Planck and tests of the expansion history from BAO and HST, that give rise to the 1σ constraint of $n = -0.47^{+0.32}_{-0.47}$ and two regions for m : $m = 50.1 \pm 11.2$ and $m > 3.2 \times 10^3$. The fact that the first of these regions is likely has an interesting consequence: according to the CMB, BAO and HST, the growth of LSS is allowed to hold a modification today of order $\sim 10^{-3}$ which is not negligible. Modifications of gravity within the Brans-Dicke family with running- ω along time are preferred by observations according to our results. Taking into consideration the degeneration of model to describe the background evolution (that is ignoring self-accelerated solutions) a host of Hordenski theories are compatible with our constraints as long their scalar field perturbation is approximated as that in the Brans-Dicke fam-

ily according to the mapping found in (Avilez & Skordis, 2014).

References

- Ade, P. A. R., et al. (2013). Planck 2013 results. XV. CMB power spectra and likelihood. *A&A*, 571, A15.
- Alcock C., P. B. (1979). An evolution free test for non-zero cosmological constant. *Nature*, 281, 358.
- Avilez, A., & Skordis, C. (2014, Jul). Cosmological constraints on brans-dicke theory. *Phys. Rev. Lett.*, 113, 011101. Retrieved from <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.113.011101> doi: 10.1103/PhysRevLett.113.011101
- Ballinger W.E., H. A., Peacock J.A. (1996). Measuring the cosmological constant with redshift surveys. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 282, 877.
- Bergmann, P. (1968). Comments on the scalar-tensor theory. *Int. J. Theor. Phys.*, 1(25).
- Brans, C., & Dicke, R. H. (1961). Mach's principle and a relativistic theory of gravitation. *Phys. Rev.*, 124, 925–935. doi: 10.1103/PhysRev.124.925
- Brooks, S., & Gelman, A. (1998). Stephen brooks and andrew gelman. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 7, 434-455.
- Clifton, T., Ferreira, P. G., Padilla, A., & Skordis, C. (2012). Modified Gravity and Cosmology. *Phys.Rept.*, 513, 1–189. doi: 10.1016/j.physrep.2012.01.001
- Dodelson, S. (2003). *Modern cosmology*. Academic Press, Elsevier.
- Dunkley, J., Calabrese, E., Sievers, J., Addison, G., Battaglia, N., et al. (2013). The Atacama Cosmology Telescope: likelihood for small-scale CMB data.
- Eisenstein, D. J., et al. (n.d.). *Detection of the Baryon Acoustic Peak in the Large-Scale Correlation Function of SDSS Luminous Red Galaxies*. (submitted to the Astrophysical J., astro-ph/0501171)
- Faraoni, V. (2009). Scalar field mass in generalized gravity. *Class.Quant.Grav.*, 26, 145014.
- Hojjati, A., Zhao, G.-B., Pogosian, L., Silvestri, A., Crittenden, R., & Koyama, K. (2012). Cosmological tests of general relativity: a principal component analysis. *Phys. Rev. D*, 85, 043508.
- Komatsu, E., et al. (2011). Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation. *Astrophys.J.Suppl.*, 192, 18. doi: 10.1088/0067-0049/192/2/18
- Lewis, A. (2013). Efficient sampling of fast and slow cosmological parameters. *Phys. Rev.*, D87, 103529. doi: 10.1103/PhysRevD.87,103529
- Lewis, A., Challinor, A., & Lasenby, A. (2000). Efficient computation of CMB anisotropies in closed FRW models. *Astrophysical Journal*, 538, 473-476.
- L. Pogosian, K. K., A. Silvestri, & Zhao, G. B. (2010). How to optimally parametrize deviations from general relativity in the evolution of cosmological perturbations. *Phys. Rev. D*, 81, 104023.
- Matsubara T., S. Y. (1996). Cosmological redshift distortion of correlation functions as a probe of the density parameter and the cosmological constant. *Astrophysical Journal*, 470, L1.
- Neal, R. M. (2005, August). The short'cut metropolis method. *Technical Report*(0506).
- Padmanabhan N., W. M. (2008). Constraining anisotropic baryon oscillations. *Phys. Rev. D*, 77, 3540.
- Peebles, P. J. E. (1993). *Principles of Physical Cosmology*. doi: 10.1515/9780691206721
- Raftery, A., & Lewis, S. (1992). How many iterations in the gibbs sampler? in bayesian statistics.
- Riess, A. G., Macri, L., Casertano, S., Sosey, M., Lampeitl, H., Ferguson, H. C., ... Sarkar, D. (2009, July). A Redetermination of the Hubble Constant with the Hubble Space Telescope from a Differential Distance Ladder. *The Astrophysical Journal*, 699(1), 539-563. doi: 10.1088/0004-637X/699/1/539
- Schaffer, K., Crawford, T., Aird, K., Benson, B., Bleem, L., et al. (2011). The First Public Release of South Pole Telescope Data: Maps of a 95-square-degree Field from 2008 Observations. *Astrophys.J.*, 743, 90.
- Silk, J. (1968.). Cosmic black-body radiation and galaxy formation. *Astrophysical Journal*, 151, 459.
- Song, Y.-S., et al. (2010). Theoretical priors on modified growth parametrisations. *JCAP*, 1004, 018.
- Taruya A., N. T., Saito S. (2011). Forecasting the cosmological constraints with anisotropic baryon acoustic oscillations from multipole expansion. *Phys. Rev. D*, 83, 3527.



Mortalidad masiva de *Chelonia mydas agassizii* asociada a florecimientos algales nocivos

Mass mortality of *Chelonia mydas agassizii* associated with harmful algal blooms

Carlos Delgado-Trejo^{1,2} , Cutzi Bedolla-Ochoa^{1*}

¹ Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

² Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, México.

Historial

Manuscrito recibido: 29 de enero de 2025

Manuscrito aceptado: 20 de marzo de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Cutzi Bedolla-Ochoa

e-mail: cutzi.bedolla@umich.mx

ORCID: 0009-0003-7534-9346

Resumen

En este trabajo se reporta un varamiento masivo de machos adultos y hembras juveniles de *Chelonia mydas agassizii* (tortuga negra) en la costa de Michoacán. Se recolectaron muestras de agua en el mar, en las cuales se identificaron tunicados en cadena de la familia Salpidae (Thaliacea, *Salpa maxima*) y se obtuvieron muestras de sangre y contenido estomacal de individuos enfermos. Se observaron síntomas de intoxicación por fito-neurotoxinas en dos individuos juveniles de tortuga negra producida por dinoflagelados tóxicos de la especie *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* durante la ocurrencia de un florecimiento algal nocivo (FAN). El análisis de las muestras de sangre obtenidas de los individuos intoxicados, mostró una concentración letal de una fitotoxina llamada saxitoxina (STX) (0.32 µg STX/100 g a 1.22 µg STX/100 g y de 0.08 µg STX/ml a 0.17 µg STX/ml), cuyos niveles exceden la dosis mínima letal para humanos (0.9 µg/100 g). La mortalidad en machos adultos y hembras juveniles de *Chelonia mydas agassizii* podría deberse a la alta ingesta de salpas las cuales acumulan fitotoxina producida por *Pyrodinium* durante eventos de FAN.

Palabras clave: *Salpa maxima*, saxitoxina, *Chelonia mydas agassizii*, florecimientos algales nocivos.

Abstract

In this work, a mass stranding of adult male and juvenile female *Chelonia mydas agassizii* (black turtles) was reported in the coast of Michoacan. Water samples were collected from the sea, in which chain tunicates of the family Salpidae (Thaliacea, *Salpa maxima*) were identified and blood and stomach samples were obtained from diseased individuals. Symptoms of phyto-neurotoxin intoxication were observed in two juvenile black turtles produced by toxic dinoflagellates from the species *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* during the occurrence of a harmful algal bloom (HAB). Analysis of blood samples obtained from intoxicated individuals showed a lethal concentration of a phytotoxin called saxitoxin (STX) (0.32 µg STX/100 g to 1.22 µg STX/100 g and from 0.08 µg STX/ml to 0.17 µg STX/ml), whose levels exceed the minimum lethal dose for humans (0.9 µg/100 g). Mortality in adult males and juvenile females of *Chelonia mydas agassizii* may be due to high intake of salps, which accumulate phytotoxin produced by *Pyrodinium* during HAB events.

Keywords: *Salpa maxima*, saxitoxin, *Chelonia mydas agassizii*, harmful algal blooms.

Introducción

El fitoplancton marino está compuesto por una amplia variedad de especies de microalgas, entre las que se encuentran aquellas que son responsables de la toxicidad de los florecimientos algales nocivos (FAN) (Fogg 2002). Estos florecimientos son un fenómeno común en las aguas del litoral Pacífico y el Golfo de México. Consisten en un incremento masivo de fitoplancton que puede reducir el oxígeno y los nutrientes del agua,

escenciales para los organismos marinos, y que pueden liberar fitotoxinas nocivas para la biota acuática (Smayda *et al.*, 2001) y están asociado a condiciones particulares de temperatura, nutrientes y luz de las aguas costeras (Raymont 1980; Abbott *et al.*, 2009).

Los florecimientos algales nocivos pueden afectar la salud de los animales, ya que el incremento de su biomasa causa obstrucción branquial, y muchas especies producen toxinas (Band-Schmidt *et al.*, 2011). La acumulación de

estas toxinas en organismos que son consumidos por los seres humanos ha causado importantes pérdidas económicas en los maricultivos y problemas de salud pública en las zonas costeras. Por ello, se han realizado diversos estudios sobre estas algas nocivas en relación a su taxonomía, toxicidad, ecofisiología, distribución y presencia sobre organismos de importancia comercial (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2003; Cortés-Altamirano 2008; Núñez-Vázquez *et al.*, 2011; Perrault *et al.*, 2020).

La vida silvestre también se ve afectada por la acumulación de toxinas, que aumenta a través de los diferentes niveles tróficos (Anderson *et al.*, 1993; Rodger *et al.*, 1994), y en diferentes grupos de animales como peces, aves y mamíferos (Carmichael 1994; Anderson *et al.*, 1993; Rodger *et al.*, 1994). En el caso de las tortugas marinas, desde principios de los ochentas, existen reportes de mortalidad masiva asociada a la acumulación de toxinas en estos organismos. Por otra parte, se han reportado intoxicaciones severas y muerte en humanos por ingesta de animales marinos (principalmente filtradores como mejillones, ostiones, camarones) contaminados con estas fitotoxinas (Silas *et al.* 1984; Alvarado *et al.* 1997).

En noviembre de 2010, se registró un varamiento inusual de individuos de *Chelonia mydas agassizii* en el área de la reserva natural Colola-Maruata, uno de los principales sitios de anidación de esta población en la costa del Pacífico de México. La mayoría de los individuos estaban muertos y en avanzado estado de descomposición, lo que sugiere que la muerte se había producido en el mar, lejos de las playas de anidación. La causa de este evento se atribuye tentativamente a un florecimiento de algas nocivas que también causó intoxicación de cinco personas que consumieron mejillones por consumo de moluscos en la localidad de El Faro de Bucerías en la costa de Michoacán y que parecía estar presente a lo largo de las costas de Michoacán y Guerrero. El objetivo de este trabajo es documentar la relación de dicho evento con la mortalidad de tortuga marina, un acontecimiento inusual en la costa del Pacífico de México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se extiende a lo largo de la planicie costera de Michoacán, con 228 km de extensión lineal (Correa 1974). La cual comprende los municipios Lázaro Cárdenas, Aquila y Coahuayana, en el Pacífico centro occidente en la costa de Michoacán; con una topografía accidentada causada por su surgimiento reciente

(Eoceno), la costa presenta formaciones erosionadas, deltas fluviales y playas de acumulación. Colola y Maruata ($18^{\circ}30'0''$ - $18^{\circ}0'0''$ N, $103^{\circ}40'0''$ - $102^{\circ}50'0''$ O) son las principales playas de anidación de *Chelonia mydas agassizii*, se encuentran entre el Faro de Bucerías y el Delta del Río Nexpa (**Figura 1**).

Colecta de muestras y registro de datos

El estudio se realizó durante el mes de noviembre de 2010. Se realizó un censo de individuos muertos en 10 playas de anidación de tortugas marinas (Faro de Bucerías, La Llorona, Motín del Oro, Ximapa, Colola, Chiquusa, Maruata Viejo, Maruata, Paso de Noria y Cachan de Echeverría), a lo largo de la costa de Michoacán entre el 2 y el 8 de noviembre de 2010. Se realizaron dos muestreos en el mar, cerca de la costa, desde la playa Faro de Bucerías hasta la playa Colola, con el objetivo de localizar individuos muertos y/o enfermos que nos dieran más información sobre las posibles causas de mortalidad. Durante los recorridos en el mar, desde la embarcación se colectaron muestras de agua y tunicados en cadena (ascidias) que proliferaban en el agua cerca de la costa. Además, se capturaron dos ejemplares juveniles vivos pero con síntomas de intoxicación, de los cuales se obtuvieron muestras de contenidos estomacales y de sangre, las cuales se preservaron en refrigeración para su análisis en laboratorio. Por otro lado, se obtuvo información adicional sobre este evento de mortalidad masiva de tortugas que el personal de los campamentos tortugeros y habitantes de la zona presenciaron durante sus actividades en las playas de anidación de tortugas marinas.

Análisis de laboratorio

Los contenidos estomacales obtenidos de los individuos enfermos encontrados en el mar, se analizaron en el laboratorio para identificar a los organismos ingeridos por los individuos de *Chelonia mydas agassizii*. El contenido se lavó con agua destilada y se observó con un microscopio estereoscópico. Posteriormente, se analizaron 2.5 ml de sangre en el Laboratorio de Biotoxinas del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología ICML-UNAM para confirmar la presencia de saxitoxina con los procedimientos de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Laurence *et al.*, 2005) y ELISA Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay ABRAXIS; en ambos casos utilizando blancos procedentes de individuos sanos.

Resultados

Durante los muestreos realizados, se registraron 376 varamientos de *Chelonia mydas agassizii* muertas. De

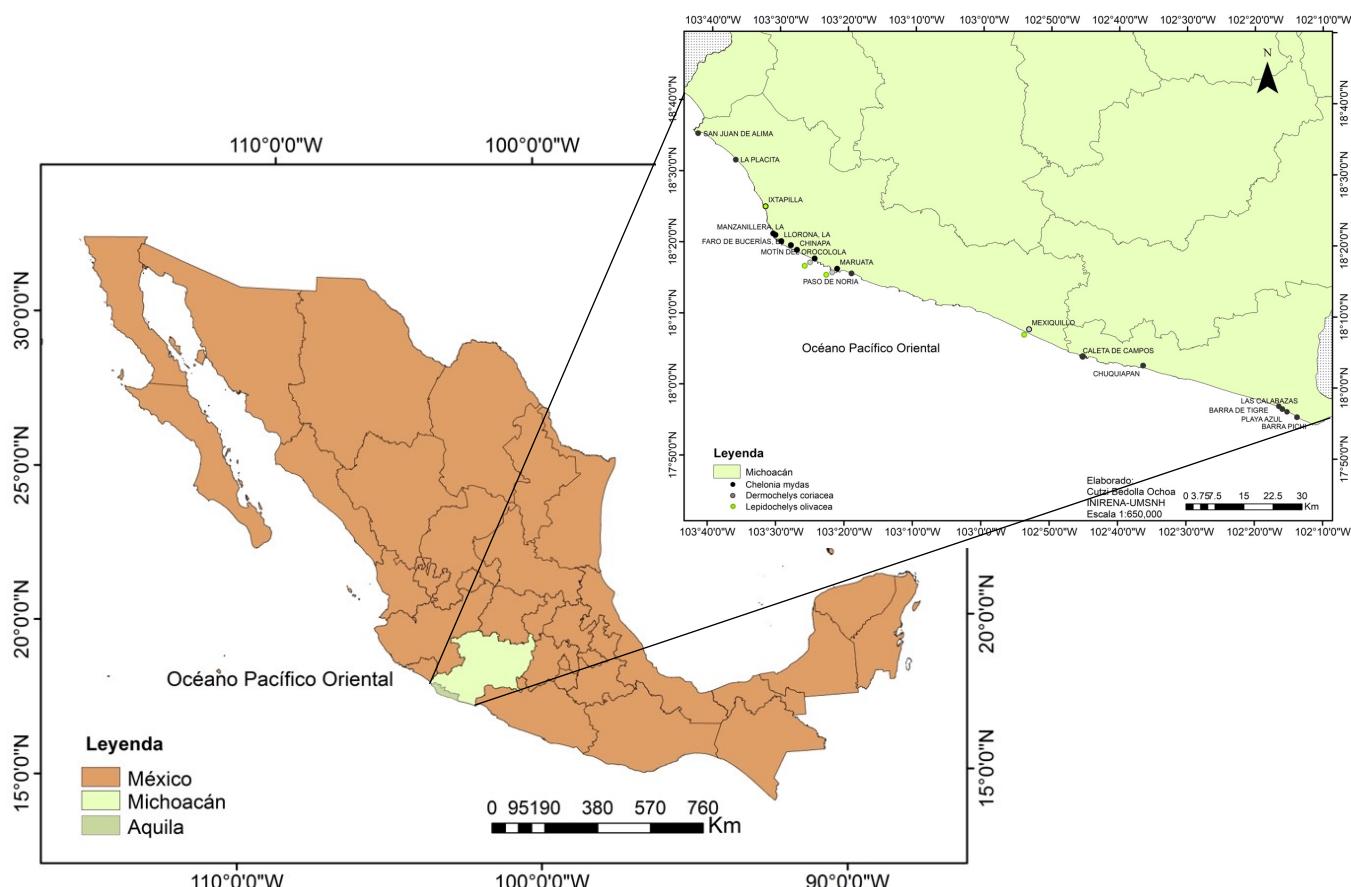


Figura 1. Playas de nidación en la costa de Michoacán donde se encontraron individuos muertos de *Chelonia mydas agassizii*.

los individuos registrados, 364 tenían tallas entre 58 y 62 cm (**Fig. 2**), que corresponden a ejemplares juveniles y preadultos que normalmente no se encuentran en el litoral costero de Michoacán. Los otros 12 especímenes fueron machos adultos de 67 a 78 cm de longitud curvo de carapacho (LCC). El síntoma de hipotensión sanguínea también fue notable y dificultó la toma de muestras de sangre de los ejemplares, que fueron extraídas de los senos cervicales situados en la parte dorsal del cuello de las tortugas marinas. Pocas horas después de ser capturados, ambos ejemplares murieron.

Los análisis de las muestras de contenido estomacal y de las muestras de agua fueron positivos para una especie de dinoflagelado tóxico *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (**Fig. 3**).

En las muestras de sangre se identificó la presencia de saxitoxina y del derivado neosaxitoxina, fitotoxinas paralizantes (**Fig. 4**). La cromatografía líquida de alta resolución o HPLC, reveló el derivado neosaxitoxina, límite de detección $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$ STX eq., muestra control: $0.32 \mu\text{g STX /100 g}$; muestra problema: $1.22 \mu\text{g STX /100 g}$. El método ELISA detectó saxitoxina al 100% y sólo



Figura 2. Machos adultos de *Chelonia mydas agassizii* varados muertos en diferentes playas de anidación en la costa de Michoacán.

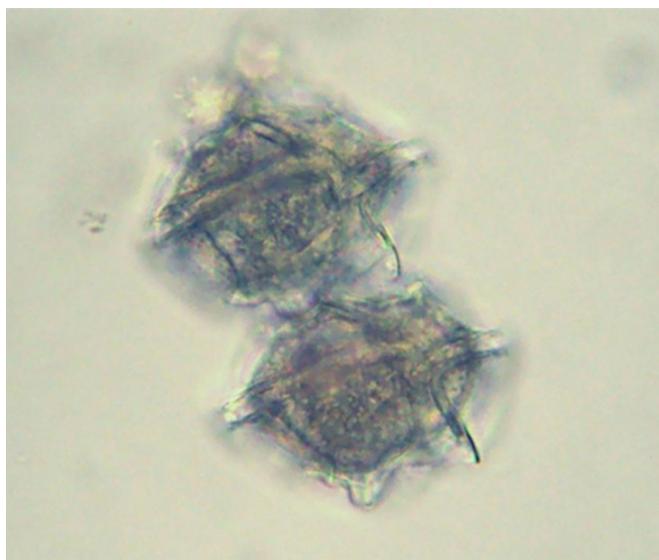


Figura 3. Dinoflagelado tóxico *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, se observan en dos individuos de *Chelonia mydas agassizii* (Imagen tomada de Zamudio et al. 2022).

1.3% de neosaxitoxina; muestra control: 0.08 ng STX/ml; muestra problema: 0.17 ng STX/ml. La saxitoxina es un alcaloide aislado de los dinoflagelados marinos y las cianobacterias que causa la intoxicación paralizante por mariscos, actúa como neurotoxina, bloqueante de los canales de sodio.

Discusión

Los niveles de saxitoxina encontrados en las muestras de sangre de los individuos enfermos fueron inferiores a los reportados en otros tejidos en tortugas marinas que murieron debido a eventos de toxinas paralizantes producidas por *Pyrodinium bahamense* en El Salvador (7.9-627.8 µg STX/µg/100g) (Licea 2008; Amaya 2014). Sin embargo, los niveles de saxitoxina en la sangre de *Chelonia mydas agassizii* encontrados en este estudio, son superiores a la dosis letal mínima para humanos que es de 0,9 µg/100g (Hernández-Orozco et al., 2006). El hecho de que los ejemplares estuvieran en avanzado estado de descomposición sugiere que la muerte de los individuos se produjo en una zona alejada de la costa y posteriormente ocurrió su varamiento en las diferentes playas de anidación, posiblemente en las zonas pelágicas de alimentación frecuentadas por tortugas juveniles y preadultas.

Los dos ejemplares adultos de *Chelonia mydas agassizii* capturados durante las prospecciones desde la embarcación mostraban claros síntomas de intoxicación por saxitoxina producida por algunas especies de dinoflagelados, como una notable debilidad muscular

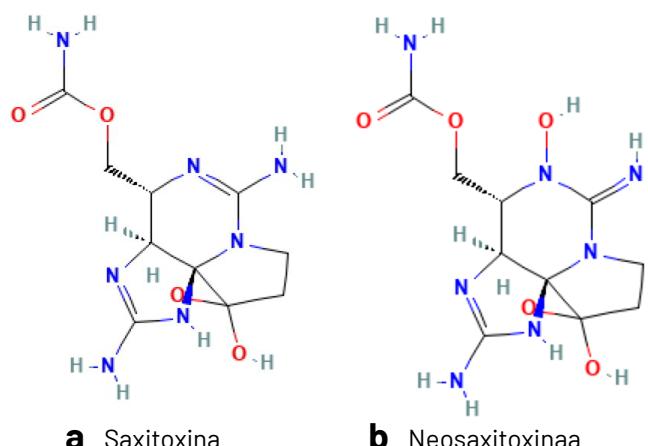


Figura 4. Estructuras químicas de la saxitoxina y neosaxitoxina. **a)** La saxitoxina $C_{10}H_{17}N_7O_4$ tiene un peso molecular de 299,29 g/mol. **b)** La neosaxitoxina $C_{10}H_{17}N_7O_5$ es una pirrolopurina que lleva un sustituyente hidroxi en el átomo de nitrógeno en la posición 5. (Imagen tomada de National Center for Biotechnology Information, 2025).

visible en la flacidez de las aletas y el cuello; respiración rápida y expulsión de líquido viscoso transparente por la boca (Ahmed 1992; Kao 1993). Los análisis de las muestras de contenido estomacal y de las muestras de agua permitieron identificar *Salpa maxima* (Thaliacea) una especie de tunicados en cadena que filtran agua para alimentarse y que pueden acumular grandes cantidades de dinoflagelados en sus sistemas digestivo y excretor.

En los pelets de excremento de las Salpas se identificó a *Pyrodinium bahamense* var. *Compressum* especie de dinoflagelado tóxico que produce saxitoxina, que causa la enfermedad llamada “parálisis facial por ingesta de moluscos” en humanos. *P. bahamense* es la especie que más intoxicaciones por FAN ha causado en las Costas Mexicanas, asociándose a mortalidades masivas de peces y tortugas marinas (Orellana-Cepeda et al., 1998), también se ha asociado con intoxicaciones en humanos por consumo de moluscos como almejas, mejillones y ostiones y mortalidad en peces y mamíferos marinos en las aguas frente a la costa de Jalisco y Nayarit de la costa del Pacífico Mexicano (Sierra-Beltrán et al., 1998; Morquecho, 2008; Meave et al., 2010; Ronsón, 1999).

La acumulación de toxinas paralizantes como saxitoxina en organismos que son consumidos por humanos durante la ocurrencia de FAN, han causado importantes pérdidas económicas en la maricultura y problemas de salud pública en las zonas costeras (Alonso-Rodríguez et al., 2003; Krock et al., 2007; Cortés-Altamirano et al., 2008; Ignatiades et al., 2010; Núñez-Vázquez et al., 2011; López-Cortés et al., 2015). En los organismos de vida silvestre, la intoxicación

debida a la ingestión de dinoflagelados tóxicos, puede tener efectos a diferentes niveles tróficos, a través de la acumulación de toxinas en peces, mamíferos y aves que pueden causar su muerte por efectos físicos o químicos (Taylor *et al.*, 1985; Carmichael 1992; Clement y Lembeye 1993; Anderson *et al.*, 1993; Rodger *et al.*, 1994). En la costa del Pacífico Mexicano se han documentado casos de mortalidad masiva de tortugas marinas relacionado con la presencia de microalgas productoras de biotoxinas (Orellana-Cepeda *et al.*, 1998; Cordero-Tapia *et al.*, 2014; Ley-Quiñonez *et al.*, 2020). En las costas de Guerrero y Michoacán durante 1995, ocurrió un evento de FAN causando la muerte de varios individuos (Alvarado *et al.*, 1997) similar a lo ocurrido en noviembre de 2010.

Para tortugas marinas, existen reportes de los años ochentas en el Océano Índico (Silas *et al.*, 1984), que mencionan la acumulación de neurofitotoxinas en *Chelonia mydas* (tortuga verde) y *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey), cuyo consumo provocó graves intoxicaciones y la muerte de personas y animales domésticos; estos casos fueron tan notorios que el fenómeno de muerte por consumo de estas especies se denominó inicialmente como quelonotoxicación (Yasumoto 1998; Fussy *et al.*, 2007; Semmoura *et al.*, 2024); más frecuentemente, cuando la bioacumulación se produce en filtradores como los moluscos bivalvos, su consumo puede extender los efectos de la intoxicación a los humanos.

En este caso, el FAN ocurrió durante la segunda semana de noviembre de 2010, cuando cuatro pescadores que habían consumido mejillones (*Mytilus* sp.) en la localidad de El Faro de Bucerías, en la costa de Michoacán a 15 km de la playa de Colola, experimentaron síntomas similares a los causados por la intoxicación por saxitoxina, como taquicardia, vómitos intensos, parálisis facial, debilidad muscular y dificultad para respirar; afortunadamente, después de tres semanas en el hospital, se informó de que estaban fuera de peligro. Las ascidias (tunicados en cadena) también estuvieron presentes en grandes cantidades en las muestras de agua y de contenido estomacal, estas, forman grandes cadenas que abundan y proliferan cerca de la costa durante la ocurrencia de florecimientos algales nocivos, como el que se produjo durante este episodio de mortalidad masiva de tortugas marinas. La elevada abundancia de estas ascidias probablemente promovió el consumo por los juveniles de *Chelonia mydas agassizii* (tortuga negra), que durante esta etapa de su ciclo de vida son omnívoros como los machos adultos de esta especie, a diferencia de las hembras, que son generalmente herbívoras cuando

son adultas. A diferencia de las hembras adultas, los machos adultos tienen hábitos alimentarios generalistas y pueden incluir salpas y medusas en su dieta. Lo que explicaría por qué la mayoría de los casos registrados en el evento de mortalidad de 2010, incluyeron alrededor de 600 ejemplares en las costas de Michoacán y Guerrero, la mayoría juveniles o preadultos de tortuga negra.

Los FAN ocurren de manera natural, pero las actividades humanas que perturban los ecosistemas parecen jugar un papel determinante en el incremento de la ocurrencia de algunos florecimientos. Entre ellos se incluyen los productos químicos procedentes de la agricultura, las aguas residuales y la escorrentía urbana (Carmichael *et al.*, 2016; Lapointe *et al.*, 2015). La tasa de crecimiento de los FAN depende de múltiples factores (Roelke *et al.*, 2001), como la temperatura del agua (Smayda *et al.*, 1997; Paerl *et al.*, 2008), el fenómeno de surgencia (Tester *et al.*, 1997), la mezcla inducida por el viento (Kahru *et al.*, 1981; Kononen *et al.*, 1996), el aumento de la concentración de nutrientes y la contaminación, las alteraciones de la red trófica, las especies introducidas, las modificaciones del flujo de agua y el cambio climático han sido todos factores implicados (Landsberg 2002; Van Dolah *et al.*, 2003; Kirkpatrick *et al.*, 2004; Flewelling *et al.*, 2005; Walsh *et al.*, 2006; Pierce y Henry 2008; Landsberg *et al.*, 2009; Fleming *et al.*, 2011; Fire y Van Dolah 2012). La duración habitual de una floración de algas puede oscilar entre días y varios meses, aunque la vida individual del fitoplancton es de sólo unos días (Azanza *et al.*, 2018).

Conclusiones

La causa de la mortalidad masiva de juveniles, preadultos y adultos de *Chelonia mydas agassizii* en noviembre de 2010 en la costa de Michoacán y Guerrero, pudo ser ocasionada por la ingesta de saxitoxina, una neurofitotoxina que se acumula en tunicados en cadena (*Salpa maxima*) durante FAN. Los florecimientos algales nocivos y los episodios de mortalidad masiva de tortugas marinas son dos fenómenos que ocurren en las zonas costeras pero que no suelen estar relacionados. Estos fenómenos de FAN pueden considerarse una nueva amenaza para la recuperación de algunas poblaciones de tortugas marinas como la tortuga negra en Michoacán; la mortalidad masiva de individuos, sobre todo adultos reproductores, puede tener efectos importantes e inmediatos sobre el número de adultos reproductores en la población. Por otra parte, dependiendo del impacto y la frecuencia, este tipo de eventos podría tener repercusiones en la recuperación de la población

de esta especie amenazada, en la medida en que la mortalidad masiva de preadultos puede tener un efecto significativo en la tasa de reclutamiento del segmento reproductor de la población. Este estudio sugiere que la intoxicación y mortalidad de tortugas marinas causada por la proliferación de algas nocivas debe considerarse una amenaza para la recuperación de las poblaciones de tortugas marinas.

Referencias

- Abbott GM, Landsberg JH, Reich AR, Steidinger KA, Ketchen S, Blackmore C (2009). Resource guide for public health response to harmful algal blooms in Florida: Based on recommendations of the Florida Harmful Algal Bloom Task Force Public Health Technical Panel. <http://hdl.handle.net/1834/40356>.
- Ahmed FE (1992). Assessing and managing risk due to consumption of seafood contaminated with micro-organisms, parasites, and natural toxins in the US. *International Journal of Food Science & Technology* 27(3):243-260. doi:10.1111/j.1365-2621.1992.tb02026.x.
- Alonso-Rodríguez R, Páez-Osuna F (2003). Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219(1-4):317-336. doi:10.1016/S0044-8486(02)00509-4.
- Altamirano R C, Sierra-Beltrán AP (2008). Biotoxins from freshwater and marine harmful algal blooms occurring in Mexico. *Toxin Reviews* 27(1):27-77.
- Alvarado DJ, Ceballos CG (1997). Mortalidad de tortuga negra en el Pacífico Mexicano: posible implicación de la marea roja. *Ciencia Nicolaita* 15:77-82.
- Amaya O, Ruiz G, Espinoza J, Rivera W. (2014). Saxitoxin analyses with a receptor binding assay (RBA) suggest PSP intoxication of sea turtles in El Salvador. *Harmful Algae News* 48:6-7.
- Andersen RJ, Luu HA, Chen DZ, Holmes CF, Kent ML, Le Blanc M, Williams DE (1993). Chemical and biological evidence links microcystins to salmon ‘netpen liver disease’. *Toxicon* 31(10):1315-1323. doi:10.1016/0041-0101(93)90404-7
- Azanza RV, Brosnahan ML, Anderson DM, Hense I, Montresor M (2018). The Role of Life Cycle Characteristics in Harmful Algal Bloom Dynamics. In: Glibert PM, Berdalet E, Burford MA, Pitcher GC, Zhou M (eds), Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. Springer International Publishing, Cham. Vol 232, pp 133-161. doi:10.1007/978-3-319-70069-4_8
- Band-Schmidt CJ, Bustillos-Guzman JJ, Lopez-Cortes DJ, Nuñez-Vázquez E, Hernandez-Sandoval FE (2011). The actual state of the study of harmful algal blooms in Mexico. *Hidrobiológica* 21(3):381-413. <http://www.scielo.org.mx>
- Carmichael WW (1994). Status report on planktonic cyanobacteria (blue-green algae) and their toxins. *Sci. Am.* 270:78-83.
- Carmichael WW, Boyer GL (2016). Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. *Harmful Algae* 54:194–212. doi:10.1016/j.hal.2016.02.002
- Cordero-Tapia A, Reséndiz E (2014). Reporte Médico y Forense de la Tortuga Amarilla (*Caretta caretta*) en Bahía de Ulloa B.C.S. México. en: *Informe Final de Investigación del Estudio Sobre las Causas de muerte de la Tortuga Amarilla (*Caretta caretta*) en la Costa Occidental de Baja California Sur (Golfo de Ulloa)*. UABCs, CIBNOR, CICIMAR, y CONANP. Pp. 115,122 a 195.
- Correa PG (1974). Geografía del Estado de Michoacán. Tomo I. *Geografía Física*. Gobierno del Estado de Michoacán. México.
- Cortés-Gómez AA, Bermudez D, Harfush M, Villanueva R, Karam-Martínez SG, Neri S, Santiago I, Herrera JE, Reséndiz E (2020). Protocolo de atención a tortugas marinas afectadas por florecimientos algales nocivos. Available from: https://www.researchgate.net/publication/350531378_Proocolo_de_atencion_a_tortugas_marinas_afectadas_por_florecimientos_algales_nocivos [accessed Oct 11 2024].
- Clement A, Lembeye G (1993). Phytoplankton monitoring program in the fish farming of South Chile In: Smayda & Shimizu (eds) *Toxic Phytoplankton Blooms in the sea*. Elsevier, Amsterdam. pp 223-228
- FAO (2005) Biotoxinas marinas. www.fao.org/docrep/008/y5486s/y5486s00.htm
- Fire SE, Van Dolah FM (2012). Marine biotoxins: emergence of harmful algal blooms as health threats to marine wildlife. In: Aguirre AA, Ostfeld R, Daszak P. (Eds.), New Directions in Conservation Medicine: Applied Cases of Ecological Health. Oxford University Press, New York, pp. 374–389.
- Fogg GE (2002). Harmful algae—a perspective. *Harmful algae* 1(1):1-4.
- Fussy A, Pommier P, Lumbroso C, De Haro L (2007). Chelonitoxism: new case reports in French Polynesia and review of the literature. *Toxicon* 49(6):827-832. doi:10.1016/j.toxicon.2006.12.002
- Flewellings LJ, Naar JP, Abbott JP, Baden DG, Barros NB, Bossart GD, Bottein MYD, Hammond DG, Haubold EM, Heil CA, Henry MS, Jacocks HM, Leighfield TA, Pierce RH, Pitchford TD, Rommel SA, Scott PS, Steidinger KA, Truby EW, Van Dolah FM, Landsberg JH (2005). Red tides and marine mammal mortalities. *Nature* 435(7043):755–756. doi:10.1038/nature435755a.
- Fleming LE, Kirkpatrick B, Backer LC, Walsh CJ, Nierenberg K, Clark J, Reich A, Hollenbeck J, Benson J, Cheng YS, Naar J, Pierce R, Bourdelais AJ, Abraham WM, Kirkpatrick G, Zaias J, Wanner A, Mendes E, Shalat S, Hoagland P, Stephan W, Bean J, Watkins S, Clarke T, Byrne M, Baden DG (2011). Review of Florida red tide and human health effects. *Harmful Algae* 10(2):224–233. doi:10.1016/j.hal.2010.08.006
- Hernández-Orozco M, Hernández-Orozco L, Gárate-Lizárraga I (2006). Síndrome de envenenamiento paralizante por consumo de moluscos. *Revista Biomedica* 17(1):45-60.

- Ignatiades L, Gotsis-Skretas O (2010). A Review on Toxic and Harmful Algae in Greek Coastal Waters, E. Mediterranean Sea. *Toxins* (Basel) 2(5):1019-1037. [doi:10.3390/toxins2051019](https://doi.org/10.3390/toxins2051019) PMCID: PMC3153226.
- Kahru M, Aitsam A, Elken J (1981). Coarse-Scale Spatial Structure of Phytoplankton Standing Crop in Relation to Hydrography in the Open Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5:311–318.
- Kao CY (1993). Paralytic shellfish poisoning. In: *Algal Toxins in Seafood and Drinking Water* (Falconer IR, ed). London: Academic Press, pp. 75–86.
- Kirkpatrick B, Fleming LE, Squicciarini D, Backer LC, Clark R, Abraham W, Benson J, Cheng YS, Johnson D, Pierce R, Zaias J, Bossart GD, Baden DG (2004). Literature review of Florida red tide: implications for human health effects. *Harmful Algae* 3(2):99–115 [doi:10.1016/j.hal.2003.08.005](https://doi.org/10.1016/j.hal.2003.08.005)
- Kononen K, Kuparinne J, Mäkelä K, Laanemets J, Pavelson J, Nömmann S (1996). Initiation of cyanobacterial blooms in a frontal region at the entrance to the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Limnol. Oceanogr.* 41:98–112. [doi:10.4319/lo.1996.41.1.0098](https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.1.0098)
- Krock B, Seguel CG, Cembella AD (2007). Toxin profile of *Alexandrium catenella* from the Chilean coast as determined by liquid chromatography with fluorescence detection and liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Harmful Algae* 6(5):734–744. [doi:10.1016/j.hal.2007.02.005](https://doi.org/10.1016/j.hal.2007.02.005)
- Landsberg JH (2002). The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms. *Reviews in Fisheries Science* 10(2):113–390. [doi:10.1080/20026491051695](https://doi.org/10.1080/20026491051695)
- Landsberg JH, Flewelling LJ, Naar J (2009). *Karenia brevis* red tides, brevetoxins in the food web, and impacts on natural resources: decadal advancements. *Harmful Algae* 8(4):598–607 [doi:10.1016/j.hal.2008.11.010](https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.11.010)
- Lapointe BE, Herren LW, Debortoli DD, Vogel MA (2015). Evidence of sewage-driven eutrophication and harmful algal blooms in Florida's Indian River Lagoon. *Harmful Algae* 43:82–102. [doi:10.1016/j.hal.2015.01.004](https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.01.004)
- Lawrence JF, Niedzwiedek B, Menard C (2005). Quantitative determination of paralytic shellfish poisoning toxins in shellfish using prechromatographic oxidation and liquid chromatography with fluorescence detection: collaborative study. *Journal of AOAC International* 88(6):1714–1732. [doi:10.1093/jaoac/88.6.1714](https://doi.org/10.1093/jaoac/88.6.1714)
- Ley-Quiñónez CP, Hart CE, Alonso-Rodríguez R, Leal-Moreno R, Martínez-López A, Sahagún I, Zavala-Norzagaray AA (2020). Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) as a Cause of Sea Turtle Mortality in Puerto Vallarta, Mexico. *Herpetological Review* 51(3):489–494
- Licea S, Navarrete A, Bustillos J, Martínez B (2008). Monitoring a Bloom of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in the El Salvador and the southern coast of Mexico (November 2005–March 2006). In Proceedings of the 12th International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae. Intergovernmental Oceanographic Commission–United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). París, France (pp. 86–89).
- López-Cortés D, Bustillos-Guzmán JJ, Hernández-Sandoval FE, Chávez-López S, Band Schmidt CJ, Núñez-Vázquez EJ (2015). Florecimientos algales nocivos: prevención, control y mitigación. Recursos Naturales y Sociedad, Vol. 1 (pp. 35–49): [doi:10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0004](https://doi.org/10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0004)
- Meave del Castillo ME, Zamudio-Resendiz ME, Herrera-Galindo E (2010). Bloom of *Alexandrium cf. tamarensis* (Dinophyta) in Oaxaca's Coast, Mexico, during May 2009. KALLIOPI A. PAGOU, 114.
- Morquecho L (2008). Morphology of *Pyrodinium bahamense* Plate (Dinoflagellata) near Isla San José, Gulf of California, Mexico. *Harmful Algae* 7(5):664–670 [doi:10.1016/j.hal.2008.02.003](https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.02.003)
- National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 56947150, Saxitoxin. Retrieved March 15, 2025 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Saxitoxin>.
- National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 21117946, Neosaxitoxin. Retrieved March 15, 2025 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Neosaxitoxin>.
- Núñez-Vázquez EJ, Gárate-Lizarraga I, Band-Schmidt CJ, Cordero-Tapia A, López-Cortes DJ, Sandoval FEH, Heredia-Tapia A, Bustillos-Guzman JJ (2011). Impact of harmful algal blooms on wild and cultured animals in the Gulf of California. *Journal of Environmental Biology* 32(4):413.
- Orellana-Cepeda E, Martínez-Romero E, Muñoz-Cabrera L, López-Ramírez P, Cabrera-Mancilla E, Ramirez-Camarena C (1998). Toxicity associated with blooms of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in southwestern Mexico. In *Harmful algae*. Proc. VIII Int. Conf. On Harmful Algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Vigo, Spain pp. 60.
- Paerl HW, Huisman J (2008). Climate: Blooms Like It Hot. *Science*. 320:57–58. DOI: [10.1126/science.1155398](https://doi.org/10.1126/science.1155398)
- Pierce RH, Henry MS (2008). Harmful algal toxins of the Florida red tide (*Karenia brevis*): natural chemical stressors in South Florida coastal ecosystems. *Ecotoxicology* 17(7):623–631. [doi:10.1007/s10646-008-0241-x](https://doi.org/10.1007/s10646-008-0241-x)
- Perrault JR, Perkins CR, Ajemian MJ, Bresette MJ, Mott CR, Page-Karjian A (2020). Harmful algal and cyanobacterial toxins in foraging green turtles (*Chelonia mydas*) in Florida's Big Bend. *Toxicon*: X 5:100020. [doi:10.1016/j.toxcx.2019.100020](https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2019.100020)
- Ronsón PJA (1999). Análisis retrospectivo y posibles causas de mareas rojas tóxicas en el litoral del sureste mexicano (Guerrero, Oaxaca, Chiapas). *Ciencia y Mar, Rev. Univ. del Mar.* septiembre/diciembre. III(9):49–55.

Raymont JEG (1980). The algae of the phytoplankton. *Plankton and Productivity in the Oceans* 1:133-191.

Rodger HD, Turnbull T, Edwards C, Codd GA (1994). Cyanobacterial (blue-green algal) bloom associated pathology in brown trout, *Salmo trutta* L., in Loch Leven, Scotland. *Journal of Fish Diseases* 17(2):177-181. [doi:10.1111/j.1365-2761.1994.tb00211.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1994.tb00211.x)

Roelke D, Buyukates Y (2001). The Diversity of Harmful Algal Bloom-Triggering Mechanisms and the Complexity of Bloom Initiation. *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.* 7:1347-1362. [doi:10.1080/20018091095041](https://doi.org/10.1080/20018091095041)

Sierra-Beltran AP, Cruz A, Núñez E, Del Villar LM, Cereceros J, Ochoa JL. (1998). An overview of the marine food poisoning in Mexico. *Toxicon* 36(11):1493-1502 [doi:10.1016/S0041-0101\(98\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(98)00139-1)

Silas EG, Bastian FA (1984). Turtle Poisoning. Central Marine Fisheries Research Institute, P.B. no. 1912, Cochin 682018, India. February, pp. 62-75.

Semmouri I, Janssen CR, Asselman J (2024). Health risks associated with the consumption of sea turtles: A review of chelonitoxism incidents and the presumed responsible phycotoxins. *Science of The Total Environment* 176330. [doi:10.1016/j.scitotenv.2024.176330](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176330)

Smayda TJ (1997). Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol. Oceanogr.* 42:1137-1153. [doi:10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1137](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1137)

Smayda TJ, Reynolds CS (2001). Community assembly in marine phytoplankton: application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. *Journal of Plankton Research* 23(5):447-461. [doi:10.1093/plankt/23.5.447](https://doi.org/10.1093/plankt/23.5.447)

[plankt/23.5.447](https://doi.org/10.1093/plankt/23.5.447)

Taylor FJ, Taylor NJ, Walsby JR (1985). A bloom of the planktonic diatom, *Cerataulina pelagica*, off the coast of northeastern New Zealand in 1983, and its contribution to an associated mortality of fish and benthic fauna. *International Review of Hydrobiolgy* 70(6):773-795. [doi:10.1002/iroh.19850700602](https://doi.org/10.1002/iroh.19850700602)

Tester PA, Steidinger KA (1997). *Gymnodinium breve* red tide blooms: Initiation, transport, and consequences of surface circulation. *Limnol. Oceanogr.* 42:1039-1051. [doi:10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1039](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1039)

Van Dolah FM, Doucette GJ, Gulland FMD, Rowles TL, Bossart GD (2003). Impacts of algal toxins on marine mammals. In: Vos JG, Bossart GD, Fournier M, O'Shea TJ (Eds.), *Toxicology of Marine Mammals*. Taylor and Francis, pp 247-269.

Walsh CJ, Luer CA, Noyes DR, 2005. Effects of environmental stressors on lymphocyte proliferation in Florida manatees, *Trichechus inanatus latirostris*. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 103(3-4):247-256. [doi:10.1016/j.vetimm.2004.09.026](https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2004.09.026)

Yasumoto T (1998). Fish poisoning due to toxins of microalgal origins in the pacific. *Toxicon* 36(11):1515-1518. doi:[https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(98\)00142-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0041-0101(98)00142-1)

Zamudio Resendiz ME, Escarcega Bata AdJ, Núñez Resendiz ML, Meave del Castillo ME (2022). Reconocimiento de dos variedades taxonómicas de *Pyrodinium bahamense* (Gonyaulacales, Dinophyceae): var. bahamense y var. compressum. *Acta Botanica Mexicana* (129):e1967. doi:10.21829/abm129.2022.1967



Consumo hídrico y transpiración en juveniles de *Persea americana* y *Pinus pseudostrobus*

Water use and transpiration of *Persea americana* and *Pinus pseudostrobus* saplings

Fernando Quiroz Rivera^{1,2}, Alberto Gómez-Tagle Chávez^{2*}

¹ Programa de Institucional de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2024

Manuscrito aceptado: 24 de febrero de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Alberto Gómez-Tagle Chávez

e-mail: alberto.gomez@umich.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7640-5205>

Resumen

Méjico es el principal productor de aguacate a nivel mundial. En Michoacán existen unas 266,687 hectáreas dedicadas a este cultivo y se ha establecido una cantidad considerable de esta superficie reemplazando los bosques nativos. El impacto hidrológico de este cambio de uso del suelo es desconocido, en especial el consumo de agua de la especie. Por lo tanto, nos planteamos la siguiente pregunta; ¿Cuánta agua consume *Persea americana* en comparación con *Pinus pseudostrobus*? Para contestar esta pregunta, realizamos un experimento de campo empleando 10 individuos juveniles de *Pinus pseudostrobus* y 10 de *Persea americana* var. Hass, se cuantificó el consumo hídrico y se estimó la transpiración durante 95 días empleando mediciones gravimétricas cada 12 horas, abarcando la temporada seca y lluviosa de 2017, así como el área foliar. Las plantas de aguacate consumieron $0.92 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, lo que contrasta con los $0.28 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ consumida por los pinos. Bajo las mismas condiciones, los aguacates consumieron 6.6 veces más agua que los pinos en la temporada seca, y 1.85 veces en la lluviosa. En cuanto a la transpiración, ésta fue de $0.90 \pm 0.69 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ para los aguacates y $0.45 \pm 0.51 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ para los pinos. Las variables meteorológicas que mejor explican el consumo de agua y la transpiración en ambas especies son la temperatura media, el déficit de presión de vapor, la velocidad del viento y la humedad relativa. También se presenta y discute un escalamiento a nivel árbol y sitio/huerta empleando la información obtenida experimentalmente, datos de campo e imágenes satelitales.

Palabras clave: Aguacate, bosque de pino-encino, franja aguacatera, Michoacán.

Abstract

Mexico is the world's top avocado producer. In Michoacan (central Mexico), roughly 266,687 hectares of land are dedicated to it. However, a considerable amount of this surface was established, replacing native forests; the hydrological impact of this land use change is unknown. In this contribution, we addressed the following question: How much water do avocado tree saplings use, and how does it compare to native forest tree species saplings? We conducted a field experiment with ten *Pinus pseudostrobus* and ten *Persea americana* var. Hass saplings to answer this question. Gravimetric water loss measurements were performed to quantify water consumption and plant transpiration in 12-hour intervals for 95-day periods, comprising both the dry and wet seasons (2017); we also measured plant leaf area. Results indicate that avocado saplings transpired $0.90 \pm 0.69 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$, while pines transpired $0.45 \pm 0.51 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$, corresponding to $0.92 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ of water consumption per m^2 of leaf area in avocados and $0.28 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ in pines. During the dry season, avocado saplings used up to 6.6 times more water per m^2 of leaf area than pines and 1.85 times more during the wet season. The best-explaining variables for water use and transpiration in both tested species were mean daily temperature, vapor pressure deficit, wind speed, and relative humidity. Upscaling water consumption at the stand/orchard level for a forest site and three avocado orchards are discussed.

Keywords: Avocado, avocado belt, Michoacán, pine-oak forest.

Introducción

La vegetación juega un papel importante en la regulación de los flujos de humedad atmosférica (Ellison *et al.*, 2017), la cual suministra una gran parte del agua que se destina a satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas, industriales y ecológicas (Hamilton *et al.*, 2009). De acuerdo con Peñuela-Arévalo y Carrillo (2013), las áreas de bosques de pino y encino (*Pinus* spp. y *Quercus* spp.) de las partes altas de las cuencas en el centro de México son zonas de recarga de acuíferos y proporcionan agua para más de 42.73 millones de personas (INEGI, 2013). Sin embargo, estas zonas se encuentran sujetas a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo (Morales-Manilla y Cuevas, 2012).

En el estado de Michoacán, México, la transformación de los bosques está asociada al crecimiento de las superficies urbanas y a los cultivos, en especial al aguacate (*Persea americana*) (Garibay y Bocco, 2011; Denvir *et al.*, 2021; Latorre-Cárdenas *et al.*, 2023). Las plantaciones de aguacate se incrementaron cerca de 700% durante las últimas cuatro décadas, y en Michoacán se encuentra el 71% (266,687 ha) de la superficie nacional sembrada y se produce el 75% (1,826,415 ton) del volumen nacional (Chávez-León *et al.*, 2012; SIAP-SAGARPA, 2016; Morales-Manilla *et al.*, en proceso). Existe preocupación por los posibles efectos de este cultivo en el ciclo hidrológico a gran escala, en especial bajo condiciones de acceso limitado al recurso hídrico o condiciones de sequía. Los bosques funcionan como reguladores del clima, y mantienen la humedad y la buena calidad del aire, por lo que el cambio de uso del suelo altera el paisaje y los ciclos de lluvia/sequía (Muñoz-Villers *et al.*, 2015).

Aún cuando existe información sobre el consumo hídrico, la eficiencia en el uso del agua y la transpiración del cultivo del aguacate, una de las aproximaciones más comunes es establecer la relación entre consumo/eficiencia de riego y la producción de fruta (ej. Tapia *et al.*, 2012; Moreno-Ortega *et al.*, 2019). Tapia *et al.* (2012) mencionan que los bosques nativos y las huertas de aguacate, se comportan de la misma manera hidrológicamente. Sin embargo, no existe información sobre el consumo hídrico de este cultivo y de especies nativas de los bosques, obtenidos bajo las mismas condiciones, que permita establecer valores de referencia a nivel comparativo.

Por lo anterior, las preguntas de investigación en este trabajo fueron: ¿Cuál es el consumo de agua de las plantas de aguacate y de pino nativo (*Pinus pseudostrobus*)? y ¿Existe diferencia en el consumo hídrico entre ambas especies? Los objetivos de este trabajo fueron: i) cuantificar el consumo hídrico y la transpiración de individuos

juveniles de aguacate y una especie de pino nativa de la franja aguacatera del estado de Michoacán (*Pinus pseudostrobus*) bajo condiciones de campo, ii) comparar el consumo hídrico y la transpiración entre de individuos juveniles de *P. pseudostrobus* y aguacate (*Persea americana* var. Hass), iii) realizar un análisis de escalamiento de consumo hídrico empleando los datos experimentales y considerando sitios de bosque y huertas de aguacate.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

Se realizó un experimento de campo en condiciones semicontroladas, empleando organismos juveniles de *Pinus pseudostrobus* y *Persea americana* var. Hass. Los experimentos se realizaron en una parcela de investigación ubicada en el Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en la ciudad de Morelia, en el estado de Michoacán, México, con coordenadas 19°41'22" N y 101°15'00" W con una altitud de 1,900 msnm, en un área de exclusión de 441 m², circundada con malla ciclónica, con acceso controlado y con vegetación de herbáceas anuales. El experimento se llevó a cabo entre el 23 de mayo del 2017 al 27 de agosto del mismo año (95 días) entre los días 144 al 239 del año.

El clima de la zona de acuerdo con el sistema de García (2004) es templado subhúmedo con la mayor parte de lluvias en verano. La temperatura media anual es de 19.0 °C y la precipitación media anual es de 796.5 mm para el periodo 1951-2010 (Servicio Meteorológico Nacional, 2015), con tres temporadas bien marcadas; lluviosa (mediados de junio a octubre), seca-fría (noviembre a enero) y seca-cálida (febrero a mayo). La temperatura promedio mensual más elevada se alcanza antes del solsticio de verano, en mayo, mientras que la más baja en enero. La precipitación durante la temporada lluviosa es de 691.5 mm y corresponde al 86.8% de la precipitación total anual, mientras que en la temporada seca-fría y seca-caliente son de 27.0 mm y 78 mm que corresponden al 3.4% y 9.7% de la precipitación total anual, respectivamente.

Material vegetal

Se emplearon 10 plantas de aguacate *Persea americana* var. Hass (injertadas sobre *Persea americana* var. Drymifolia) de 2 años de edad y 10 plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindley de 2.5 años de edad. Se usó la variedad Hass, debido a que es el cultivar con mayor

superficie sembrada en México (Mijares y López, 1998; Loza, 2015). Para el caso de los pinos, se decidió emplear una de las especies más representativas dentro de los bosques del estado de Michoacán, con mayor distribución y abundancia en el rango de elevaciones dentro de la franja aguacatera (1,800 a 2,500 msnm) y la de mayor importancia económica (Viveros-Viveros *et al.*, 2006). Los pinos se obtuvieron de un vivero de planta para reforestación de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán, mientras que los aguacates en un vivero comercial en Uruapan, Michoacán.

Los árboles fueron cuidadosamente trasplantados a recipientes plásticos con volumen de 20 L. Se utilizó suelo derivado de ceniza volcánica, con propiedades ándicas y textura franco-arenosa, secado al aire y se recompactó hasta lograr una densidad de 1.1 g·cm⁻³. Los recipientes se cubrieron con material plástico impermeable y se sellaron con silicona, evitando la pérdida de agua desde el suelo o el ingreso de la misma durante los eventos de precipitación. Se acondicionó un tapón hermético que permitió realizar los riegos necesarios. Después del trasplante, se regó hasta alcanzar la capacidad de campo y se esperó 30 días para que las plantas se adaptaran a la nueva condición.

Caracterización dasométrica

Se midió el diámetro del tronco de los árboles en su base con un vernier digital (Benewell, Inc.) (rango de 15.24 cm, precisión de 0.01 cm), y la altura del individuo con una cinta métrica (± 0.1 cm) y dos diámetros de copa en direcciones Norte-Sur y Este-Oeste. La superficie proyectada de copa se calculó a partir del radio promedio de copa y la ecuación de cálculo de superficie del círculo. Por otro lado, se estimó el área foliar a partir de mediciones manuales, considerando el largo desde la base de la hoja hasta el ápice de la misma; el ancho fue entonces la distancia entre los bordes de la hoja en la parte más amplia. La superficie se approximó idealizando la lámina foliar (lanceloada) como dos triángulos isósceles opuestos por la base, empleando la expresión $Af_{hoja} = ((L/2) \times A)$, donde L corresponde a la longitud de la hoja en centímetros y A corresponde al ancho de la hoja en centímetros. El área foliar total de cada planta se obtuvo sumando todos los valores de Af_{hoja} obtenidos.

Para los pinos, cada planta se dividió en secciones de 15 cm a partir del tronco principal. En cada sección se seleccionaron al azar 10 fascículos, con cinco acículas cada uno y se midieron el largo y ancho de cada acícula, con un vernier digital. La superficie de cada acícula se calculó considerando una forma cilíndrica de longitud

L_a y ancho a_a y empleando la expresión $Af_{acicula} = (\pi \times a_a) \times L_a$. El área foliar del fascículo se obtuvo como $Af_{fas} = Af_{acicula} \times 5$, ya que en *Pinus pseudostrobus*, los fascículos tienen en promedio cinco acículas. Las áreas foliares de los 10 fascículos correspondientes a cada sección, se promediaron Af_f . En cada sección del árbol, se contó la cantidad total de fascículos y posteriormente se multiplicó el área foliar promedio de los fascículos de cada sección (Af_f) por la cantidad de fascículos en la misma. El área foliar de cada planta (Af_{planta}) se obtuvo sumando el área foliar de las diferentes secciones.

Los datos de área foliar se obtuvieron semanalmente para cada planta y la superficie de área foliar para cada día se estimó empleando interpolación lineal entre las fechas de medición.

Consumo hídrico y transpiración

Al inicio del experimento se agregó agua a hasta alcanzar la capacidad de campo del suelo y se pesó cada contenedor empleando una báscula digital portátil con capacidad de 40 kg con resolución de ± 2 gr (CRT global, Inc.) para determinar el peso inicial. Posteriormente, se realizaron mediciones gravimétricas a las 7:00 y 19:00 horas del tiempo local. Se escogieron estos horarios ya que se deseaba conocer la pérdida de peso por transpiración, la cual ocurre durante el día como parte de la actividad fotosintética (McCulloh *et al.*, 2007). La diferencia entre el peso medido en el horario matutino y el peso del horario vespertino correspondió a la pérdida de agua por transpiración. Se asumió que dado el corto tiempo del experimento (95 días), el efecto de la acumulación de biomasa por crecimiento de los individuos es mínimo y por lo tanto no se consideró.

Durante el experimento, se realizaron riegos periódicos para re establecer el contenido de humedad del sustrato y evitar el estrés hídrico extremo en la planta y se realizaron al alcanzarse una pérdida del 5% de la masa inicial, usualmente con una frecuencia de entre 3 y 5 días. La lámina de transpiración diaria (mm·día⁻¹), se calculó para cada planta dividiendo el volumen de consumo diario entre la superficie proyectada de copa (m²). El volumen de consumo diario se calculó a partir de la diferencia de peso registrado entre las 7:00 a.m. y las 7:00 p.m. (kg·día⁻¹), expresado en unidades de volumen (L·día⁻¹), considerando un valor de densidad del agua de 1.0 g·cm⁻³. Con fines comparativos y estandarización, se estimó el consumo de agua diario por unidad de área foliar (L·m⁻²·día⁻¹). Para ello se dividió el volumen de consumo diario (L·día⁻¹) entre la superficie de área foliar para el día de medición (m²).

Variables meteorológicas

Se registraron diferentes variables micrometeorológicas empleando una estación meteorológica automática Davis Vantage Pro2⁺ (Davis, Inc.) calibrada mediante el método de Calder y Kidd (1978) y con resolución de lámina de precipitación de 0.2 mm. Los registros se realizaron cada 10 minutos para precipitación (mm), humedad relativa (%), radiación solar ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), temperatura (°C), velocidad del viento ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$), dirección del viento (° azimutal) y presión atmosférica (kPa). Los datos de las variables micrometeorológicas se agregaron a nivel diario y se procesaron para calcular la lámina de evapotranspiración de referencia (ETo) empleando el método de Pneman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), así como el déficit de presión de vapor a partir de las temperaturas máximas, mínimas y temperatura del punto de rocío en intervalos diarios (Allen *et al.*, 1998).

Escalamiento

Con el fin de realizar un escalamiento y estimación de consumo hídrico a escala de parcela y rodal forestal, se consideraron los valores promedio de consumo hídrico obtenidos experimentalmente para cada una de las especies y se estimó el consumo hídrico para un sitio de bosque con dominancia de *Pinus pseudostrobus* en el área natural protegida de Barranca de Cupatitzio, en Uruapan Michoacán y tres huertas distintas; huerta de 15 años en la localidad de Zirahuén (H15), huerta de 40-50 años en el ANP Barranca de Cupatitzio (HBC) y huerta 30 años ubicada en el Instituto Tecnológico de Uruapan (HTec) en los que se realizó una caracterización del arbolado en campo (**Tabla 1**).

El escalamiento se realizó asumiendo una relación lineal entre el área foliar y el consumo hídrico de

cada especie. El área foliar a escala de sitio se estimó dividiendo el índice de área foliar (LAI por sus siglas en inglés) entre la superficie de copa promedio de cada sitio. Los valores de LAI se obtuvieron a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT 8 de la NASA (*Path*: 028, *Row*: 046), disponibles a través de la plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), para la temporada seca (2018-marzo-13; LC08_L1TP_028046_20180313_20200901_02_T1) y húmeda (2017-oct-20; LC08_L1TP_028046_20171020_20200902_02_T1), empleando el modelo METRIC, habilitado dentro del paquete *water* para el ambiente de programación R (Olmedo *et al.*, 2016; R Core Team, 2018) disponible en línea (<https://rdrr.io/cran/water/>).

Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron empleando el ambiente de programación estadístico R (R Core Team, 2018). Se comparó el consumo hídrico y la transpiración entre especies y temporada seca (24/05/2017-23/06/2017) y lluviosa (24/06/2017-27/08/2017) empleando pruebas de T de Student (Ruxton, 2006) y se realizaron análisis de varianza (Heiberger *et al.*, 2017), así como correlaciones de Kendall para las series de tiempo de consumo hídrico y transpiración. También se exploraron relaciones a partir de regresiones lineales entre variables micrometeorológicas, área foliar y consumo hídrico y lámina de transpiración de las especies estudiadas. Para el escalamiento se realizaron comparaciones entre los diferentes sitios empleando análisis de varianza. Los niveles de significancia, incluyendo los errores estándar asociados con los parámetros de los modelos corresponden al intervalo de confianza de 95% ($\alpha = 0.95$ o $P < 0.05$).

Tabla 1. Ubicación, características generales y características dasométricas del arbolado en los sitios considerados para el escalamiento de consumo hídrico; altura, diámetro del tronco (D. tronco), superficie de copa (S. copa) y densidad del arbolado.

Sitio	Longitud (W)	Latitud (N)	Altitud (msnm)	Edad (años)	Superficie (ha)
Bosque	102°05'31"	19°25'43"	1 775	50	2.72
H15	101°43'20"	19°28'16"	2 260	15	1.20
HBC	102°05'46"	19°24'55"	1 805	40–50	2.97
HTec	102°04'32"	19°28'48"	1 900	30	4.20
Sitio	Altura (m)	D. tronco (m)	S. copa (m^2)	Densidad (árboles/ha)	
Bosque	22.3 ± 9.2	0.38 ± 0.20	148.2 ± 325	235.0	
H15	5.5 ± 1.4	$0.19 \pm 0.04 *$	28.0 ± 11.8	156.2	
HBC	6.8 ± 2.4	$0.47 \pm 0.19 *$	43.4 ± 33.6	100.0	
HTec	7.5 ± 3.5	-	55.4 ± 22.5	150.0	

* Diámetro del tronco medido a 0.3 m

Resultados

Las alturas promedio de los individuos experimentales fueron de 1.12 y 1.62 m, y el diámetro promedio del tronco fue 17.38 y 21.1 mm para los aguacates y pinos, respectivamente, sin diferencias entre las especies. En cuanto al área foliar de los pinos fue casi el doble (0.54 m^2) que la de los aguacates (0.26 m^2) con diferencia significativa ($F=1161$, $gl=1551$, $p<0.001$), mientras que la superficie de copa fue similar 0.24 m^2 para los aguacates y 0.26 m^2 para los pinos, también con diferencia significativa ($F=7.74$, $gl=1552$, $p=0.005$) (Tabla 2).

Consumo hídrico y transpiración

Las plantas de aguacate transpiraron en promedio $0.90 \pm 0.69 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, que correspondió a $0.92 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ de consumo hídrico, mientras que los árboles de pino transpiraron $0.45 \pm 0.51 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, ($0.28 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ de consumo hídrico) (Tabla 3), el análisis de varianza indicó diferencia significativa para la transpiración ($F=141.9$, $gl=1181$, $p<0.001$). El análisis de correlación de Mann-Kendall para la transpiración arrojó una $\tau = -0.26$ ($p<0.001$) para los aguacates y $\tau = -0.12$ ($p=0.12$) para los pinos, indicando que la transpiración por parte de los aguacates decrece, al pasar de la temporada seca a la temporada húmeda, en los pinos no se apreció una tendencia significativa. En cuanto al consumo hídrico, hubo diferencia significativa entre las especies ($F=283.8$, $gl=1377$, $p<0.001$).

Al separar el conjunto de datos a nivel estacional, en época de estiaje los árboles de aguacate transpiraron en promedio $1.26 \pm 0.86 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ ($1.32 \pm 0.84 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) (Figura 1, Tabla 3) y los pinos transpiraron $0.48 \pm 0.31 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ ($0.20 \pm 0.12 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$), mientras que en la temporada lluviosa los aguacates transpiraron $0.76 \pm 0.59 \text{ mm}$ ($0.65 \pm 0.47 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) y los pinos $0.46 \pm 0.61 \text{ mm}$ ($0.35 \pm 0.99 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) (Figura 1, Tabla 3). Estos resultados indican que las plantas de aguacate consumen 6.6 veces más agua por metro cuadrado de área foliar que los pinos en la época de estiaje, mientras que en la temporada lluviosa la proporción se reduce a 1.85 ve-

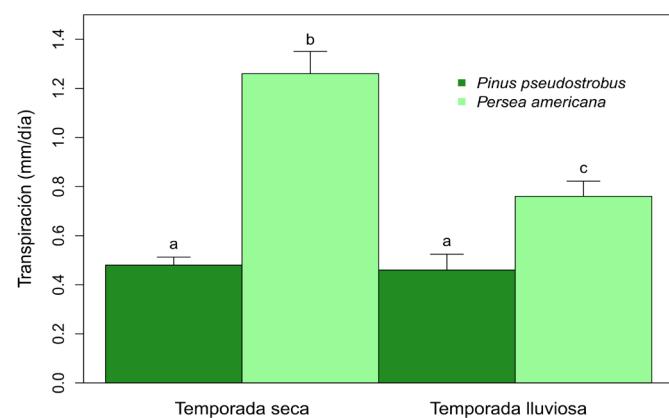


Figura 1. Transpiración para *Pinus pseudostrobus* y *Persea americana* var. Hass durante las temporadas seca y lluviosa de 2017, las letras indican diferencia estadística entre las medias junto con los errores estándar de las medias.

ces. Sin embargo, el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticamente significativas en la transpiración entre las dos especies, tanto para el periodo de estiaje ($F=121.9$, $gl=304$, $p<0.001$), como para el periodo húmedo ($F=56.88$, $gl=877$, $p<0.001$) (Tabla 3, Figura 1).

Relación entre consumo hídrico y las variables micrometeorológicas

Variables micrometeorológicas. La precipitación acumulada del periodo de estudio fue de 442.1 mm, que corresponde al 55.5% de la precipitación promedio anual, para la temporada de estiaje fue de 65.6 mm (2017-05-24 al 2017-06-23) y para la temporada lluviosa 376.5 mm (2017-06-24 al 2017-08-27) que corresponden a 8.2% y 47.3% de la precipitación promedio anual (796.5 mm).

En cuanto a la temperatura, ésta osciló entre 11.3°C y 32.10°C en el periodo de estudio. Las temperaturas máximas, fueron mayores durante la temporada de estiaje ($29.0^\circ\text{C} \pm 1.3$) que en la temporada lluviosa ($25.3^\circ\text{C} \pm 1.8$), la prueba de t de Student indicó diferencias significativas entre las temporadas ($t = 11.137$, $gl = 77.383$, $p < 0.001$), así como también entre las temperaturas mínimas $15.9^\circ\text{C} \pm 1.3$ y $14.9^\circ\text{C} \pm 1.0$ para las temporadas seca y lluviosa ($t = 3.3921$, $gl = 45.565$, $p < 0.01$) y las

Tabla 2. Características dasométricas y área foliar de los individuos experimentales de *Persea americana* var. Hass y *Pinus pseudostrobus*. Letras diferentes indican diferencia significativa entre especies de acuerdo con el análisis de varianza.

Especie	Variable			
	Altura (m)	Diámetro (mm)	Superficie de Copa (m^2)	Área foliar (m^2)
<i>Persea americana</i> var. Hass (n = 10)	1.12 ± 0.26	17.38 ± 5.21	0.24 ± 0.11 a	0.26 ± 0.06 a
<i>Pinus pseudostrobus</i> (n = 10)	1.62 ± 0.32	21.2 ± 5.26	0.26 ± 0.13 b	0.54 ± 0.19 b
			$F=1161$, $gl=1551$, $p<0.001$	$F=7.74$, $gl=1552$, $p=0.005$

Tabla 3. Resultados experimentales del consumo hídrico y transpiración para individuos de *Pinus pseudostrobus* y *Persea americana* var. Hass. Se presentan los valores promedio y las desviaciones estándar. Las letras indican diferencias estadísticas significativas con valores de $p \leq 0.05$. El consumo hídrico está reportado en volumen (L) por superficie de área foliar (m^2) por unidad de tiempo (día).

Especie	Consumo hídrico ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$)	Transpiración ($\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$)
	General	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.28 ± 0.55 a	0.45 ± 0.51 a
<i>Persea americana</i>	0.92 ± 0.69 b	0.90 ± 0.69 b
Temporada seca		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.20 ± 0.12 a	0.48 ± 0.31 a
<i>Persea americana</i>	1.32 ± 0.84 c	1.26 ± 0.86 c
Temporada lluviosa		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.35 ± 0.99 a	0.46 ± 0.61 a
<i>Persea americana</i>	0.65 ± 0.47 b	0.76 ± 0.59 b

temperaturas promedio de $21.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.1$ y 19.1 ± 1.0 para las temporadas seca y lluviosa, respectivamente ($t = 10.678$, $gl = 55.4$, $p < 0.001$) (Figura 2).

La humedad relativa varió entre 19.0% y 96.5% en el periodo de estudio, sin embargo, la oscilación promedio diaria para la temporada seca fue significativamente mayor que en la temporada lluviosa con 54.4% y 42.5%,

respectivamente, con diferencia significativa entre las temporadas ($t = 6.7505$, $gl = 56.806$, $p < 0.001$). La humedad relativa promedio diaria fue mayor en la temporada lluviosa ($77.5\% \pm 7.0$) que en la temporada seca ($64.7\% \pm 4.9$) ($t = -9.108$, $gl = 42.672$, $p < 0.001$).

El déficit de presión de vapor, durante la temporada de estiaje osciló entre 1.03 y 2.17 kPa mientras que en la época lluviosa entre 0.43 y 1.79 kPa. Los valores diarios promedio fueron de 1.49 ± 0.29 kPa y 0.87 ± 0.24 kPa para las épocas seca y lluviosa, respectivamente, encontrándose diferencia significativa entre las temporadas ($t = 10.307$, $gl = 48.35$, $p < 0.001$).

La velocidad del viento que tuvo promedios diarios de $0.92 \pm 0.29 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $0.64 \pm 0.39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para las temporadas de estiaje y lluviosa, respectivamente, con diferencia estadística significativa entre las temporadas ($t = 3.9498$, $gl = 75.064$, $p < 0.001$).

Los análisis de regresión lineal entre la transpiración y las diferentes variables micrometeorológicas consideradas (Figura 3) indican que la velocidad del viento explicó el 19 y 23% de la variación en pinos y aguacates, respectivamente, mientras que la temperatura media el modelo explicó el 7 y 24% de la variación de la transpiración, respectivamente. El déficit de presión de vapor también ejerce control sobre la transpiración de ambas especies, siendo altamente significativo en el caso de los

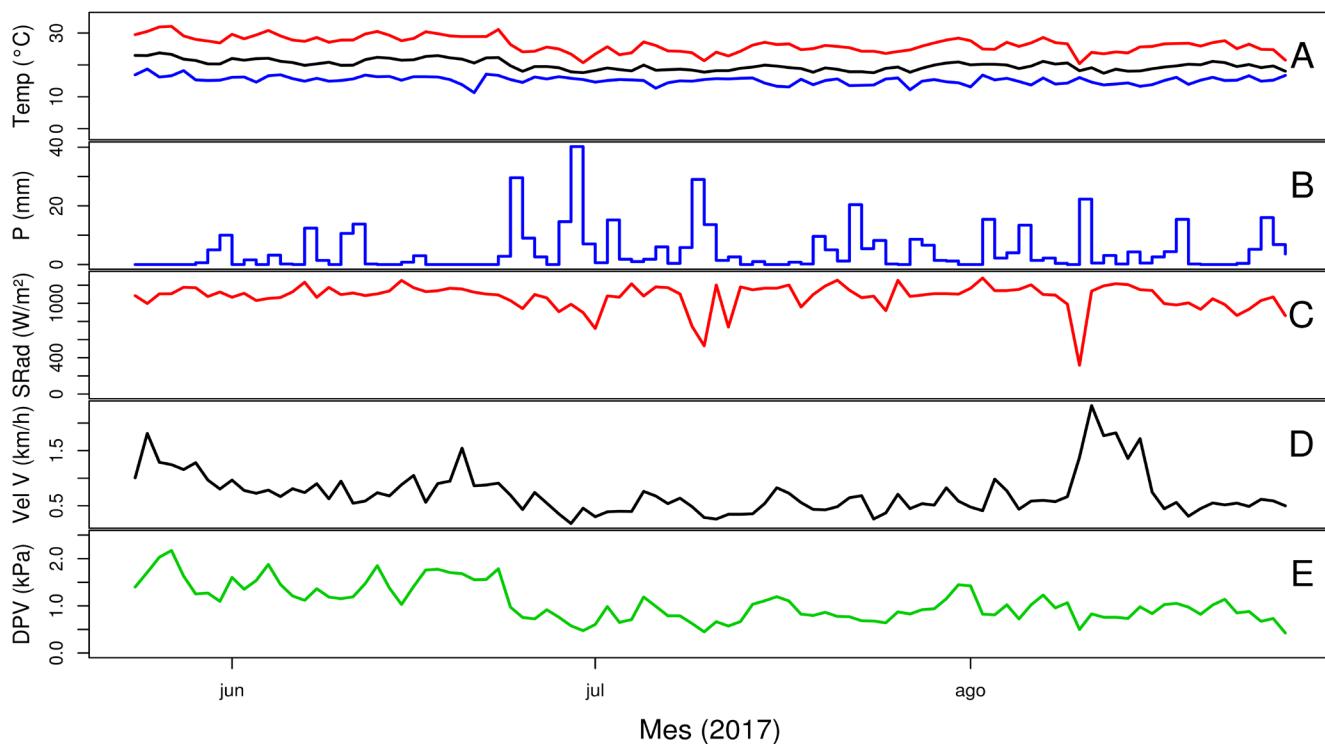


Figura 2. Variables micrometeorológicas para el periodo de estudio (24 de mayo 2017 al 27 de agosto 2017): A) Temperatura máxima (rojo), media (negro) y mínima (azul) diaria ($^{\circ}\text{C}$), B) precipitación diaria (mm), C) Radiación solar máxima diaria (W/m^2), D) velocidad del viento (km/h) y E) déficit de presión de vapor (kPa).

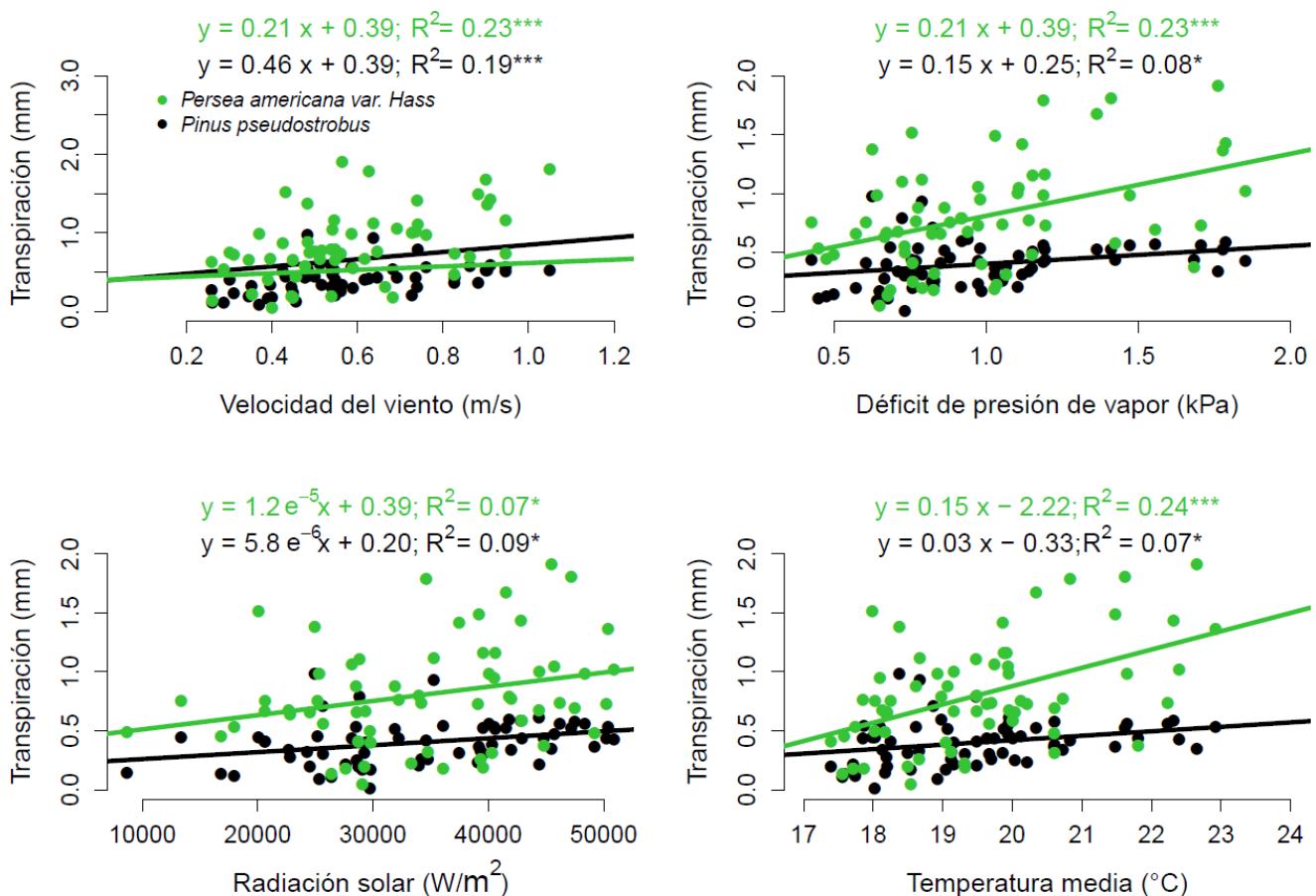


Figura 3. Relación entre variables micrometeorológicas y la transpiración para *Pinus pseudostrobus* y *Persea americana* var. Hass.

aguacates. Inesperadamente, la radiación solar fue la variable meteorológica que influyó en menor medida en la transpiración de ambas especies (Figura 3).

Escalamiento

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticamente significativas ($F=67.9$, $p < 0.001$) para el índice de área foliar de los distintos sitios bosque y las huertas H15, HBC y HTec. Los valores de LAI y área foliar para cada temporada y sitio (Tabla 4) indican que, para todos los sitios, tanto el LAI como el área foliar incrementó en la temporada lluviosa, respecto a la seca, excepto la huerta HBC en la que el LAI se redujo de 2.12 a 2.08, posiblemente asociado a la realización de una poda de saneamiento de los árboles en la huerta.

Al realizar el escalamiento a nivel de individuo promedio, para el bosque, los consumos fueron de $35.9 \text{ L} \cdot \text{día}^{-1}$ a $94.9 \text{ L} \cdot \text{día}^{-1}$, mientras que en las huertas varió entre $29.6 \text{ L} \cdot \text{día}^{-1}$ para la huerta H15 durante la época seca a $217.14 \text{ L} \cdot \text{día}^{-1}$ para la huerta HTec (Tabla 5).

Por otro lado, en cuanto al consumo promedio en me-

tros cúbicos estimado por año para *Persea americana*, encontramos que la huerta H15 llega a consumir en promedio $2,430.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($16.2 \text{ m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), la huerta HBC $3,290.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($32.9 \text{ m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), mientras que para la huerta HTec se estimó un consumo de $9,501.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($63.3 \text{ m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) (Tabla 5). El consumo promedio anual del sitio de bosque se estimó en $5,609.7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($23.9 \text{ m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).

El bosque tiene un mayor consumo que la huerta H15 la para la temporada seca, mientras que el consumo de HTec es 3.86 veces el del bosque para la misma temporada. Sin embargo, el consumo estimado en el sitio de bosque, sobrepasó al de todas las huertas en la temporada lluviosa (Tabla 5).

Discusión

Transpiración

La transpiración promedio de las plantas de aguacate fue de $0.90 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ ($0.92 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$), mientras que

Tabla 4. Índice de área foliar (LAI) y área foliar promedio por árbol estimadas para un sitio de bosque y tres huertas para temporada seca y lluviosa.

Sitio	LAI temporada seca	Área foliar temporada seca (m^2)	LAI temporada lluviosa	Área foliar temporada lluviosa (m^2)
Bosque	1.21 ± 0.27	179.3	1.83 ± 0.22	271.2
H15	3.40 ± 0.02	95.2	3.87 ± 0.12	108.4
HBC	2.12 ± 0.27	92.0	2.08 ± 0.21	90.56
HTec	2.97 ± 0.61	164.5	3.61 ± 0.34	199.9

P. pseudostrobus transpiró en promedio $0.45 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ ($0.28 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$). Los valores reportados para los pinos varían poco en comparación a lo reportado para otras especies del mismo género, *P. sylvestris* transpira $0.22 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ (Llorens *et al.* 2003). Ghimire *et al.* (2014) reportan $0.7 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ para *P. roxburghii*, mientras que Tapia *et al.* (2012) encontraron que un bosque conífero cercano a la zona de estudio transpira en promedio $0.40 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ siendo este valor muy similar al encontrado en el presente estudio. De forma que aún cuando la parte experimental del estudio se realizó con individuos juveniles de esta especie, el valor de Tapia *et al.* (2012) permite inferir que en términos de lámina de transpiración los árboles maduros y los juveniles se comportan en forma similar, apuntalando la validez del escalamiento considerando la lámina de transpiración y el área foliar calculada (**Tablas 4 y 5**). Además, del hecho de que *P. pseudostrobus* es una especie dominante en los bosques de coníferas de la zona aguacatera del estado de Michoacán (Castellanos *et al.*, 2015).

Para el caso de *Persea americana*, la transpiración encontrada en este trabajo se encuentra por debajo de lo reportado por Fassio *et al.* (2009), quienes reportan consumos de entre 1.2 y $1.7 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ para la variedad

Hass, mientras que Tapia *et al.* (2012) reportan $1.6 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ en la franja aguacatera en Michoacán.

La menor transpiración encontrada en nuestro estudio para los individuos de aguacate puede explicarse a que empleamos árboles juveniles en etapa vegetativa, en donde no hay formación de flores ni frutos, caso contrario al trabajo de Tapia *et al.* (2012), quienes trabajaron con árboles adultos en etapa productiva. Además, se ha probado que la transpiración aumenta en las etapas reproductivas y de producción de fruto (Rana *et al.*, 2004; Pimentel *et al.*, 2010; Silber *et al.*, 2019).

Las diferencias en el consumo hídrico suele asociarse a la variación del área foliar, ya que al existir una mayor superficie de hojas, se esperaría tener mayor cantidad de superficie estomática por árbol, por lo cual el intercambio gaseoso sería mayor. Este estudio señala lo contrario, ya que los pinos presentaron casi el doble de área foliar ($0.54 \pm 0.19 \text{ m}^2$) que los aguacates ($0.26 \pm 0.06 \text{ m}^2$) (**Tabla 2**), sin embargo, los árboles de aguacate consumieron 3.2 veces más agua por metro cuadrado de área foliar (**Tabla 3**).

Una característica fisiológica que tiene incidencia en la transpiración es la resistencia o conductancia estomática (gs) de las hojas, la cual se define como la resistencia de los estomas a la apertura y cierre. Para el género *Pinus* se reportan valores de gs con rangos entre 200 y 400 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Niinemets, 2002; Addington *et al.*, 2004; Domec *et al.*, 2009; Alvarado-Barrientos, 2013). Para el género *Persea*, se reportan conductancias entre 147 a 250 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Sanclemente *et al.*, 2014; Schaffer *et al.*, 1991). Si bien los valores de gs son similares, la diferencia en transpiración puede ser explicada por la diferencia en la densidad estomática entre especies de *Pinus* (29-74 est. \cdot mm^{-2} ; Jinxing *et al.*, 2001; Tiwari *et al.*, 2013) y *Persea americana* (200 y 453 est. \cdot mm^{-2} ; Barrientos-Priego *et al.*, 2003). De forma que aún con valores similares de gs la cantidad de estomas en el caso de *Persea americana* es mayor que en los pinos, lo que facilitaría el proceso de pérdida de agua por transpiración

Tabla 5. Resultados del escalamiento consumo hídrico en un sitio de bosque y tres huertas, para las temporadas seca y lluviosa.

Sitio	Consumo ($l \cdot \text{día}^{-1}$) Temporada de seca		Consumo ($l \cdot \text{día}^{-1}$) Temporada lluviosa		Consumo ($\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$) Promedio anual*	
	Árbol	Hectárea	Árbol	Hectárea	Árbol	Hectárea
Bosque	35.9	8 427.1	94.9	22 306.2	23.9	5 609.7
H15	125.7	19 628.7	70.5	11 005.9	35.8	9 173.6
HBC	121.4	12 144.0	58.9	5 886.4	32.9	3 290.6
HTec	217.1	32 571.0	129.9	19 490.3	63.3	9 501.2

* Para el cálculo de consumo promedio anual se consideraron los promedios de la época lluviosa y seca para cada sitio.

Influencia de las variables meteorológicas

La transpiración de las plantas varía de acuerdo a su comportamiento fisiológico, derivado de la adaptación al medio en el que se encuentran. La conductancia estomática está influida por la radiación solar, la temperatura y el déficit de presión de vapor (Allen *et al.*, 1998). La transpiración de ambas especies se relacionó con la velocidad del viento, la humedad relativa y el déficit de presión de vapor. Ghimire *et al.*, (2014) y Alvarado-Barrantes (2013) reportan que los principales controles meteorológicos en la transpiración para *P. roxburghii* y *P. patula*, respectivamente, fueron la radiación solar y el déficit de presión de vapor. La humedad relativa ha sido reportada como variable que regula la transpiración, como en el caso de *Acacia mangium* ($R^2 = 0.85$) ó con plantas de café (*Coffea arabica*, $R^2 = 0.80$) (Cienciala *et al.*, 2000; Pimentel *et al.*, 2010). Cabe resaltar que se esperaba una mayor relación de la transpiración de los aguacates con esta variable, y que el modelo lineal sólo explicó el 6% de la variación (**Figura 3**).

Escalamiento en bosque y huertas de aguacate

Considerando los supuestos en que este escalamiento se basa; i) el consumo por unidad de área foliar obtenido para los árboles juveniles es considerado como válido para organismos adultos, ii) el consumo está determinado por el área foliar y iii) para el sitio de bosque escalado, se considera una condición homogénea y presencia de *Pinus pseudostrobus* como especie única, entonces el consumo total de agua dependerá de la superficie del área foliar, la cual a su vez, está en función del manejo y la edad de la huerta para el cultivo de aguacate.

Al escalar a nivel de huerta/rodal, se estima que la hectárea de bosque nativo dominado por *Pinus pseudostrobus* consume aproximadamente el 43% de la huerta H15 en la temporada seca. Esta situación se revierte en la temporada lluviosa, pues el bosque consumiría cerca del doble de lo que consume la huerta H15. Al comparar el sitio de bosque con la huerta HBC (a escasos 500 m de distancia), la huerta consumió 1.4 veces más que el bosque en la temporada seca, pero en la temporada de lluvias el bosque consumió 1.7 veces más, mientras que la huerta HTec, consumió 3.86 veces lo que consume el bosque en la temporada seca y 0.87 veces en la lluviosa (**Tabla 5**).

Es importante notar que, para la mayoría de los sitios, tanto el LAI, como el área foliar incrementan, excepto para la huerta HBC donde el LAI pasa de 2.12 a 2.08, reducción posiblemente asociada a las podas de saneamiento en la huerta. Sin embargo, el mayor incremento en LAI se presentó en la huerta HTec que

pasó de 2.97 por árbol a 3.61 (**Tabla 4**). Los datos experimentales (**Tabla 5**) muestran cómo el consumo incrementa en *Pinus pseudostrobus* y decrece en *Persea americana*, entre temporadas, por lo que en el caso de *Persea americana*, aun cuando se incrementa el área foliar, el consumo por hectárea decrece, pues depende también de la densidad arbórea, siendo 1.7 más denso el bosque que las huertas (**Tabla 1**).

El incremento en el consumo de agua del cultivo del aguacate durante la época de estiaje en el centro de México implica que en esta temporada se pueden presentar problemas de estrés hídrico. Esta es una situación bien conocida por los productores, quienes implementan sistemas de riego de auxilio a partir de fuentes de agua subterráneas o superficiales con el fin de hidratar el cultivo, evitar pérdidas e incrementar la producción. Se sabe que bajo estrés hídrico ligero a moderado, se afecta la producción de aguacate y puede reducirse hasta 34% en ambientes mediterráneos (Silber *et al.*, 2019).

De acuerdo con la literatura, las estimaciones de consumo anual de las huertas H15 y HBC (**Tabla 5**), están por debajo de los valores reportados en otros trabajos para plantaciones de *Persea americana*, como Lahav y Kalmar (1977), quienes registraron $6,680 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($32 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) en Israel, o valores similares a los encontrados por Gustafson *et al.*, (1979), que reportan $7,875 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ con árboles de 6 años en California, Estados Unidos ó los $6,503 \pm 328 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{temporada}^{-1}$ reportados por Moreno-Ortega *et al.* (2019) en el sur de España. Hoffman y Du Plessis (1999) reportan un consumo de $8,900 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($15 \text{ a } 40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) en Nelspruit, Sud-Africa. En nuestro caso, el valor de la huerta HTec; $9,501.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($63.3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) (**Tabla 5**) es similar a los valores reportados por Hoffman y Du Plessis (1999). Moreno-Ortega *et al.* (2019) indican que la producción de aguacate en el sur de España (Andalucía) está limitada a la disponibilidad de agua para riego, usualmente $5,300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{temporada}^{-1}$, y que bajo ciertas condiciones llega a alcanzar los $7,000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{temporada}^{-1}$.

Las diferencias del consumo resultado de este trabajo y aquellos reportados en la literatura se pueden atribuir a las estimaciones de consumo hídrico por superficie de hojas empleadas como referencia, que fueron calculadas a partir de árboles juveniles y en etapa vegetativa, sin producir flores ni frutos. Whiley *et al.* (1988) reportan que las plantas de aguacate, requieren una condición de hidratación óptima durante la floración y que en la fructificación la demanda de agua se incrementa significativamente. En el caso de este cultivo, en

condiciones de estrés hídrico, ocurre abscisión floral masiva y el aborto de frutos, la cual puede alcanzar hasta 1.3 millones de flores por árbol en condiciones normales y aproximadamente solo el 1% de los frutos llega a la maduración (Silber *et al.*, 2019).

Aún con las restricciones que pudieran tener los valores escalados en el presente trabajo, se considera que éstos pueden servir como información base respecto a las magnitudes de consumo hídrico del cultivo de aguacate en la franja aguacatera del estado de Michoacán. Debido a la metodología de escalamiento y representatividad de los datos, trabajos posteriores deberán enfocarse al determinar el consumo hídrico y la transpiración en cultivos de aguacate establecidos (huertas) y bosques, bajo diferentes condiciones ambientales, y considerando métodos directos como la medición mediante sensores de flujo de savia, con el fin de poder establecer cifras que permitan comparar mejor entre sitios de bosque y de cultivo de aguacate, así como aproximar a nivel espacial y escala de paisaje el consumo hídrico y la transpiración respectiva de este cultivo.

Conclusiones

Los árboles juveniles de *Persea americana* presentaron mayor consumo hídrico y transpiración que los árboles juveniles de *Pinus pseudostrobus*, aun cuando los aguacates presentaron áreas foliares menores (la mitad) a la de los pinos. Los aguacates tuvieron mayor consumo hídrico y mayores tasas de transpiración durante la temporada de estiaje, mismas que se redujeron en forma significativa para la temporada lluviosa, diferencia atribuida al incremento de la humedad relativa del aire en la temporada lluviosa y por lo tanto la reducción del déficit de presión de vapor. Los valores más altos de consumo hídrico y de transpiración, para la temporada lluviosa ocurrieron en un día con déficit de presión de vapor intermedio, pero con velocidad de viento considerable. Además, fisiológicamente se sabe que la resistencia estomática de las hojas de aguacate es similar a la de los pinos, pero la densidad de estomas es mas alta, lo que explica el mayor consumo de agua aún con menor área foliar por parte de los aguacates. El ejercicio de escalamiento, aun cuando está limitado por uso del área foliar como variable predictora y considerando que las mediciones se realizaron en organismos juveniles en etapa vegetativa y no adultos en producción, proporcionó valores de consumo hídrico dentro de los valores reportados por la literatura, por lo que la información generada en el presente estudio puede servir como referencia general para el consumo hídrico del cultivo

de aguacate bajo condiciones similares en el centro de México. Sin embargo, estudios comparativos en huertas en producción y bosques establecidos empleando métodos de medición directa son indispensables para realizar estas comparaciones dentro de un marco analítico con mayor robustez.

Referencias

- Addington R, Mitchell R, Oren R, Donovan L (2004). Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. *Tree Physiology* 24:561-569. doi: 10.1093/treephys/24.5.561.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome* 300(9):D05109.
- Alvarado-Barrientos MS (2013). *Plant water use and canopy-fog interactions across a land-use change trajectory in a montane cloud belt*. Tesis doctoral, Universidad de New Hampshire, Durham, Estados Unidos de América.
- Barrientos-Priego AF, Borys MW, Trejo C, López LL (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(4):291-299.
- Calder IR, Kidd CHR (1978). A note on the dynamic calibration of tipping-bucket gauges. *Journal of hydrology* 39(3-4):383-386. doi:10.1016/0022-1694(78)90013-6.
- Castellanos D, Lindig CR, Sáenz-Romero C. (2015). Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change. *Ecosphere* 6(1):1-16. doi:10.1890/ES14-00375.1.
- Cienciala E, Kučera J, Malmer A (2000). Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. *Journal of Hydrology* 236(1-2):109-120. doi:10.1016/S0022-1694(00)00291-2.
- Chávez-León G, Tapia Vargas L, Bravo Espinoza M, Sáenz Reyes J, Muñoz Flores HJ, Vidales Fernández I, Larios Guzmán A, Rentería Ánima JB, Villaseñor Ramírez FJ, Sánchez Pérez J, Alcántar Rocillo JJ, Mendoza Cantú M (2012). *Impacto del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate*. Primera Edición edn. INIFAP, México, D.F.
- Denvir A, Arima EY, González-Rodríguez A, Young KR (2022). Ecological and human dimensions of avocado expansion in México: Towards supply-chain sustainability. *Ambio* 51(1):152-166. doi:10.1007/s13280-021-01538-6.
- Domec J-C, Palmroth S, Ward E, Maier CA, Therezien M, Oren R (2009) Acclimation of leaf hydraulic conductance and stomatal conductance of *Pinus taeda* (loblolly pine) to long-term growth in elevated CO₂ (free-air CO₂ enrichment) and N-fertilization. *Plant, Cell & Environment* 32(11):1500-1512. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02014.x>.

- Ellison D, Morris CE, Locatelli B, Sheil D, Cohen J, Murdiyarso D, Sullivan CA (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change* 43:51-61. doi:10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002.
- Fassio C, Heath R, Arpaia ML, Castro M (2009). Sap flow in "Hass" avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. *Scientia Horticulturae* 120(1):8-13. doi:10.1016/j.scienta.2008.09.012.
- García E (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5ta ed.). México, CDMX: Instituto de Geografía, UNAM.
- Garibay C, Bocco G (2011). *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005)* (1era Ed.). México: UNAM.
- Ghimire CP, Lubczynski MW, Bruijnzeel LA, Chavarro-Rincón D (2014). Transpiration and canopy conductance of two contrasting forest types in the Lesser Himalaya of Central Nepal. *Agricultural and Forest Meteorology* 197:76-90. doi:10.1016/j.agrformet.2014.05.012.
- Gustafson CD, Marsh RL, Branson RL, Davis S (1979). Drip irrigation on avocados. *California Avocado Society Yearbook* 63:95-134.
- Hamilton LS, Dudley N, Greminger G, Hassan N, Lamb D, Stolton S, Tognetti S (2009). *Los bosques y el agua: Estudio temático elaborado en el ámbito de la evaluación de los recursos forestales mundiales 2005*. Roma, Italia: Estudio FAO: Montes.
- Heiberger RM, Freeny AE, Chambers JM (2017). Analysis of variance; designed experiments. En: Chambers JM, Hastie TJ (Eds). *Statistical models in S*. Londres, Inglaterra: Routledge, pp. 145-193.
- Hoffman JE, Du Plessis SF (1999). Seasonal water requirements of avocado trees grown under subtropical conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5:191-194.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2013). *Censo de población y vivienda 2010*. México: INEGI. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17159&c=17547&s=est>.
- Jinxing L, Jach ME, Ceulemans R (2001). Stomatal density and needle anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris*) are affected by elevated CO₂. *New Phytologist* 150:665-674. doi:10.1046/j.1469-8137.2001.00124.x.
- Lahav E, Kalmar D (1997). Water requirements of avocado in Israel I. Tree and soil parameters. II. Influence on yield, fruit growth and oil content. *Australian Journal of Agricultural Research* 28:859-877. doi:10.1071/AR9770859.
- Latorre-Cárdenas MC, González-Rodríguez A, Godínez-Gómez O, Arima EY, Young KR, Denvir A, Ghilardi A (2023). Estimating fragmentation and connectivity patterns of the temperate forest in an avocado-dominated landscape to propose conservation strategies. *Land* 12(3):631.
- Llorens P, Oliveras I, Poyatos R (2003). Temporal variability of water fluxes in a *Pinus sylvestris* forest patch in Mediterranean mountain conditions (Vallecebre research catchments, Catalan Pyrenees). En: E Servat, W Najem, C Leduc, A Shakeel (Eds.), *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions*. Montpellier, France: IAHS Publication, pp. 101-105.
- Loza HA (2015). *Situación Actual del Sistema Producto Aguacate*. México: Dirección de Estudios sobre Soberanía Alimentaria y Nueva Ruralidad. H. Cámara de Diputados, Cd. de México, México, 71 p. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/16Situación actual del sistema producto aguacate.pdf>
- McCulloh KA, Winter K, Meinzer FC, Aranda J, Lachenbruch B (2007). A comparison of daily water use estimates derived from constant-heat sap-flow probe values and gravimetric measurements in pot-grown saplings. *Tree Physiology* 27:1355-1360. doi:10.1093/treephys/27.9.1355.
- Mijares OP, López LL (1998). Variedades de aguacate y su producción en México. En: *Memoria Fundación Salvador Sánchez Colín*. Coatepec Harinas, México: CICTAMEX SC. Recuperado de: http://www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1998-2001/CICTAMEX_1998-2001_PG_089-099.pdf
- Morales-Manilla LM, Cuevas G, Bocco G en proceso (2024). Actualización de la superficie de cultivo de aguacate en la franja aguacatera del estado de Michoacán. En Avances y resultados del proyecto PERSEA, *Estrategias para la regulación del cambio de uso del suelo y mecanismos de incidencia para mitigar el impacto socio ambiental en la franja aguacatera de Michoacán*. Proyecto CONAHCyT-00322772.
- Moreno-Ortega G, Pliego C, Sarmiento D, Barceló A, Martínez-Ferri E (2019). Yield and fruit quality of avocado trees under different regimes of water supply in the subtropical coast of Spain. *Agricultural Water Management* 221:192-201. doi:10.1016/j.agwat.2019.05.001.
- Morales-Manilla LM, Cuevas G (2012). *Inventario 2011 y evaluación del impacto ambiental forestal del cultivo del aguacate en el estado de Michoacán*. Morelia, México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.
- Muñoz-Villers LE, Holwerda F, Alvarado-Barrientos MS, Geissert D, Marín-Castro B, Gómez-Tagle A, Adrian Bruijnzeel L (2015). Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz, México. *Bosque (Valdivia)* 36(3):395-407. doi:10.4067/S0717-92002015000300007.
- Niinemets U (2002). Stomatal conductance alone does not explain the decline in foliar photosynthetic rates with increasing tree age and size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology* 22:515-535. doi:10.1093/treephys/22.8.515.
- Olmedo F, Ortega-Farías S, Fuente-Sáiz DD, Fonseca D, Fuentes-Peñaillillo F (2016). Water: tools and functions to estimate actual evapotranspiration using land surface energy balance models in R. *The R Journal* XX:1-18.
- Peñuela-Arévalo LA, Carrillo RJ (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores

superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM* 81:18–32.

Pimentel J da S., Silva TJA, Júnior JCJB, Folegatti MV, Montenegro AAA (2010). Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14(2):87–195.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Rana G, Katerji N, De Lorenzi F (2004). Measurement and modelling of evapotranspiration of irrigated citrus orchard under Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 128:199–209. doi:10.1016/j.agrformet.2004.11.001.

Ruxton GD (2006). The unequal variance t-test is an underused alternative to Student's t-test and the Mann–Whitney U test. *Behavioral Ecology* 17(4):688–690. doi:10.1093/beheco/ark016.

Sanclemente M, Schaffer B, Gil P, Vargas A, Davies F (2014.). Pruning after flooding hastens recovery of flood-stressed avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Scientia Horticulturae* 169:27–35. doi:10.1016/j.scienta.2014.01.034.

Schaffer B, Whiley A, Kohli R (1991). Effects of leaf age on gas exchange characteristics of avocado (*Persea americana* Mill.). *Scientia Horticulturae* 48:21–28. doi:10.1016/0304-4238(91)90149-S.

Servicio Meteorológico Nacional [SMN] (2015). *Normales climatológicas, Estación: 16080 Morelia (OBS)*. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL16080.TXT>.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SIAP–SAGARPA] (2016). *Avance de Siembras y Cosechas Resumen nacional por cultivo*. Mexico: SIAP–SAGARPA.

Silber A, Naor A, Cohen H, Bar-Noy Y, Yechiel N, Levi M, Noy M, Peres M, Duari D, Narkis K, Assouline S (2019). Irrigation of 'Hass' avocado: effects of constant vs. temporary water stress. *Irrigation Science* 37(4):451–460. doi:10.1007/s00271-019-00622-w.

Tapia Vargas L, Larios Guzmán A, Vidales Fernández I, Bravo Espinoza M (2012). Consumo de agua. In: Chávez-León G, Tapia Vargas L, Bravo Espinoza M et al. (eds). *Impacto del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate*. INIFAP, México, D.F., pp. 39–46.

Tiwari SP, Kumar P, Yadav D, Chauhan DK (2013). Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* needles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas. *Turkish Journal of Botany* 37:65–73. doi:10.3906/bot-1110-1.

Viveros-Viveros H, Sáenz-Romero C, Vargas-Hernández J, López-Upton J (2006). Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(2):121–126.

Whiley AW, Chapman KR, Saranah JB (1988). Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* cv. Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research* 39:457–467. doi:10.1071/AR9880457.



A morphometric assessment of Lake Camedcuaro, Tangancicuaro, Michoacan, Mexico

Arturo Chacón Torres^{1*} , Catalina Rosas Monge¹, Frida Sauno Contreras², Alma Itzel Jacobo Escamilla², Gustavo Adolfo Reyes Alvarado³, Carlos Alberto Fernández Ledesma³

¹ Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)

² Panorama Ambiental A.C.

³ Consultora Ambiental Limnos S.C.

Historial

Manuscrito recibido: 10 de marzo de 2025

Manuscrito aceptado: 5 de septiembre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Arturo Chacón Torres

arturo.chacon@umich.mx

ORCID: 0000-0002-8123-5455

Abstract

A morphometric study was conducted in Lake Camedcuaro, Michoacan, employing a digital echosounder equipped with a geopositioning system; 15 transects were traced perpendicular and parallel to the maximum length of the lake in parallel intersections and in zig-zag patterns. A total of 946 sounding points were registered in 4,200 meters of transects. The results indicated that Camedcuaro is a very shallow aquatic system of water springs with a total surface of 3.45 ha, a maximum depth of 4.5 m, and a mean depth of 1.65 m. The system contains up to 55,875.86 m³ and has a hydraulic residence time of 8.62 hours. It is a slightly convex system with a single inflection point. The informative value of this study was 0.9724. This is the first comprehensive morphometric assessment developed for Lake Camedcuaro, in which the environmental importance of water conservation in water springs is fundamental to ensuring the human right to access high-quality water, as outlined in the 6th Sustainable Development Goal.

Introduction

Lake Camedcuaro was the first national park in Mexico. It is located in the municipality of Tangancicuaro, northwest of the State of Michoacan. In 1940, President Lázaro Cárdenas del Río designated it a national park and protected area to guarantee wildlife protection (SEMARNAT, 2016). Tangancicuaro is in the Mexican Transvolcanic Belt, within the physiographic sub-province known as “Sierras y Bajíos Michoacanos.” The physiography is characterized by volcanic sierras and lava flows, dispersed cinder cones or dense aggregations, broad basalt shield volcanoes, sand and ash deposits, and other forms dispersed between extensive plains. This intricate volcanic orography is complemented by the Lerma Depression, which favours diverse climates and vegetation. Forests, including fir, pine, oak, and others, characterize the region, which is rich in areas of hydraulic recharge and has numerous aquifers and water springs. Part of these aquifers originated Lake Camedcuaro (Rojas-Ruiz. *et al.*, 2007).

The water-spring shoreline vegetation consists of an old gallery forest of Moctezuma cypress regional-

ly known as Ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), with ages above 500 years; these trees distribute irregularly along the main channel mixed with some willows (*Salix chilensis*), ash trees (*Fraxinus uhdei*), and Australian pine (*Casuarina equisetifolia*), and other tree species with perennial leaves. The Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), through the Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA), contributed to the elaboration of a bathymetric and morphometric study to determine the most critical morphometric parameters and create the bathymetric map that is the focus of the current report.

The study area

Location

Lake Camedcuaro is 2.8 km from Tangancicuaro de Arista city (Figure 1). The Universal Transverse Mercator cartographic projection (UTM) coordinates are 0791947 E y 2203198 N, 13Q, at an altitude of 1,700 masl (Table 1; Figure 2).

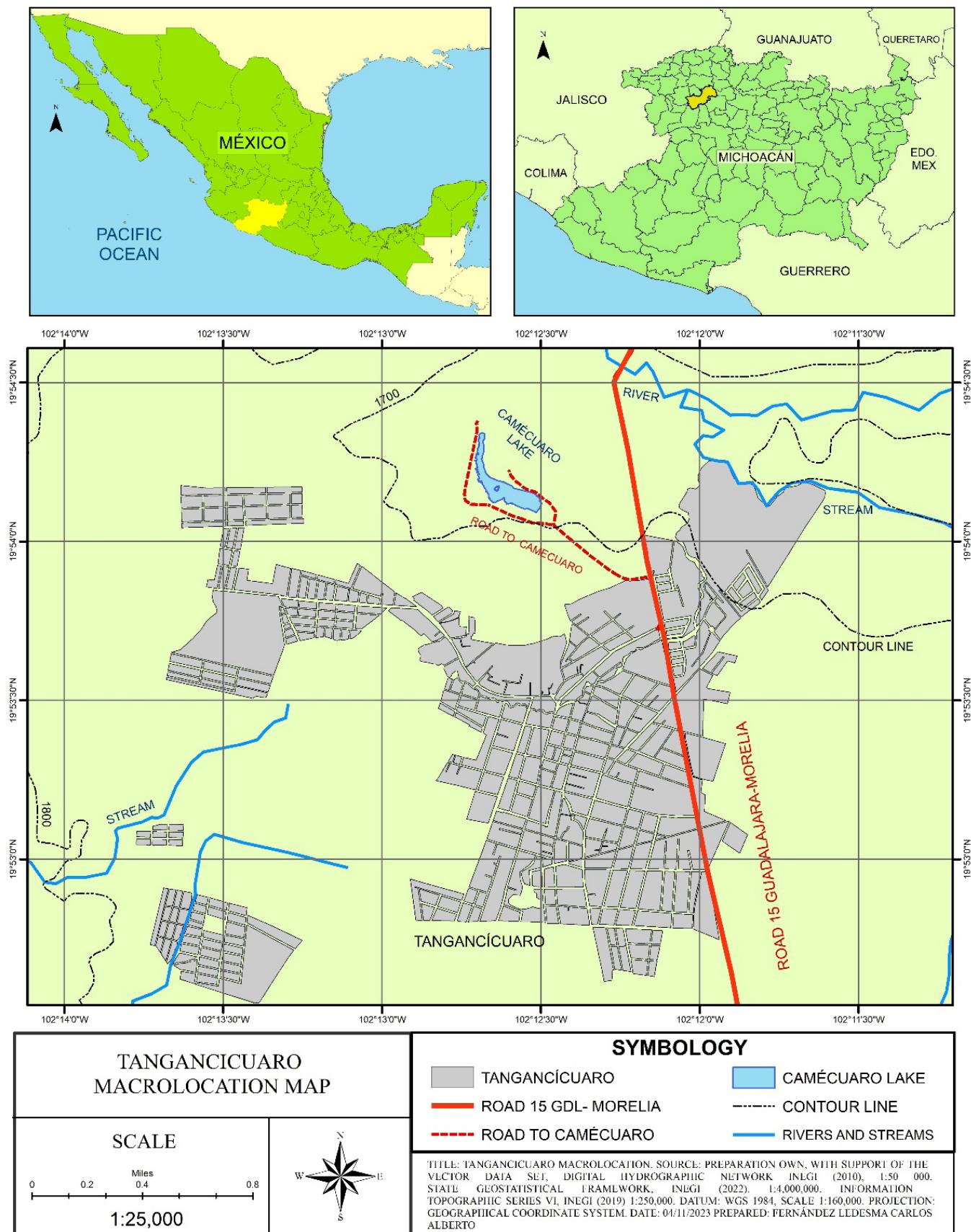


Figure 1. Location of Lake Camecuaro, Tangancicuaro, Michoacan, Mexico.

Table 1. Coordinates of Lake Camedcuaro, Tangancicuaro, Michoacan, Mexico

Coordinates UTM			
Point	E	N	Quadrant
1	791919	2203461	13 Q
2	792322	2203461	13 Q
3	792322	2203009	13 Q
4	791919	2203009	13 Q

Climate

According to García (2004), the formula of the regional climate is $(A)Ca(w1)(w)(e)g$, corresponding to semi-warm to temperate with warm summer, sub-humid with summer rainfall (winter rainfall less than 5.0%), extreme annual temperature oscillation, annual temperature running Ganges type; this means that the month with the highest temperature is before the summer solstice. The mean annual temperature is 18.5 °C; May is the warmest month with an average value of 22.1 °C, whereas January is the coldest month with an average value of 14.4 °C. The annual rainfall is 899.9 mm, with July being the wettest month, receiving 210.0 mm, and March the driest, with 4.2 mm (**Figure 3**) (SMN, CONAGUA, 2023).

Water quality

Lake Camedcuaro has water mean values of 22.4 °C, with Hydrogen potential (pH) value of 7.50 (7.70 – 7.2), and water hardness of 1.74 mg of CaCO₃/L. Dissolved solids have an average concentration of 0.150 mg/L. Dissolved oxygen has a mean value of 4.25 mg/L, its highest concentration on the surface (Silva-García *et al.*, 2015).

Environmental status

The surrounding environment of Lake Camedcuaro National Park exhibits a high level of ecological fragmentation resulting from the progressive intensification of irrigated agriculture. Lake Camedcuaro is a recreational space with a high visitor influence of up to 250,000 tourists annually.

Methods

Bathymetry

The Lake Camedcuaro bathymetric survey was performed using 15 transects positioned perpendicular and parallel to the lake's maximum length in a zigzag pattern, resulting in 946 sounding points. The equipment used in-

cluded a GPS “Garmin” model 65st and an echosounder “Garmin” model Echomap Plus 74cv, both equipped with GPS and a 200 kHz transducer.

The echosounder was calibrated using a manual lead graduated in centimeters throughout the entire bathymetric survey. Sounding points were recorded in Universal Transverse Mercator (UTM) coordinates, corresponding to the WGS84 reference datum and ITRF 92, in zone 13Q, with units expressed in meters. The navigation followed a nearly straight line with minimal boat speed. The start and end of the transect were marked using a Garmin GPS 65st.

The construction of the bathymetric map, the estimation of morphometric parameters, and the accuracy of the bathymetric survey were assessed following the criteria proposed by Håkanson (1981; 2004). Cartographic points were added into a Geographical Information System (GIS) in vector format and verified by tracing contour lines on millimeter paper.

Since the certainty of the information depends on the bathymetric map, which in turn relies on sampling intensity, the optimization model proposed by Håkanson (1981; 2004) uses the following equation.

$$I = I' \cdot I'' \quad (1)$$

Where:

I = The information value of the bathymetric map. This value is between 0.0 and 1.0. If it is 1.0, the information in the bathymetric map is complete and correct.

I' = Correctly identified area in the bathymetric map.

The value of **I'** also varies between 0 and 1.0. All contour lines are correctly placed when **I'** is equivalent to 1.0.

The area error (**E**) can be estimated as

$$I = 1 - E \quad (2)$$

I'' = The information number depends on the number of contour lines (**n**) in the bathymetric map. The **I''** also varies between 0.0 and 1.0. A map with few contour lines does not provide adequate information about the bottom topography, unlike a bathymetric map with many contour lines.

To determine **I'** and **I''** values, the following expressions proposed by Håkanson (1981; 2004) were applied:

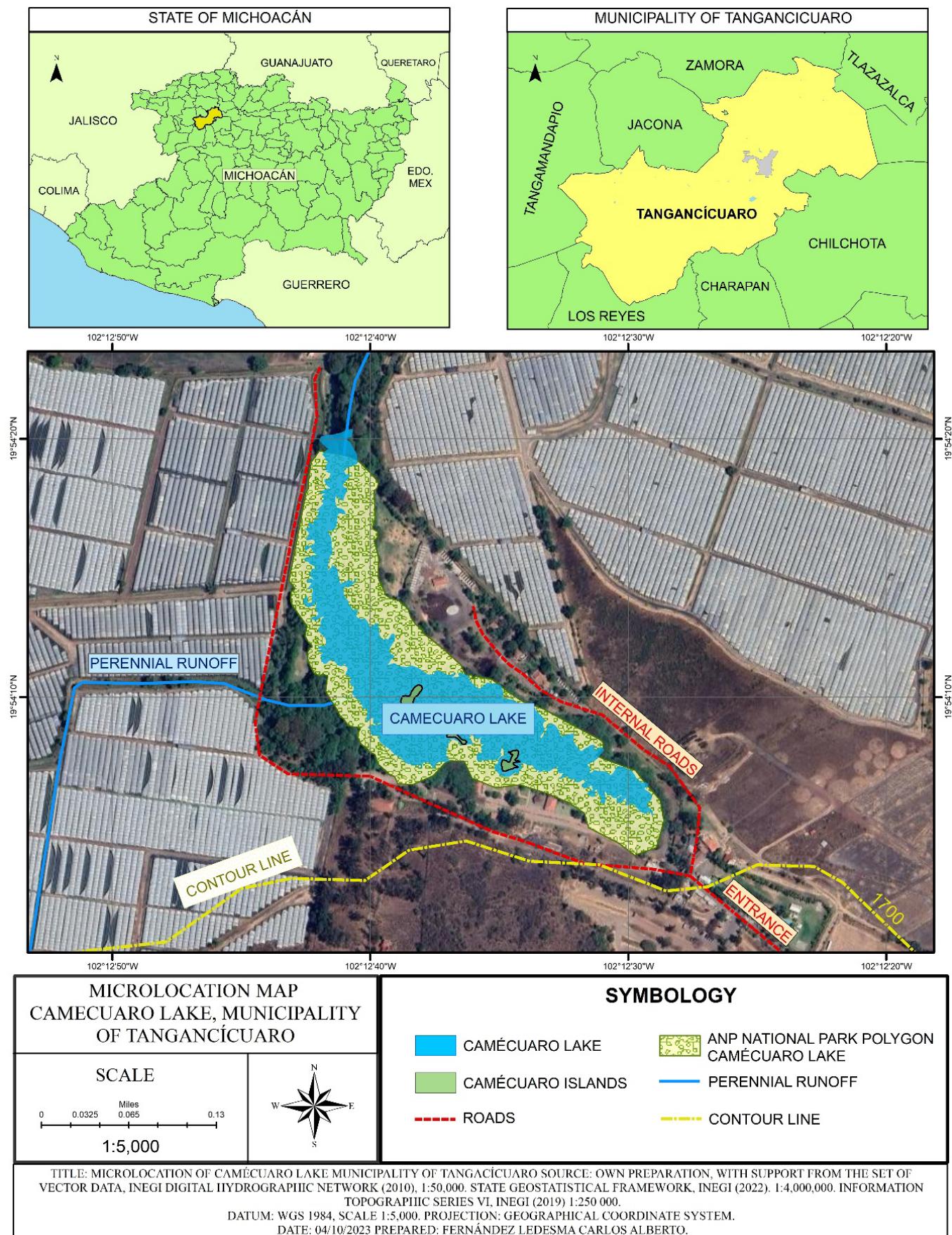


Figure 2. Micro location of Lake Camecuaro, Tangancicuaro, Michoacán, Mexico.

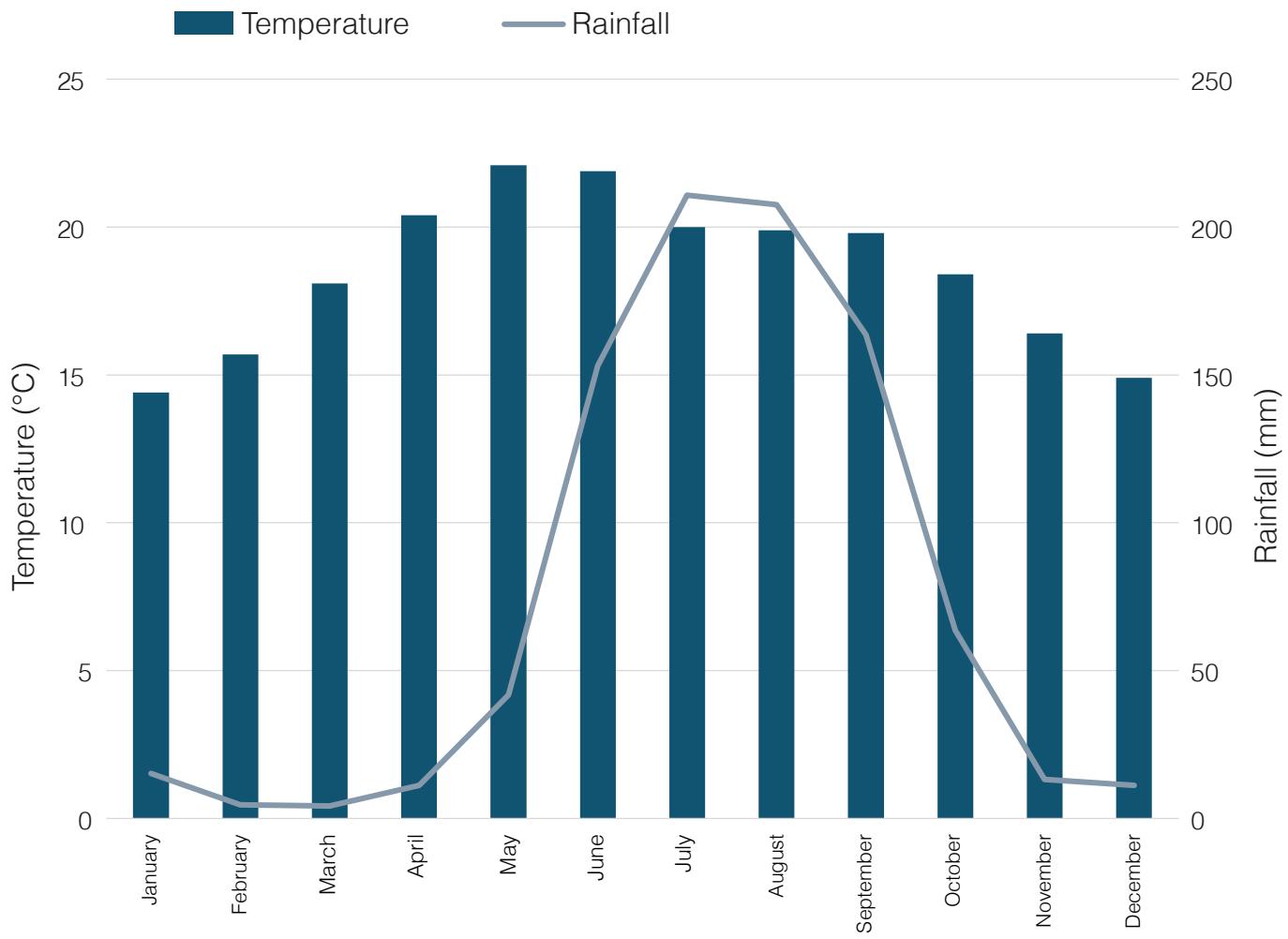


Figure 3. Climogram from the meteorological station 16014 Camecuar elaborated from data 1951-2010 (SMN, CONAGUA, 2023).

$$I' = \frac{1}{a} \left[a - 0.14 \cdot Lr \cdot F^2 \cdot \sqrt{\frac{1}{n+2}} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i} \right] \quad (3)$$

$$I'' = \frac{e^{0.4 \cdot n} - 1}{e^{0.4 \cdot n} + 0.2} \quad (4)$$

Where:

a = the lake area in km^2

Lr = intensity of the survey, the distance in km between parallel tracks. An Lr value of less than 1.0 km is adequate for small lakes.

F = is the value of normalized shore development. A dimensionless parameter indicates the degree of irregularity of the shoreline and the lake bottom (Håkanson, 1974). A lake with irregular topography requires a greater intensity than a regular basin.

a_i = the total area (cumulative area) in km^2 within the limits of a given contour line (I_i).

n = the number of contour lines in the bathymetric map.
 e = the base for natural logarithms; $e = 2.718$

Results

Echo profile

The bathymetric profile (Figure 4) derived from the echogram shows a very low profile, indicating a gradual buildup of bottom sediments. The transect runs from southeast to northeast, starting at UTM coordinates 0791947 m E and 2203198 m N.

Bathymetry and morphometry

Results from morphometric calculations indicate that the maximum depth is 4.5 meters, with an average depth of 1.65 meters. Figure 4 shows the results of the bathymetric survey, and the map was generated at a 1:2,000 scale. The contour line interval is 0.5 meters. The total area of Lake Camecuar is 33,836.26 square

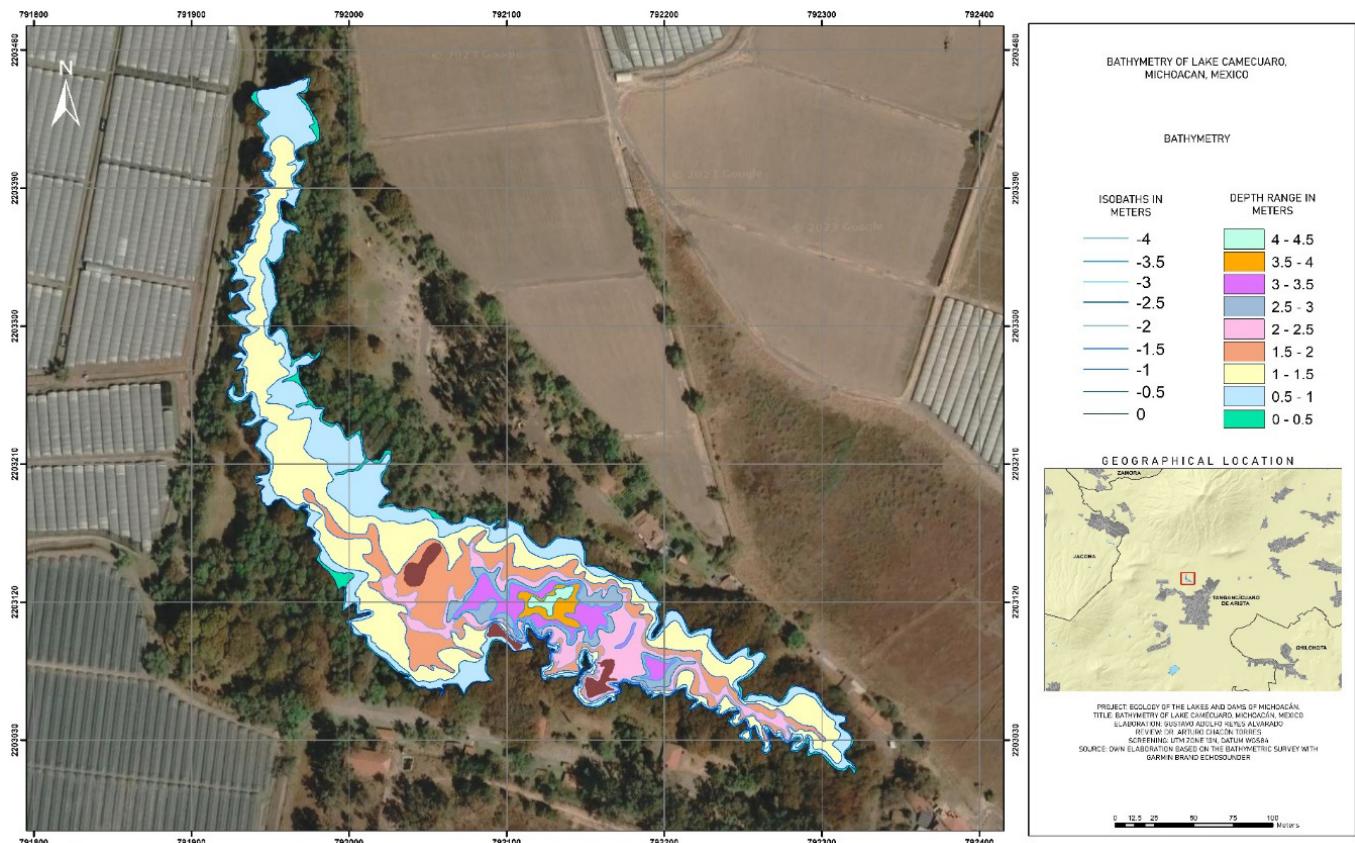


Figure 4. Bathymetric map of Lake Camecuarro, Tangancicuarro, Michoacan, Mexico.

meters, which equals 3.38 hectares.

Figures 5 and 6 show the profiles derived from the maximum length and maximum width of the aquatic ecosystem. As observed, the maximum length exhibits a very rough bottom profile due to water upwelling. Most of the upwelling flow occurs in the lake's center, where the maximum depth is found. In contrast, the outer points show the minimum depth values, including the outflow channel. Nevertheless, upwelling water points are visible

across most of the lake. **Table 2** provides the relevant morphometric values describing Lake Camecuarro's morphometry, according to the criteria proposed by Håkanson (1981; 2004). The estimated volume of this small lake is 55,875.86 m³. The first and third depth quartiles suggest that Camecuarro is a very shallow lake. Shore development is a dimensionless parameter indicating the degree of shoreline irregularity. A circular basin has an F value of 1, while more irregular lakes

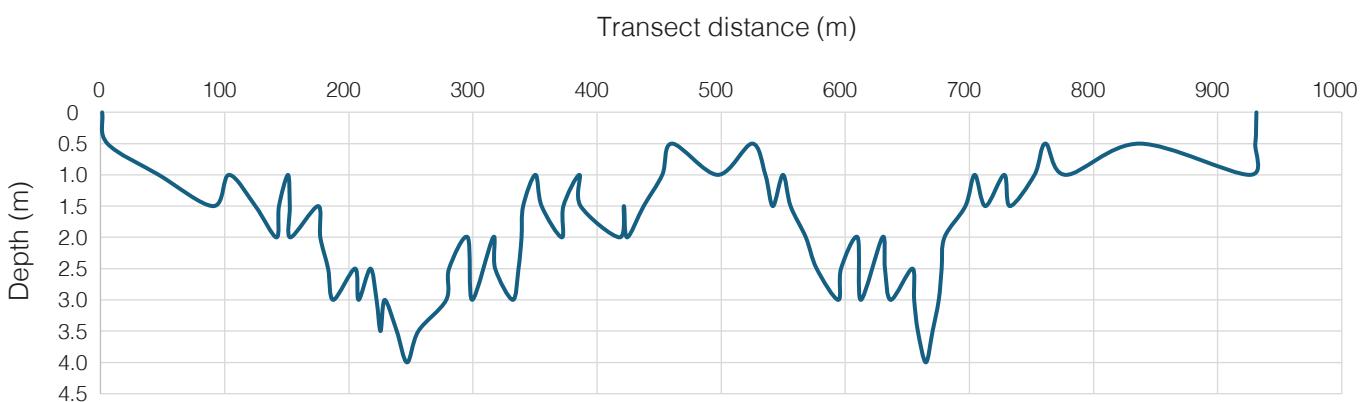


Figure 5. The bathymetric profile was obtained from the maximum length orientation from southwest to northeast in Lake Camecuarro, Tangancicuarro, Michoacan, Mexico.

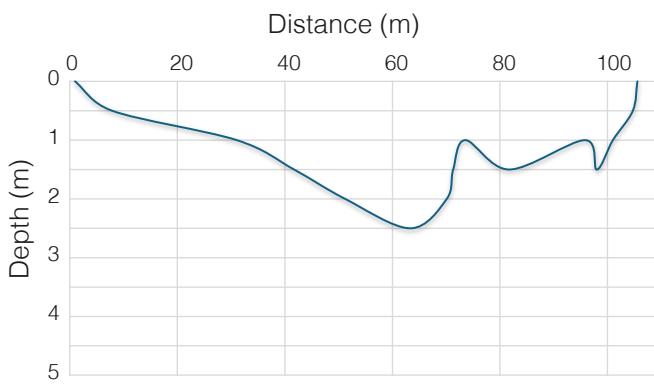


Figure 6. Maximum width profile from a transect oriented North to South Lake Camedcuaro, Tangancicuaro, Michoacan, Mexico.

have higher F values. **Figure 7** presents the hypsographic direct, relative, and percentage curves, indicating that Lake Camedcuaro is a slightly convex form.

Substituting the required values in equation 2, the value of the correctly identified area in the bathymetric map was estimated (I') with the information of **Table 3**.

According to the proposed model by Håkanson (1974), the obtained value of area correctly identified in Lake Camedcuaro is **0.9849**

Thus, substituting in Equation (1)

$$I = I' \cdot I''$$

$$I = 0.9849 \cdot 0.9874$$

The informative value of the bathymetric survey is **0.9724**, so the area correctly identified is 97.24% precise, with an estimated error of **2.76%**.

Conclusions

Lake Camedcuaro is an aquatic ecosystem characterized by numerous water springs at the bottom of the lake. This situation favours its high transparency and continuous flow from East to West. The system presents a relatively low dissolved oxygen concentration, reflecting the underground nature of the water flow.

The aquatic ecosystem is very shallow, with a mean depth of 1.65 m. More than 75% (D_{75}) of the lake's volume is at a depth of less than a meter (0.86 m). The maximum depth measured is 4.5 m, located in a small area with UTM coordinates 13Q 0792129 E and 2203124 N. The shoreline development of Lake Camedcuaro is 3.78, indicating a significantly irregular shoreline.

The maximum volume of Lake Camedcuaro is 55,875.86 m³, which flows toward the confluence with the Duero River. With an estimated flow of 1.8 m³/s, the hydraulic

Table 2. Morphometric values of Lake Camedcuaro. Tangancicuaro, Michoacan, Mexico.

Parameter	Value
Total lake area (A), including isles, ha	3.45
Lake area (a). Excluding isles, ha	3.38
The surface area of isles and islets, ha.	0.069
Volume (V), m ³	55,875.86
Maximum depth (D_{\max}), m	4.5
Mean depth (D), m	1.65
Median depth (D_{50}), m	1.2
First quartile depth (D_{25}), m	1.68
Third quartile depth (D_{75}), m	0.86
Relative depth (Dr), %	2.16
Maximum length (L_{\max}), km	0.627
Maximum effective length (L_e), km	0.124
Maximum width (B_{\max}), km	0.106
Maximum effective width (B_e), km	0.106
Mean width (B), km	0.051
Shoreline length (L_s), km	2.472
Mean slope (a), %	9.4
Shoreline development (F), dimensionless	3.78
Bottom roughness (R), dimensional	3.2
Volume development (V_d), dimensionless	1.33
Insularity (In), %	2.03
Direction of maximum length (bearing)	southeast-northwest
Lake form	SCx-Me

Table 3. Informative value of the bathymetric survey in Lake Camedcuaro, Michoacan, Mexico.

Parameter	Value
Lake area (a), km ²	0.03452
Intensity of hydrographic survey (L_r), km	0.0042
Shore development (F), dimensionless	3.78
Total cumulative area ($\Sigma \sqrt{a_i}$) km ²	0.03383
Number of contour lines (n)	11
Informative value (I'')	0.9874

residence time is 8.62 hours (8 hours, 37 minutes), allowing it to replenish approximately 56,000 cubic meters of water. According to the lake form classification proposed by Håkanson (1981, 2004), Lake Camedcuaro is an aquatic ecosystem with a slightly convex shape ($f=0.5$) and one inflection point at the meso level. This is the first comprehensive morphometric assessment of Lake

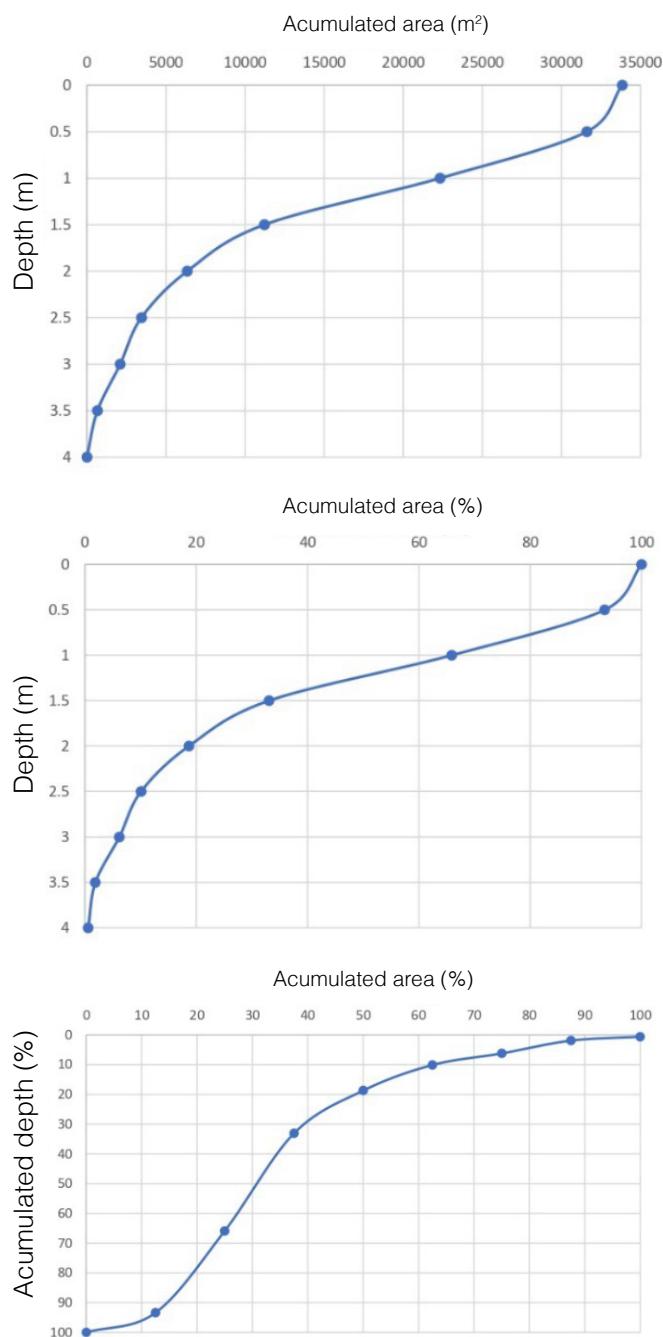


Figure 7. Hypsographic curves, direct, relative, and percentage of Lake Camecuarro, Michoacan, Mexico

Camecuarro, emphasizing the environmental importance of water conservation in water springs to ensure the human right to access high-quality water, as outlined in the 6th Sustainable Development Goal. Environmental values of Lake Camecuarro include its high transparency,

water quality, low residence time, native shoreline vegetation, and aquatic biological diversity. Therefore, this Mexican aquatic ecosystem should be protected for research, sustainable recreation, and as a source of clean water.

References

- García E (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Quinta edn. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Håkanson L (2004). Lakes: form and function. The Blackburn Press. 201p.
- Håkanson L (1981). A manual of lake morphometry. Springer, Berlin, Heidelberg. 78 p. doi:10.1007/978-3-642-81563-8.
- Håkanson L (1974). A mathematical model for establishing numerical values of topographical roughness for lake bottoms. *Geografiska Annaler* 56A:3-4.
- Jiménez González VM (2018). Parque Nacional Lago de Camécuaro. Michoacán en tu bolsillo. México. p.18. Recuperado de la fuente: [<https://books.google.com.mx/books?id=QMtfDwAAQBAJ&pg=PA18&dq=como+se+form%C3%B3+el+lago+de+camecuar&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjc95nLjdz9AhUQJUQ-IHWL8Ao8Q6AF6BAGFEAI&v=onepage&q=como%20se%20form%C3%B3%20el%20lago%20de%20camecuar&f=false>]
- Ruiz Rojas J (2007). Criptohumedales del Sistema Acuático Camécuaro: listado florístico y su importancia para la gestión integral de la microcuenca. Recuperado de la [https://www.researchgate.net/publication/235988593_Criptohumedales_del_Sistema_Acuatico_Camecuario_listado_floristico_y_su_importancia_para_la_gestion_integral_de_la_microcuenca]
- SEMARNAT (2016). El 8 de marzo de 1941 fue decretado el Parque Nacional Lagos de Camécuaro, Tangancícuaro, Michoacán, México. Verified in: [<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/el-08-de-marzo-de-1941-fue-decretado-el-parque-nacional-lagos-de-camecuar-tangancicuaro-michoacan?idiom=es>]
- Silva García JT, Ochoa Estrada S, Cruz Cárdenas G, Nava Velázquez, J, Villalpando Barragán F (2016). Manantiales de la cuenca del Río Duero, Michoacán: Operación, calidad y cantidad. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32(1):55-68.
- Sistema Meteorológico Nacional (SMN) (2023). Normales Climatológicas por Estado (1951-2010) CONAGUA. Estación Camécuaro, Michoacán de Ocampo. Consultada el 17 de mayo del 2023 en: [<https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mich>]



Dinámica estacional del sistema del dióxido de carbono en el lago cráter La Alberca de los Espinos: implicaciones para los arrecifes microbianos

Seasonal dynamics of the carbon dioxide system in crater lake La Alberca de los Espinos: Implications for microbialite reefs

J. Fernando Alvarado Rodríguez^{1,2,*} Héctor Nava¹ Estefanía Izaguirre Quesada¹, Carlos Orión Norzagaray López³

¹ Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.

² Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Ciudad de México.

³ Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.

Historial

Manuscrito recibido: 28 de agosto de 2024

Manuscrito aceptado: 29 de agosto de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

J. Fernando Alvarado Rodríguez

jfalvarado15@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1274-9943

Resumen

La variabilidad temporal en los procesos metabólicos y biogeoquímicos son factores clave que regulan el crecimiento de los arrecifes microbianos o microbialitos. Este estudio investigó la dinámica del sistema del dióxido de carbono (CO_2) en el lago cráter La Alberca de Los Espinos, el único lago cráter de Michoacán que alberga un microbialito. Durante la primavera y el verano, el sistema favoreció la captura de carbono desde la atmósfera a través de la fotosíntesis, lo que incrementó el pH y la saturación de carbonato de calcio (Ω), mientras que disminuyó la presión parcial del CO_2 (pCO_2). En otoño e invierno, la respiración de materia orgánica se intensificó, mientras que la fotosíntesis se redujo. Esto provocó una reducción del pH y de la Ω , junto con un aumento de la pCO_2 . En consecuencia, disminuyó el potencial de precipitación de carbonato de calcio y se promovió un flujo neto de CO_2 hacia la atmósfera. En conjunto, estos resultados sugieren que el lago cráter y su microbialito constituyen un sistema dinámico, cuyo papel en el ciclo del carbono varía de manera estacional entre el secuestro y la liberación de CO_2 .

Palabras clave: Caracterización ambiental, maar, microbialito

Abstract

Temporal variability in metabolic and biogeochemical processes are key factors regulating the growth of microbial reefs or microbialite reefs. This study investigated the dynamics of the carbon dioxide (CO_2) system in the crater lake La Alberca de Los Espinos, the only crater lake in Michoacán that hosts a microbialite. During spring and summer, the system favored carbon capture from the atmosphere through photosynthesis, which increased pH and calcium carbonate saturation (Ω) while decreasing partial pressure of CO_2 (pCO_2). In autumn and winter, the respiration of organic matter was intensified, while photosynthesis was reduced. This caused a reduction in pH and Ω , along with an increase in pCO_2 . Consequently, the potential for calcium carbonate decreased and a net flow of CO_2 to the atmosphere was promoted. Together, these results suggest that the crater lake and its microbialite constitute a dynamic system, whose role in the carbon cycle varies seasonally between CO_2 sequestration and release.

Keywords: Environmental characterization, maar, microbialite

Introducción

Los microbialitos son estructuras sedimentarias formadas por la actividad metabólica de comunidades microbianas, especialmente bacterias fotosintéticas como las cianobacterias (Prat y Riding, 1993). Estas comunidades promueven la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) y generan estructuras pétreas perdurables en el

registro geológico (Mata y Bottjer, 2012). La edad aproximada de los microbialitos más antiguos en el registro fósil, como los estromatolitos encontrados en Australia occidental, es de ~3,500 millones de años (Ma) (Allwood *et al.*, 2006; Lowe, 1980).

La actividad fotosintética de las comunidades microbianas asociadas a microbialitos liberó una gran cantid-

dad de oxígeno durante el Arqueano, lo que transformó la atmósfera y el océano de un estado reductor a uno oxidante y creó un entorno favorable para la evolución de la biosfera moderna y el desarrollo de formas de vida complejas (Dupraz *et al.*, 2009). Tras cada uno de los cinco eventos de extinción masiva que han ocurrido en el planeta, los ecosistemas de microbialitos demostraron gran capacidad de expansión, alcanzando su mayor diversificación en el Paleoproterozoico, entre 2,500 y 1,650 Ma, y el Mesoproterozoico, entre 1,350 y 1,000 Ma (Castro-Contreras *et al.*, 2014; Mata y Bottjer, 2012).

En la actualidad, los microbialitos modernos tienen orígenes diversos y se clasifican en cuatro tipos según su estructurainterna: estromatolitos, trombolitos, dendrolitos y leiolitos (Dupraz *et al.*, 2009). Los estromatolitos se caracterizan por tener una estructura laminar relacionada con crecimiento estacional y sedimentación periódica. En cambio, los trombolitos presentan una estructura coagulada o grumosa no estratificada, que resulta por la agregación de partículas en un entorno más dinámico. A diferencia de los trombolitos y los estromatolitos, los dendrolitos no se forman por aglutinamiento de partículas, sino por fábricas mesoscópicas de origen microbiano que se asemejan a arbustos, mientras que los leiolitos no muestran una estructura definida (Riding, 2000). Esta clasificación no solo facilita la comprensión de su formación, sino que también ofrece información valiosa sobre las condiciones ambientales que propician su desarrollo.

La formación de microbialitos requiere condiciones fisicoquímicas específicas, donde el motor de alcalinidad juega un papel central (Dupraz *et al.*, 2009). Este motor se activa principalmente a través de la actividad fotosintética de microorganismos que consume dióxido de carbono (CO_2), generando una elevación del pH y del estado de saturación del agua con respecto al CaCO_3 (Ω) en el entorno inmediato, promoviendo la precipitación de CaCO_3 en las estructuras microbianas (Arp *et al.*, 2001; Couradeau *et al.*, 2011). La temperatura, la salinidad, la luz y la disponibilidad de nutrientes también influyen en estos procesos, favoreciendo la actividad metabólica de las comunidades microbianas que precipitan CaCO_3 (Anderson *et al.*, 2020).

En México, la presencia de microbialitos ha sido documentada en lagos cráter alcalinos del Cinturón Volcánico Transmexicano, donde se determinó que la alcalinidad mínima necesaria para su formación es de 1.23 mM (Zeyen *et al.*, 2017), equivalente a 1,230 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Diversos estudios han caracterizado las comunidades microbianas del microbialito de La Alberca de los Espinos y las variables fisicoquímicas asociadas a su desarrollo

(e.g., Havas *et al.*, 2023; Iniesto *et al.*, 2022; Zeyen *et al.*, 2021). No obstante, dichos trabajos se basaron en visitas únicas al sitio de estudio, lo que, si bien proporciona información valiosa sobre los procesos metabólicos y biogeoquímicos, no permite evaluar la dinámica estacional del sistema, estrechamente vinculada con la ubicación geográfica y altitud del lago (1,980 msnm). Por su parte, los estudios de Rendón-López (2008) y Hernández-Morales (2011) se centraron en la limnología física del lago, sin considerar su relación con la formación del arrecife microbiano. Recientemente, se ha confirmado la presencia de un extenso arrecife microbiano en el lago cráter La Alberca de los Espinos (Alvarado-Rodríguez *et al.*, 2024; Nava *et al.*, 2024).

Este trabajo tiene como objetivo investigar la dinámica del sistema de CO_2 en el lago cráter La Alberca de los Espinos, centrándose en describir la variabilidad temporal de los procesos metabólicos y biogeoquímicos que regulan la biominerización en el arrecife, así como la capacidad del lago para actuar como fuente o sumidero de CO_2 a lo largo del tiempo. Comprender esta dinámica es fundamental para evaluar el papel de los microbialitos en la mitigación de los efectos del cambio climático y su capacidad de adaptación a las variaciones en las condiciones ambientales.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El clima de la región es templado subhúmedo, con una temperatura media anual que oscila entre 16.6 y 18 °C, y una precipitación media anual de 898 mm (Marín-Togo y Blanco-García, 2009).

La Alberca de los Espinos (19°54'24.34" N, 101°46'02" O) se localiza en la antigua Cuenca de Zacapu, a 1,985 msnm, al suroeste del municipio de Jiménez, Michoacán, dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (Siebe *et al.*, 2012; **Figura 1a, b**). Es un cráter volcánico formado hace aproximadamente 25,000 años, clasificado como maar, originado por explosiones freatomagmáticas resultantes de la interacción del magma y agua subterránea, que actualmente alberga un lago en su interior (Siebe *et al.*, 2012). El lago presenta basamentos constituidos por xenolitos de andesita (Siebe *et al.*, 2014) y es alimentado por escurreimiento de agua de lluvia, así como por manantiales a más de 12 metros de profundidad (Marín-Togo y Blanco-García, 2009). Con una profundidad máxima de 30 m, este lago es de carácter monomictico cálido, con un periodo de circulación reportado en invierno (Hernández-

Morales, 2011; Rendón-López, 2008) y exhibe valores de alcalinidad variables a lo largo del año y cercanos a 7 mmol L^{-1} (Havas *et al.*, 2023; Hernández-Morales, 2011; Zeyen *et al.*, 2021). A lo largo de su litoral, de forma discontinua, se desarrolla un arrecife microbiano, posiblemente un trombolito, que se extiende desde la superficie hasta 10 m de profundidad, y está conformado

por estructuras calcáreas que superan los 2 m de espesor (Alvarado-Rodríguez *et al.*, 2024; **Figura 1c-f**). A lo largo del litoral del lago se observan microbialitos vivos (sumergidos) y muertos (emergidos) (**Figura 1c-f**).

Para monitorear la dinámica de las variables ambientales y del sistema de CO_2 en el epilimnio (capa superficial cálida y bien mezclada durante la

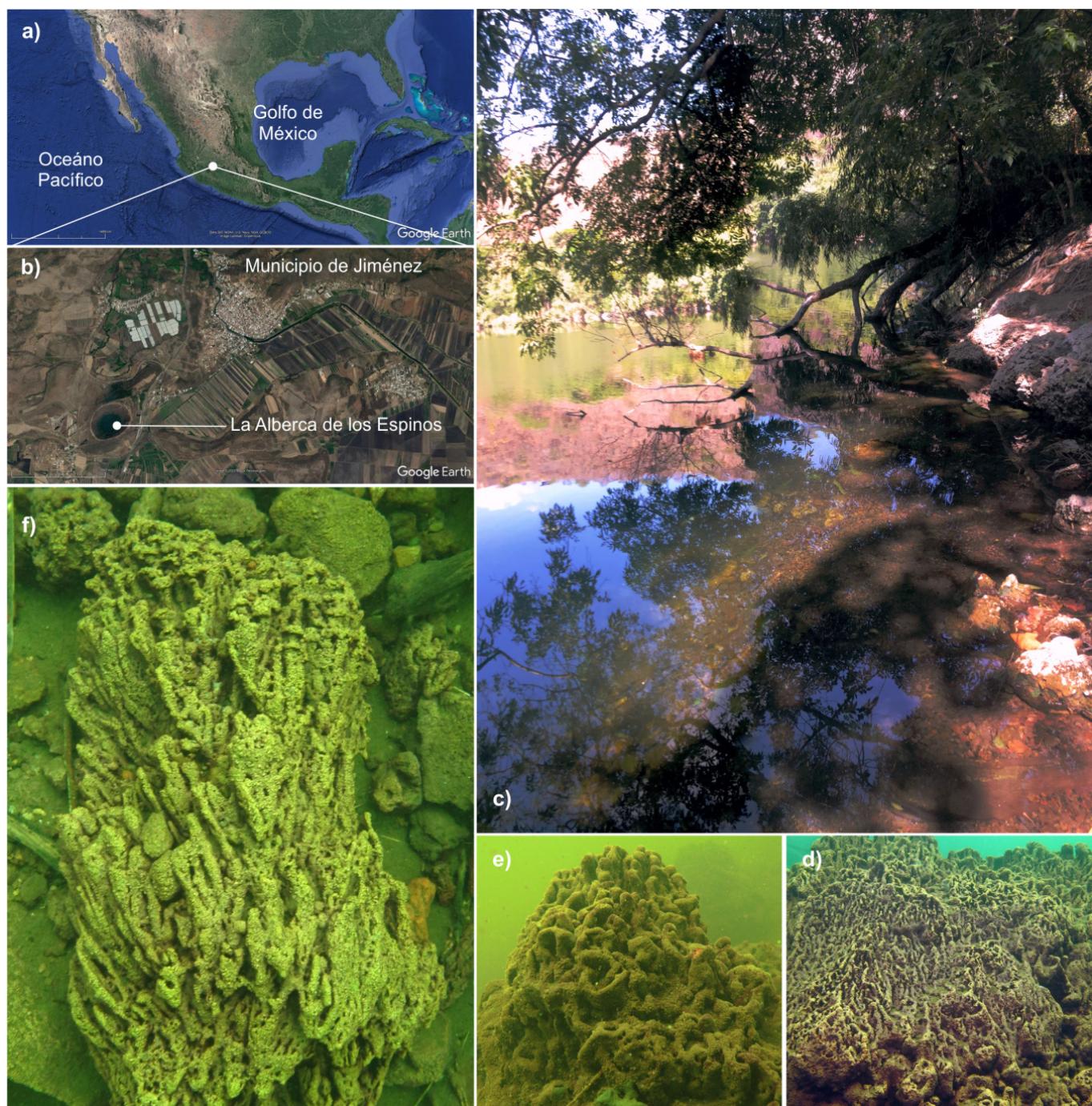


Figura 1. Localización geográfica del lago cráter La Alberca de los Espinos en el municipio de Jiménez, Michoacán, dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (a y b). (c) Observación del litoral del lago. Detalle de un fragmento de microbialito de aproximadamente 40 cm de largo (d) y estructuras de varios metros de altura y extensión entre 2 y 10 m de profundidad (e y f).

estratificación) del lago cráter, se realizaron muestreos bimestrales durante 2023, cubriendo las cuatro estaciones del año: invierno (febrero), primavera (abril y junio), verano (agosto) y otoño (octubre). En cada muestreo, se registraron variables ambientales en la columna de agua y se recolectaron muestras discretas para el análisis de las variables del sistema del CO₂, siguiendo el procedimiento recomendado por Dickson *et al.* (2007).

Variables ambientales medidas en la columna de agua

La temperatura del agua (± 0.15 °C), la salinidad (± 0.01), el oxígeno disuelto (mg L⁻¹), y el pH (± 0.02 unidades en escala NBS) se midieron a ~2 m de profundidad con una sonda multiparamétrica marca HANNA (modelo HI98194). Previo al registro *in situ* de dichas variables, la sonda fue calibrada con la solución indicada por el fabricante y con el método rápido en un punto para los sensores de pH, conductividad, y oxígeno disuelto.

Recolección y procesamiento de muestras discretas de agua para analizar las variables del sistema del CO₂

La alcalinidad total (AT) del agua se midió en muestras de agua discretas recolectadas por medio de buceo autónomo a una profundidad de 4–6 metros y en tres estaciones dentro del lago cráter, donde se observó la mayor presencia de estructuras arrecifales. Para evitar la formación de burbujas durante la recolecta, se usaron jeringas de plástico de 60 ml conforme a la metodología descrita por Alvarado-Rodríguez *et al.* (2022). Brevemente, el agua de las jeringas se transfirió a botellas de borosilicato de 150 ml (i.e., tres jeringas por botella; cinco repeticiones por estación y muestreo) y se fijó con 100 µl de cloruro de mercurio (HgCl₂). En el laboratorio, la AT se determinó por titulación de celda abierta (Hernández-Ayón *et al.*, 1999), siguiendo el procedimiento operativo estándar descrito por Dickson *et al.* (2007), con un sistema automático de alcalinidad total (Modelo P-TA, PONTUS, México; <http://www.pontusbaja.com>). Se utilizó material de referencia certificado (CRG AG Dickson, Scripps Institution of Oceanography) para asegurar una precisión en las estimaciones de AT dentro de $\pm 3.0 \mu\text{mol kg}^{-1}$.

Para el cálculo del carbono inorgánico disuelto (CID), la presión parcial de CO₂ (pCO₂), y el estado de saturación del agua con respecto a calcita (Ω_{Ca}), se utilizaron los valores de pH y AT como variables de entrada, además de la salinidad y temperatura medidos *in situ*. Este procedimiento se realizó con la función carb

del paquete seacarb (Gattuso *et al.*, 2024; versión 3.3.3) en R (R Core Team, 2024), empleando las constantes de equilibrio (K_1 y K_2) reportadas por Millero (2010). Ya que la función no admite valores de pH en escala NBS, los valores fueron previamente transformados a escala de agua de mar con la función pHnbs2sws.

Resultados

Variables ambientales medidas *in situ*

El epilimnio mostró una marcada estacionalidad en la mayoría de las variables fisicoquímicas (Figura 2). La excepción fue la salinidad, que permaneció estable y baja (0.6) durante el estudio. En invierno, los valores promedio (\pm DE) de temperatura, oxígeno disuelto, y pH fueron, respectivamente, 18.7 ± 0.5 °C, 4.37 ± 0.05 mg L⁻¹ (59.4 ± 1.1 % de saturación), y 8.42 ± 0.04 . En primavera, la temperatura incrementó a 22.8 ± 0.2 °C, el oxígeno disuelto a 5.33 ± 0.71 mg L⁻¹ (79.4 ± 13.3 % de saturación), y el pH a 8.69 ± 0.06 . Durante el verano, la temperatura alcanzó los 23.4 ± 0.1 °C, mientras que el oxígeno disuelto y el pH disminuyeron a 4.28 ± 0.11 mg L⁻¹ y 8.68 ± 0.01 (64.5 ± 2.6 % de saturación), respectivamente. Hacia el otoño, la temperatura descendió a 21.9 ± 0.1 °C, el oxígeno disuelto a 4.19 ± 0.32 mg L⁻¹ (60.9 ± 7.6 % de saturación), mientras que

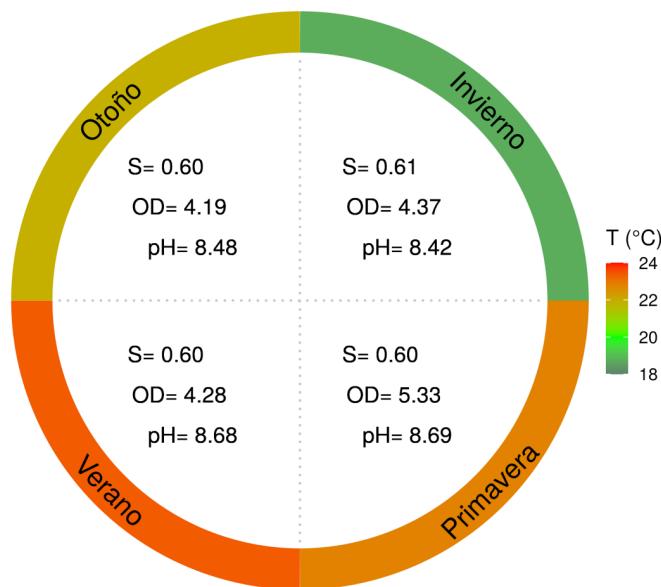


Figura 2. Variación estacional promedio de la temperatura (T, °C), salinidad (S), oxígeno disuelto (OD, mg L⁻¹) y pH del lago cráter La Alberca de Los Espinos durante 2023.

el pH incrementó a 8.48 ± 0.06 .

Variables del sistema del CO₂

A lo largo de las cuatro estaciones del año se registró una variación en los valores de CID, AT, pCO₂, y Ω_{Cal} (**Figura 3**). En invierno, los valores (promedio \pm DE) de CID y AT fueron menores ($7237 \pm 30 \mu\text{mol kg}^{-1}$ y $7283 \pm 39 \mu\text{mol kg}^{-1}$, respectivamente) en comparación con las otras estaciones del año, y coincidieron con valores altos de pCO₂ ($1820.3 \pm 170 \mu\text{atm}$) y bajos de Ω_{Cal} (1.97 ± 0.14). En primavera y verano, se observó un incremento tanto en CID ($7313 \pm 81 \mu\text{mol kg}^{-1}$ y $7448 \pm 7 \mu\text{mol kg}^{-1}$, respectivamente) como en AT ($7520 \pm 29 \mu\text{mol kg}^{-1}$ y $7655 \pm 6 \mu\text{mol kg}^{-1}$, respectivamente), con una disminución en pCO₂ ($1051 \pm 139 \mu\text{atm}$ y $1089 \pm 13 \mu\text{atm}$, respectivamente) y una sobresaturación del agua con respecto a calcita ($\Omega_{\text{Cal}} > 4$ en ambas estaciones). En otoño, se apreciaron valores ligeramente más altos de CID ($7547 \pm 36 \mu\text{mol kg}^{-1}$) pero similares de AT ($7633 \pm 10 \mu\text{mol kg}^{-1}$), así como un incremento en pCO₂ ($1770 \pm 264 \mu\text{atm}$) y una disminución en Ω_{Cal} (2.57 ± 0.34).

Discusión

La variación temporal observada en el epilimnio del lago cráter La Alberca de Los Espinos revela una dinámica fisicoquímica vinculada a los ciclos estacionales, lo que potencialmente influye en los procesos biogeoquímicos del lago y en la capacidad del microbialito para almacenar carbono inorgánico en sus estructuras calcáreas. A su vez, la estabilidad de la salinidad a lo largo del estudio, con un valor consistentemente bajo (~0.6), resalta la importancia de los aportes de escorrimiento de agua de lluvia intensificados de junio a septiembre (Hernández-Morales, 2011; Rendón-López, 2008). Esta estabilidad también sugiere una posible influencia de aportes de agua dulce subterránea, como se ha señalado en estudios previos (Rainier *et al.*, 1997, citado en Marín y Blanco-García, 2009). Estas condiciones podrían favorecer el crecimiento de comunidades microbianas adaptadas a ambientes de baja salinidad.

El intervalo de variación de la temperatura del agua observada en La Alberca de Los Espinos durante 2023 (18.7–23.4 °C) fue similar al reportado en estudios previos (17.5–24.5 °C; Hernández-Morales, 2011; Rendón-López, 2008) y mostró variaciones típicas de

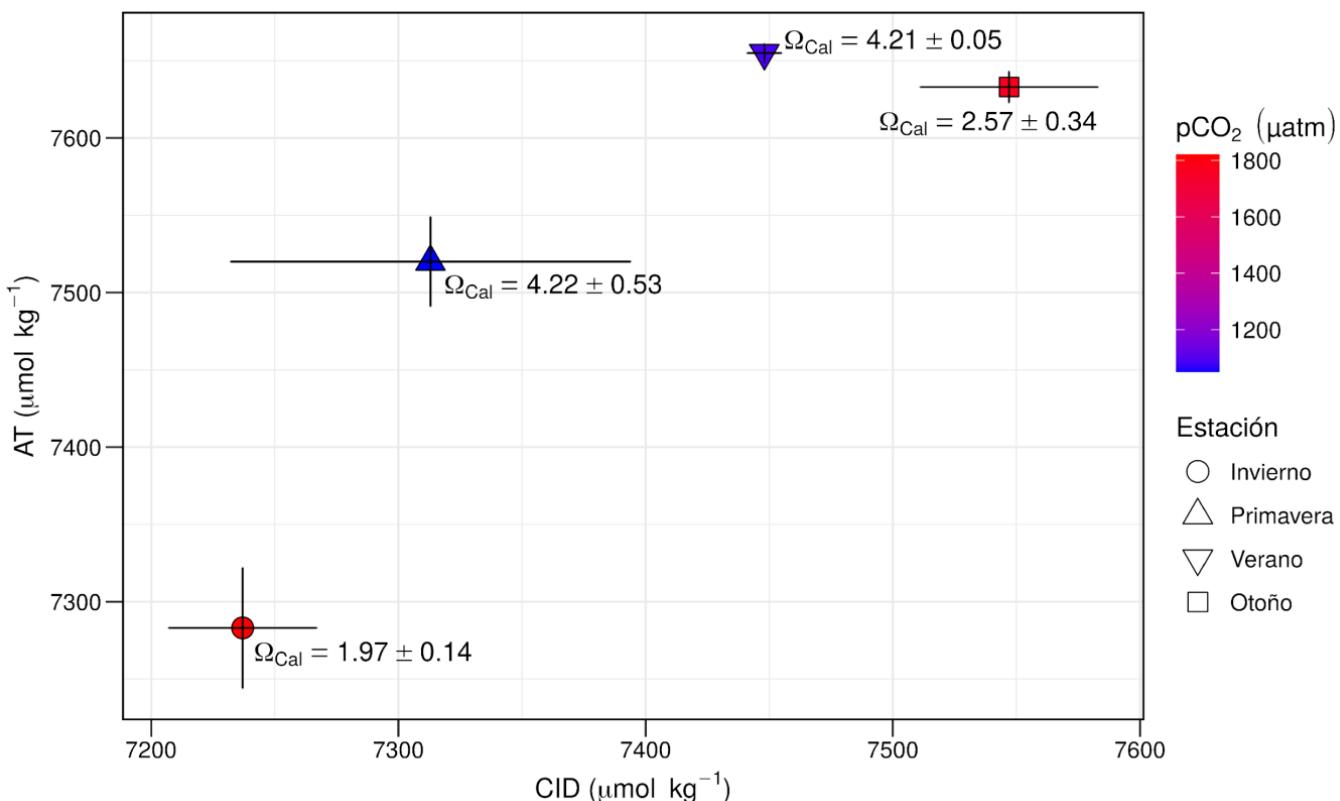


Figura 3. Variación estacional del carbono inorgánico disuelto (CID), alcalinidad total (AT), presión parcial de CO₂ (pCO₂), y estado de saturación del agua con respecto a calcita (Ω_{Cal}) en el lago cráter La Alberca de Los Espinos durante 2023. Las barras horizontales y verticales en los símbolos representan las desviaciones estándar para el CID y la AT.

sistemas monomicticos, en los cuales los ciclos de mezcla y estratificación están influenciados por sus cambios estacionales (Wetzel, 2001). La temperatura del agua es un regulador clave del metabolismo y crecimiento microbiano (Raven y Geider, 1988). Estudios previos han documentado una relación positiva entre la temperatura del agua y la biomasa de cianobacterias (Hansson *et al.*, 2013; Urrutia-Cordero *et al.*, 2016), por lo que un aumento en las tasas metabólicas de las comunidades microbianas que intervienen en el crecimiento del microbialito (principalmente cianobacterias) podría ser favorecido durante la primavera y el verano, cuando prevalecen condiciones más cálidas.

El oxígeno disuelto (OD) mostró valores intermedios y consistentes de verano a invierno, con un máximo en primavera, que concuerda con los hallazgos de Hernández-Morales (2011), quien reportó valores máximos en abril, y con Havas *et al.* (2023), quienes incluso reportaron valores de supersaturación en mayo (7.9 mg L^{-1} o 118% de saturación). Estos resultados indican que la actividad fotosintética de la comunidad fitoplanctónica se intensifica y oxigena el epilimnio durante la primavera, potencialmente debido a la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, así como a la alta irradiación solar y temperatura del agua durante dicha estación. De manera notable, estas condiciones no sólo impulsan el crecimiento del fitoplancton de vida libre en la columna de agua desde el mes de febrero, sino que también estimulan el crecimiento de una esponja dulceacuícola que alberga microalgas fotosintetizadoras en simbiosis (Nava *et al.*, 2024), lo que resalta el papel de estas variables en la regulación de la productividad del ecosistema, incluso en interacciones simbióticas altamente especializadas.

La disminución del OD registrada después de la primavera también concuerda con los hallazgos de Hernández-Morales (2011), quien reportó valores bajos durante el verano ($\sim 4.5 \text{ mg L}^{-1}$). No obstante, aunque este autor documentó condiciones de hipoxia durante la mezcla invernal ($\text{OD} < 1 \text{ mg L}^{-1}$ en enero), durante nuestro estudio el epilimnio se mantuvo oxigenado ya a partir del mes de febrero, lo que refleja la alta variabilidad ambiental que existe en el lago cráter tanto entre estaciones como dentro de cada periodo estacional.

La caída del OD se puede atribuir a un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), consecuencia de la degradación de materia orgánica y la intensificación de la actividad microbiana en el epilimnio. Este comportamiento contrasta con lo observado en otros lagos monomicticos cálidos, como en Alchichica, donde la concentración de OD en el epilimnio se mantiene

elevada ($6.3 \pm 0.8 \text{ mg L}^{-1}$) incluso durante el periodo de mezcla (Alcocer *et al.*, 2014).

En cuanto al pH, se observó un aumento general durante los meses más cálidos, alcanzando un máximo en primavera (8.69), lo cual indica un ambiente alcalino posiblemente promovido por la intensa actividad fotosintética de la comunidad, la cual domina sobre la respiración. La fotosíntesis fija especies del carbono inorgánico disuelto en el agua (i.e., CO_2 y HCO_3^-), lo que incrementa el pH y favorece la precipitación de CaCO_3 (Zeebe y Wolf-Gladrow, 2001). En contraste, el descenso del pH observado en otoño e invierno sugiere un aumento de la actividad respiratoria, proceso inverso a la fotosíntesis, en donde la comunidad bacteriana libera especies del carbono (ej. solamente CO_2), lo cual modifica el sistema de los carbonatos, disminuyendo el pH y consumiendo el oxígeno de la columna de agua. Este cambio en el pH favorece la disolución de CaCO_3 (Dupraz *et al.*, 2009).

Las fluctuaciones observadas en las variables del sistema del CO_2 a lo largo del año en La Alberca de los Espinos proporcionan una visión más detallada sobre el motor de la alcalinidad (Dupraz *et al.*, 2009), uno de los componentes integrales del proceso de biomineralización (*sensu* Perry *et al.*, 2007). Los cambios en las concentraciones del carbono inorgánico disuelto (CID), la alcalinidad total (AT), la presión parcial del CO_2 (pCO_2), y el estado de saturación del agua con respecto a la calcita (Ω_{Cal}) reflejan una interacción compleja entre los mecanismos que regulan el ciclo del carbono orgánico (fotosíntesis-respiración) y el ciclo del carbono inorgánico (precipitación-disolución de CaCO_3) (Cyronak *et al.*, 2018).

Durante el invierno, los valores bajos de CID y AT, combinados con niveles elevados de pCO_2 ($1820.3 \mu\text{atm}$), sugieren dos posibles escenarios: 1) el afloramiento de agua profunda rica en CO_2 y 2) una menor captura de carbono inorgánico debido a la reducción de la actividad fotosintética, que es común en los meses fríos debido a la disminución de la irradiancia solar y las bajas temperaturas (Gonçalves *et al.*, 2011). Ambos escenarios son viables, ya que en La Alberca de los Espinos el periodo de circulación ocurre en invierno (Hernández-Morales, 2011; Rendón-López, 2008), lo que modifica significativamente las condiciones fisicoquímicas en la superficie.

En lagos estratificados, el agua del hipolimnio acumula CO_2 generado por la respiración de la materia orgánica, la fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amoniaco y la oxidación del sulfuro. Cuando se rompe la termoclina, la mezcla del hipolimnio (una masa de agua profunda y rica en materia orgánica)

con el epilimnio reduce el pH e incrementa la pCO₂ en la superficie (Wetzel, 2001). Este comportamiento es congruente con la observación de valores bajos de Ω_{Cal} (1.97 ± 0.14) en invierno, lo que sugiere una menor capacidad del sistema para favorecer la precipitación de CaCO₃, y, en consecuencia, un potencial reducido para formar depósitos minerales.

En primavera y verano, se observó un cambio sustancial en el sistema, con un incremento en CID y AT pero una notable disminución de la pCO₂. Estos resultados sugieren una disminución en la concentración de CO₂ en el epilimnio, posiblemente impulsada por la actividad fotosintética (Hernández-Morales, 2011). La sobresaturación del agua con respecto a calcita ($\Omega_{\text{Cal}} > 4$) durante estas estaciones, refuerza la hipótesis de que el sistema favorece la precipitación de CaCO₃ bajos estas condiciones (Zeebe y Wolf-Gladrow, 2001).

El incremento en la pCO₂ observado en otoño (1770 μatm), junto con un ligero aumento en CID y valores más bajos de Ω_{Cal} (2.57), sugiere que el sistema comienza a revertir el comportamiento observado en primavera y verano. Este aumento en la presión parcial de CO₂ puede ser el resultado de una disminución en la actividad fotosintética, así como un aumento en la actividad respiratoria y degradación de materia orgánica que se observa desde octubre y se intensifica en diciembre de acuerdo con Hernández-Morales (2011). El descenso en el Ω_{Cal} refuerza la idea de que el sistema reduce su capacidad para precipitar CaCO₃ en esta estación del año.

En conjunto, estas variaciones estacionales reflejan un sistema dinámico, donde el equilibrio entre procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración y otros procesos biogeoquímicos juega un papel crucial en la acreción (acumulación o ganancia de carbonato de calcio) del microbialito en La Alberca de los Espinos. Los valores de pCO₂, consistentemente más altos en el agua (1051–1820 μatm) que en la atmósfera (~418 μatm a nivel del mar en 2023, NOAA 2023), indican que el lago cráter La Alberca de los Espinos actúa como una fuente neta de carbono hacia la atmósfera a lo largo del año. Sin embargo, la existencia de un arrecife microbiano de varios metros de espesor que bordea el litoral del lago (Alvarado-Rodríguez *et al.*, 2024) sugiere que parte del carbono inorgánico permanece retenido en forma de estructuras minerales. Para comprender mejor el papel del microbialito en el ciclo del carbono de este ecosistema, serán necesarios estudios adicionales que profundicen en la actividad metabólica de los microorganismos del microbialito y que integren mediciones detalladas de los flujos de CO₂.

Agradecimientos

Esta contribución fue financiada por el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI) del estado de Michoacán (Proyecto No. PICIR-026) y por la Coordinación de Investigación Científica de la UMSNH. Se agradece a los Pas. Biól. Candelaria Monserrat Ruiz Montiel y Julio César Cristóbal Aguilar por el apoyo provisto en las actividades de muestreo de campo. JFAR agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca posdoctoral otorgada (SECIHTI No. 561548).

Referencias

- Alcocer J, Ruiz-Fernández AC, Escobar E, Pérez-Bernal LH, Oseguera LA, and Ardiles-Gloria V (2014). Deposition, burial and sequestration of carbon in an oligotrophic, tropical lake. *Journal of Limnology* 73(2):21–33. doi:10.4081/jlimnol.2014.783
- Allwood AC, Walter MR, Kamber BS, Marshall CP, and Burch IW (2006). Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia. *Nature. Nature Publishing Group* 441(7094): 714-718. doi:10.1038/nature04764
- Alvarado-Rodríguez JF, Calderon-Aguilera LE, Cabral-Tena RA, Norzagaray-López CO, Nava H, Peiffer L, and Fernández-Aldecoa RG (2022). High sclerobiont calcification in marginal reefs of the eastern tropical Pacific. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 557(2022):151800. doi:10.1016/j.jembe.2022.151800
- Alvarado-Rodríguez JF, Nava H, Izaguirre-Quesada E (2024). El microbialito del lago cráterico La Alberca de Los Espinos: un arrecife inexplorado. *Boletín de La Sociedad Científica Mexicana de Ecología* 4(2):18–25.
- Anderson NL, Barrett KL, Jones SE, and Belovsky GE (2020). Impact of abiotic factors on microbialite growth (Great Salt Lake, Utah, USA): a tank experiment. *Hydrobiologia. Springer International Publishing* 847(9):2113–2122. doi:10.1007/s10750-020-04235-9
- Arp G, Reimer A, and Reitner J (2001). Photosynthesis-Induced Biofilm Calcification and Calcium Concentrations in Phanerozoic Oceans. *Science* 292(5522):1701–1704. doi:10.1126/science.1057204
- Castro-Contreras SI, Gingras MK, Pecoits E, Aubet NR, Petrush D, Castro-Contreras SM, Dick G, Planavsky N, and Konhauser KO (2014). Textural and geochemical features of freshwater microbialites from Laguna Bacalar, Quintana Roo, Mexico. *PALAIOS* 29(5):192–209. doi:10.2110/palo.2013.063
- Couradeau E, Benzerara K, Moreira D, Gérard E, Kaźmierczak J, Tavera R, and López-García P (2011). Prokaryotic and Eukaryotic Community Structure in Field and Cultured Microbialites from the Alkaline Lake Alchichica (Mexico). *PLoS ONE* 6(12):e28767. doi:10.1371/journal.pone.0028767
- Cyronak T, Andersson AJ, Langdon C, Albright R, Bates NR,

- Caldeira K, Carlton R, Corredor JE, Dunbar RB, Enochs I, Erez J, Eyre BD, Gattuso J-P, Gledhill D, Kayanne H, Kline DI, Koweeck DA, Lantz C, Lazar B, Manzello D, McMahon A, Meléndez M, Page HN, Santos IR, Schulz KG, Shaw E, Silverman J, Suzuki A, Teneva L, Watanabe A, and Yamamoto S (2018). Taking the metabolic pulse of the world's coral reefs. *PLOS ONE* 13(1):e0190872. doi:10.1371/journal.pone.0190872
- Dickson AG, Sabine CL, Christian JR (2007). *Guide to best practices for ocean CO₂ measurements*. PICES Special Publication 3, 191 pp.
- Dupraz C, Reid RP, Braissant O, Decho AW, Norman RS, Visscher PT (2009). Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews* 96(3):141-162. doi:10.1016/j.earscirev.2008.10.005
- Gattuso J-P, Epitalon J-M, Lavigne H, Orr J, Gentili B, Hagens M, Hofmann A, Mueller J-D, Proye A, Rae J, Soetaert K (2024). Package 'seacarb': Seawater Carbonate Chemistry. 3.3.3.
- Gonçalves RJ, Villafañe VE, Medina CD, Barbieri ES & Helbling WE (2011). Plankton dynamics and photosynthesis responses in a eutrophic lake in Patagonia (Argentina): influence of grazer abundance and UVR. *Latin American Journal Aquatic Research* 39:117–130. doi:10.3856/vol39-issue1-fulltext-11
- Hansson L-A, Nicolle A, Granéli W, Hallgren P, Kritzberg E, Persson A, Björk J, Nilsson PA, and Brönnmark C (2013). Food-chain length alters community responses to global change in aquatic systems. *Nature Climate Change. Nature Publishing Group* 3(3):228-233. doi:10.1038/nclimate1689
- Havas R, Thomazo C, Iniesto M, Jézéquel D, Moreira D, Tavera R, Caumartin J, Muller E, López-García P, and Benzerara K (2023). Biogeochemical processes captured by carbon isotopes in redox-stratified water columns: a comparative study of four modern stratified lakes along an alkalinity gradient. *Biogeosciences* 20(12):2347–2367. doi:10.5194/bg-20-2347-2023
- Hernández-Ayón JM, Belli SL, and Zirino A (1999). pH, alkalinity and total CO₂ in coastal seawater by potentiometric titration with a difference derivative readout. *Analytica Chimica Acta* 394(1):101–108. doi:10.1016/S0003-2670(99)00207-X
- Hernández-Morales R (2011). Fitoplancton de los lagos cráter de Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 235 pp. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1662
- Iniesto M, Moreira D, Benzerara K, Reboul G, Bertolino P, Tavera R, and López-García P (2022). Planktonic microbial communities from microbialite-bearing lakes sampled along a salinity-alkalinity gradient. *Limnology and Oceanography* 12233:1–16. doi:10.1002/lio.12233
- Lowe D (1980). Archean stromatolites 3.5 Ga Walter et al.pdf. In *Nature* (Vol. 284).
- Lowe DR (1980) Stromatolites 3,400-Myr old from the Archean of Western Australia. *Nature* 284(5755):441-443. doi:10.1038/284441a0
- Marín-Togo M and Blanco-García A (2009). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, La Alberca de los Espinos. 1–15 pp.
- Mata SA and Bottjer DJ (2012). Microbes and mass extinctions: paleoenvironmental distribution of microbialites during times of biotic crisis. *Geobiology* 10(1):3–24. doi: 10.1111/j.1472-4669.2011.00305.x
- Millero FJ (2010). Carbonate constants for estuarine waters. *Marine and Freshwater Research*, 61(2):139. doi: 10.1071/MF09254
- Nava H, Alvarado-Rodríguez JF, and Ruiz-Montiel C 2024, March. Esponjas dulceacuícolas en microbialitos de un lago craterico en Los Espinos, Michoacán. *Boletín de La Sociedad Científica Mexicana de Ecología*:26–33. <https://scme.mx/boletin-de-la-scme-2024/>
- NOAA (2023). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html#global>
- Perry RS, McIoughlin N, Lynne BY, Sephton MA, Oliver JD, Perry CC, Campbell K, Engel MH, Farmer JD, Brasier MD, and Staley JT (2007). Defining biominerals and organominerals: Direct and indirect indicators of life. *Sedimentary Geology*, 201(1–2):157–179. doi: 10.1016/j.sedgeo.2007.05.014
- Pratt BR and Riding R (1993). Calcareous Algae and Stromatolites. *Palaios* 8(1). doi: 10.2307/3515226
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Raven JA and Geider RJ (1988). Temperature and algal growth. *New Phytologist*, 110(4):441-461. doi:10.1111/j.1469-8137.1988.tb00282.x
- Rendón-López MJ (2008). Limnología Física del Lago Cráter Los Espinos, Municipio de Jiménez Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 107 pp.
- Riding R (2000). Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology* 47(s1):179–214. doi:10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x
- Siebe C, Guilbaud, M-N, Salinas S, and Chédeville-Monzo C (2012). Eruption of Alberca de los Espinos tuff cone causes transgression of Zacapu lake ca. 25,000 yr BP in Michoacán, México. *IAC 4IMC Conference, IAVCEI*, 131(January):74–75.
- Monogenetic volcanism of the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field: Maar craters of the Zacapu basin and domes, shields, and scoria cones of the Tarascan highlands (Paracho-Paricutín region). Pre-meeting field guide for the 5th international maar conference. In Pre-Meeting Field Guide for the 5th International Maar Conference:1–39. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Siebe C, Marie-Noëlle G, Salinas S, Kshirsagar P, Oryaëlle-Chevrel M, Ramón de la Fuente J, Hernández Jiménez A, and Godínez L (2014). Monogenetic volcanism of the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field: Maar craters of the Zacapu basin and domes, shields,

and scoria cones of the Tarascan highlands (Paracho-Paricutin region). *Pre-meeting field guide for the 5th International Maar Confer.* <https://theghub.org/resources/3712>.

Urrutia-Cordero P, Ekwall MK, and Hansson L-A (2016). Local food web management increases resilience and buffers against global change effects on freshwaters. *Scientific Reports. Nature Publishing Group* 6(1):29542. doi:10.1038/srep29542

Wetzel RG (2001b). Fate of heat. In: Wetzel RG (ed) *Limnology* (Third Edition). Academic Press, San Diego, pp 71-92. doi:10.1016/B978-0-08-057439-4.50010-1

Wetzel RG (2001). The inorganic carbon complex. In: Wetzel RG (ed) *Limnology* (Third Edition). Academic Press, San Diego, pp 187-204. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-057439-4.50015-0>

Zeebe RE, Wolf-Gladrow D (2001). *CO₂ in seawater: Equilibrium, kinetics, isotopes*, vol 65. Elsevier oceanography series. Elsevier.

Zeyen N, Benzerara K, Beyssac O, Daval D, Muller E, Thomazo C, Tavera R, López-García P, Moreira D, Duprat E (2021). Integrative analysis of the mineralogical and chemical composition of modern microbialites from ten Mexican lakes: What do we learn about their formation? *Geochimica et Cosmochimica Acta* 305:148–184. doi:10.1016/j.gca.2021.04.030

Zeyen N, Daval D, Lopez-Garcia P, Moreira D, Gaillardet J, Benzerara K (2017). Geochemical Conditions Allowing the Formation of Modern Lacustrine Microbialites. *Procedia Earth and Planetary Science* 17:380-383. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.096>



Variación en los patrones de actividad diaria de la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en tres ecosistemas de México

Variation in the daily activity patterns of the gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*) in three ecosystems in Mexico

Eduardo Mendoza* , Franceli Macedo Santana

Laboratorio de Análisis para la Conservación de la Biodiversidad, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Juanito Itzícuaro SN, 58330 Morelia, Michoacán, México

Historial

Manuscrito recibido: 10 de marzo de 2025

Manuscrito aceptado: 4 de septiembre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Eduardo Mendoza

eduardo.mendoza@umich.mx

ORCID: 0000-0001-6292-0900

Resumen

El análisis de los patrones de actividad diaria de la fauna silvestre de mamíferos permite abordar distintos aspectos de su ecología como son la respuesta a la influencia de factores ambientales naturales y antropogénicos. Comparamos los patrones y niveles de actividad diaria de la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en tres áreas protegidas de México a partir de datos de fototrampeo. Encontramos variación importante tanto en la distribución de la actividad a lo largo del día como en su nivel de actividad. Estos resultados ponen en evidencia la plasticidad que esta especie tiene en este atributo funcional, lo cual puede proporcionarle una ventaja para prosperar en una variedad de ambientes incluyendo los afectados por la actividad antrópica.

Palabras clave: atributos funcionales, conducta animal, fototrampeo, mamíferos silvestres, patrones ecológicos.

Introducción

Los mamíferos presentan distintos ciclos biológicos, uno de los más evidentes es el denominado ciclo circadiano, sincronizado en períodos de 24 horas en los que se presenta la alternancia de fases iluminadas por el sol y de oscuridad (Halle y Stenseth, 2000). Las actividades principales que realiza la fauna como descansar, alimentarse y socializar se distribuyen en horarios más o menos constantes dentro de estos ciclos (Bartness y Albers, 2000).

Gran parte de las especies de mamíferos concentran su actividad en la noche (nocturnas), sin embargo, hay especies cuya actividad se desarrolla mayoritariamente durante la fase iluminada del día (diurnas) o en períodos

Abstract

The analysis of the daily activity patterns of mammalian wildlife allows us to address different aspects of their ecology, such as the response to the influence of natural and anthropogenic environmental factors. We compared the patterns and daily activity levels of the gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*) in three protected areas of Mexico using camera-trapping data. We found significant variation in the activity distribution throughout the day and in its level. These results highlight this species' plasticity in this functional attribute, which may give it an advantage to thrive in various environments, including those affected by anthropogenic activity.

Keywords: animal behavior, ecological patterns, camera-trapping, functional attributes, wild mammals.

más restringidos, como el crepúsculo (crepusculares). Así mismo, hay especies que son activas en distintos momentos a lo largo del día (catemerales) (Ashby, 1972). Existe un alto grado de conservadurismo evolutivo en los patrones de actividad diaria de los mamíferos, sin embargo, no es un atributo que esté del todo fijo (Bennie *et al.*, 2014).

El estudio de los mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares subyacentes a los ciclos circadianos han recibido gran atención, lo que ha motivado incluso el surgimiento de un campo de investigación específico denominado cronobiología. De manera más reciente ha surgido un interés por evaluar en qué medida, la expresión de los ciclos circadianos,

estudiados primordialmente en animales seleccionados y en condiciones de laboratorio, es modulada por atributos intrínsecos de los animales como su talla corporal y sistemas sensoriales o por factores extrínsecos como las interacciones con otras especies (ej. presa-depredador, competencia), la variación en la temperatura y cobertura vegetal, e incluso la perturbación antropogénica (Vallejo-Vargas *et al.*, 2022).

El estudio de los patrones de actividad diaria de los mamíferos silvestres estuvo por mucho tiempo limitado por la imposibilidad de recabar el tipo de información requerida en los ambientes naturales en los que esta fauna está presente. Un factor decisivo, que cambió esta situación, fue la implementación generalizada de estudios de campo que utilizan cámaras trampa, las cuales registran la presencia de especies con información asociada sobre la hora de tal evento (Mendoza *et al.*, 2022).

Estudios globales han comenzado a abordar el análisis de los patrones de actividad diaria de los mamíferos silvestres en sus ambientes naturales (Bennie *et al.*, 2014; Vallejo-Vargas *et al.*, 2022). Estos estudios han encontrado que la distribución geográfica de especies de mamíferos con distintos patrones de actividad diaria sigue en buena medida los patrones generales de distribución de riqueza de especies de este grupo animal (ej. presencia de un mayor número de especies de hábitos nocturnos donde se concentran más especies en general). Sin embargo, existen excepciones notorias; por ejemplo, se ha observado que existe una concentración de especies de hábitos catemerales en la región boreal del continente asiático.

En el caso de los gremios de mamíferos, como las especies de herbívoros de las selvas húmedas, a medida que aumenta su talla corporal, presentan mayor actividad nocturna, lo que se ha interpretado como un mecanismo para evitar su sobrecalentamiento. Hay especies pertenecientes a otros gremios (ej. carnívoros) que en el mismo ambiente (selvas húmedas) tienen el comportamiento inverso, es decir, una mayor actividad diurna conforme la especie alcanza una talla corporal mayor (Vallejo-Vargas *et al.*, 2022). En consonancia, hay una amplia variedad de especies que modifican sus patrones de actividad diaria en respuesta a la perturbación antrópica, siendo la respuesta más común aumentar la actividad nocturna. Esta respuesta varía en su magnitud dependiendo de, entre varios factores, la talla corporal y el tipo de perturbación antrópica a la que se está expuesta (Gaynor *et al.*, 2018).

Con base en lo anterior, resulta evidente que se requiere examinar con mayor amplitud las características

de los patrones de actividad diaria de la fauna silvestre en distintas partes de su distribución. El avance en este sentido es importante para comprender los factores ecológicos que gobiernan la actividad de la fauna silvestre, pero también es de suma relevancia para evaluar en qué medida estos animales pueden responder al impacto de las actividades humanas. Este estudio se centra en el análisis de los patrones de actividad de la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en tres bosques en buen estado de conservación ubicados en el occidente y sur del país. En particular nos enfocamos en describir cuantitativamente la variación de la actividad a lo largo del día y en estimar la proporción del mismo en la que esta especie es activa.

Metodología

Especie focal. La especie *Urocyon cinereoargenteus* (Schreber, 1775), comúnmente conocida como zorra gris, es un cánido generalmente solitario de tamaño mediano (800-1,125 mm de longitud total del cuerpo) y con un peso en su fase adulta entre 3 a 7 kilos. Los machos son ligeramente más grandes que las hembras (Fritzell y Haroldson, 1982). Es un animal muy ágil por lo que puede trepar fácilmente a los árboles. Habita áreas boscosas y de matorral, pero es muy adaptable por lo que puede encontrarse en zonas con vegetación perturbada e incluso dentro de las zonas urbanas. Puede estar activa en el día y noche (Aranda Sánchez, 2012). Utiliza los troncos huecos, raíces de árboles caídos, rocas o suelos descubiertos como sitios de refugio. Su alimentación es omnívora e incluye frutos, roedores, lagomorfos, insectos, etc. Su distribución geográfica es muy amplia ya que va desde el sur de Canadá hasta Colombia y Venezuela. Se puede encontrar en la mayor parte del territorio de México (Servín y Chacón, 2005; Aranda Sánchez, 2012) (**Figura 1**).

Sitios de estudio

Para este estudio se utilizó información obtenida mediante fototrampeo en tres áreas protegidas del país (**Figura 2**).

1. Reserva de la Biosfera El Triunfo (de aquí en adelante “El Triunfo”). Se localiza en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, entre los $15^{\circ}9'10''$ y $15^{\circ}57'02''$ latitud norte y $92^{\circ}34'04''$ y $93^{\circ}1'42''$ longitud oeste (**Figura 2**). El Triunfo tiene una superficie total de 119,177.29 hectáreas (INE/SEMARNAP, 1999); es una de las reservas más ricas y diversas en mastofauna del país con 112 especies de mamíferos, lo que representa



Figura 1. Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Foto: Jonatan Torres-Pérez-Coeto.

el 23 % de las especies registradas en México (Espinoza *et al.*, 1998). Además, protege la porción más extensa y mejor conservada del bosque mesófilo de montaña del país (Godínez-Gómez y Mendoza, 2019).

2. Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (de aquí en adelante “Yum Balam”), se ubica en el extremo norte del municipio de Lázaro Cárdenas, en el estado de Quintana Roo, entre los $21^{\circ}13'58''$ y $21^{\circ}42'18''$ de latitud norte y los $87^{\circ}52'13''$ y $87^{\circ}05'48''$ de longitud oeste (**Figura 2**). Tiene una extensión de 154,052.25. La temperatura media anual en la región es de 24.6-25.5 °C, y la precipitación media anual es de 1200 mm (SEMARNAT/ CONANP 2019). Dentro del área de protección de flora y fauna están representados 10 tipos de vegetación: manglar, matorral de duna costera, selva baja caducifolia, selva baja subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, petén, pastizales inundables, tasistales y vegetación secundaria. Algunas de las especies representativas de fauna son: Tortuga caguama (*Caretta caretta*), Tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), Cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*), Cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), Flamenco (*Phoenicopterus ruber*), Cigüeña jabirú (*Jabiru mycteria*), Espátula rosada (*Ajaia ajaja*), Mono araña (*Ateles geoffroyi*), Saraguato de manto (*Alouatta pigra*), Oso hormiguero

(*Tamandua mexicana*), Jaguar (*Panthera onca*), Puma (*Puma concolor*), Ocelote(*Leopardus pardalis*), Tigrillo o margay (*Leopardus wiedii*) (CONANP, 2024).

3. El Parque Nacional Barranca del Cupatitzio (de aquí en adelante “Barranca del Cupatitzio”) se localiza en el estado de Michoacán entre los $19^{\circ} 25' 11.28''$ y $19^{\circ} 26' 24.18''$ de latitud Norte y los $102^{\circ} 07' 40.04''$ y $102^{\circ} 04' 20''$ de longitud Oeste (**Figura 2**). La Barranca del Cupatitzio tiene una extensión de 458.21 hectáreas (CONANP, 2006). Su superficie está cubierta parcialmente por los derrames de lava del volcán Paricutín (originados en los años 1943 y 1952). Sus elevaciones máximas corresponden a los picos Loma Larga (2,075 m s.n.m.) y Cerro Chiquito (2,136 m s.n.m.). La vegetación natural de la zona se compone principalmente de bosque de pino, pino-encino y bosque mesófilo de montaña (Bello y Madrigal-Sánchez, 1996). Se han registrado 43 especies de mamíferos, pertenecientes a 8 órdenes, 16 familias y 32 géneros (Chávez-León y Zaragoza Rivera, 2009). A un costado de Barranca del Cupatitzio se encuentra la ciudad de Uruapan (Hernández Salazar, 2020). En el 2010 esta ciudad tenía una población de 315,350 habitantes que para el año 2020 aumentó a 356,786. Por otro lado, el poblado de San Juan Parangaricutiro, que se ubica al oeste de Barranca del Cupatitzio tiene una población de 20,982 habitantes (Hernández Salazar,



Figura 2. Ubicación de las áreas naturales protegidas en las que se obtuvieron los datos de fototrampeo de la zorra gris que se utilizaron para este estudio.

2020). Este crecimiento poblacional se ha dado a la par del establecimiento de plantaciones de aguacate a costa de una disminución en la cobertura vegetal lo que junto con los incendios provocados ha afectado el interior de la reserva.

Diseño de muestreo

En El Triunfo se colocaron 20 cámaras trampa con sensores infrarrojos de movimiento (17 modelo Stealth cam STC-AC54OIR Digital Scouting Camera y 3 modelo Bushnell Trophy 119436CWP) en su zona núcleo I de agosto a diciembre de 2012. La ubicación de las cámaras se definió tomando como guía tres senderos: Palo gordo, Bandera y Costa usados por los guardaparques para actividades de monitoreo y ocasionalmente por observadores de aves. Partiendo del campamento se marcaron sobre los senderos puntos consecutivos a una distancia de 500 m usando un GPS, Garmin 60Csx. Posteriormente, se lanzó un volado para decidir a qué lado del sendero se caminaba una distancia de aproximadamente 15 metros para colocar la cámara. Se removió la vegetación frente a las cámaras para evitar interferencias con los sensores. Las cámaras fueron selladas con cinta adhesiva y protegidas con una cubierta plástica para evitar el efecto de la humedad ambiental y la lluvia; se programaron para tomar una serie de 3 fotos cada vez que eran activadas, para posteriormente entrar en un periodo de reposo de un minuto. Las cámaras

se revisaron mensualmente para asegurar su correcto funcionamiento y descargar las imágenes registradas.

En Yum Balam se colocaron 33 cámaras trampa durante cuatro meses, de agosto a diciembre de 2018. Las cámaras trampa (Cuddeback Modelo H-1453) se ubicaron en sitios de paso y senderos de la fauna dentro de la reserva y la zona aledaña. Las cámaras trampa se colocaron a una distancia mínima de 1.5 km entre ellas y su ubicación se georreferenció con un GPS portátil (Garmin 62). Se ubicaron nueve cámaras trampa dentro y 27 fuera de la reserva ya que la accesibilidad a la zona era bastante complicada. Las cámaras se fijaron en troncos de árboles a una altura aproximada de 50 cm. La vegetación frente a las cámaras fue parcialmente removida para evitar que al moverse las activaran y para extender el campo de visión. Además, se protegieron de la humedad ambiental y la lluvia con una cubierta de plástico adherente y cinta adhesiva; se programaron para tomar una serie de tres fotos cada vez que eran activadas. Se revisaron mensualmente para asegurar su correcto funcionamiento y descargar la información de las memorias.

En Barranca del Cupatitzio el muestreo se llevó a cabo de agosto a diciembre 2023, utilizando 8 cámaras trampa (Bushnell Trophy modelo 119837 y Browning Trail modelo BTC-5HD-MAX), repartidas sobre caminos, veredas y barrancos que abarcaron diferentes secciones de la reserva. La localización de las cámaras trampa fue registrada con un GPS portátil (Garmin eTrex). La

distancia promedio entre cámaras fue de 1.5 km. La mitad de las cámaras se configuró para tomar 3 fotografías por evento de activación y el resto se configuró en modo de video. Se realizaron visitas al parque aproximadamente cada 3 meses para descargar las imágenes captadas por las cámaras.

Elaboración de base de datos

Las fotos registradas durante el periodo de muestreo se organizaron por carpetas y se etiquetaron usando el programa DigiKam. Para identificar a las especies que salieron en las fotografías se usaron guías de campo (Aranda Sánchez, 2012). Posteriormente se extrajeron los metadatos de las imágenes usando el paquete CamtrapR (Niedballa *et al.*, 2016) en el programa R (R Core Team, 2022). De esta manera se generaron bases de datos con la información de las especies registradas, así como el día, hora y cámara de registro.

Análisis de datos

Patrones de actividad a lo largo del día. La descripción de los patrones de actividad de la zorra gris en los tres sitios de estudio se hizo a partir de generar curvas de densidad de probabilidad con base en la cantidad de registros obtenidos en distintos momentos a lo largo del día. Con este fin se transformó a radianes la información de la hora de registro de *U. cinereoargenteus* con ayuda del paquete “lubridate” (Grolemund y Wickham, 2011) en el programa R (R Core Team, 2022). Posteriormente se utilizó el paquete “Overlap” (Ridout y Linkie, 2009) para generar las curvas de actividad. Para comparar la semejanza entre estas curvas se realizó el cálculo de coeficientes de traslape (Δ) para cada par de ellas (Ridout y Linkie, 2009). Cuando $\Delta = 1$ indica que hay un traslape completo de las curvas (máxima semejanza), cuando $\Delta = 0$ no hay ninguna coincidencia en los patrones de actividad de las especies comparadas. Cuando el tamaño de la muestra disponible para las comparaciones fue menor a 75 registros de fototrampeo se utilizó la variante Δ_1 y cuando fue mayor se utilizó Δ_4 . Se calculó el intervalo de confianza del 95% de los coeficientes de traslape seleccionando las opciones bootCI y basic0 (Ridout y Linkie, 2009). De manera complementaria, se utilizó el paquete “Activity” de R (Rowcliffe, 2023) para realizar una prueba de aleatorización para determinar si existían diferencias estadísticas en los patrones de actividad que fueron comparados (H_0 = ambas curvas provienen de la misma distribución poblacional).

Patrones de actividad a lo largo del día. Para cada sitio se calculó el nivel de actividad de *U. cinereoargenteus*, este valor proporciona un estimado del porcentaje de

día que una especie es activa, sus valores van entre 0 y 100%. Este cálculo se realizó también con el paquete “Activity” (Rowcliffe, 2023). En este caso también se realizaron pruebas de aleatorización para comparar estadísticamente, entre pares de especies, las estimaciones de actividad y para generar los intervalos de confianza del 95% respectivos.

Resultados

En El Triunfo se obtuvieron 125 registros de *U. cinereoargenteus* (esfuerzo de muestreo = 1980 días cámara trampa), 37 en Yum Balam (esfuerzo de muestreo = 3795 días cámara trampa) y 147 en Barranca del Cupatitzio (esfuerzo de muestreo = 1080 días cámara trampa).

Patrones de actividad a lo largo del día

En Barranca del Cupatitzio *U. cinereoargenteus* tuvo su mayor pico de actividad cerca de las 02:00 horas y en las 16:00 a 18:00 tuvo otro pico, pero de menor magnitud. En El Triunfo hubo una mayor actividad de *U. cinereoargenteus* durante el día en comparación con la observada en Barranca del Cupatitzio y su mayor pico de actividad se alcanzó alrededor de las 21:00 horas. Finalmente, en Yum Balam el patrón de actividad de *U. cinereoargenteus* contrastó con el observado en Barranca del Cupatitzio y El Triunfo, ya que tuvo una importante actividad diurna, lo que se reflejó en que su mayor pico de actividad se presentó alrededor de las 11:00 horas (**Figura 3**).

De esta manera, los sitios con menor traslape en el patrón de actividad de *U. cinereoargenteus*, fueron Barranca del Cupatitzio y El Triunfo ($\Delta = 0.19$), mientras que el mayor traslape existió entre El Triunfo y Yum Balam ($\Delta = 0.48$) (**Tabla 1**). Sobre la diagonal de la **Tabla 1** se indican los valores de traslape entre las curvas de actividad de *Urocyon cinereoargenteus* junto con sus intervalos de confianza del 95% (entre paréntesis). Debajo de la diagonal se muestran los valores de probabi-

Tabla 1. Actividad de *Urocyon cinereoargenteus* en tres sitios de muestreo.

	El Triunfo	Barranca del Cupatitzio	Yum Balam
El Triunfo	—	$\Delta_4 = 0.19$ (0.129, 0.264)	$\Delta_1 = 0.48$ (0.349, 0.615)
Barranca del Cupatitzio	$p < 0.001$	—	$\Delta_1 = 0.25$ (0.154, 0.362)
Yum Balam	$p < 0.001$	$p < 0.001$	—

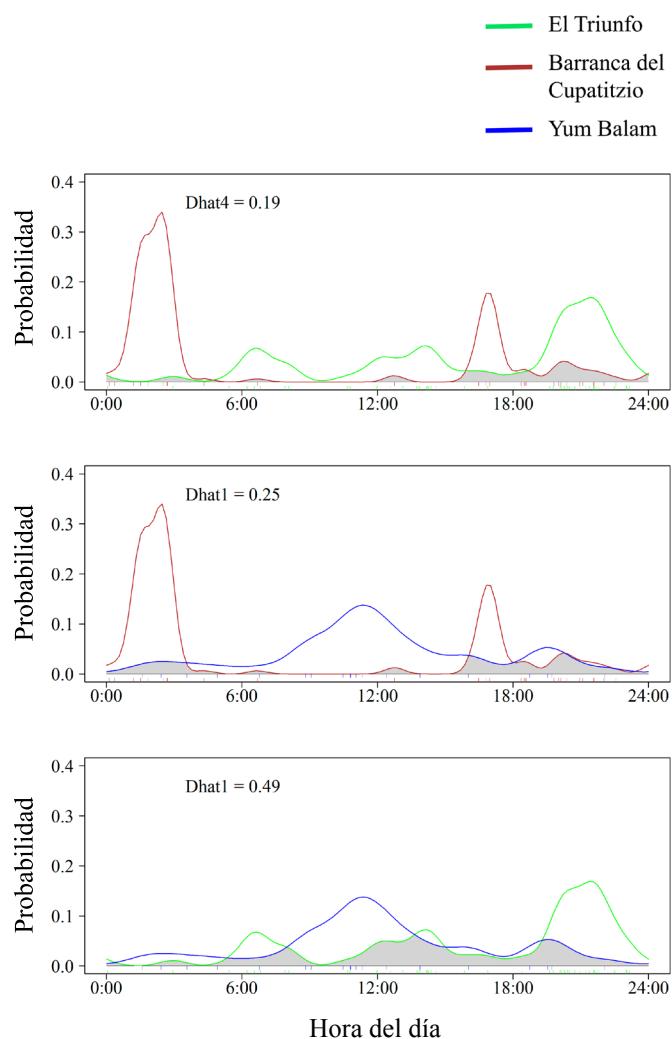


Figura 3. Curvas probabilísticas que describen los patrones de actividades a lo largo del día de la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en tres áreas naturales protegidas de México a partir de datos de fototrampeo.

lidad asociados a la prueba de permutación realizadas para evaluar si existían diferencias significativas entre las curvas de actividad de *U. cinereoargenteus*. En todos los casos (comparaciones entre sitios) existieron diferencias significativas entre los patrones de actividad de *U. cinereoargenteus* (**Tabla 1**).

Nivel de actividad durante el día

La mayor actividad de *U. cinereoargenteus* se registró en Yum Balam seguida de El Triunfo, mientras que la menor actividad se encontró en Barranca del Cupatitzio (**Figura 4**). Sin embargo, sólo hubo diferencias estadísticamente significativas entre Yum Balam y Barranca del Cupatitzio ($p < 0.001$) y entre El Triunfo y Barranca del Cupatitzio ($p < 0.001$) (**Figura 4**).

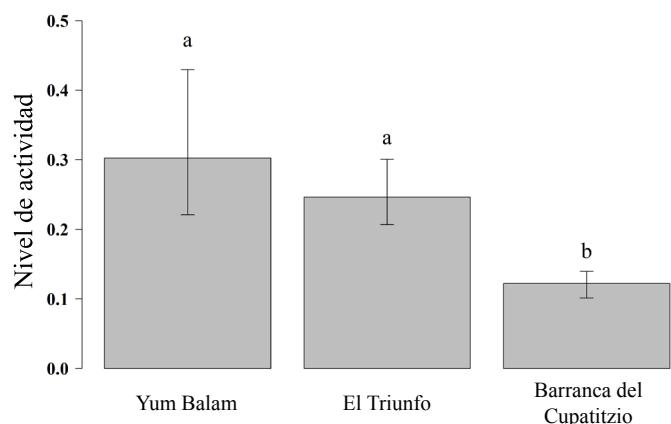


Figura 4. Niveles de actividad estimados para *Urocyon cinereoargenteus* en tres áreas naturales protegidas de México. Las barras de error corresponden a los intervalos de confianza del 95% y las letras diferentes indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

Discusión

En este estudio se registraron diferencias evidentes en la actividad de *U. cinereoargenteus* entre tres sitios de estudio con un nivel de conservación del hábitat relativamente bueno. Estas diferencias fueron particularmente evidentes al comparar la forma como la actividad de *U. cinereoargenteus* se distribuye a lo largo del día (i.e., patrones de actividad) sin embargo, también fueron evidentes al comparar sus niveles de actividad (i.e., porcentaje del día en el que la especie está activa). Entre los factores que pueden explicar estas diferencias en la actividad están las características bióticas y abióticas del hábitat (Vallejo-Vargas *et al.*, 2022). Por ejemplo, la existencia de una cobertura arbórea densa en El Triunfo puede favorecer que la actividad se distribuya de manera más uniforme a lo largo del día al no haber fluctuaciones muy marcadas en factores tales como la temperatura y luminosidad, que pudieran afectar el gasto metabólico de este cánido o la exposición a depredadores. Barranca del Cupatitzio fue el sitio que mostró picos de actividad más marcados. Una posible explicación de este patrón se relaciona con el hecho de que si bien este es un parque nacional no se escapa del todo a la perturbación antrópica. Una expresión de tal perturbación es la presencia de fauna introducida como son los perros domésticos (E. Perales, datos no publicados). Es posible que la notoria presencia en este sitio de los perros más la de otras especies como los coyotes (*Canis latrans*) pueda estar afectando los patrones de actividad de *U. cinereoargenteus* al aumentar la probabilidad de depredación o ataques (Egan *et al.*, 2021).

Las variaciones en los niveles de actividad entre

sitos, puede estar reflejando el balance entre una serie de factores tales como la disponibilidad de recursos alimenticios, el riesgo de ataque por otros animales y el gasto metabólico que se necesita para compensar las condiciones del ambiente (ej. fluctuaciones en la temperatura). Se requiere de una mayor amplitud de los muestreos—para registrar la variación temporal en los patrones de actividad—así como de diseños especialmente planeados para poder avanzar en el entendimiento del peso relativo de los factores bióticos y abióticos que afectan los patrones de actividad de la fauna silvestre (Frey *et al.*, 2017)

Si bien no es posible ahondar sobre las causas de la variación observada en los patrones de actividad de *U. cinereoargenteus*, el hecho de que muestre tal nivel de variación es en sí relevante. Es posible que esta flexibilidad para ajustar sus patrones de actividad diaria sea un factor que explique el éxito que tiene esta especie para mantener poblaciones incluso en condiciones de una importante perturbación antrópica (Castellanos-Morales *et al.*, 2008). Resulta de gran interés el evaluar si es posible encontrar en otras especies de mamíferos silvestres una correlación positiva entre la flexibilidad de sus patrones de actividad diaria y su éxito para sobrellevar el impacto antrópico.

Distintos estudios han clasificado a las especies de mamíferos silvestres en función de sus patrones de actividad diaria (ej. diurnos, nocturnos catemerales, etc). Estas clasificaciones son la base para realizar análisis globales, por ejemplo, de la distribución geográfica de especies con distintos patrones de actividad (Bennie *et al.*, 2014). Así mismo, este tipo de clasificación se ha incorporado en bases de datos que se utilizan ampliamente para el análisis de la diversidad funcional (Jones *et al.*, 2009; Ahumada *et al.*, 2011). Resulta por lo tanto de gran valor contar con criterios rigurosos para clasificar a las especies en función de sus patrones de actividad diaria. En la medida que existan estos criterios las comparaciones entre especies y dentro de especies, para distintas fechas o distintas poblaciones, serán más informativas y menos sesgadas.

Si bien existen guías generales para determinar cuándo una especie es diurna, nocturna, crepuscular o catemeral, es solo de manera reciente que se han propuesto métodos cuantitativos más rigurosos para llevar a cabo estas categorizaciones. Gerber *et al.* (2024) proponen un método probabilístico, a partir de modelos bayesianos, para poner a prueba hipótesis sobre el patrón de actividad diaria de mamíferos silvestres a partir de datos de fototrampeo. Este enfoque proporciona una metodología

replicable que puede ayudar a la estandarización de las comparaciones de estos patrones. Así mismo, brinda un enfoque más flexible para clasificar los patrones de actividad al brindar la posibilidad de explorar una variedad más amplia de categorizaciones tales como crepuscular-nocturno, diurno-crepuscular, etc. (Gerber *et al.*, 2024).

El uso de las cámaras trampa ha venido a revolucionar el estudio de los patrones de actividad de la fauna silvestre. Sin embargo, es sumamente deseable el combinar el uso de esta herramienta con otras técnicas (como el seguimiento de la fauna mediante tecnología GPS) para lograr descripciones aún más detalladas de los patrones de actividad diaria de la fauna (Edwards *et al.*, 2021).

Conclusiones

El estudio de los patrones de actividad diaria es un campo de investigación que ha recibido gran atención, debido a su relevancia para comprender cómo interactúan aspectos de la fisiología y ecología de la fauna de la fauna silvestre para facilitar su capacidad de adaptarse a la variación natural y antrópica en los ecosistemas. Conforme se avance en la implementación de estudios específicamente diseñados para evaluar el impacto que tienen distintos factores bióticos y abióticos sobre los patrones de actividad diaria de la fauna silvestre podremos tener una mayor posibilidad de prever su respuesta a factores como la urbanización y el cambio climático. Para este avance será de gran importancia el aplicar enfoques metodológicos robustos que permitan realizar diferentes comparaciones (entre especies, dentro de especies y a diferentes escalas geográficas) de manera estandarizada.

Agradecimientos

El Biól. Jonatan Torres-Pérez-Coeto y el Ing. Enil Perales Calderón generaron la información de campo en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, la Biól. Diana Saavedra generó la información de campo en el Área de Protección de Flora y Fauna de Yum Balam, el M. en C. Oscar Godínez Gómez apoyó en la generación de la información de campo en la Reserva de la Biosfera de El Triunfo. El Programa de Monitoreo Biológico (PROMOBI-CONANP) a través del proyecto “Monitoreo del tapir (*Tapirus bairdii*) en la reserva de la biosfera de El Triunfo” y al proyecto “Análisis de Diversidad de Vertebrados Terrestres en Yum Balam” de la CONANP por el apoyo financiero para la realización del trabajo de

campo para generar las bases de datos que se analizaron en este estudio. El personal de la CONANP asociado al Parque Nacional Barranca del Cupatitzio y la Reserva Biosfera de El Triunfo dieron apoyo invaluable para la generación de los datos de campo que se utilizaron.

Referencias

- Ahumada JA, Silva CE, Gajapersad K, Hallam C, Hurtado J, Martin E, McWilliam I, Mugerwa B, O'Brien T, Rovero F, Sheil D, Spironello WR, Winarni N, Andelman SJ (2011). Community structure and diversity of tropical forest mammals: data from a global camera trap network. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366:2703-2711. doi:10.1098/rstb.2011.0115.
- Aranda Sánchez MJ (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Primera edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, 110-111.
- Ashby KR (1972). Patterns of daily activity in mammals. *Mammal Review*, 1: 171-185. doi:10.1111/j.1365-2907.1972.tb00088.x.
- Bartness TJ, Albers HE (2000). Activity Patterns and the Biological Clock in Mammals. En: Halle S, Stenseth NC (eds) *Activity Patterns in Small Mammals. Ecological Studies*, vol 141. Berlin, Heidelberg, Springer. pp. 23-47. doi 10.1007/978-3-642-18264-8_3.
- Bello GMA, Madrigal-Sánchez X (1996). Estudio florístico del campo experimental «Barranca del Cupatitzio», Uruapan, Michoacán. Folleto Científico No. 2. INIFAP, CIRPAC, CAMPO EXP. URUAPAN. Morelia, Mich. p. 47.
- Bennie JJ, Duffy JP, Inger R, Gaston KJ (2014). Biogeography of time partitioning in mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:13727-13732. doi:10.1073/pnas.1216063110.
- Castellanos Morales G, García Peña N, List R (2008). Ecología del cacomixtle (*Bassaris astutus*) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*). En: Lorenzo C, Espinoza E, Ortega J (eds). *Avances en el estudio de los mamíferos*. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. pp. 371-381.
- Chávez-León G, Zaragoza Rivera S (2009). Riqueza de mamíferos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:95-104. doi:10.22201/ib.20078706e.2009.001.587.
- CONANP (2006). Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Barranca del Cupatitzio. CONANP. México DF. p. 192. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/3_libro_pm.pdf.
- CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=44®=9>, [consultado el 25 de octubre de 2024].
- Edwards S, Noack J, Heyns L, Rodenwoldt D (2021). Are camera traps a reliable method for estimating activity patterns? A case study comparing technologies for estimating brown hyaena activity curves. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 7:129-138. doi:10.1002/rse2.175.
- Egan ME, Day CC, Katzner TE, Zollner PA (2021). Relative abundance of coyotes (*Canis latrans*) influences gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*) occupancy across the eastern United States. *Canadian Journal of Zoology* 99:63-72. doi:10.1139/cjz-2019-0246.
- Espinoza M, Anzures EA, Cruz E (1998). Los Mamíferos de El Triunfo. *Revista Mexicana de Mastozoología* 3:79-94.
- Frey S, Fisher JT, Burton AC, Volpe JP (2017). Investigating animal activity patterns and temporal niche partitioning using camera-trap data: Challenges and opportunities. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 3(3):123-132. doi:10.1002/rse2.60.
- Fritzell EK, Haroldson KJ (1982). *Urocyon cinereoargenteus*. *Mammalian species* 189:1-8. doi:10.2307/3503957.
- Gaynor KM, Hojnowski CE, Carter NH, Brashares JS (2018). The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science* 360:1232-1235. doi:10.1126/science.aar7121.
- Gerber BD, Devarajan K, Farris ZJ, Fidino M (2024). A model-based hypothesis framework to define and estimate the diel niche via the 'Diel. Niche'R package. *Journal of Animal Ecology* 93:132-146. doi:10.1111/1365-2656.14035.
- Godínez-Gómez O, Mendoza E (2019). Amenazas a la biodiversidad de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. En: Enríquez PL, Martínez Camilo R, Carrillo García M (eds). *La Reserva de la Biosfera El Triunfo: avances y necesidades de investigación y conservación*. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur. pp. 187-194.
- Grolemund G, Wickham H (2011). Dates and Times Made Easy with lubridate. *Journal of Statistical Software* 40:1-25. doi:10.18637/jss.v040.i03.
- Halle S, Stenseth NC (2000). Theoretical Considerations — Introduction. En: Halle S, Stenseth NC (eds), *Activity patterns in small mammals: Ecological studies*, vol 141. Berlin, Heidelberg, Springer. pp. 141-121. doi:10.1007/978-3-642-18264-8_2.
- Hernández Salazar J (2020). Fichas población 2020. Implanurapan, 1. <https://implanurapan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/06/Fichas-poblacion-2020-.pdf>
- INE/SEMARNAP (1999). Programa de Manejo de la Reserva de La Biosfera El Triunfo, México. INE— SEMARNAP. México D.F. p. 107. https://simec.conanp.gob.mx/TTH/Triunfo/Triunfo_TTH_2000_2010.pdf.
- Jones KE, Bielby J, Cardillo M, Fritz SA, O'Dell J, et al. (2009). PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals: *Ecological Archives* E090-184. *Ecology* 90:2648-2648. doi:10.1890/08-1494.1.
- Mendoza E, Camargo-Sanabria AA, Godínez-Gómez O (2022). Is camera trapping helping us to fill knowledge gaps related to the conservation of wild mammals?. *Journal for Nature Conservation*

70:126282. doi:10.1016/j.jnc.2022.126282.

Niedballa J, Sollmann R, Courtiol A, Wilting A (2016). camtrapR: an R package for efficient camera trap data management. *Methods in Ecology and Evolution* 7:1457–1462. doi:10.1111/2041-210X.12600.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ridout M, Linkie M (2009). Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 14:322–337. doi:10.1198/jabes.2009.08038.

Rowcliffe M (2023). `_activity`: Animal Activity Statistics . R package version 1.3.3, <<https://CRAN.R-project.org/package=activity>>.

SEMARNAT/ CONANP (2019). Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam. SEMARNAT/ CONANP. México DF. p. 284. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/44_libro_pm.pdf.

Servín J, Chacón E (2005). *Urocyon cinereoargenteus* (Schreber, 1775): Zorra gris. En: Ceballos G, Oliva G (coord.). *Los Mamíferos Silvestres de México*. México, D. F. Conabio-Fondo de Cultura Económica. pp. 354–355.

Vallejo-Vargas AF, Sheil D, Semper-Pascual A, Beaudrot L, Ahumada JA, Akampurira E, Bitariho R, Espinosa S, Estienne V, Jansen PA, Kayijamahe C, Martin EH, Lima MGM, Mugerwa B, Rovero F, Salvador J, Santos F, Spironello WR, Uzabaho E, Bischof R (2022). Consistent diel activity patterns of forest mammals among tropical regions. *Nature Communications* 13(1):7102. doi:10.1038/s41467-022-34825-1



Los huracanes y su efecto sobre los animales: el caso de anfibios y reptiles

Hurricanes and their impact on animals: the case of amphibians and reptiles

Ireri Suazo Ortuño* Jorge Alejandro Marroquín Páramo

Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. San Juanito Itzícuaro s/n, Col. Nueva Esperanza, Morelia, Michoacán, CP 58330, México.

Historial

Manuscrito recibido: 21 de marzo de 2025

Manuscrito aceptado: 9 de septiembre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Ireri Suazo Ortuño

ireri.suazo@umich.mx

ORCID: 0000-0001-9893-5629

Resumen

Los disturbios naturales influyen en la dinámica poblacional según su frecuencia e intensidad. Los huracanes afectan a la biodiversidad de manera diferencial, dependiendo de la ubicación geográfica o si impactan en islas o continentes. Desde 2009, los estudios sobre huracanes y herpetofauna han aumentado notablemente en número, posiblemente en respuesta a su mayor frecuencia e intensidad (categorías 4 y 5). En este estudio, evaluamos la respuesta de los anfibios y reptiles al impacto de dos huracanes en la región de Chamela, Jalisco en el Pacífico Mexicano: el Jova (2011) de categoría II y el huracán Patricia (2015) de categoría 5. Ambos huracanes afectaron amplias áreas de bosque tropical seco en la región de estudio. El huracán Jova favoreció a ciertas especies y perjudicó a otras, mientras que después del paso del huracán Patricia la mayoría de las especies disminuyeron en abundancia, y en general, la riqueza y diversidad también bajaron. Por lo que a medida que la frecuencia e intensidad de los huracanes aumentan, los ensambles de animales – en este caso de anfibios y reptiles – suelen mostrar mayores cambios en la estructura, composición y patrones de abundancia-dominancia de las especies.

Abstract

Natural disturbances influence population dynamics depending on their frequency and intensity. Hurricanes affect biodiversity in a differential manner, depending on geographical location and whether they strike islands or continental areas. Since 2009, studies on hurricanes and herpetofauna have increased markedly, possibly in response to the greater frequency and intensity of damaging hurricanes (categories 4 and 5). In this study, we evaluated the response of amphibians and reptiles to the impact of two hurricanes in the Chamela region, Jalisco, on the Mexican Pacific: Hurricane Jova (2011; Category II) and Hurricane Patricia (2015; Category 5). Both events affected extensive areas of tropical dry forest. Hurricane Jova favored certain species and negatively affected others; overall, species abundances were significantly lower after Hurricane Patricia and, in general, richness and diversity also declined. Thus, as the frequency and intensity of hurricanes increase, animal assemblages – in this case amphibians and reptiles – tend to show greater level of change in structure, composition, and species abundance-dominance patterns.

Introducción

Los huracanes son fenómenos metereológicos que traen consigo fuertes vientos, grandes olas, y gran cantidad de lluvia causando catástrofes en muchas regiones del mundo (Jagger y Elsner, 2006). En el continente, los huracanes pueden derribar árboles, así como destruir o dañar casas y edificios (**Figura 1a**). En el mar, el intenso oleaje puede hundir o dañar embarcaciones, destruir arrecifes de coral y transportar contaminantes y basura de la tierra al mar (Hoffman, 2004; Pielke *et al.*, 2005). Además, la lluvia puede ocasionar inundaciones en

pueblos y ciudades o en tierras de cultivo o ganaderas. La sinergia de estos efectos no solo impacta de manera directa a la población humana, a sus propiedades y a sus animales domésticos, sino también a las plantas y animales silvestres que habitan en las zonas afectadas (Wang *et al.*, 2016; Welch, 2006).

Un primer efecto del paso de los huracanes es el daño a la vegetación, especialmente a los árboles (**Figura 1b**). Entre los efectos indirectos de los huracanes se incluyen los daños que los árboles derribados producen en los árboles adyacentes -ya que pueden caer sobre

ellos o arrastrarlos en su caída- así como la muerte de las plantas que viven cerca del suelo al quedar expuestas a altos niveles de luz ultravioleta (Boucher *et al.*, 1994; Trenberth, 2005). En general, los árboles con diámetro medio del tallo sobreviven menos, esto debido a que no son lo suficientemente flexibles como para escapar al impacto del viento, ni lo suficientemente gruesos para

resistirlo (Lugo, 2008; Marroquín-Páramo *et al.*, 2021; van den Burg *et al.*, 2022).

El daño más aparente de un huracán sobre las selvas es el dramático cambio en el microambiente del bosque. Cuando una gran fracción de la copa de los árboles se destruye como consecuencia de los fuertes vientos del huracán, su biomasa y nutrientes se transfieren al piso



Figura 1. Efecto del huracán Patricia en 2015 en su paso por la estación de Biología Chamela, Jalisco, México. Fotos: a) Maricela Rodríguez Acosta; b y c) Manuel Maass.

de la selva, y los perfiles de luz, temperatura y humedad cambian (**Figura 1c**). Los ambientes sombreados, frescos y húmedos del interior de la selva se convierten en ambientes con altas temperaturas, baja humedad, con mayor exposición a los vientos y a la lluvia, causando fluctuaciones microclimáticas y los frutos, flores y hojas desaparecen por largos períodos de tiempo (Lugo, 2008; Hu y Smith, 2018). Extraordinariamente, este daño a los árboles y a sus copas, también origina una explosión de vida al permitir el desarrollo de nuevas plantas. Por ejemplo, en la selva de Quintana Roo, 17 meses después del paso del Huracán “Gilberto” en 1988 la regeneración del bosque fue asistida por una gran abundancia de nutrientes debido a la enorme cantidad de hojas que fueron arrancadas y depositadas en el suelo (Ramírez-Barajas *et al.*, 2012). Otro ejemplo, es el huracán “George” que azotó el Caribe mexicano en 1998, el cual permitió que el número de semillas germinadas aumentara significativamente tras su paso. En general, diversos estudios concluyen que los huracanes son una fuerza organizadora de las comunidades vegetales por lo que son capaces de influir en la estructura de las selvas, promoviendo la regeneración a través del rebrote y la germinación de nuevas semillas (Gong *et al.*, 2021; Lugo, 2008).

Huracanes y animales

El efecto inicial directo de un huracán sobre los animales silvestres es la muerte inmediata por los fuertes vientos y lluvias torrenciales, mientras que los efectos indirectos como la pérdida de alimentos y sustratos para forrajar o refugiarse pueden causar su muerte tiempo después (Wunderle *et al.*, 2004; Ramírez-Barajas *et al.*, 2012; van den Burg *et al.*, 2022). Generalmente, los animales grandes son más resistentes al impacto de los huracanes que los animales pequeños, aunque las especies pequeñas que sobreviven a los huracanes se recuperan más rápido debido a que su tasa de reproducción es mayor que las especies grandes. Por ejemplo, al comparar la respuesta de las poblaciones de lagartijas y de arañas en la Isla Gran Exuma en Bahamas después del paso del Huracán “Lili” en 1996, se encontró que la población de lagartijas bajó más del 34% y la de las arañas más del 79%, pero comparaciones entre censos un año después mostraron que el número de lagartijas permanecía constante, mientras que el número de individuos y especies de arañas había incrementado. Estos datos muestran, que las lagartijas al ser más grandes pudieron evadir la fuerza del huracán o encontrar refugio mejor que las pequeñas arañas, pero las arañas, las cuales son más fecundas y tienen tiempos generacionales más cortos, se

recuperaron más rápidamente que las lagartijas.

También las especies con buena capacidad para desplazarse a lugares o hábitats menos afectados después del paso de los huracanes suelen ser menos afectadas. En Puerto Rico el desplazamiento de los individuos machos de la Boa puertorriqueña (*Epicrates inornatus*) incrementó de 14.8 a 19.6 m diarios en respuesta a los cambios en la vegetación y a la abundancia de presas después del huracán “George” en 1998. Después del huracán “Hugo” en 1989 las especies de aves y murciélagos que se alimentaban de frutas o néctar sufrieron fuertes reducciones en sus números ya que estos recursos dejaron de estar disponibles. En parte, la disminución de estas especies en las áreas afectadas por el huracán se debió a que tanto las aves como los murciélagos migraron a áreas menos afectadas por el huracán.

Los huracanes también pueden servir como fuerza externa que ayuda a la dispersión de los animales. Por ejemplo, tras el paso del huracán “Luis” en el Caribe en 1995, por lo menos 15 individuos de iguana verde (*Iguana iguana*) aparecieron en las playas de la isla Anguila, esta especie no existía previamente en esta isla. Las iguanas arribaron sobre una masa de árboles, raíces y troncos. Los huracanes también pueden modificar las relaciones entre animales. Por ejemplo, en las Bahamas después del paso del huracán “Floyd” en 1999 los depredadores casi extinguieron a la población de lagartijas que habían sobrevivido al huracán. La lagartija de la especie *Leiocephalus carinatus* es depredadora de la lagartija *Anolis sagrei*, y en las islas sin la presencia de este depredador los anolis se recuperaron rápidamente después del huracán, mientras que en las islas con la presencia del depredador la población casi se extinguió.

En otro ejemplo, se ha observado que, en muchas islas del Caribe, después del paso de los huracanes se depositan grandes cantidades de algas en el suelo, ocasionando que algunos depredadores pasen más tiempo forrajeando entre las algas, que en sus áreas de forrajeo habituales. Se ha observado que en las islas del Caribe cuando se establecen grandes depósitos de algas como las que ocurren después de un huracán, las lagartijas de la especie *Anolis sagrei* y las hormigas de la especie *Camponatus tortuganus* que forrajean en las ramas del mangle botón (*Conocarpus erectus*) bajan a forrajar al suelo, lo que hace que los insectos que se alimentan de las hojas y flores del mangle no tengan depredadores y por consiguiente aumenta la herbívora de la planta (Schoener *et al.*, 2001; Spiller y Schoener, 2007).

Como se observa, los huracanes pueden generar cambios en la riqueza de especies (número de especies), composición de la comunidad (tipo de especies) y la

abundancia (número de individuos por especie), por lo que pueden ser promotores de cambios en la estructura de las comunidades animales (Marroquín-Páramo *et al.*, 2021).

Impacto de los huracanes Jova y Patricia sobre la selva seca y los anfibios y reptiles de Chamela Jalisco

Las selvas secas se caracterizan por su importancia en términos de riqueza y endemismo de especies animales y vegetales ya que proporcionan el hábitat para aproximadamente el 51% de los vertebrados de México (Suazo-Ortuño *et al.*, 2015). Sin embargo, el acelerado crecimiento demográfico, ha transformado estos ecosistemas naturales, poniendo en riesgo su funcionalidad y estabilidad. Además de las perturbaciones antrópicas, algunas selvas secas sufren otro tipo de perturbación natural como es el caso de los huracanes. De esta manera la selva seca de Chamela, Jalisco sufrió el impacto del huracán Jova en 2011. Este huracán tocó tierra en la Fortuna, Jalisco, aproximadamente a las 01:00 horas, tiempo local del día 12 de octubre del 2011 como huracán de categoría 2, con vientos máximos sostenidos de 160 km/h y rachas de 195 km/h. Cuatro años después, la costa de Chamela fue azotada por el huracán Patricia el día 23 de octubre, de categoría 5 en la escala de S-S a las 13:00 horas con vientos sostenidos de 325 km/h golpeando la costa de Jalisco. A partir de ese momento, el episodio fue superando todos los registros históricos de la serie contenida en el NOAA y se clasificó como el huracán más peligroso que ha golpeado la costa del Pacífico en términos de rachas de vientos de >400 km/h. Ambos huracanes afectaron grandes áreas de bosque tropical seco y atravesaron la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala dejando daños ostensibles en la vegetación (Aguilar-Román *et al.*, 2020).

Los árboles sufrieron fuertes nieveles de defoliación y en el suelo la biomasa de hojarasca y residuos de madera incrementaron sustancialmente después del paso de los dos huracanes (Jaramillo *et al.*, 2018). Un poco después del paso de los dos huracanes los árboles de la selva empezaron a recuperar sus hojas, los árboles dañados que permanecían vivos empezaron a rebrotar y pocos meses después el daño de los huracanes ya no era tan aparente (Tapia-Palacios *et al.*, 2018). Pero ¿cómo enfrentan los animales silvestres el paso de los huracanes en particular la herpetofauna?

Los anfibios y reptiles son organismos que, por sus características fisiológicas y biológicas, son muy sensibles a la perturbación del hábitat, por lo que se encuentran entre los grupos de animales vertebrados

en mayor peligro de extinción (Suazo-Ortuño *et al.*, 2018). A través de un estudio a largo plazo (2009-2018) monitoreamos a la especies de anuros, lagartijas y serpientes a lo largo de cinco diferentes estadios sucesionales del bosque tropical seco y encontramos que el impacto de los dos huracanes jugó de forma diferente entre las especies de herpetofauna; el huracán Jova jugó a favor de algunas especies y en contra de otras especies, y después del paso del huracán Patricia las abundancias disminuyeron en casi todas las especies a niveles nunca reportados previamente para estos sitios (Marroquín-Páramo *et al.*, 2021).

Nuestros resultados indicaron que tras el paso del huracán Jova las abundancias de la lagartija *A. nebulosus* aumentaron, a lo largo de la sucesión secundaria, coincidiendo con los resultados encontrados por Schoener y col. (2017) en las Bahamas donde el aumento en la abundancia de esta lagartija estuvo relacionado con que los huracanes de categorías II y III, los cuales no suelen ser tan destructivos, resultan en un incremento en la abundancia de presas poptenciales (artropodos). Algo similar también se ha reportado para el grupo de las aves donde el gremio de aves insectívoras aumenta tras el paso de un huracán (Wiley y Wunderle, 1993; Schoener *et al.*, 2017). También se reportan efectos negativos sobre las abundancias de algunas lagartijas del género *Anolis* tras el paso de huracanes de categoría IV y V, incluso en algunos casos, se reporta la extinción local y una recolonización muy lenta por crías y juveniles provenientes de huevos que sobreviven a las inundaciones (Schoener *et al.*, 2001; Schoener *et al.*, 2004; Losos *et al.*, 2003).

En nuestro caso las ranas pico de pato (*Triprion spatus-latus*; **Figura 2a**) y el sapo (*Incilius marmoreus*; **Figura 2b**) disminuyeron su abundancia casi a la mitad, mientras que el sapito *Leptodactylus melanotus* (**Figura 2c**) aumentó casi cinco veces su abundancia. La mayoría de las serpientes también disminuyeron en abundancia, pero la serpiente bejuquillo (*Oxybelis aeneus*; **Figura 2d**) y la serpiente ojo de gato (*Leptodeira maculata*; Fig. 2) casi duplicaron su abundancia, quizás debido a que la abundancia de lagartijas se duplicó dos años después del paso del huracán, entre ellas la lagartija arborícola *Anolis nebulosus* (**Figura 2f**) que incrementó casi tres veces su abundancia tras el paso del huracán Jova.

La riqueza de las especies después del paso del huracán Patricia fue significativamente más baja, que antes y después del huracán Jova (Suazo-Ortuño *et al.*, 2015, 2018). En cuanto a las abundancias de las poblaciones de herpetofauna antes y después del paso del huracán Jova, estas no mostraron una disminución evidente, incluso en estos mismos sitios algunas poblaciones

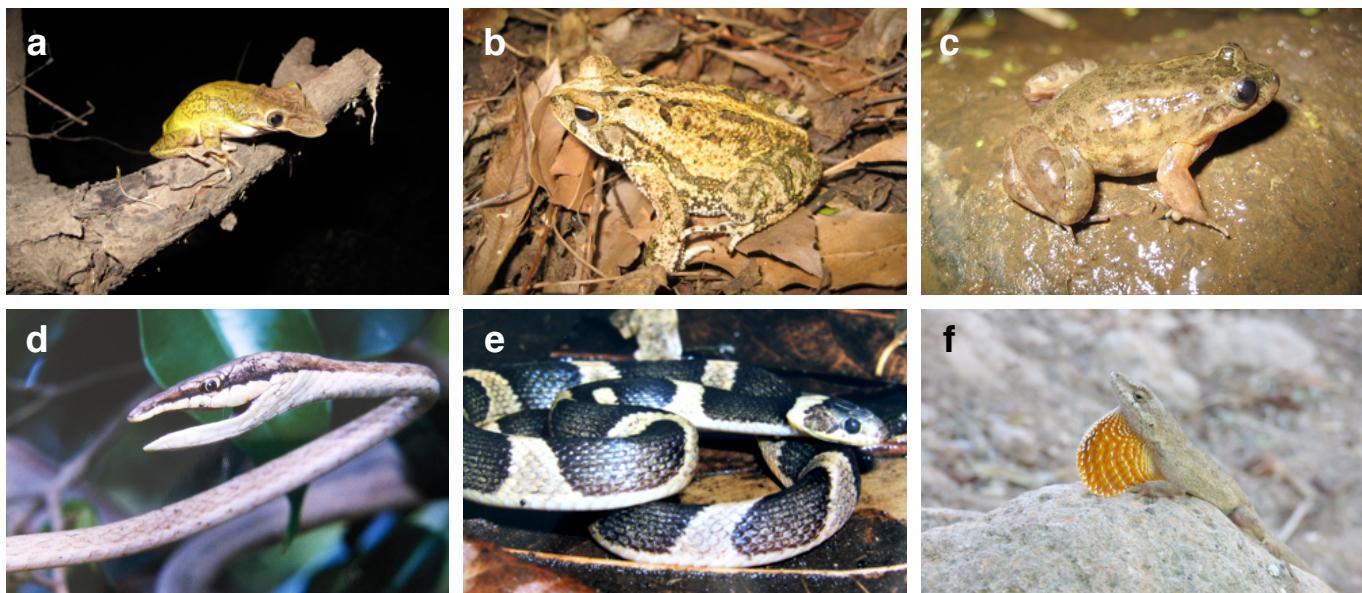


Figura 2. La rana pico de pato (*Triprion spatulatus*; (a) y el sapo marmoleado (*Incilius marmoreus*; (b) disminuyeron su abundancia, y el sapito *Leptodactylus melanotus* disminuyó después del Huracán Jova. La serpiente bejuquillo (*Oxibelix aeneus*; (d), la serpiente ojo de gato (*Leptodeira maculata*; (e) y la lagartija arborícola *Anolis nebulosus* (f) incrementaron su abundancia después del paso del Huracán Jova. Fotos: Oscar Medina-Aguilar (a, b, c), Javier Alvarado-Díaz (d, e) y Martín Sosa (f).

aumentaron después del huracán Jova (García y Siliceo-Cantero, 2019; Suazo-Ortuño *et al.*, 2018), pero después del paso del huracán Patricia las abundancias de la gran mayoría de las poblaciones de anfibios y reptiles disminuyeron; encontrándose también diferencias significativas tanto en riqueza como en diversidad. Por ejemplo, después del paso del huracán Patricia se observó una disminución en la riqueza y diversidad de serpientes y en las lagartijas solo la diversidad tuvo diferencias significativas. Aunque para los anfibios no hubo diferencias significativas en cuanto a la riqueza y diversidad, si se observó una disminución de especie en algunos estadios sucesionales, principalmente en los bosques primarios (Marroquín-Páramo *et al.*, 2021; Suazo-Ortuño *et al.*, 2018). De manera interesante, nuestros resultados mostraron que los bosques secos secundarios, bajo el impacto de los huracanes de baja intensidad, podrían funcionar como amortiguadores que promueven la resiliencia de la herpetofauna. Sin embargo, los efectos acumulativos de los huracanes resultaron en una tendencia de homogeneización entre las etapas sucesionales del bosque seco, lo que sugiere un efecto negativo para el funcionamiento del ecosistema.

¿El efecto de los huracanes es negativo o positivo para los animales silvestres?

Como se puede observar, en la selva seca de Chamela, Jalisco el huracán Jova y el huracán Patricia afectaron de manera diferente a los anfibios y reptiles y esto quizás

se deba a que estos dos grupos de reptiles presentan diferencias en su capacidad para aprovechar los nuevos recursos que se generan con los huracanes, como la acumulación de restos leñosos de los árboles y ramas caídas, que proporcionan nuevos refugios, áreas para el asoleo de los reptiles y microhabitats para el desarrollo de muchos insectos que son alimento para la mayoría de las especies de anfibios y reptiles (Figura 3). Por lo que, los huracanes pueden ser catastróficos para el hombre, sus propiedades y sus animales domésticos, y aunque también pueden causar mortalidad inmediata de algunas plantas y animales silvestres, sobre todo las que sufren los estragos directos de los huracanes (Lazos-Chavero *et al.*, 2018), para muchas especies animales y vegetales, el efectos de los huracanes pueden representar una oportunidad para la obtención de nuevos recursos y nutrientes (Parker *et al.*, 2018; Sil-Berra *et al.*, 2022). Así pues, los huracanes pueden rejuvenecer el paisaje y sus ecosistemas y redirigir la sucesión vegetal y animal dando forma a la estructura del bosque. Los huracanes pueden influir en la composición y la diversidad de especies y regular su función y pueden inducir cambios evolutivos a través de la selección natural.

Conclusiones

Los efectos acumulativos de perturbaciones naturales y humanas sobre vertebrados silvestre han sido poco estudiados. En general, los ensambles de herpetofauna



Figura 3. Los nuevos recursos que generan los huracanes por la acumulación de hojarasca y restos leñosos proporcionan refugios, áreas para el asoleo y alimento para muchas especies. Foto: Javier Alvarado-Díaz

son sensibles en riqueza de especies, abundancia y diversidad a perturbaciones humanas y naturales o su interacción. En este estudio evaluamos los efectos acumulativos de los huracanes Jova (2011) y Patricia (2015) en la región de Chamela, Jalisco, México. A través de un estudio a largo plazo (2009-2018) monitoreamos a las especies de anuros, lagartijas y serpientes a lo largo de cinco diferentes estadios sucesionales del bosque tropical seco. En general, la abundancia de anuros, lagartijas y serpientes disminuyó significativamente después de los huracanes. También se observó una tendencia de homogeneización de las especies de anfibios y reptiles entre las etapas sucesionales. El efecto acumulativo de los huracanes puede llegar a tener una perdida significativa en abundancia, riqueza y diversidad de especies si los huracanes siguen azotando cada vez con más frecuencia e intensidad como se ha visto en los últimos años.

Agradecimientos

Adracemos al proyecto SEP/CONACYT (179045): *Respuesta del socio-ecosistema del bosque tropical seco de la región de Chamela al Huracán Jova: un evento catastrófico infrecuente* y al Consejo de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por su apoyo.

Referencias

Aguilar-Román E, Castillo A, Güiza F (2020). Vulnerability and risk management after Hurricane Patricia in a rural community on the Jalisco coast, Mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 45:101464.

Boucher DH, Vandermeer JH, Mallona MA, Zamora N, Perfecto I

(1994). Resistance and resilience in a directly regenerating rainforest: Nicaraguan trees of the Vochysiaceae after Hurricane Joan. *Forest Ecology and Management* 68(2):127-136.

García A, Siliceo-Cantero HH (2019). Huracán Jova: efecto de un fenómeno meteorológico severo sobre lagartijas insulares en el occidente de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90:e902880.

Gong Y, Staudhammer CL, Kenney G, Wiesner S, Zhang Y, Starr G (2021). Vegetation structure drives forest phenological recovery after hurricane. *Science of the Total Environment* 774:145651.

Hoffman RN (2004). Controlling hurricanes. *Scientific American* 291(4):68-75.

Hu T, Smith RB (2018). The impact of Hurricane Maria on the vegetation of Dominica and Puerto Rico using multispectral remote sensing. *Remote Sensing* 10(6):827.

Kim HM, Webster PJ (2010). Extended-range seasonal hurricane forecasts for the North Atlantic with a hybrid dynamical-statistical model. *Geophysical research letters* 37(21).

Klotzbach PJ, Landsea CW (2015). Extremely intense hurricanes: Revisiting Webster et al. (2005) after 10 years. *Journal of Climate* 28(19):7621-7629.

Jagger TH, Elsner JB (2006). Climatology models for extreme hurricane winds near the United States. *Journal of Climate* 19(13):3220-3236.

Jaramillo VJ, Martínez-Yrízar A, Maass M, Nava-Mendoza M, Castañeda-Gómez L, Ahedo-Hernández R, Araiza S, Verduzco A (2018). Hurricane impact on biogeochemical processes in a tropical dry forest in western Mexico. *Forest Ecology and Management* 426:72-80.

Lazos-Chavero E, Mwampamba TH, García-Frapolli, E (2018). Uncovering links between livelihoods, land-use practices, vulnerability and forests after hurricane Jova in Jalisco, Mexico. *Forest ecology and management* 426:27-38

Lazos-Chavero E, Mwampamba TH, García-Frapolli E (2018). Uncovering links between livelihoods, land-use practices, vulnerability and forests after hurricane Jova in Jalisco, Mexico. *Forest Ecology and Management* 426:27-38

Losos JB, Schoener TW, Spiller DA (2003). Effect of immersion in seawater on egg survival in the lizard *Anolis sagrei*. *Oecologia*, 137:360-362.

Lugo AE (2008). Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. *Austral Ecology* 33(4):368-398.

Marroquín-Páramo JA, Suazo-Ortúño I, Urbina-Cardona N, Benítez-Malvido J (2021). Cumulative effects of high intensity hurricanes on herpetofaunal assemblages along a tropical dry forest chronosequence. *Forest Ecology and Management* 479:118505

Ramírez-Barajas PJ, Islebe GA, Torrescano-Valle N (2012).

Perturbación post-huracán Dean en el hábitat y la abundancia relativa de vertebrados mayores de la Selva Maya, Quintana Roo, México. *Revista mexicana de biodiversidad* 83(4):1194-1207.

Ramírez-Barajas PJ, Islebe GA, Calmé S (2012). Impact of Hurricane Dean (2007) on Game Species of the Selva Maya, Mexico. *Biotropica* 44(3):402-411.

Tapia-Palacios MA, García-Suárez O, Sotomayor-Bonilla J, Silva-Magaña MA, Pérez-Ortíz G, Espinosa-García AC, Ortega-Huerta MA, Díaz-Ávalos C, Suzán G, Mazari-Hiriart M (2018). Abiotic and biotic changes at the basin scale in a tropical dry forest landscape after Hurricanes Jova and Patricia in Jalisco, Mexico. *Forest Ecology and Management* 426:18-26

Parker G, Martínez-Yrízar A, Álvarez-Yépez JC, Maass M, Araiza S (2018). Effects of hurricane disturbance on a tropical dry forest canopy in western Mexico. *Forest Ecology and Management* 426:39-52.

Pielke Jr RA, Landsea C, Mayfield M, Layer J, Pasch R (2005). Hurricanes and global warming. *Bulletin of the American Meteorological Society* 86(11):1571-1576.

van den Burg MP, Madden H, van Wagensveld TP, Boman E (2022). Hurricane-associated population decrease in a critically endangered long-lived reptile. *Biotropica* 54(3):708-72

Schoener TW, Spiller DA, Losos JB (2001). Natural restoration of the species-area relation for a lizard after a hurricane. *Science* 294(5546):1525-1528.

Schoener TW, Spiller DA, Losos JB (2004). Variable ecological effects of hurricanes: the importance of seasonal timing for survival of lizards on Bahamian islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(1):177-181.

Schoener TW, Kolbe JJ, Leal M, Losos JB, Spiller DA (2017). A multigenerational field experiment on eco-evolutionary dynamics of the influential lizard *Anolis sagrei*: a mid-term report. *Copeia* 105(3):543-549.

Sil-Berra LM, Sánchez-Hernández C, Romero-Almaraz MDL, Reynoso VH (2022). Bat species diversity and abundance of trophic guilds after a major hurricane along an anthropic disturbance gradient. *Diversity* 14(10):818.

Trenberth K (2005). Uncertainty in hurricanes and global warming. *Science* 308(5729):1753-1754.

Suazo-Ortuño I, Alvarado-Díaz J, Martínez-Ramos M (2008). Effects of conversion of dry tropical forest to agricultural mosaic on herpetofaunal assemblages. *Conservation Biology* 22(2):362-374.

Suazo-Ortuño I, Alvarado-Díaz J, Mendoza E, López-Toledo L, Lara-Uribe N, Márquez-Camargo C, Paz-Gutiérrez JG, David Rangel-Orozco J (2015). High resilience of herpetofaunal communities in a human-modified tropical dry forest landscape in western Mexico. *Tropical Conservation Science* 8(2):396-423.

Suazo-Ortuño I, Benítez-Malvido J, Marroquín-Páramo J, Soto Y, Siliceo H, Alvarado-Díaz J (2018). Resilience and vulnerability of herpetofaunal functional groups to natural and human disturbances in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 426:145-157.

Schoener TW, Spiller DA, Losos JB (2001). Natural restoration of the species-area relation for a lizard after a hurricane. *Science* 294(5546):1525-1528.

Spiller DA, Schoener TW (2007). Alteration of island food-web dynamics following major disturbance by hurricanes. *Ecology* 88(1):37-41.

van den Burg MP, Madden H, van Wagensveld TP, Boman E (2022). Hurricane-associated population decrease in a critically endangered long-lived reptile. *Biotropica* 54(3):708-720.

Wang X, Wang W, Tong C (2016). A review on impact of typhoons and hurricanes on coastal wetland ecosystems. *Acta Ecologica Sinica* 36(1):23-29.

Welch M (2006). What Happens to Animals during Hurricanes? *Science Scope* 14-19.

Wiley JW, Wunderle JM (1993). The effects of hurricanes on birds, with special reference to Caribbean islands. *Bird Conservation International* 3(4):319-349.

Wunderle JM, Mercado JE, Parresol B, Terranova E (2004). Spatial ecology of Puerto Rican boas (*Epicrates inornatus*) in a hurricane impacted forest. *Biotropica* 36(4):555-571.



Actualización de la riqueza mastofaunística de Michoacán

Update on the mammal fauna richness from Michoacán

Tiberio C. Monterrubio Rico¹ , Raymundo Cervantes Barriga^{2*} , Iván Díaz Pacheco³ , Juan F. Charre Medellín¹ , Joaquín Arroyo Cabrales⁴

¹ Laboratorio de Ecología de Vertebrados Terrestres Prioritarios, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México C. P. 58194.

² Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México C. P. 58194.

³ Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. Programa Doctorado en Ciencias para la Sostenibilidad e Interculturalidad. Carretera Pátzcuaro Erongarícuaro Kilómetro 3, Centro, 58010 Pátzcuaro, Michoacán.

⁴ Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de laboratorio y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda #16, Col. Centro, 06060, Ciudad de México, México.

Historial

Manuscrito recibido: 12 de abril de 2025

Manuscrito aceptado: 10 de octubre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Raymundo Cervantes Barriga

raymundo.cervantes@umich.mx

ORCID: 0000-0003-0146-394X

Resumen

Los mamíferos silvestres son fundamentales para la integridad funcional de las comunidades ecológicas, además de ser indicadores de la calidad ambiental, por lo que conocer su estatus es esencial para la conservación de la biodiversidad. Aunque el estudio de los mamíferos en Michoacán data de hace más de 130 años, todavía en el año 2021 se identificó una nueva especie, además se desconoce la estructura de sus comunidades para las distintas provincias fisiográficas. Durante los últimos años múltiples estudios han planteado cambios taxonómicos que modifican la riqueza de especies, sumado al incremento de muestreos de campo, por lo que se requiere actualizar la estimación de la composición taxonómica de la mastofauna para Michoacán. En el presente análisis se estimó la presencia de 169 especies de mamíferos terrestres presentes en 9 órdenes, 24 familias y 97 géneros, correspondiendo al 32% de las especies del país, lo que hace que Michoacán destaque entre los seis estados con mayor riqueza. La provincia fisiográfica más relevante en riqueza de especies y de endemismos es el Sistema Volcánico Transversal. En el estado hay registros de 53 especies endémicas a México, incluyendo 8 endémicas para Michoacán, y 29 especies de la mastofauna se encuentran listadas en categorías de riesgo, incluyendo seis en peligro de extinción.

Palabras clave: Cambios taxonómicos, inventarios, mastofaunas, provincias fisiográficas

Abstract

Mammals are fundamental for the functional integrity of ecological communities as well as environmental quality indicators, hence knowing their status is essential for biodiversity conservation. Although the study of mammals in Michoacán dates from more than 130 years, still in the year 2021 a new species was identified, furthermore their communities' structure is unknown for the different physiographic provinces. In recent years, multiple studies have proposed taxonomic changes that modify the species richness, added to the increase in field sampling, so update of the mammal taxonomic composition estimates for Michoacán is required. Therefore, in the present analysis we estimate the presence of 169 terrestrial mammal species in 9 orders, 24 families and 97 genera, corresponding to 32% of the country species, which makes Michoacán stand out among the six states with highest species richness. The most outstanding physiographic province in species richness and endemism is the Transversal Volcanic System. There are records of 53 Mexico's endemic species, including 8 endemic species to Michoacán, and 29 species of the mammal fauna are listed in risk categories, including six endangered species.

Keywords: inventories, physiographic provinces, taxonomic changes.

Introducción

El conocimiento sobre el estatus de los grupos taxonómicos y en particular de la mastofauna como un grupo indicador, es fundamental para comprender cómo las presiones ambientales y antrópicas afectan la biodiversidad, la dinámica ecológica y la distribución de las especies en las distintas escalas geográficas (Ceballos y Ehrlich, 2002). Los mamíferos son excelentes indicadores de conservación o de deterioro, desempeñan un papel clave en los ecosistemas, regulan poblaciones de presas, dispersan semillas y contribuyen a la funcionalidad de las comunidades (Dirzo *et al.*, 2014; Galetti y Dirzo, 2013). Sin embargo, la pérdida y fragmentación de los hábitats naturales y su reducción en el paisaje alteran la distribución y estructura de las comunidades mastofaunísticas (Pardini *et al.*, 2010; Arroyo-Rodríguez y Dias, 2010). Ante la pérdida de biodiversidad, actualizar la información sobre estructura y distribución de la mastofauna en hábitats remanentes y transformados mejora nuestro entendimiento sobre patrones espaciales de riqueza, endemismo, la resiliencia de las comunidades, y sus servicios ambientales, así como en la identificación de áreas para conservación que faciliten la implementación de estrategias de manejo y protección (Jenkins *et al.*, 2013). Disponer de revisiones taxonómicas actualizadas a nivel regional es esencial para definir prioridades de conservación y contribuir al diseño de políticas públicas basadas en evidencia científica (Chape *et al.*, 2005).

Las estimaciones sobre el número de especies de mamíferos silvestres terrestres que habitan Michoacán han cambiado a lo largo de los años. Existen por lo menos seis estimaciones de riqueza publicadas entre 1949 y el año 2019 como resultado de actualizaciones taxonómicas y del incremento en esfuerzo de muestreo (**Anexo I**).

Analizando los registros disponibles en la Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el periodo entre los años 1892 y 1899 constituye el periodo de muestreo más antiguo, y los primeros ejemplares colectados para la ciencia fueron un ejemplar de *Didelphis virginiana* y otro de *Myotis yumanensis* con fecha de registro del 12 de junio de 1892 de la localidad “Hacienda el Molino” del Municipio de Vista Hermosa. Durante ese esfuerzo de muestreo se registraron 119 ejemplares de 34 especies y subespecies (Rodentia con 15 sp., Chiroptera 6 sp., Carnivora 7 sp., y otros 6 sp.) (**Anexo I**). Los ejemplares están depositados en su mayoría en cinco colecciones científicas, California Academy of Sciences, Canadian Museum of Nature, Field Museum of Natural History, Smithsonian Institution, y Kansas University (Álvarez-

Solórzano y López-Vidal, 1998).

El primer listado publicado sobre la riqueza de la mastofauna de Michoacán incluyó 85 taxones, 70 especies, 13 subespecies y dos especies introducidas (*Mus musculus* y *Rattus rattus*) (Hall y Villa, 1949; 1950) (**Anexo I**). En el año de 1981 se publicó la obra de “Mamíferos de Norteamérica”, que incluyó la distribución validada y/o potencial de 141 especies de mamíferos para Michoacán (Hall, 1981).

En la década de los noventas se realizaron estudios en los que se resaltó al Sistema Volcánico Transversal (también reconocido como Cinturón Volcánico Trans-Mexicano o Eje Neovolcánico Transversal), como una región que en Michoacán presenta alta riqueza de especies y de endemismos (Fa y Morales, 1991). En el año 1997 mediante recopilación de registros y muestreo en campo se integra un listado de mamíferos para Michoacán, incluyó 140 especies confirmadas, además de otras 37 como de ocurrencia potencial (Enríquez-Baldazo, 1997) (**Anexo I**).

En el año 2005, la Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) proporcionó el tercer listado para Michoacán con 163 especies a partir de los registros disponibles, en el primer estudio sobre Biodiversidad de Michoacán (Villaseñor-Gómez, 2005). También en ese año Núñez-Garduño (2005) recopiló un listado con 158 especies, incluyendo a los roedores introducidos *Mus musculus*, *Rattus norvegicus* y *Rattus rattus*.

Cuatro años después se publicó el primer estudio con registros obtenidos mediante cámaras trampa en la obra “Mamíferos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio” registrando *Urocyon cinereoargenteus*, *Procyon lotor*, *Nasua narica*, y *Leopardus wiedii* (Chávez-León y Zaragoza-Rivera, 2009). También se efectuaron inventarios que combinaron metodologías (transectos, huellas, colectas de cráneos, entrevistas a cazadores, trampas Tomahawk y Sherman, redes de niebla y cámaras trampa etc.) en la Costa Michoacana, la Sierra Madre del Sur, el Bajo Balsas, y las Cuencas del Lago de Cuitzeo y del Río Cupatitzio. La información reunida en la que se confirmó especies sin registros recientes como el jaguar (*Panthera onca*) permitió una actualización de la mastofauna para Michoacán en la Revista Mexicana de Mastozoología que incluyó 161 especies sin considerar mamíferos marinos o introducidos (Monterrubio-Rico *et al.*, 2014).

Ante la pérdida de bosques templados en el Sistema Volcánico Transversal, el occidente del estado y la Cuenca de Cuitzeo, se desarrollaron estudios para conocer la estructura de las comunidades de mamíferos,

enfatizándose a las especies listadas en categorías de riesgo, y las medianas y grandes por su vulnerabilidad al requerir sus poblaciones extensas áreas y su función como especies indicadores ambientales (Morrison *et al.*, 2007). Como parte de la integración del segundo estudio para Michoacán se requirió una estimación de riqueza actualizada, en la cual se incluyese el conocimiento de los ensambles de especies de cada provincia, presentándose el análisis con la información que estaba disponible hasta el año 2018. Se estimó una riqueza de por lo menos 164 especies silvestres y se reportó su distribución para cada provincia fisiográfica (Monterrubio-Rico *et al.*, 2019b).

Durante los últimos años, se incrementó el número de estudios en que se plantean cambios taxonómicos en los mamíferos. Mediante análisis morfométricos, de cariotipos, filogenéticos (parsimonia, inferencia bayesiana y verosimilitud), y de secuencias de ADN, se reconocieron subespecies como especies, se efectuaron cambios de género en algunos taxones, y se reconocieron especies cripticas, requiriéndose actualizar la estimación de riqueza taxonómica (Pavan y Marroig 2016; López-González, 2019; Calahorra-Oliart *et al.*, 2021; De Abreu *et al.*, 2020; McDonough *et al.*, 2021; Novaes *et al.*, 2022; Bradley *et al.*, 2022; Cláudio *et al.*, 2023).

Sumado a lo anterior, la deforestación y cambios de uso de suelo (Mas *et al.*, 2017), hace indispensable actualizar las distribuciones e identificar áreas con integridad mastofaunística, ya que las especies grandes como los felinos o grandes herbívoros son las que pierden distribución más rápidamente (Morrison *et al.*, 2007). Ante la dispersión de la información y la necesidad de revisar los cambios, se planteó como objetivo de este estudio actualizar la información sobre la riqueza taxonómica de los mamíferos terrestres a escala estatal y regional para Michoacán.

Material y métodos

Zonas geográficas

Michoacán se localiza en el Centro-Occidente de México entre las coordenadas 20° 24' y 17° 55' de latitud Norte; y los 100° 04' y 103° de longitud Oeste. Tiene 58,599 km² de territorio (3% del territorio nacional) (Ihl, 2019). En general se le reconocen cinco provincias fisiográficas a partir de criterios de relieve y topoformas/geoformas (Antaramián y Correa, 2003). La provincia con mayor extensión es el Sistema Volcánico Transversal, con 18,575 km², y que representa el 57.3% del territorio estatal (Ihl, 2019). La provincia presenta el 55.2% de la superficie con vegetación natural, presentando las

mayores coberturas la selva caducifolia, seguida del bosque de coníferas y en tercer sitio el bosque de encino (Ihl y Bautista-Zúñiga, 2019).

La segunda región es la Sierra Madre del Sur, cubre aproximadamente 23% del territorio, cordillera localizada de forma continua hasta Jalisco, y separada de la Sierra Madre del Sur de Guerrero por el Río Balsas (Ihl, 2019). La vegetación que predomina es la selva caducifolia, seguida de bosques de coníferas, bosque de encino, y selva subcaducifolia (Ihl y Bautista-Zúñiga, 2019). La Depresión del Balsas-Tepalcatepec cubre el 12.1% del territorio estatal, y los principales tipos de vegetación son la selva caducifolia, seguida de bosque de encino, y bosque de coníferas (Ihl y Bautista-Zúñiga, 2019). La cuarta región es la Altiplanicie que abarca 6.3%, región que presenta el 79.5% de extensión en superficie agropecuaria, siendo su principal tipo de vegetación natural la selva caducifolia. Por último, la Llanura Costera con el 1.7% de la superficie estatal (Ihl, 2019). Presenta un elevado porcentaje transformado en superficie agropecuaria, y con elevaciones de alrededor de 60 msnm (Ihl y Bautista-Zúñiga, 2019). Se estima que Michoacán ocupa el quinto lugar en Biodiversidad en el país (Villaseñor-Gómez, 2005), resultado de la diversidad climática, compleja topografía, historia geológica, y aislamiento ecológico.

Obtención de los registros

En esta actualización se consideró como autoridades taxonómicas las obras de Wilson y Reeder (2008) y Ramírez-Pulido *et al.* (2014). Se examinó de todos los registros la información taxonómica (orden, familia, género, especie, sinonimias, autor, tipo de registro: ejemplar, observación, foto etc.), datos geográficos (coordenadas, localidad, paraje, municipio, elevación y región fisiográfica), ecológicos (fecha, vegetación acorde con base de datos de origen o publicación) y la fuente del registro (bases de datos o publicaciones etc.). Se utilizó como base los datos recopilados anteriormente en los que se incluyó revisión exhaustiva de literatura, bases de datos disponibles en CONABIO, resultados de proyectos de investigación, tesis de licenciatura y posgrado hasta el año 2017, cuyas referencias se presentan en Monterrubio-Rico *et al.* (2014) y Monterrubio-Rico *et al.* (2019a; 2019b).

Se integró a la base de datos información obtenida entre 2017 y 2024 de proyectos del Laboratorio de Vertebrados Terrestres Prioritarios (LVTP) de la facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, además de información de fuentes no disponibles a consulta hasta ahora, como los

del proyecto JM025 “Mapas de distribución potencial del Murciélagos amarillo del Balsas (*Rhogeessa mira*), endémico de Michoacán” (Ortega-Rodríguez, 2015), muestreo de campo y estudios posteriores a 2017 (López-Ortiz, 2017; Flores-Torres, 2018; Gallardo-Téllez, 2018; Gómez-Cárdenas, 2019; Monterrubio-Rico *et al.*, 2019; Charre-Medellín *et al.*, 2021; Flores-Torres, 2021; Gallardo-Téllez, 2021; Monterrubio-Rico *et al.*, 2023).

La actualización incluyó los cambios planteados en publicaciones del periodo 2015-2025. En Chiroptera se consideró los patrones de distribución descritos y para cambios taxonómicos se consultó para el género *Pteronotus* a Pavan y Marroig (2016), en el género *Glossophaga* se revisó la obra de Calahorra-Oliart *et al.* (2021); en el género *Myotis* se revisó el estudio de Novaes *et al.* (2022); y para el género *Eptesicus* y surgimiento del género *Neoeptesicus* se consultó a Cláudio *et al.* (2023). En Rodentia (López-González, 2019; De Abreu *et al.*, 2020; Bradley *et al.*, 2022), y Carnivora (McDonough *et al.*, 2021) entre otros (**Anexo I**).

La determinación de la distribución espacial de los mamíferos dentro del estado de Michoacán se efectuó mediante la superposición de los registros georreferenciados con las delimitaciones de las provincias fisiográficas de la entidad, de acuerdo con la clasificación propuesta por Antaramián y Correa (2003). Con este procedimiento se asignó cada registro a una provincia fisiográfica específica, permitiendo el análisis de patrones de riqueza y endemismo entre provincias. Para considerar a un taxón como exclusivo para una provincia, se consideró cuando la distribución del taxa se restringe al interior de solo una provincia fisiográfica, el grado de exclusividad de los ensambles es relevante para establecer prioridades de conservación específicas.

La estimación de cobertura de los tipos de vegetación de cada provincia se basa en las estadísticas estimadas por Ihl y Bautista-Zúñiga (2019) que utilizaron para ello la Serie IV del INEGI (2009) en el segundo estudio estatal *La Biodiversidad en Michoacán. Estado Actual de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo*. Estas estadísticas se presentan en el contexto de riqueza mastofaunística de cada provincia fisiográfica, al igual que los biomas de mayor extensión.

La integración de la información espacial y ecológica se efectuó utilizando el software ArcGIS Desktop versión 9.3 (Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA), lo que permitió visualizar, analizar y mapear a escala provincia fisiográfica la distribución mastofaunística. Esta metodología proporciona una base robusta para el análisis de la riqueza y distribución de especies.

Resultados

Riqueza de especies

La riqueza mastofaunística terrestre es de por lo menos 169 especies (sin incluir mamíferos marinos ni especies introducidas) pertenecientes a nueve órdenes, 24 familias y 97 géneros. Se presentan 45 especies endémicas de México, además de ocho especies endémicas a nivel estatal (**Tabla 1**). La riqueza estimada en este estudio incluye alrededor del 32% de especies de México considerando las estimaciones de Ramírez-Pulido *et al.* (2014), y/o Sánchez-Cordero *et al.* (2014).

En ocho de los nueve órdenes presentes para el estado de Michoacán existen cambios. Para el orden Didelphimorphia, con base en información molecular *Tlacuatzin canescens* se conforma ahora por cinco clados siendo la especie *T. balsensis* una especie nueva y la que está presente en Michoacán (Arcangeli *et al.*, 2018). En el orden Cingulata, *Dasyurus novemcinctus* queda restringida a Sudamérica, mientras que para México se reconoce a *D. mexicanus* como la especie presente (Barthe *et al.*, 2025). En el orden Eulipotyphla la especie *Sorex veraecrucis* presentó cambio a *Sorex salvini* subsp. *veraecrucis*, sin embargo, la revisión más reciente del grupo sugiere solo *Sorex salvini* (Woodman, 2018) (**Anexo I**).

En el orden Chiroptera los géneros que se incorporan a la clasificación son *Baeodon* sustituyendo al género

Tabla 1. Composición taxonómica de la mastofauna terrestre de Michoacán, actualizada al año 2025. Categorías de riesgo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana -059, “En Peligro de Extinción” (P), “Amenazada” (A), “Protección especial” (Pr).

Orden	Familias	Géneros	Especies	Listadas en riesgo			Especies endémicas	
				P	A	Pr	Méjico	Michoacán
Didelphimorphia	1	2	2	0	0	0	1	0
Cingulata	1	1	1	0	0	0	0	0
Pilosa	1	1	1	1	0	0	0	0
Eulipotyphla	1	4	8	0	2	2	7	0
Chiroptera	7	42	77	1	3	3	9	1
Carnivora	5	16	18	3	3	1	1	0
Artiodactyla	2	2	2	0	0	0	0	0
Rodentia	5	27	57	1	4	5	25	7
Lagomorpha	1	2	3	0	0	0	2	0
Total	24	97	169	6	12	11	45	8

Rhogeessa para el taxón *R. alleni* (Ramírez-Pulido *et al.*, 2014) y *Neoeptesicus* sustituyendo *Eptesicus* para el taxón *E. furinalis* (Cláudio *et al.*, 2023), a nivel de especie, este grupo presentó cambios en 10 taxones, presentándose para el género *Pteronotus* el mayor número de cambios al reemplazarse el nombre científico en las tres especies presentes en Michoacán (*Pteronotus davyi*, *P. personatus* y *P. parnellii*) por (*P. fulvus*, *P. psilotis* y *P. mexicanus*), respectivamente (Anexo I; Tabla 2).

Para el orden Rodentia se incluyen los géneros *Parasciurus* y *Echinosciurus*, que reemplazan al género *Sciurus* en los taxones *S. oculatus* y *S. aureogaster* (De Abreu *et al.*, 2020). Se reconoce el género *Casiomys* que sustituye a *Oryzomys* para el taxón *O. melanotis* (Voss, 2024) y el género *Megascapheus* que sustituye a Tho-

momys para el taxón *T. umbrinus* (Álvarez-Castañeda y Segura-Trujillo, 2025) (Anexo I). Las especies nuevas son *Peromyscus kilpatricki*, *P. ensinki*, *P. greenbaumi*, y *P. purepechus* (Tabla 3; Figura 1). Actualmente la distribución geográfica de *Sigmodon hispidus* está restringida al sureste de Estados Unidos y noreste de México. Aunque existen registros históricos de su presencia en el estado de Michoacán, estudios basados en evidencia molecular (Carroll *et al.*, 2005) y su distribución sugieren que esta especie no se encuentra en el estado. Por ello, se considera pertinente revisar los ejemplares previamente asignados a *S. hispidus*, con el fin de determinar su correcta identificación taxonómica. En este manuscrito, dichos ejemplares se designan provisionalmente como *Sigmodon* sp.

La especie *Sylvilagus cunicularius* del orden Lago-

Tabla 2. Cambios taxonómicos en el orden Chiroptera en taxas presentes en Michoacán.

Nombre actual	Sinonimia (nombre anterior)	Fuente
<i>Molossus nigricans</i>	<i>Molosus rufus</i>	Loureiro <i>et al.</i> , 2020
<i>Pteronotus fulvus</i>	<i>Pteronotus davyi</i>	Pavan y Marroig, 2016
<i>Pteronotus psolotis</i>	<i>Pteronotus personatus</i>	Pavan y Marroig, 2016
<i>Pteronotus mexicanus</i>	<i>Pteronotus parnellii</i>	Pavan y Marroig, 2016
<i>Glossophaga mutica</i>	<i>Glossophaga soricina</i>	Calahorra-Oliart <i>et al.</i> , 2021
<i>Artibeus intermedius</i>	<i>Artibeus lituratus intermedius</i>	Larsen <i>et al.</i> , 2013
<i>Neoeptesicus furinalis</i>	<i>Eptesicus furinalis</i>	Cláudio <i>et al.</i> , 2023
<i>Myotis carteri</i>	<i>Myotis nigricans carteri</i>	Novaes <i>et al.</i> , 2022
<i>Lasiurus frantzii</i>	<i>Lasiurus blossevillii</i>	Baird <i>et al.</i> , 2015
<i>Baeodon alleni</i>	<i>Rhogeessa alleni</i>	Ramírez-Pulido <i>et al.</i> , 2015

Tabla 3. Cambios taxonómicos ocurridos en el Orden Rodentia.

Nombre actual	Sinonimia (nombre anterior)	Fuente
<i>Echinosciurus aureogaster</i>	<i>Sciurus aeurogaster</i>	De Abreu <i>et al.</i> , 2020
<i>Parasciurus oculatus</i>	<i>Sciurus oculatus</i>	De Abreu <i>et al.</i> , 2020
<i>Peromyscus kilpatricki</i>		Bradley <i>et al.</i> , 2017
<i>Peromyscus labecula</i>	<i>Peromyscus maniculatus</i>	Bradley <i>et al.</i> , 2019
<i>Peromyscus ensinki</i>	<i>Peromyscus boylii-P. levipes</i>	Bradley <i>et al.</i> , 2022
<i>Peromyscus greenbaumi</i>	<i>Peromyscus boylii</i>	Bradley <i>et al.</i> , 2022
<i>Peromyscus purepechus</i>		León-Tapia <i>et al.</i> , 2020
<i>Peromyscus zamorae</i>	<i>Peromyscus melanophrys</i>	López-González <i>et al.</i> , 2019
<i>Reithrodontomys wagneri</i>	<i>Reithrodontomys microdon</i>	Martínez-Borrego <i>et al.</i> , 2022
<i>Oryzomys mexicanus</i>	<i>Oryzomys couesi</i>	Carleton y Arroyo-Cabral, 2009
<i>Oryzomys albiventer</i>	<i>Oryzomys couesi</i>	Carleton y Arroyo-Cabral, 2009
<i>Casiomys melanotis</i>	<i>Oryzomys melanotis</i>	Voss, 2024

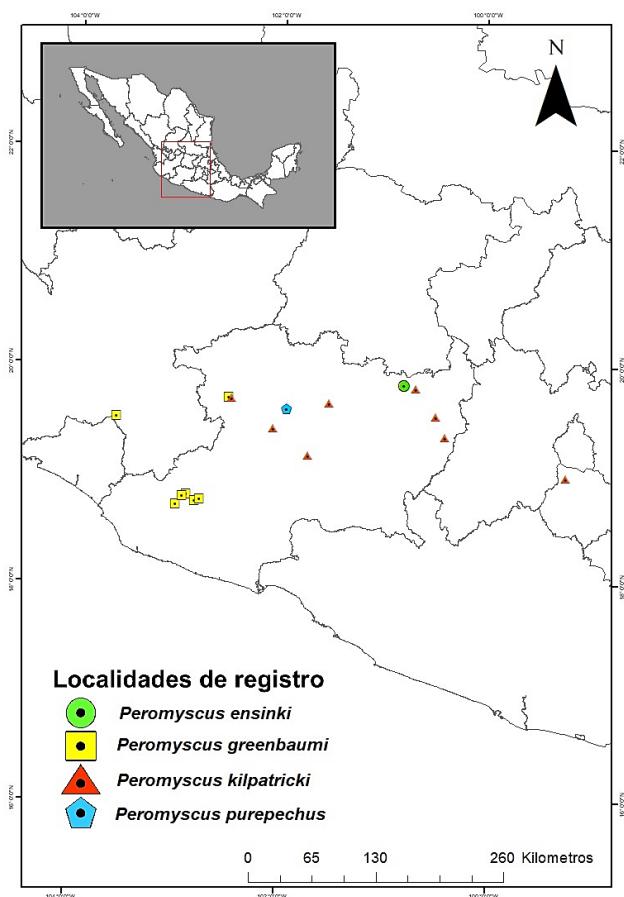


Figura 1. Distribución de nuevas especies de roedores con registros para Michoacán

morpha se mantiene como una sola especie, sin embargo, se reconocen tres subespecies presentes en Michoacán, *S. c. cunicularius*, *S. c. insolitus* y *S. c. pacificus* que posteriormente podrían derivar en cambios nomenclaturales (Diersing y Wilson, 2025).

En el Orden Carnivora se incorpora el género *Neogale* para el taxón *Mustela frenata*. El taxón *Spilogale gracilis* cambia a *Spilogale angustifrons*, y la nutria neotropical *Lontra longicaudis* cambia a *Lontra annectens* (De Ferran *et al.*, 2024; McDonough *et al.*, 2021; Patterson *et al.*, 2021) (**Tabla 4**).

Finalmente, para el orden Artiodactyla, una revisión taxonómica de los pecaríes, establece que el género

Tayassu se restringe al sur de México y Sudamérica. En consecuencia, la especie *Dicotyles tajacu* presenta una distribución más amplia, que incluye el estado de Michoacán y se extiende hasta Sudamérica (Acosta *et al.*, 2020) (**Anexo I**).

Chiroptera es el orden con mayor número de especies, con 77 especies (53% del total nacional de murciélagos), seguido por Rodentia, con 57 especies (22% del total nacional), y en tercer lugar el orden Carnivora con 18 especies (52% del total nacional).

En el estado habitan 29 especies listadas en categorías de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010), incluyendo a seis listadas como en peligro de extinción (*Tamandua mexicana*, *Musonycteris harrisoni*, *Panthera onca*, *Leopardus pardalis*, *Leopardus wiedii* y *Zygogeomys trichopus*). Además de 12 especies categorizadas como amenazadas incluyendo *Megasorex gigas*, *Notiosorex evotis*, *Choeronycteris mexicana*, *Leptonycteris nivalis*, *Leptonycterisyerbabuena*, *Herpailurus yagouaroundiy*, *Lontra annectens*, *Spilogale pygmaea*, *Glaucomys volans*, *Cratogeomys fumosus*, *Reithrodontomys wagneri*, y *Coendou mexicanus* (**Anexo II**).

La distribución mastofaunística al interior del estado difiere entre sus provincias fisiográficas. En el Sistema Volcánico Transversal se ha registrado el mayor número de especies (121), incluyendo 36 endémicas nacionales y cuatro endémicas estatales (*Peromyscus ensinki*, *P. purepechus*, *P. sagax*, y *Z. trichopus*), presenta 28 especies exclusivas a esta provincia, y 16 especies están listadas en la norma oficial, destacando por su estatus en peligro de extinción *Z. trichopus* y *L. wiedii* (**Anexo II**). Esta provincia es la de mayor tamaño y mayor número de tipos de vegetación, aunque la cobertura natural ya solo es del 55% (Ihl y Bautista-Zúñiga, 2019) (**Tabla 5**).

La provincia “Llanura costera” o Costa de Michoacán ocupa el segundo lugar en riqueza con 95 especies, incluye 19 endemismos, 11 especies exclusivas a la provincia, y 14 listadas en categorías de riesgo incluyendo a *T. mexicana*, *M. harrisoni*, *L. pardalis* y *L. wiedii* listadas en peligro de extinción (**Anexo II**). Es la provincia con menor dimensión y cobertura de vegetación natural en términos absolutos, presenta manglar, selva subcaducifolia y selva caducifolia (**Tabla 5**).

Tabla 4. Cambios taxonómicos ocurridos en el Orden Carnivora.

Nombre actual	Sinonimia (nombre anterior)	Fuente
<i>Spilogale angustifrons</i>	<i>Spilogale gracilis</i>	McDonough <i>et al.</i> , 2021
<i>Lontra annectens</i>	<i>Lontra longicaudis</i>	De Ferran <i>et al.</i> , 2024
<i>Neogale frenata</i>	<i>Mustela frenata</i>	Patterson <i>et al.</i> , 2021

Tabla 5. Estadísticas de cobertura de vegetación natural por provincia fisiográfica y riqueza mastofaunística.

	Sistema Volcánico Transmexicano	Sierra Madre del Sur	Depresión del Balsas-Tepalcatepec	Altiplanicie	Llanura costera
Superficie km ²	33,629	13,518	7,003	3,679	705
Cobertura de tipos de vegetación (%)	18,575 (55)	11,556 (86)	3,448 (49.2)	699 (19)	229 (32)
Tipos de vegetación	9	5	5	6	3
Tipos de vegetación predominantes	selva caducifolia, bosque de coníferas, bosque de encino	selva caducifolia, bosque de coníferas	selva caducifolia, selva espinosa, bosque de encino	selva caducifolia, bosque de encino, matorral xerófilo	selva caducifolia, selva subcaducifolia, manglar
Riqueza mastofaunística	121	84	92	60	95
Endemismos	40	20	25	13	19
Especies listadas en la NOM-059	16	14	15	5	14
Exclusivas	28	4	2	3	11

La Depresión del Balsas-Tepalcatepec o “Tierra Caliente” figura tercera en riqueza con 92 especies destacando a 25 como endémicas a México, y *Rhogeessa mira* (especie restringida a Zicuirán) y dos especies exclusivas. En esta región hay registros de 15 especies listadas en categorías de riesgo, incluyendo a *T. mexicana*, *P. onca*, *L. pardalis*, *L. wiedii* en peligro de extinción (**Anexo II**). La región presenta cobertura de vegetación natural en 49% de su extensión predominando la selva caducifolia, además de matorral tropical y bosques de encino (**Tabla 5**).

La Sierra Madre del Sur presenta 84 especies, 20 endémicas a nivel nacional, dos endémicas estatales (*Peromyscus winkelmanni* y *P. greenbaumi*), cuatro especies exclusivas, y 14 listadas en categorías de riesgo, incluyendo poblaciones de *T. mexicana*, *M. harrisoni*, *P. onca*, *L. pardalis*, y *L. wiedii*. Esta región presenta la cobertura más extensa de vegetación natural con el 86% de su superficie que incluye selva caducifolia, bosques de encino y de coníferas principalmente (**Tabla 5**).

Por último, la Altiplanicie, que presenta la menor riqueza con 60 especies, 13 endémicas nacionales, una endémica estatal (*Peromyscus zamorae*), y dos exclusivas. Es la región con el menor número de especies listadas en categorías de riesgo con 5 especies, y no hay registros de especies en peligro de extinción (**Anexo II; Tabla 5**).

Discusión

En este estudio estimamos la riqueza de especies, actualizándola de 163 a 169 especies de mamíferos terrestres,

aumentando el número de géneros de 92 a 97 en comparación con la última estimación publicada en el segundo estudio estado de Michoacán (Monterrubio-Rico *et al.*, 2019b) (**Anexo I**). La riqueza estimada equivale al 32% de especies a nivel nacional considerando las estimaciones de Ramírez-Pulido *et al.* (2014), y/o Sánchez-Cordero *et al.* (2014).

La estimación posiciona a Michoacán entre los cinco estados de mayor riqueza específica de mamíferos en México, siendo Oaxaca con 216 especies el estado más rico (Briónes-Salas *et al.*, 2016), Chiapas el segundo con 210 especies (Lorenzo *et al.*, 2017), Veracruz tercero con 195 especies (González-Christen y Delfín-Alonso, 2016), y Jalisco con 189 especies (Godínez *et al.*, 2011). Existen otros estudios hechos a escala nacional en que estimaciones para Michoacán reportan a la riqueza entre 128 y 178 especies terrestres (Sosa-Escalante *et al.*, 2016; Ramírez-Pulido *et al.*, 2016; Ceballos y Oliva, 2005). Las diferencias de la presente estimación con las de otros autores puede atribuirse a distintas razones. La primera puede ser los criterios al considerar una especie como presente o no en el estado, como incluir especies con predicciones de presencia, pero sin registros de localidad y/o coordenada, o especies con registros en estados colindantes, etc. La segunda razón es la inclusión en el listado a especies introducidas como *Mus musculus* o *Rattus sp.* y/o mamíferos marinos. En esta estimación no se incluyó ni a especies exóticas introducidas ni mamíferos marinos. Como tercera razón puede ser la antigüedad y precisión de reportes históricos considerados, y como cuarta la taxonomía de los años en la que se elaboran los listados correspondientes. En la

estimación de 178 especies que proporcionan Ramírez-Pulido *et al.* (2016) no se presenta la lista de especies, por lo que no es posible contrastar listados e identificar las diferencias.

En nuestra actualización sólo se consideraron taxones con registros de localidad, coordenadas y/o fuentes publicadas que reportan localidades. Además, se incluyeron los cambios taxonómicos ocurridos en los últimos cinco años validados en artículos científicos. Sin embargo, la riqueza todavía podría estar subestimada, ya que el esfuerzo de muestreo entre las provincias ha sido desigual históricamente, siendo las regiones con vegetación tropical en el estado (Llanura Costera, Sierra Madre del Sur etc.), las de menor esfuerzo histórico de muestreo, con los estudios más extensivos efectuados hace más de tres décadas y bajo condiciones de mayor inaccesibilidad comparativamente (Monterrubio-Rico *et al.*, 2019b).

Ante la frecuencia actual de cambios taxonómicos para los mamíferos de México derivado del incremento en estudios de taxonomía molecular, exemplificados en cambios para Michoacán (**Tablas 2, 4**), sumado al incremento del muestreo, algunos autores sugieren actualizar los listados a nivel estatal, y para estados como Michoacán, cada cinco años (Sosa-Escalante *et al.*, 2016).

La distribución y riqueza entre provincias presenta diferencias importantes, ya que la riqueza varía desde un mínimo de 60 en el Altiplano a 121 especies en el Sistema Volcánico Transversal (**Tabla 5**). Múltiples factores pueden contribuir en la explicación. Un primer factor es las diferencias significativas en extensión geográfica, porcentaje de cobertura natural y número de tipos de vegetación natural entre provincias (**Tabla 5**). Un segundo factor es el esfuerzo de muestreo histórico acumulado. A pesar del incremento de investigación y la mayor accesibilidad a todas las regiones de las últimas décadas, el incremento de la inseguridad ha limitado la investigación para algunas provincias, existiendo asimetría en el esfuerzo de muestreo, evidenciado en los registros de colectas históricas y contemporáneas (No. de localidades, No. de ejemplares registrados, etc.) de cada provincia (Monterrubio-Rico *et al.*, 2019b).

Aunque el estado de Michoacán presenta 53 especies endémicas nacionales, de las que ocho son endémicas estatales, su distribución no es uniforme, destacando por la concentración de especies endémicas la provincia del Sistema Volcánico Transversal con 36 especies endémicas nacionales y cuatro estatales (*Peromyscus ensinki*, *P. purepechus*, *P. sagax* y *Zygogeomys*

trichopus), y la depresión del Balsas por la presencia de 25 especies endémicas nacionales y el murciélagos *Rhogeessa mira* a nivel estatal (**Anexo II**).

Durante los últimos 15 años se ha desarrollado esfuerzo de investigación en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo complementando inventarios, en particular para áreas con especies listadas en peligro de extinción incluyendo *Tamandua mexicana*, *Panthera onca*, *Leopardus pardalis*, *Leopardus wiedii* y *Musonycteris harrisoni*, identificando su presencia para las distintas provincias y delimitando su distribución.

Sin embargo, a pesar del incremento de investigación de los últimos años, se ha citado una baja disponibilidad de registros actuales para provincias como la Llanura Costera, Sierra Madre del Sur y la Depresión del Balsas-Tepalcatepec cuyos muestreos más extensivos se efectuaron hace 30 años (Monterrubio-Rico *et al.*, 2019b). Por lo tanto, es necesario mantener el esfuerzo de muestreo para actualizar la situación de varias especies cuyo estatus se desconoce, especialmente ante la deforestación e incendios ocurridos durante ese lapso. Por ejemplo, especies registradas en la región de la costa del Pacífico, como *Diclidurus albus*, *Noctilio leporinus*, o *Casiomys melanotis*, carecen de registros actuales (**Anexo II**). Algunos estudios locales ya han planteado la hipótesis de cambios en la estructura de comunidades de mamíferos ante la fragmentación y deforestación (Flores-Hernández, 2013). Ante este escenario, es fundamental actualizar inventarios de cada provincia con diseños balanceados donde se evalúe el efecto del cambio de usos de suelo en las comunidades de mamíferos y se identifique áreas para su conservación a largo plazo.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo en campo brindado por estudiantes del Laboratorio de Ecología de Vertebrados Terrestres Prioritarios. Charre-Medellín agradece a SECIHTI por las becas, Diaz-Pacheco agradece al SECIHTI el apoyo de la beca 299005. A la Coordinación de Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) por su apoyo continuo y a Fondos Mixtos CONACYT-Estado de Michoacán (Proyecto 41168). A la Facultad de Biología de la UMSNH que otorgó las facilidades para la preparación de este manuscrito.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a David Vázquez Ruiz por su contribución en la revisión académica del presente manuscrito.

Referencias

- Acosta LE, Garbino GS, Gasparini GM, Dutra RP (2020). Unraveling the nomenclatural puzzle of the collared and white-lipped peccaries (Mammalia, Cetartiodactyla, Tayassuidae). *Zootaxa* 4851(1):60-80. doi.org/10.11646/zootaxa.4851.1.2
- Almendra AL, González-Cózatl FX, Engstrom MD, Rogers DS (2018). Evolutionary relationships and climatic niche evolution in the genus *Handleyomys* (Sigmodontinae: Oryzomyini). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 128:12-25. doi:10.1016/j.ympev.2018.06.018.
- Álvarez-Castañeda ST, Segura-Trujillo CA (2025). Genus-level review of pocket gophers in the family Geomyidae. *Therya* 16(1):41-75. doi:10.12933/therya-25-6153
- Álvarez-Solórzano T, López-Vidal J (1998). Biodiversidad de los mamíferos en el Estado de Michoacán, *Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. Base de datos SNIB2010-CONABIO proyecto No. P020. México.
- Antaramián HE, Correa GP. (2003). Fisiografía. En Atlas geográfico de Michoacán. Secretaría de Educación Pública en Michoacán SEP/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) (eds.). EDDISA, México, pp 42-46.
- Arcangeli J, Light JE, Cervantes FA (2018). Molecular and morphological evidence of the diversification in the gray mouse opossum, *Tlacuatzin canescens* (Didelphimorphia), with description of a new species. *Journal of Mammalogy* 99(1):138-158. doi:10.1093/jmammal/gyx173
- Arroyo-Rodríguez V, Dias PAD (2010). Effects of habitat fragmentation and disturbance on howler monkeys: a review. *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists* 72(1):1-16. doi:10.1002/ajp.20753.
- Baird AB, Braun JK, Mares MA, Morales JC, Patton JC, Tran CQ, Bickham JW (2015). Molecular systematic revision of tree bats (Lasiurini): doubling the native mammals of the Hawaiian Islands. *Journal of Mammalogy* 96(6):1255-1274. doi:10.1093/jmammal/gvy135
- Barthe M, Rancilhac L, Arteaga MA, Feijó A, Tilak MK, Justy F, Loughry WJ, McDonough CM, Thoisy B, Catzeffis F, Billet G, Hautier L, Benoit N, Delsuc F (2025). Exon Capture Museomics Deciphers the Nine-Banded Armadillo Species Complex and Identifies a New Species Endemic to the Guiana Shield. *Systematic Biology* 74(2):177-197. doi:10.1093/sysbio/syae027
- Bradley RD, Ordóñez-Garza N, Ceballos G, Rogers DS, Schmidly DJ (2017). A new species in the *Peromyscus boylii* species group (Cricetidae: Neotominae) from Michoacán, México. *Journal of Mammalogy* 98(1):154-165. doi:10.1093/jmammal/gyw160.
- Bradley RD, Francis JQ, Platt RN, Soniat TJ, Alvarez D, Lindsey LL (2019). Mitochondrial DNA sequence data indicate evidence for multiple species within *Peromyscus maniculatus*. *Museum of Texas Tech University*, Lubbock, Texas, USA.
- Bradley RD, Ordóñez-Garza N, Thompson CW, Wright EA, Ceballos G, Kilpatrick CW, Schmidly DJ (2022). Two new species of *Peromyscus* (Cricetidae: Neotominae) from the Transverse volcanic belt of Mexico. *Journal of Mammalogy* 103(2):255-274. doi:10.1093/jmammal/gyab128.
- Briónes-Salas M, Lavariega-Nolasco MC, Cortés-Marcial M, Monroy-Gamboa AG, Masés-García CA (2016). Iniciativas de conservación para los mamíferos de Oaxaca, México. Pp. 329-366. En: *Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal* (Briones-Salas, M., Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J. E. Sosa-Escalante, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México, México.
- Calahorra-Oliart A, Ospina-Garcés SM, León-Paniagua L (2021). Cryptic species in *Glossophaga soricina* (Chiroptera: Phyllostomidae): do morphological data support molecular evidence?. *Journal of Mammalogy* 102(1):54-68. doi:10.1093/jmammal/gyaa116.
- Carleton MD, Arroyo-Cabrales J (2009). Review of the *Oryzomys couesi* complex (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) in western Mexico. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 331:93-127. doi:10.1206/582-3.1
- Carroll DS, Peppers LL, Bradley RD (2005). Molecular systematics and phylogeography of the *Sigmodon hispidus* species group. En Sánchez-Cordero V, Medellín RA (Eds.) *Contribuciones Mastozoológicas en Homenaje a Bernardo Villa*. pp 85-98.
- Ceballos G, Ehrlich PR (2002). Mammal population losses and the extinction crisis. *Science* 296(5569):904-7. doi:10.1126/science.1069349.
- Ceballos G, Oliva G (2005). Los Mamíferos Silvestres de México, *Fondo de Cultura Económica*, México. ISBN: 970-9000-30-6.
- Chape S, Harrison J, Spalding M, Lysenko I (2005). Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360(1454):443-455.
- Charre-Medellín JF, Monterrubio-Rico TC, Acevedo P, Guzmán-Díaz EO, Jiménez J (2021). Jaguar (*Panthera onca*) density in the Sierra Madre del Sur; the last wilderness area in the central-western slope in Mexico. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 58:47-60. doi:10.1080/01650521.2021.1895572.
- Chávez-León G, Zaragoza-Rivera S (2009). Riqueza de mamíferos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:95-104.
- Cláudio VC, Novaes RL, Gardner AL, Nogueira MR, Wilson DE, Maldonado JE, Moratelli R (2023). Taxonomic re-evaluation of New World *Eptesicus* and *Histiotus* (Chiroptera: Vespertilionidae), with the description of a new genus. *Zoologia (Curitiba)* 40:e22029. doi:10.1590/S1984-4689.v40.e22029.
- De Abreu-Jr EF, Pavan SE, Tsuchiya MT, Wilson DE, Percequillo

- AR, Maldonado JE (2020). Museomics of tree squirrels: a dense taxon sampling of mitogenomes reveals hidden diversity, phenotypic convergence, and the need of a taxonomic overhaul. *BMC evolutionary biology* 20:1-25. doi:10.1186/s12862-020-01639-y.
- De Ferran V, Vieira-Figueiró H, Trinca CS, Hernández-Romero PC, Lorenzana GP, Gutiérrez-Rodríguez C, Eizirik E (2024). Genome-wide data support recognition of an additional species of Neotropical river otter (Mammalia, Mustelidae, Lutrinae). *Journal of Mammalogy* 105(3):534-542. doi:10.1093/jmammal/gya009.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (26 de noviembre 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Recuperado de 30 de diciembre de 2010.
- Diersing VE, Wilson DE (2025). a Taxonomic Revision of the Mexican Cottontail (*Sylvilagus cunicularius*): a Geographical and Morphological Analysis. *The Southwestern Naturalist* 69(2):1-13. doi:10.1894/0038-4909-69.2.5
- Dirzo R, Young H S, Galetti M, Ceballos G, Isaac N J, Collen B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345(6195):401-406. doi:10.1126/science.1251817.
- Enríquez-Baldazo NL (1997). Los Mamíferos silvestres del estado de Michoacán, Reporte de Servicio Social de Proyecto de Investigación, *Universidad Autónoma Metropolitana*, pp. 124.
- Fa J, Morales M (1991). Mammals and protected areas in the Trans-Mexican Neovolcanic Belt. En M Mares y D Schmidly (Eds.) *Latin American mammalogy: history, biodiversity, and conservation*, University of Oklahoma Press. Oklahoma, EE.UU, p 468.
- Flores-Hernández AL (2013). Diversidad de mamíferos en un bosque tropical sub-caducifolio fragmentado, en la costa de Michoacán, Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, Michoacán, México.
- Flores-Torres JY (2018). Uso de hábitat y patrones de actividad de los depredadores superiores en un bosque templado fragmentado en Michoacán, Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, Michoacán, México.
- Flores-Torres JY (2021). Patrones de abundancia y actividad del lince (*Lynx rufus*; Schreber, 1777) en dos hábitats contrastantes del centro de México, Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, Michoacán, México.
- Galetti M, Dirzo R (2013). Ecological and evolutionary consequences of living in a defaunated world. *Biological Conservation* 163:1-6. doi:10.1016/j.biocon.2013.04.020.
- Gallardo-Téllez EG (2018). Variación del conjunto de mamíferos medianos y grandes en la estación biológica “Vasco de Quiroga” en Uruapan, Michoacán, México, Tesis de Licenciatura, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, Michoacán. pp 88.
- Gallardo-Téllez EG (2021). Evaluación de efectos de antropización en los Conjuntos de mamíferos Medianos y grandes de bosque templado de la región aguacatera de Michoacán, Tesis Maestría, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Morelia, Michoacán, México. pp. 143.
- Godínez EG, González-Ruiz N, Ramírez-Pulido J (2011). Actualización de la lista de los mamíferos de Jalisco, México: implicaciones de los cambios taxonómicos. *Therya* 2(1):7-35.
- Gómez-Cárdenas E (2019). Riqueza y abundancia del ensamblaje de mamíferos de talla mediana y grande de la Sierra Jalmich, en Michoacán, Tesis de licenciatura en Biología, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, Michoacán, México.
- González-Christen A, Delfín-Alonso CA (2016). Los mamíferos terrestres de Veracruz, México y su protección. Pp. 499-534 En: *Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal* (Briones-Salas, M., Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J. E. Sosa-Escalante, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México, México.
- Hall E, Villa B (1949). An annotated check list of the mammals of Michoacan, Mexico. *University of Kansas Publications, Museum of Natural History* 1:431-472.
- Hall E, Villa B (1950). Lista anotada de los mamíferos de Michoacán, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 21:159-214.
- Hall E (1981). The mammals of North America, *John Wiley and Sons*, New York, EE. UU.
- Ihl T (2019). Localización geográfica y regionalización. En Cruz-Angón A, Nájera-Cordero KC, Malgarejo ED (Eds.), La biodiversidad de Michoacán: Estudio de Estado 2, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México. Vol. I, pp 21-29.
- Ihl T, Bautista-Zúñiga F (2019). Estado actual de la cobertura vegetal y uso de suelo. En Cruz-Angón A, Nájera-Cordero KC, Malgarejo ED (Eds.), La biodiversidad de Michoacán: Estudio de Estado 2, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México. Vol. I, pp 61-65.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2009). “Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000, serie IV (continuo nacional)”, escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jenkins CN, Pimm SL, Joppa LN (2013). Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(28):E2602-E2610. doi:10.1073/pnas.1302251110.
- Larsen PA, Marchán-Rivadeneira MR, Baker RJ (2013). Speciation dynamics of the fruit-eating bats (genus Artibeus): with evidence of ecological divergence in Central American populations. En: Adams

RA y Pedersen SC (eds.) *Bat evolution, ecology, and conservation*, New York: Springer.

Léon-Tapia MÁ, Fernández JA, Rico Y, Cervantes FA, Espinosa de los Monteros A (2020). A new mouse of the *Peromyscus maniculatus* species complex (Cricetidae) from the highlands of central Mexico. *Journal of Mammalogy* 101(4):1117-1132. doi:10.1093/jmammal/gya027.

López-González C, García-Mendoza DF, López-Vidal JC, Elizalde-Arellano C (2019). Multiple lines of evidence reveal a composite of species in the plateau mouse, *Peromyscus melanophrys* (Rodentia, Cricetidae). *Journal of Mammalogy* 100(5):1583-1598. doi:10.1093/jmammal/gyz106.

López-Ortiz EI (2017). Riqueza y abundancia de los mamíferos medianos y grandes de la estación biológica “Vasco de Quiroga” en Uruapan, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, México.

Lorenzo C, Bolaños-Citalán J, Sántiz E, Navarrete D (2017). Diversidad y conservación de los mamíferos terrestres de Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad* 88(3):735-754.

Loureiro LO, Engstrom MD, Lim BK (2020). Single nucleotide polymorphisms (SNPs) provide unprecedented resolution of species boundaries, phylogenetic relationships, and genetic diversity in the mastiff bats (*Molossus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 143:106690. doi:10.1016/j.ympev.2019.106690

Martínez-Borrego D, Arellano E, González-Cózatl FX, Castro-Arellano I, León-Paniagua L, Rogers DS (2022). Molecular systematics of the *Reithrodontomys tenuirostris* group (Rodentia: Cricetidae) highlighting the *Reithrodontomys microdon* species complex. *Journal of Mammalogy* 103(1):29-44. doi:10.1093/jmammal/gyab133.

Mas JF, Lemoine-Rodríguez R, González R, López-Sánchez J, Piña-Garduño A, Herrera-Flores E (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y bosques* 23(2):119-131. doi:10.21829/myb.2017.2321472.

McDonough MM, Ferguson AW, Dowler RC, Gompper ME, Maldonado JE (2021). Phylogenomic systematics of the spotted skunks (Carnivora, Mephitidae, *Spilogale*): additional species diversity and Pleistocene climate change as a major driver of diversification. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 167:107266. doi:10.1016/j.ympev.2021.107266.

Monterrubio-Rico TC, Charre Medellin JF, Colín-Soto C, León-Paniagua L (2014). Los mamíferos de Michoacán. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)* 4:1-17. doi:10.22201/ie.20074484e.2014.4.2.193.

Monterrubio-Rico TC, Guido-Lemus D, Alanís-Gudiño L, León-Paniagua L, Charre Medellin JF (2019a). Mamíferos silvestres de la cuenca de Cuitzeo, México. *Acta Universitaria* 29:1-15. doi:10.15174/au.2019.1892.

Monterrubio-Rico TC, Charre Medellin JF, León-Paniagua L

(2019b). Mamíferos terrestres. En: *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2, Vol. II*. CONABIO, México, pp. 527-534.

Monterrubio-Rico TC, Gallardo-Téllez EG, López-Ortiz EI, Rodríguez-Correa H, Charre-Medellín JF (2023). Abundance and activity patterns of the endangered margay (*Leopardus wiedii*) in temperate forest remnants from the avocado landscape in Mexico. *Mammalia* 87(4):335-341.

Morrison JC, Sechrest W, Dinerstein E, Wilcove DS, Lamoreux JF (2007). Persistence of large mammal faunas as indicators of global human impacts. *Journal of Mammalogy* 88(6):1363-1380.

Novaes RLM, Wilson DE, Moratelli R (2022). Catalogue of primary types of Neotropical *Myotis* (Chiroptera, Vespertilionidae). *ZooKeys* 1105:127-164. doi:10.3897/zookeys.1105.85055.

Núñez-Garduño A (2005). Los Mamíferos Silvestres de Michoacán. Diversidad, Biología e Importancia, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Morelia, México, pp. 429.

Ortega-Rodríguez JM (2015). Mapas de distribución potencial del murciélagos amarillo del Balsas (*Rhogoessa mira*) endémico de Michoacán. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Facultad de Biología.

Pardini R, Arruda-Bueno A, Gardner TA, Prado PI, Metzger JP (2010). Beyond the fragmentation threshold hypothesis: Regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. *PLoS ONE* 5(10):e13666. doi:10.1371/journal.pone.0013666.

Patterson BD, Ramírez-Chaves HE, Vilela JF, Rodrigues-Soares AE, Grewe F (2021). On the nomenclature of the American clade of weasels (Carnivora: Mustelidae). *Journal of Animal Diversity* 3(2):1-8. <http://dx.doi.org/10.52547/JAD.2021.3.2.1>.

Pavan AC, Marroig G (2016). Integrating multiple evidences in taxonomy: species diversity and phylogeny of mustached bats (Mormoopidae: *Pteronotus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 103:184-198. doi:10.1016/j.ympev.2016.07.011.

Ramírez-Pulido J, González-Ruiz N, Gardner A, Arroyo-Cabrales J (2014). List of recent land mammals of Mexico. *Special Publications Museum of Texas Tech University* 63:1-69.

Ramírez-Pulido J, González-Ruiz N, Ameneiro G, Castro-Campillo A, Salame-Mendez A (2016). Panorama del conocimiento de los mamíferos de México: con énfasis a nivel estatal. Pp. 39-62. En M Briones-Salas, Y Hortelano-Moncada, G Magaña-Cota, G Sanchez-Rojas, JE Sosa-Escalante (Eds) *Riqueza y Conservación de los mamíferos de México a nivel estatal*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. y Universidad de Guanajuato. Ciudad de México. México.

Sánchez-Cordero V, Botello F, Flores-Martínez JJ, Gómez-Rodríguez RA, Guevara L, Gutiérrez-Granados G, Rodríguez-Moreno Á (2014). Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista mexicana de biodiversidad* 85:496-504.

Sosa-Escalante JE, Sánchez-Rojas G, Briónes-Salas M, Hortelano-

Moncada Y, Magaña-Cota G (2016). Riqueza y conservación de los mamíferos mexicanos con una visión estatal. pp. 23-38. En: *Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal* (Briones-Salas, M., Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J. E. Sosa-Escalante, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México, México.

Villaseñor-Gómez LE (2005). La Biodiversidad de Michoacán: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, *Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Michoacán, México. pp 266.

Voss RS (2024). A new genus for the “alfaroi group” of Oryzomys sensu lato (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae). *American Museum Novitates* 4030:1-12. doi:10.1206/4030.1

Wilson E, Reeder M (2008). Mammal species of the world: A taxonomic and Geographic Reference, 3ra. Edición, *The Johns Hopkins University Press*. Baltimore, E.U.A.

Woodman N (2018). American Recent Eulipotyphla: Nesophontids, Solenodons, Moles, and Shrews in the New World. Smithsonian Institution Scholarly Press. pp 1-107.

Anexo I. Evolución de los listados de riqueza mastofaunística. No se enlistan subespecies, especies marinas ni especies introducidas. *Taxas considerados como probables por la fuente respectiva. No se incluye especies introducidas.

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico <i>et al.</i> , 2014	Estudio estado 2019
Orden Didelphimorpha						
<i>Familia Didelphidae</i>						
<i>Tlacuatzin balsensis</i> (Arcangeli, Light y Cervantes, 2018)		<i>Marmosa canescens</i>	<i>Marmosa canescens</i>	<i>Marmosa canescens</i>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	<i>Tlacuatzin canescens</i>
<i>Didelphis virginiana</i> (Kerr, 1792)	<i>Didelphis marsupialis</i>	<i>Didelphis mesoamericana</i>	<i>Didelphia virginiana</i>	<i>Didelphia virginiana, D. marsupialis</i>	<i>Didelphia virginiana</i>	<i>Didelphis virginiana</i>
Orden Cingulata						
<i>Familia Dasypodidae</i>						
<i>Dasyurus mexicanus</i> (W.C.H. Peters, 1865)	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	<i>Dasyurus novemcinctus</i>
Orden Pilosa						
<i>Familia Myrmecophagidae</i>						
<i>Tamandua mexicana</i> (Saussure, 1860)			<i>Tamandua mexicana</i>	<i>Tamandua mexicana</i>	<i>Tamandua mexicana</i>	<i>Tamandua mexicana</i>
Orden Eulipotyphla						
<i>Familia Soricidae</i>						
<i>Cryptotis alticola</i> (Merriam, 1895)				<i>Cryptotis goldmani</i>	<i>Cryptotis alticola</i>	<i>Cryptotis alticola</i>
<i>Cryptotis berlandieri</i> (Say, 1823)		<i>Cryptotis pergracilis</i>	<i>Cryptotis parva</i>	<i>Cryptotis parva</i>	<i>Cryptotis parva</i>	<i>Cryptotis parva</i>
<i>Megasorex gigas</i> (Merriam, 1897)			<i>Megasorex gigas</i>	<i>Megasorex gigas</i>	<i>Megasorex gigas</i>	<i>Megasorex gigas</i>
<i>Notiosorex evotis</i> (Coues, 1877)			<i>Notiosorex crawfordi</i>	<i>Notiosorex crawfordi</i>	<i>Notiosorex evotis</i>	<i>Notiosorex evotis</i>
<i>Sorex mediopua</i> (Carraway, 2007)			<i>Sorex oreopolus, S. ventralis</i>	<i>Sorex oreopolus, S. ventralis</i>	<i>Sorex mediopua</i>	<i>Sorex mediopua</i>
<i>Sorex saussurei</i> (Merriam, 1892)		<i>Sorex saussurei</i>	<i>Sorex saussurei</i>	<i>Sorex saussurei</i>	<i>Sorex saussurei</i>	<i>Sorex saussurei</i>
<i>Sorex orizabae</i> (Merriam, 1895)					<i>Sorex orizabae</i>	<i>Sorex orizabae</i>
<i>Sorex salvini</i> (C.H. Merriam, 1897)					<i>Sorex verae crucis</i>	<i>Sorex verae crucis</i>
Orden Chiroptera						
<i>Familia Emballonuridae</i>						
<i>Balantiopteryx plicata</i> (Peters, 1867)		<i>Balantiopteryx plicata</i>	<i>Balantiopteryx plicata</i>	<i>Balantiopteryx plicata</i>	<i>Balantiopteryx plicata</i>	<i>Balantiopteryx plicata</i>
<i>Diclidurus albus</i> (Wied-Neuwied, 1820)			<i>Diclidurus albus</i>	<i>Diclidurus albus</i>	<i>Diclidurus albus</i>	<i>Diclidurus albus</i>
<i>Peropteryx macrotis</i> (Wagner, 1843)				<i>Peropteryx macrotis</i>	<i>Peropteryx macrotis</i>	<i>Peropteryx macrotis</i>
<i>Saccopteryx bilineata</i> (Temminck, 1838)			<i>Saccopteryx bilineata*</i>	<i>Saccopteryx bilineata</i>	<i>Saccopteryx bilineata</i>	<i>Saccopteryx bilineata</i>
<i>Familia Molossidae</i>						
<i>Eumops ferox</i> (Wagner, 1843)			<i>Eumops glaucinus*</i>	<i>Eumops glaucinus</i>		<i>Eumops glaucinus</i>
<i>Eumops perotis</i> (Schinz, 1821)				<i>Eumops perotis</i>	<i>Eumops perotis</i>	<i>Eumops perotis</i>
<i>Eumops underwoodi</i> (Goodwin, 1940)		<i>Eumops underwoodi</i>	<i>Eumops underwoodi</i>	<i>Eumops underwoodi</i>	<i>Eumops underwoodi</i>	<i>Eumops underwoodi</i>
<i>Molossus molossus</i> (Pallas, 1766)			<i>Molossus molossus*</i>		<i>Molossus molossus</i>	<i>Molossus molossus</i>
<i>Molossus nigricans</i> (G.S. Miller, 1902)			<i>Molosus ater</i>	<i>Molossus rufus</i>	<i>Molossus rufus</i>	<i>Molossus rufus</i>

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico <i>et al.</i> , 2014	Estudio estado 2019
<i>Molossus sinaloae</i> (J. A. Allen, 1906)			<i>Molossus sinaloae</i>	<i>Molossus sinaloae</i>	<i>Molossus sinaloae</i>	<i>Molossus sinaloae</i>
<i>Nyctinomops aurispinosus</i> (Peale, 1848)			<i>Nyctinomops aurispinosus</i>	<i>Nyctinomops aurispinosus</i>	<i>Nyctinomops aurispinosus</i>	<i>Nyctinomops aurispinosus</i>
<i>Nyctinomops femorosaccus</i> (Merriam, 1889)			<i>Nyctinomops femorosaccus</i>	<i>Nyctinomops femorosaccus</i>	<i>Nyctinomops femorosaccus</i>	<i>Nyctinomops femorosaccus</i>
<i>Nyctinomops laticaudatus</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1805)					<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	<i>Nyctinomops laticaudatus</i>
<i>Nyctinomops macrotis</i> (J. E. Gray, 1839)			<i>Nyctinomops macrotis</i>	<i>Nyctinomops macrotis</i>	<i>Nyctinomops macrotis</i>	<i>Nyctinomops macrotis</i>
<i>Promops centralis</i> (Thomas, 1915)			<i>Promops centralis</i>	<i>Promops centralis</i>	<i>Promops centralis</i>	<i>Promops centralis</i>
<i>Tadarida brasiliensis</i> (I. Geoffroy St.-Hilaire, 1824)		<i>Tadarida mexicana</i>	<i>Tadarida brasiliensis</i>	<i>Tadarida brasiliensis</i>	<i>Tadarida brasiliensis</i>	<i>Tadarida brasiliensis</i>
Familia Natalidae						
<i>Natalus mexicanus</i> (J. E. Gray, 1838)			<i>Natalus stramineus*</i>	<i>Natalus stramineus</i>	<i>Natalus stramineus</i>	<i>Natalus stramineus</i>
Familia Mormoopidae						
<i>Mormoops megalophylla</i> (Peters, 1864)			<i>Mormoops megalophylla*</i>	<i>Mormoops megalophylla</i>	<i>Mormoops megalophylla</i>	<i>Mormoops megalophylla</i>
<i>Pteronotus fulvus</i> (J. E. Gray, 1838)		<i>Pteronotus davyi</i>	<i>Pteronotus davyi</i>	<i>Pteronotus davyi</i>	<i>Pteronotus davyi</i>	<i>Pteronotus davyi</i>
<i>Pteronotus psilotis</i> (Dobson, 1878)			<i>Pteronotus personatus*</i>	<i>Pteronotus personatus</i>	<i>Pteronotus personatus</i>	<i>Pteronotus personatus</i>
<i>Pteronotus mexicanus</i> (J. E. Gray, 1843)		<i>Chilonycteris rubiginosus</i>	<i>Pteronotus parnellii</i>	<i>Pteronotus parnellii</i>	<i>Pteronotus parnellii</i>	<i>Pteronotus parnellii</i>
Familia Noctilionidae						
<i>Noctilio leporinus</i> (Linnaeus, 1758)			<i>Noctilio leporinus*</i>	<i>Noctilio leporinus</i>	<i>Noctilio leporinus</i>	<i>Noctilio leporinus</i>
Familia Phyllostomidae						
<i>Carollia subrufa</i> (Hahn, 1905)			<i>Carollia subrufa</i>	<i>Carollia subrufa</i>	<i>Carollia subrufa</i>	<i>Carollia subrufa</i>
<i>Desmodus rotundus</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1810)		<i>Desmodus rotundus</i>	<i>Desmodus rotundus</i>	<i>Desmodus rotundus</i>	<i>Desmodus rotundus</i>	<i>Desmodus rotundus</i>
<i>Anoura peruana</i> (J. E. Gray, 1838)			<i>Anoura geoffroyi</i>	<i>Anoura geoffroyi</i>	<i>Anoura geoffroyi</i>	<i>Anoura geoffroyi</i>
<i>Choeroniscus godmani</i> (Thomas, 1903)			<i>Choeroniscus godmani</i>	<i>Choeroniscus godmani</i>	<i>Choeroniscus godmani</i>	<i>Choeroniscus godmani</i>
<i>Choeronycteris mexicana</i> (Tschudi, 1844)		<i>Choeronycteris mexicana</i>	<i>Choeronycteris mexicana</i>	<i>Choeronycteris mexicana</i>	<i>Choeronycteris mexicana</i>	<i>Choeronycteris mexicana</i>
<i>Hylonycteris underwoodi</i> (Thomas, 1903)				<i>Hylonycteris underwoodi</i>	<i>Hylonycteris underwoodi</i>	<i>Hylonycteris underwoodi</i>
<i>Musonycteris harrisoni</i> (Schaldach y McLaughlin, 1960)			<i>Musonycteris harrisoni</i>	<i>Musonycteris harrisoni</i>	<i>Musonycteris harrisoni</i>	<i>Musonycteris harrisoni</i>
<i>Glossophaga commissarisi</i> (Gardner, 1962)			<i>Glossophaga commissarisi</i>	<i>Glossophaga commissarisi</i>	<i>Glossophaga commissarisi</i>	<i>Glossophaga commissarisi</i>
<i>Glossophaga leachii</i> (J. E. Gray, 1844)			<i>Glossophaga leachii*</i>	<i>Glossophaga leachii</i>	<i>Glossophaga leachii</i>	<i>Glossophaga leachii</i>
<i>Glossophaga morenoi</i> (Martínez y Villa-Ramírez, 1938)			<i>Glossophaga mexicana</i>	<i>Glossophaga morenoi</i>	<i>Glossophaga morenoi</i>	<i>Glossophaga morenoi</i>
<i>Glossophaga mutica</i> (Pallas, 1766)		<i>Glossophaga soricina</i>	<i>Glossophaga soricina</i>	<i>Glossophaga soricina</i>	<i>Glossophaga soricina</i>	<i>Glossophaga soricina</i>
<i>Leptonycteris nivalis</i> (Saussure, 1860)		<i>Leptonycteris nivalis</i>	<i>Leptonycteris nivalis</i>	<i>Leptonycteris nivalis</i>	<i>Leptonycteris nivalis</i>	<i>Leptonycteris nivalis</i>
<i>Leptonycteris yerbabuenae</i> (Martínez y Villa-Ramírez, 1940)			<i>Leptonycteris yerbabuenae</i>	<i>Leptonycteris curasoae</i>	<i>Leptonycteris yerbabuenae</i>	<i>Leptonycteris yerbabuenae</i>

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico <i>et al.</i> , 2014	Estudio estado 2019
<i>Glyphonycteris sylvestris</i> (Thomas, 1896)			<i>Micronicteris sylvestris</i>		<i>Glyphonycteris sylvestris</i>	<i>Glyphonycteris sylvestris</i>
<i>Macrotus waterhousii</i> (J. E. Gray, 1843)			<i>Macrotus waterhousii</i>	<i>Macrotus waterhousii</i>	<i>Macrotus waterhousii</i>	<i>Macrotus waterhousii</i>
<i>Micronycteris microtis</i> (G. S. Miller, 1898)				<i>Micronycteris megalotis</i>	<i>Micronycteris microtis</i>	<i>Micronycteris microtis</i>
<i>Artibeus hirsutus</i> (Andersen, 1906)		<i>Artibeus hirsutus</i>	<i>Artibeus hirsutus</i>	<i>Artibeus hirsutus</i>	<i>Artibeus hirsutus</i>	<i>Artibeus hirsutus</i>
<i>Artibeus jamaicensis</i> (Leach, 1821)			<i>Artibeus jamaicensis</i>	<i>Artibeus jamaicensis</i>	<i>Artibeus jamaicensis</i>	<i>Artibeus jamaicensis</i>
<i>Artibeus intermedius</i> (J.A. Allen, 1897)			<i>Artibeus intermedius*</i>	<i>Artibeus intermedius</i>		<i>Artibeus intermedius</i>
<i>Artibeus lituratus</i> (I. von Olfers, 1818)		<i>Artibeus planirostris</i>	<i>Artibeus lituratus*</i>	<i>Artibeus lituratus</i>	<i>Artibeus lituratus</i>	
<i>Dermanura azteca</i> (Andersen, 1906)			<i>Dermanura azteca</i>	<i>Dermanura azteca</i>	<i>Dermanura azteca</i>	<i>Dermanura azteca</i>
<i>Dermanura phaeotis</i> (Miller, 1902)			<i>Dermanura phaeotis</i>	<i>Dermanura phaeotis</i>	<i>Dermanura phaeotis</i>	<i>Dermanura phaeotis</i>
<i>Dermanura tolteca</i> (Saussure, 1860)			<i>Dermanura tolteca*</i>	<i>Dermanura tolteca</i>	<i>Dermanura tolteca</i>	<i>Dermanura tolteca</i>
<i>Enchisthenes hartii</i> (Thomas, 1892)			<i>Dermanura hartii*</i>	<i>Enchisthenes hartii</i>	<i>Enchisthenes hartii</i>	<i>Enchisthenes hartii</i>
<i>Centurio senex</i> (J. E. Gray, 1842)				<i>Centurio senex</i>	<i>Centurio senex</i>	<i>Centurio senex</i>
<i>Chiroderma scopaeum</i> (Handley, 1966)			<i>Chiroderma salvini</i>	<i>Chiroderma salvini</i>	<i>Chiroderma salvini</i>	<i>Chiroderma salvini</i>
<i>Uroderma magnirostrum</i> (Davis, 1968)				<i>Uroderma magnirostrum</i>	<i>Uroderma magnirostrum</i>	<i>Uroderma magnirostrum</i>
<i>Sturnira hondurensis</i> (Goodwin, 1940)			<i>Sturnira ludovici</i>	<i>Sturnira ludovici</i>	<i>Sturnira hondurensis</i>	<i>Sturnira hondurensis</i>
<i>Sturnira parvidens</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1810)			<i>Sturnira lilium</i>	<i>Sturnira lilium</i>	<i>Sturnira parvidens</i>	<i>Sturnira lilium</i>
Familia Vespertilionidae						
<i>Antrozous pallidus</i> (LeConte, 1855)				<i>Antrozous pallidus</i>	<i>Antrozous pallidus</i>	<i>Antrozous pallidus</i>
<i>Myotis auriculus</i> (R. H. Baker y Stains, 1955)				<i>Myotis auriculacea</i>	<i>Myotis auriculus</i>	<i>Myotis auriculus</i>
<i>Myotis californicus</i> (Audubon y Bachman, 1842)	<i>M. californica</i>	<i>Myotis californicus</i>	<i>Myotis californicus</i>	<i>Myotis californica</i>	<i>Myotis californicus</i>	<i>Myotis californicus</i>
<i>Myotis carteri</i> (LaVal, 1973)			<i>Myotis nigricans*</i>	<i>Myotis carteri</i>	<i>Myotis carteri</i>	<i>Myotis carteri</i>
<i>Myotis ciliolabrum</i> (Merriam, 1886)			<i>Myotis leibii</i>	<i>Myotis ciliolabrum</i>	<i>Myotis melanorhinus</i>	<i>Myotis ciliolabrum</i>
<i>Myotis fortidens</i> (Miller y G. M. Allen, 1928)			<i>Myotis fortidens*</i>	<i>Myotis fortidens</i>	<i>Myotis fortidens</i>	<i>Myotis fortidens</i>
<i>Myotis occultus</i> (Hollister, 1909)					<i>Myotis occultus</i>	<i>Myotis occultus</i>
<i>Myotis thysanodes</i> (G. S. Miller, 1897)	<i>M. thysanodes</i>	<i>Myotis thysanodes</i>	<i>Myotis thysanodes</i>	<i>Myotis thysanodes</i>	<i>Myotis thysanodes</i>	<i>Myotis thysanodes</i>
<i>Myotis velifer</i> (J. A. Allen, 1890)	<i>M. velifera</i>	<i>Myotis velifer</i>	<i>Myotis velifer</i>	<i>Myotis velifera</i>	<i>Myotis velifer</i>	<i>Myotis velifer</i>
<i>Myotis volans</i> (H. Allen, 1866)			<i>Myotis volans*</i>			
<i>Myotis yumanensis</i> (H. Allen, 1864)	<i>Myotis yumanensis</i>	<i>Myotis yumanensis</i>	<i>Myotis yumanensis</i>	<i>Myotis yumanensis</i>	<i>Myotis yumanensis</i>	<i>Myotis yumanensis</i>
<i>Parastrellus hesperus</i> subsp. <i>hesperus</i> (H. Allen, 1864)			<i>Pipistrellus hesperus</i>	<i>Pipistrellus hesperus</i>		<i>Pipistrellus hesperus</i>
<i>Neoptesicus furinalis</i> (D'Orbigny, 1847)			<i>Eptesicus furinalis</i>	<i>Eptesicus furinalis</i>	<i>Eptesicus furinalis</i>	<i>Eptesicus furinalis</i>

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico <i>et al.</i> , 2014	Estudio estado 2019
<i>Eptesicus fuscus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)		<i>Eptesicus fuscus</i>	<i>Eptesicus fuscus</i>	<i>Eptesicus fuscus</i>	<i>Eptesicus fuscus</i>	<i>Eptesicus fuscus</i>
<i>Lasiurus frantzii</i> (W.C.H. Peters, 1871)				<i>Lasiurus blossevillii</i>	<i>Lasiurus blossevillii</i>	<i>Lasiurus blossevillii</i>
<i>Lasiurus borealis</i> (Müller, 1776)	<i>Lasiurus borealis</i>	<i>Lasiurus borealis</i>	<i>Lasiurus borealis</i>	<i>Lasiurus borealis</i>	<i>Lasiurus borealis</i>	<i>Lasiurus borealis</i>
<i>Lasiurus cinereus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)		<i>Lasiurus cinereus</i>	<i>Lasiurus cinereus</i>	<i>Lasiurus cinereus</i>	<i>Lasiurus cinereus</i>	<i>Lasiurus cinereus</i>
<i>Lasiurus ega</i> (Gervais, 1856)			<i>Lasiurus ega</i>		<i>Lasiurus ega</i>	<i>Lasiurus ega</i>
<i>Lasiurus intermedius</i> (H. Allen, 1862)			<i>Lasiurus intermedius</i>	<i>Lasiurus intermedius</i>	<i>Lasiurus intermedius</i>	<i>Lasiurus intermedius</i>
<i>Lasiurus xanthinus</i> (Thomas, 1897)				<i>Lasiurus xanthinus</i>	<i>Lasiurus xanthinus</i>	<i>Lasiurus xanthinus</i>
<i>Baeodon allenii</i> (Thomas, 1892)				<i>Rhogeessa allenii</i>	<i>Rhogeessa allenii</i>	<i>Rhogeessa allenii</i>
<i>Rhogeessa mira</i> (LaVal, 1973)				<i>Rhogeessa mira</i>	<i>Rhogeessa mira</i>	<i>Rhogeessa mira</i>
<i>Rhogeessa parvula</i> (H. Allen, 1866)				<i>Rhogeessa parvula</i>	<i>Rhogeessa parvula</i>	<i>Rhogeessa parvula</i>
<i>Corynorhinus mexicanus</i> (G. M. Allen, 1916)	<i>C. mexicanus</i>	<i>Corynorhinus rafinesquii</i>	<i>Plecotus mexicanus</i>	<i>Corynorhinus mexicanus</i>	<i>Corynorhinus mexicanus</i>	<i>Corynorhinus mexicanus</i>
<i>Corynorhinus townsendii</i> (Cooper, 1837)			<i>Plecotus townsendii</i>	<i>Corynorhinus townsendii</i>	<i>Corynorhinus townsendii</i>	<i>Corynorhinus townsendii</i>
<i>Idionycteris phyllotis</i> (G. M. Allen, 1916)				<i>Euderma phyllote</i>	<i>Idionycteris phyllotis</i>	<i>Idionycteris phyllotis</i>
Orden Lagomorpha						
Familia Leporidae						
<i>Lepus callotis</i> (Wagler, 1830)	<i>Lepus callotis</i>	<i>Lepus callotis</i>	<i>Lepus callotis</i>	<i>Lepus callotis</i>	<i>Lepus callotis</i>	<i>Lepus callotis</i>
<i>Sylvilagus cunicularius</i> (Waterhouse, 1848)	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	<i>Sylvilagus cunicularius</i>
<i>Sylvilagus floridanus</i> (J. A. Allen, 1890)	<i>Sylvilagus floridanus</i>	<i>Sylvilagus floridanus</i>	<i>Sylvilagus floridanus</i>	<i>Sylvilagus floridanus</i>	<i>Sylvilagus floridanus</i>	<i>Sylvilagus floridanus</i>
Orden Rodentia						
Familia Sciuridae						
<i>Glaucomys volans</i> (Linnaeus, 1758)			<i>Glaucomys volans</i>	<i>Glaucomys volans</i>	<i>Glaucomys volans</i>	<i>Glaucomys volans</i>
<i>Notocitellus adocetus</i> (Merriam, 1903)		<i>Citellus adocetus</i>	<i>Spermophilus adocetus</i>	<i>Spermophilus adocetus</i>	<i>Notocitellus adocetus</i>	<i>Spermophilus adocetus</i>
<i>Ictidomys mexicanus</i> (Erxleben, 1777)			<i>Spermophilus mexicanus*</i>		<i>Ictidomys mexicanus</i>	<i>Spermophilus mexicanus</i>
<i>Notocitellus annulatus</i> (Audubon y Bachman, 1842)			<i>Spermophilus annulatus</i>	<i>Spermophilus annulatus</i>	<i>Notocitellus annulatus</i>	<i>Spermophilus annulatus</i>
<i>Otospermophilus variegatus</i> (Erxleben, 1777)	<i>Spermophilus variegatus</i>	<i>Citellus variegatus</i>	<i>Spermophilus variegatus</i>	<i>Spermophilus variegatus</i>	<i>Otospermophilus variegatus</i>	<i>Spermophilus variegatus</i>
<i>Echinosciurus aureogaster</i> (F. Cuvier, 1829)	<i>Sciurus aureogaster</i>	<i>Sciurus poliopus</i>	<i>Sciurus aureogaster</i>	<i>Sciurus aureogaster</i>	<i>Sciurus aureogaster</i>	<i>Sciurus aureogaster</i>
<i>Parasciurus oculatus</i> (Peters, 1863)				<i>Sciurus oculatus</i>	<i>Sciurus oculatus</i>	<i>Sciurus oculatus</i>
Familia Geomyidae						
<i>Cratogeomys fumosus</i> (Merriam, 1892)	<i>Cratogeomys gymnurus</i>	<i>Cratogeomys gymnurus</i>	<i>Pappogeomys gymnurus, P. thylorhinus</i>	<i>C. gymnurus, C. thylorhinus</i>	<i>Cratogeomys fumosus</i>	<i>Cratogeomys gymnurus</i>
<i>Orthogeomys grandis</i> (Thomas, 1893)			<i>Orthogeomys grandis</i>	<i>Orthogeomys grandis</i>	<i>Orthogeomys grandis</i>	<i>Orthogeomys grandis</i>

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico et al., 2014	Estudio estado 2019
<i>Pappogeomys bulleri</i> subsp. <i>alcorni</i> (Russell, 1957)			<i>Pappogeomys bulleri*</i> <i>P. alcorni*</i> <i>P. merriami*</i>		<i>Pappogeomys bulleri</i>	<i>Pappogeomys alcorni bulleri</i>
<i>Zygogeomys trichopus</i> (Merriam, 1895)	<i>Zygogeomys trichopus</i>	<i>Zygogeomys trichopus</i>	<i>Zygogeomys trichopus</i>	<i>Zygogeomys trichopus</i>	<i>Zygogeomys trichopus</i>	<i>Zygogeomys trichopus</i>
<i>Megascapheus umbrinus</i> (J. Richardson, 1829)		<i>Thomomys umbrinus</i>	<i>Thomomys umbrinus</i>	<i>Thomomys umbrinus</i>	<i>Thomomys umbrinus</i>	<i>Thomomys umbrinus</i>
Familia Heteromyidae						
<i>Heteromys irroratus</i> (J. E. Gray, 1868)	<i>Liomys irroratus</i>	<i>Liomys irroratus</i>	<i>Liomys irroratus</i>	<i>Liomys irroratus</i>	<i>Liomys irroratus</i>	<i>Liomys irroratus</i>
<i>Heteromys pictus</i> (Thomas, 1893)		<i>Liomys pictus</i>	<i>Liomys pictus</i>	<i>Liomys pictus</i>	<i>Liomys pictus</i>	<i>Liomys pictus</i>
<i>Heteromys spectabilis</i> (Genoways, 1971)			<i>Liomys spectabilis*</i>			
<i>Perognathus flavus</i> (Baird, 1855)			<i>Perognathus flavus*</i>	<i>Perognathus flavus</i>	<i>Perognathus flavus</i>	<i>Perognathus flavus</i>
Familia Erethizontidae						
<i>Coendou mexicanus</i> (Kerr, 1792)					<i>Sphiggurus mexicanus</i>	<i>Coendou mexicanus</i>
Familia Cricetidae						
<i>Microtus mexicanus</i> (Saussure, 1861)		<i>Microtus mexicanus</i>	<i>Microtus mexicanus</i>	<i>Microtus mexicanus</i>	<i>Microtus mexicanus</i>	<i>Microtus mexicanus</i>
<i>Baiomys musculus</i> (Merriam, 1892)		<i>Baiomys musculus</i>	<i>Baiomys musculus</i>	<i>Baiomys musculus</i>	<i>Baiomys musculus</i>	<i>Baiomys musculus</i>
<i>Baiomys taylori</i> (Thomas, 1887)	<i>Baiomys taylori</i>	<i>Baiomys taylori</i>	<i>Baiomys taylori</i>	<i>Baiomys taylori</i>	<i>Baiomys taylori</i>	<i>Baiomys taylori</i>
<i>Hodomys alleni</i> (Merriam, 1892)			<i>Neotoma alleni</i>	<i>Hodomys alleni</i>	<i>Hodomys alleni</i>	<i>Hodomys alleni</i>
<i>Nelsonia goldmani</i> (Merriam, 1903)		<i>Nelsonia goldmani</i>		<i>Nelsonia goldmani</i>	<i>Nelsonia goldmani</i>	<i>Nelsonia goldmani</i>
<i>Neotoma albigenula</i> (Hartley, 1894)	<i>Neotoma albigenula</i>	<i>Neotoma latifrons</i>	<i>Neotoma albigenula</i>	<i>Neotoma albigenula</i>	<i>Neotoma albigenula</i>	<i>Neotoma albigenula</i>
<i>Neotoma mexicana</i> (Baird, 1855)			<i>Neotoma mexicana</i>	<i>Neotoma mexicana</i>	<i>Neotoma mexicana</i>	<i>Neotoma mexicana</i>
<i>Neotomodon alstoni</i> (Merriam, 1898)		<i>Neotomodon alstoni</i>	<i>Neotomodon alstoni</i>	<i>Neotomodon alstoni</i>	<i>Neotomodon alstoni</i>	<i>Neotomodon alstoni</i>
<i>Osgoodomys banderanus</i> (J. A. Allen, 1897)		<i>Peromyscus banderanus</i>	<i>Osgoodomys banderanus</i>	<i>Osgoodomys banderanus</i>	<i>Osgoodomys banderanus</i>	<i>Osgoodomys banderanus</i>
<i>Peromyscus aztecus</i> (Saussure, 1860)	<i>Peromyscus aztecus</i>		<i>Peromyscus aztecus*</i>	<i>Peromyscus aztecus</i>	<i>Peromyscus aztecus</i>	<i>Peromyscus aztecus</i>
<i>Peromyscus ensinki</i> (Bradley, 2022)			<i>Peromyscus boylii</i>	<i>Peromyscus boylii</i>	<i>Peromyscus boylii</i>	<i>Peromyscus boylii</i>
<i>Peromyscus difficilis</i> (J. A. Allen, 1891)				<i>Peromyscus difficilis</i>	<i>Peromyscus difficilis</i>	<i>Peromyscus difficilis</i>
<i>Peromyscus gratus</i> (Merriam, 1898)	<i>Peromyscus gratus</i>	<i>Peromyscus gratus</i>	<i>Peromyscus truei</i>	<i>Peromyscus gratus</i>	<i>Peromyscus gratus</i>	<i>Peromyscus gratus</i>
<i>Peromyscus hylocetes</i> (Merriam, 1898)		<i>Peromyscus hylocetes</i>			<i>Peromyscus hylocetes</i>	<i>Peromyscus hylocetes</i>
<i>Peromyscus greenbaumi</i> (Bradley, 2022)		<i>Peromyscus boylii</i>		<i>Peromyscus boylii</i>		
<i>Peromyscus kilpatricki</i> (Bradley, 2017)	<i>Peromyscus levipes</i>			<i>Peromyscus levipes</i>	<i>Peromyscus levipes</i>	<i>Peromyscus levipes</i>
<i>Peromyscus labecula</i> (Elliot, 1903)		<i>Peromyscus maniculatus</i>	<i>Peromyscus maniculatus*</i>	<i>Peromyscus maniculatus</i>	<i>Peromyscus maniculatus</i>	<i>Peromyscus maniculatus</i>
<i>Peromyscus zamorae</i> (Osgood, 1904)	<i>Peromyscus melanophrys</i>	<i>Peromyscus melanophrys</i>	<i>Peromyscus melanophrys</i>	<i>Peromyscus melanophrys</i>	<i>Peromyscus melanophrys</i>	<i>Peromyscus melanophrys</i>

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico <i>et al.</i> , 2014	Estudio estado 2019
<i>Peromyscus melanotis</i> (J. A. Allen y Chapman, 1897)		<i>Peromyscus melanotis</i>		<i>Peromyscus melanotis</i>	<i>Peromyscus melanotis</i>	<i>Peromyscus melanotis</i>
<i>Peromyscus pectoralis</i> (Osgood, 1904)						
<i>Peromyscus perfulvus</i> (Osgood, 1945)		<i>Peromyscus perfulvus</i>	<i>Peromyscus perfulvus</i>	<i>Peromyscus perfulvus</i>	<i>Peromyscus perfulvus</i>	<i>Peromyscus perfulvus</i>
<i>Peromyscus purepechus</i> (León-Tapia, 2020)						
<i>Peromyscus sagax</i> (Elliot, 1903)					<i>Peromyscus sagax</i>	<i>Peromyscus sagax</i>
<i>Peromyscus spicilegus</i> (J. A. Allen, 1897)			<i>Peromyscus spicilegus</i>	<i>Peromyscus spicilegus</i>	<i>Peromyscus spicilegus</i>	<i>Peromyscus spicilegus</i>
<i>Peromyscus winkelmanni</i> (Carleton, 1977)			<i>Peromyscus winkelmanni</i>	<i>Peromyscus winkelmanni</i>	<i>Peromyscus winkelmanni</i>	<i>Peromyscus winkelmanni</i>
<i>Reithrodontomys chrysopsis</i> (Merriam, 1900)		<i>Reithrodontomys chrysopsis</i>	<i>Reithrodontomys chrysopsis</i>	<i>Reithrodontomys chrysopsis</i>	<i>Reithrodontomys chrysopsis</i>	<i>Reithrodontomys chrysopsis</i>
<i>Reithrodontomys fulvescens</i> (J. A. Allen, 1894)	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>
<i>Reithrodontomys megalotis</i> (Baird, 1858)	<i>Reithrodontomys megalotis</i>	<i>Reithrodontomys megalotis</i>	<i>Reithrodontomys megalotis</i>	<i>Reithrodontomys megalotis</i>	<i>Reithrodontomys megalotis</i>	<i>Reithrodontomys megalotis</i>
<i>Reithrodontomys mexicanus</i> (Saussure, 1860)			<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	<i>Reithrodontomys mexicanus</i>
<i>Reithrodontomys wagneri</i> (Hooper, 1950)			<i>Reithrodontomys microdon</i>	<i>Reithrodontomys microdon</i>	<i>Reithrodontomys microdon</i>	<i>Reithrodontomys microdon</i>
<i>Reithrodontomys sumichrasti</i> (Saussure, 1861)			<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>	<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>	<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>	<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>
<i>Reithrodontomys zacatecae</i> (Merriam, 1901)				<i>Reithrodontomys zacatecae</i>	<i>Reithrodontomys zacatecae</i>	<i>Reithrodontomys zacatecae</i>
<i>Oligoryzomys fulvescens</i> (Saussure, 1860)		<i>Oryzomys fulvescens</i>	<i>Oryzomys fulvescens</i>	<i>Oligoryzomys fulvescens</i>	<i>Oligoryzomys fulvescens</i>	<i>Oligoryzomys fulvescens</i>
<i>Oryzomys mexicanus</i> (Alston, 1877)	<i>Oryzomys palustris</i>	<i>Oryzomys couesi</i>	<i>Oryzomys couesi, O. palustris*</i>	<i>Oryzomys couesi</i>	<i>Oryzomys couesi</i>	<i>Oryzomys couesi</i>
<i>Oryzomys albiventer</i> (Merriam, 1901)						
<i>Casiomys melanotis</i> (O. Thomas, 1893)		<i>Sigmodon melanotis</i>	<i>Oryzomys melanotis</i>	<i>Oryzomys melanotis</i>		<i>Oryzomys melanotis</i>
<i>Sigmodon allenii</i> (Bailey, 1902)			<i>Sigmodon allenii</i>	<i>Sigmodon allenii</i>	<i>Sigmodon allenii</i>	<i>Sigmodon allenii</i>
<i>Sigmodon fulviventer</i> (J. A. Allen, 1889)	<i>Sigmodon fulviventer</i>		<i>Sigmodon fulviventer</i>	<i>Sigmodon fulviventer</i>	<i>Sigmodon fulviventer</i>	<i>Sigmodon fulviventer</i>
<i>Sigmodon mascotensis</i> (J. A. Allen, 1897)			<i>Sigmodon mascotensis</i>	<i>Sigmodon mascotensis</i>	<i>Sigmodon mascotensis</i>	<i>Sigmodon mascotensis</i>
<i>Sigmodon</i> sp. (Say y Ord, 1825)		<i>Sigmodon hispidus</i>	<i>Sigmodon hispidus</i>	<i>Sigmodon hispidus</i>	<i>Sigmodon hispidus</i>	<i>Sigmodon hispidus</i>
Orden carnívora						
Familia Felidae						
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1803)			<i>Felis yagouaroundi*</i>	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	<i>Puma yagouaroundi</i>
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)			<i>Felis pardalis*</i>	<i>Leopardus pardalis</i>	<i>Leopardus pardalis</i>	<i>Leopardus pardalis</i>
<i>Leopardus wiedii</i> (Schinz, 1821)			<i>Felis wiedii</i>	<i>Leopardus wiedii</i>	<i>Leopardus wiedii</i>	<i>Leopardus wiedii</i>
<i>Lynx rufus</i> (Schreber, 1777)	<i>Lynx rufus</i>		<i>Lynx rufus</i>	<i>Lynx rufus</i>	<i>Lynx rufus</i>	<i>Lynx rufus</i>
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)			<i>Felis concolor</i>	<i>Puma concolor</i>	<i>Puma concolor</i>	<i>Puma concolor</i>
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)			<i>Panthera onca</i>	<i>Panthera onca</i>	<i>Panthera onca</i>	<i>Panthera onca</i>

Nombre Científico Actual	Colectas 1892-1899	Hall y Villa, 1949	Enríquez Baldazo 1997	Estudio estado (2005)	Monterrubio-Rico <i>et al.</i> , 2014	Estudio estado 2019
Familia Canidae						
<i>Canis latrans</i> (Say, 1823)		<i>Canis latrans</i>	<i>Canis latrans</i>	<i>Canis latrans</i>	<i>Canis latrans</i>	<i>Canis latrans</i>
<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>				
Familia Mephitidae						
<i>Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)	<i>Conepatus leuconotus</i>	<i>Conepatus mesoleucus</i>	<i>Conepatus mesoleucus</i>	<i>Conepatus mesoleucus</i>	<i>Conepatus leuconotus</i>	<i>Conepatus leuconotus</i>
<i>Mephitis macroura</i> (Lichtenstein, 1832)	<i>Mephitis macroura</i>	<i>Mephitis macroura</i>				
<i>Spilogale angustifrons</i> (Merriam, 1890)	<i>Spilogale putorius</i>	<i>Spilogale angustifrons</i>	<i>Spilogale putorius*</i>	<i>Spilogale putorius</i>	<i>Spilogale gracilis</i>	<i>Spilogale gracilis</i>
<i>Spilogale pygmaea</i> (Thomas, 1898)					<i>Spilogale pygmaea</i>	<i>Spilogale pygmaea</i>
Familia Mustelidae						
<i>Lontra annectens</i> (Major, 1897)				<i>Lontra longicaudis</i>	<i>Lontra longicaudis</i>	<i>Lutra longicaudis</i>
<i>Neogale frenata</i> (Lichtenstein, 1831)	<i>Mustela frenata</i>	<i>Mustela frenata</i>				
Familia Procyonidae						
<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)		<i>Bassariscus astutus</i>	<i>Bassariscus astutus</i>	<i>Bassariscus astutus</i>	<i>Bassariscus astutus</i>	<i>Bassariscus astutus</i>
<i>Potos flavus</i> (Schreber, 1774)			<i>Potos flavus</i>	<i>Potos flavus</i>	<i>Potos flavus</i>	<i>Potos flavus</i>
<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)		<i>Nasua narica</i>	<i>Nasua narica</i>	<i>Nasua narica</i>	<i>Nasua narica</i>	<i>Nasua narica</i>
<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Procyon lotor</i>	<i>Procyon lotor</i>				
Orden Artiodactyla						
Familia Cervidae						
<i>Odocoileus virginianus</i> (Zimmermann, 1780)	<i>Odocoileus virginianus</i>	<i>Odocoileus virginianus</i>				
Familia Tayassuidae						
<i>Dicotyles tajacu</i> (Linnaeus, 1758)		<i>Tayassu angulatus</i>	<i>Tayassu tajacu</i>	<i>Pecari tajacu</i>	<i>Tayassu pecari</i>	<i>Tayassu tajacu</i>

Anexo II. Listado taxonómico de los mamíferos de Michoacán. Categorías de la Norma Oficial Mexicana: (P) En Peligro de Extinción, (A) Amenazada, (Pr) Bajo protección. Endemismo: (MX) Endémica de México, (MICH) Endémica de Michoacán. Abreviaturas de las regiones: Llanura Costera (Costa), Sierra Madre del Sur (SMS), Depresión del Balsas-Tepalcatepec (DBT), Sistema Volcánico Transversal (SVT). El acrónimo (Ex) indica especie exclusiva a la provincia correspondiente.

	Sinonimias	NOM-059	Endemismo	Costa	SMS	DBT	SVT	Altiplano
Orden Didelphimorphia								
<i>Familia Didelphidae</i>								
<i>Tlacuatzin balsasensis</i> (Arcangeli, Light y Cervantes, 2018)			MX	x		x	x	
<i>Didelphis virginiana</i> (Kerr, 1792)				x	x	x	x	x
Orden Cingulata								
<i>Familia Dasypodidae</i>								
<i>Dasyurus mexicanus</i> (W.C.H. Peters, 1865)				x	x	x	x	x
Orden Pilosa								
<i>Familia Myrmecophagidae</i>								
<i>Tamandua mexicana</i> (Saussure, 1860)		(P)		x	x	x		
Orden Eulipotyphla								
<i>Familia Soricidae</i>								
<i>Cryptotis alticola</i> (Merriam, 1895)		(Pr)	MX				Ex	
<i>Cryptotis berlandieri</i> (Say, 1823)	<i>Sorex parvus, C. parva</i>			Ex				
<i>Megasorex gigas</i> (Merriam, 1897)	<i>Notiosorex gigas</i>	(A)	MX	x		x	x	
<i>Notiosorex evotis</i> (Coues, 1877)	<i>N. crawfordi</i>	(A)	MX			x	x	x
<i>Sorex mediopuia</i> (Carraway, 2007)			MX				Ex	
<i>Sorex saussurei</i> (Merriam, 1892)			MX	x	x	x		
<i>Sorex orizabae</i> (Merriam, 1895)			MX				Ex	
<i>Sorex salvini</i> (C. H. Merriam, 1897)	<i>S. veraecrucis</i>	(Pr)	MX				Ex	
Orden Chiroptera								
<i>Familia Emballonuridae</i>								
<i>Balantiopteryx plicata</i> (Peters, 1867)				x	x	x		
<i>Diclidurus albus</i> (Wied-Neuwied, 1820)				Ex				
<i>Peropteryx macrotis</i> (Wagner, 1843)							Ex	
<i>Saccopteryx bilineata</i> (Temminck, 1838)				x	x		x	
<i>Familia Molossidae</i>								
<i>Eumops ferox</i> (Wagner, 1843)	<i>E. glaucinus</i>					x	x	
<i>Eumops perotis</i> (Schinz, 1821)							Ex	
<i>Eumops underwoodi</i> (Goodwin, 1940)							Ex	
<i>Molossus molossus</i> (Pallas, 1766)				x	x			
<i>Molossus nigricans</i> (G.S. Miller, 1902)	<i>M. nigricans</i>			x	x	x		x
<i>Molossus sinaloae</i> (J. A. Allen, 1906)				x		x	x	
<i>Nyctinomops aurispinosus</i> (Peale, 1848)				Ex				
<i>Nyctinomops femorosaccus</i> (Merriam, 1889)				x		x		
<i>Nyctinomops laticaudatus</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1805)				Ex				
<i>Nyctinomops macrotis</i> (J. E. Gray, 1839)				x		x		x
<i>Promops centralis</i> (Thomas, 1915)				x			x	
<i>Tadarida brasiliensis</i> (I. Geoffroy St.-Hilaire, 1824)						x	x	x
<i>Familia Natalidae</i>								
<i>Natalus mexicanus</i> (J. E. Gray, 1838)	<i>N. stramineus</i>			x		x		
<i>Familia Mormoopidae</i>								

	Sinonimias	NOM-059	Endemismo	Costa	SMS	DBT	SVT	Altiplano
<i>Mormoops megalophylla</i> (Peters, 1864)				x		x	x	
<i>Pteronotus fulvus</i> (J. E. Gray, 1838)	<i>P. davyi</i>			x		x	x	
<i>Pteronotus psilotis</i> (Dobson, 1878)	<i>P. personatus</i>			Ex				
<i>Pteronotus mexicanus</i> (J. E. Gray, 1843)	<i>P. parnellii</i>			x	x	x	x	x
Familia Noctilionidae								
<i>Noctilio leporinus</i> (Linnaeus, 1758)				Ex				
Familia Phyllostomidae								
<i>Carollia subrufa</i> (Hahn, 1905)				Ex				
<i>Desmodus rotundus</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1810)				x	x	x	x	x
<i>Anoura peruana</i> (J. E. Gray, 1838)	<i>A. geoffroyi</i>			x	x	x	x	x
<i>Choeroniscus godmani</i> (Thomas, 1903)				x			x	
<i>Choeronycteris mexicana</i> (Tschudi, 1844)		(A)				x	x	x
<i>Hylonycteris underwoodi</i> (Thomas, 1903)				x	x			
<i>Musonycteris harrisoni</i> (Schaldach y McLaughlin, 1960)		(P)	MX	x	x	x	x	
<i>Glossophaga commissarisi</i> (Gardner, 1962)				x		x	x	
<i>Glossophaga leachii</i> (J. E. Gray, 1844)				x		x	x	
<i>Glossophaga morenoi</i> (Martínez y Villa-Ramírez, 1938)			MX	x		x	x	
<i>Glossophaga mutica</i> (Pallas, 1766)	<i>G. soricina</i>			x	x	x	x	x
<i>Leptonycteris nivalis</i> (Saussure, 1860)		(A)		x	x	x	x	x
<i>Leptonycteris yerbabuenae</i> (Martínez y Villa-Ramírez, 1940)		(A)		x		x	x	x
<i>Glyonycteris sylvestris</i> (Thomas, 1896)					Ex			
<i>Macrotus waterhousii</i> (J. E. Gray, 1843)				x		x	x	
<i>Micronycteris microtis</i> (G. S. Miller, 1898)				x	x			
<i>Artibeus hirsutus</i> (Andersen, 1906)			MX			x	x	
<i>Artibeus jamaicensis</i> (Leach, 1821)				x	x	x	x	
<i>Artibeus intermedius</i> (J.A. Allen, 1897)				x	x	x	x	x
<i>Artibeus lituratus</i> (I. von Olfers, 1818)				x	x	x		
<i>Dermanura azteca</i> (Andersen, 1906)				x	x	x	x	x
<i>Dermanura phaeotis</i> (Miller, 1902)				x	x	x	x	
<i>Dermanura tolteca</i> (Saussure, 1860)				x	x	x	x	x
<i>Enchisthenes hartii</i> (Thomas, 1892)		(Pr)		x				
<i>Centurio senex</i> (J. E. Gray, 1842)				x	x			
<i>Chiroderma scopaeum</i> (Handley, 1966)	<i>C. salvini</i>			x	x	x		
<i>Uroderma magnirostrum</i> (Davis, 1968)				x				
<i>Sturnira hondurensis</i> (Goodwin, 1940)	<i>S. ludovici</i>			x	x	x	x	x
<i>Sturnira parvidens</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1810)	<i>S. lilium</i>			x	x	x	x	x
Familia Vespertilionidae								
<i>Antrozous pallidus</i> (LeConte, 1855)								Ex
<i>Myotis auriculus</i> (R. H. Baker y Stains, 1955)	<i>M. auriculacea</i>						Ex	
<i>Myotis californicus</i> (Audubon y Bachman, 1842)				x	x		x	x
<i>Myotis carteri</i> (LaVal, 1973)		(Pr)	MX	x	x	x		
<i>Myotis ciliolabrum</i> (Merriam, 1886)	<i>M. ciliolabrum</i>				x		x	
<i>Myotis fortidens</i> (Miller y G. M. Allen, 1928)			MX	x	x	x		
<i>Myotis occultus</i> (Hollister, 1909)							Ex	

	Sinonimias	NOM-059	Endemismo	Costa	SMS	DBT	SVT	Altiplano
<i>Myotis thysanodes</i> (G. S. Miller, 1897)			MX		X	X	X	
<i>Myotis velifer</i> (J. A. Allen, 1890)					X		X	X
<i>Myotis volans</i> (H. Allen, 1866)							Ex	
<i>Myotis yumanensis</i> (H. Allen, 1864)					X		X	X
<i>Parastrellus hesperus</i> (H. Allen, 1864)	<i>P. hesperus</i>						Ex	
<i>Neoeptesicus furinalis</i> (D'Orbigny, 1847)	<i>Eptesicus furinalis</i>			X	X			
<i>Eptesicus fuscus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)				X	X	X	X	
<i>Lasiurus frantzii</i> (W.C.H. Peters, 1871)						X	X	X
<i>Lasiurus borealis</i> (Müller, 1776)					X		X	
<i>Lasiurus cinereus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)					X		X	
<i>Lasiurus ega</i> (Gervais, 1856)				Ex				
<i>Lasiurus intermedius</i> (H. Allen, 1862)							Ex	
<i>Lasiurus xanthinus</i> (Thomas, 1897)				X			X	
<i>Baeodon allenii</i> (Thomas, 1892)	<i>Rhogeessa allenii</i>		MX		X	X	X	
<i>Rhogeessa mira</i> (LaVal, 1973)		(Pr)	MICH			Ex		
<i>Rhogeessa parvula</i> (H. Allen, 1866)			MX	X		X		X
<i>Corynorhinus mexicanus</i> (G. M. Allen, 1916)			MX		X		X	
<i>Corynorhinus townsendii</i> (Cooper, 1837)						X	X	
<i>Idionycteris phyllotis</i> (G. M. Allen, 1916)							Ex	
Orden Lagomorpha								
<i>Familia Leporidae</i>								
<i>Lepus callotis</i> (Wagler, 1830)			MX			X	X	X
<i>Sylvilagus cunicularius</i> (Waterhouse, 1848)			MX	Ex				
<i>Sylvilagus floridanus</i> (J. A. Allen, 1890)				X	X	X	X	X
Orden Rodentia								
<i>Familia Sciuridae</i>								
<i>Glaucomys volans</i> (Linnaeus, 1758)		(A)					Ex	
<i>Notocitellus adocetus</i> (Merriam, 1903)	<i>Spermophilus adocetus</i>		MX	X		X	X	
<i>Ictidomys mexicanus</i> (Erxleben, 1777)	<i>Spermophilus mexicanus</i>						Ex	
<i>Notocitellus annulatus</i> (Audubon y Bachman, 1842)	<i>Spermophilus annulatus</i>		MX	X	X			
<i>Otospermophilus variegatus</i> (Erxleben, 1777)	<i>Spermophilus variegatus</i>			X			X	X
<i>Echinosciurus aureogaster</i> (F. Cuvier, 1829)	<i>Sciurus aureogaster</i>			X	X	X	X	X
<i>Parasciurus oculatus</i> (Peters, 1863)	<i>Sciurus oculatus</i>	(Pr)	MX				Ex	
<i>Familia Geomyidae</i>								
<i>Cratogeomys fumosus</i> (Merriam, 1892)	<i>C. gymnurus</i> , <i>C. thylorhinus</i>	(A)	MX				Ex	
<i>Orthogeomys grandis</i> (Thomas, 1893)				Ex				
<i>Pappogeomys bulleri</i> (Russell, 1957)		(Pr)	MX				X	X
<i>Zygogeomys trichopus</i> (Merriam, 1895)		(P)	MICH				Ex	
<i>Megascapheus umbrinus</i> (J. Richardson, 1829)							X	X
<i>Familia Heteromyidae</i>								
<i>Heteromys irroratus</i> (J. E. Gray, 1868)	<i>Liomys irroratus</i>					X	X	X
<i>Heteromys pictus</i> (Thomas, 1893)	<i>Liomys pictus</i>			X	X	X	X	X
<i>Heteromys spectabilis</i> (Genoways, 1971)		(Pr)	MX		Ex			
<i>Perognathus flavus</i> (Baird, 1855)							Ex	
<i>Familia Erethizontidae</i>								
<i>Coendou mexicanus</i> (Kerr, 1792)		(A)		X	X			

	Sinonimias	NOM-059	Endemismo	Costa	SMS	DBT	SVT	Altiplano
Familia Cricetidae								
<i>Microtus mexicanus</i> (Saussure, 1861)					x	x	x	x
<i>Baiomys musculus</i> (Merriam, 1892)				x	x	x	x	x
<i>Baiomys taylori</i> (Thomas, 1887)						x	x	x
<i>Hodomys allenii</i> (Merriam, 1892)			MX	x	x	x	x	
<i>Nelsonia goldmani</i> (Merriam, 1903)	(Pr)	MX			x	x		
<i>Neotoma albicula</i> (Hartley, 1894)							Ex	
<i>Neotoma mexicana</i> (Baird, 1855)				x	x	x	x	x
<i>Neotomodon alstoni</i> (Merriam, 1898)		MX					Ex	
<i>Osgoodomys banderanus</i> (J. A. Allen, 1897)		MX	x	x	x	x		
<i>Peromyscus aztecus</i> (Saussure, 1860)				x	x	x	x	x
<i>Peromyscus ensinki</i> (Bradley, 2022)	<i>P. boylii</i>	MICH					Ex	
<i>Peromyscus difficilis</i> (J. A. Allen, 1891)		MX					Ex	
<i>Peromyscus gratus</i> (Merriam, 1898)		MX				x	x	
<i>Peromyscus hylocetes</i> (Merriam, 1898)		MX				x		
<i>Peromyscus greenbaumi</i> (Bradley, 2022)	<i>P. boylii</i>	MICH		Ex				
<i>Peromyscus kilpatricki</i> (Bradley, 2017)	<i>P. levipes</i>	MX					Ex	
<i>Peromyscus labecula</i> (Elliot, 1903)	<i>P. maniculatus</i>	MX			x	x	x	
<i>Peromyscus zamorae</i> (Osgood, 1904)	<i>P. melanophrys</i>	MICH						Ex
<i>Peromyscus melanotis</i> (J. A. Allen y Chapman, 1897)		MX		x	x	x		
<i>Peromyscus pectoralis</i> (Osgood, 1904)							Ex	
<i>Peromyscus perfulvus</i> (Osgood, 1945)		MX	x	x	x	x	x	
<i>Peromyscus purepechus</i> (León-Tapia, 2020)		MICH					Ex	
<i>Peromyscus sagax</i> (Elliot, 1903)		MICH					Ex	
<i>Peromyscus spicilegus</i> (J. A. Allen, 1897)		MX	x	x	x	x	x	
<i>Peromyscus winkelmanni</i> (Carleton, 1977)	(Pr)	MICH		Ex				
<i>Reithrodontomys chrysopsis</i> (Merriam, 1900)		MX					Ex	
<i>Reithrodontomys fulvescens</i> (J. A. Allen, 1894)				x	x	x	x	x
<i>Reithrodontomys megalotis</i> (Baird, 1858)						x	x	
<i>Reithrodontomys mexicanus</i> (Saussure, 1860)				x	x		x	
<i>Reithrodontomys wagneri</i> (Hooper, 1950)	<i>R. microdon</i>	(A)					Ex	
<i>Reithrodontomys sumichrasti</i> (Saussure, 1861)				x	x	x	x	x
<i>Reithrodontomys zacatecae</i> (Merriam, 1901)		MX				x	x	
<i>Oligoryzomys fulvescens</i> (Saussure, 1860)				x	x		x	x
<i>Oryzomys mexicanus</i> (Alston, 1877)	<i>O. couesi</i>	MX	x	x	x	x		
<i>Oryzomys albiventer</i> (Merriam, 1901)	<i>O. couesi</i>	MX						Ex
<i>Casiomys melanotis</i> (O. Thomas, 1893)	<i>Oryzomys melanotis</i>	MX	Ex					
<i>Sigmodon alleni</i> (Bailey, 1902)		MX	x	x	x	x	x	x
<i>Sigmodon fulviventer</i> (J. A. Allen, 1889)				x	x	x	x	x
<i>Sigmodon mascotensis</i> (J. A. Allen, 1897)		MX	x	x	x	x	x	x
<i>Sigmodon</i> sp. (Say y Ord, 1825)					x	x	x	x
Orden carnívora								
Familia Felidae								
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1803)	<i>Puma yagouaroundi</i>	(A)		x	x	x		
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)		(P)		x	x	x		
<i>Leopardus wiedii</i> (Schinz, 1821)		(P)		x	x	x	x	

	Sinonimias	NOM-059	Endemismo	Costa	SMS	DBT	SVT	Altiplano
<i>Lynx rufus</i> (Schreber, 1777)						x		x
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)				x	x	x	x	
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)	(P)				x	x		
Familia Canidae								
<i>Canis latrans</i> (Say, 1823)					x	x	x	x
<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)				x	x	x	x	x
Familia Mephitidae								
<i>Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)				x	x	x	x	x
<i>Mephitis macroura</i> (Lichtenstein, 1832)				x	x	x	x	x
<i>Spilogale angustifrons</i> (Merriam, 1890)	<i>S. gracilis</i>				x	x	x	x
<i>Spilogale pygmaea</i> (Thomas, 1898)		(A)	MX	x	x	x		
Familia Mustelidae								
<i>Lontra annectens</i> (Major, 1897)	<i>Lutra longicaudis,</i> <i>Lontra longicaudis</i>	(A)		x	x	x		
<i>Neogale frenata</i> (Lichtenstein, 1831)	<i>Mustela frenata</i>			x	x	x	x	x
Familia Procyonidae								
<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)				x			x	x
<i>Potos flavus</i> (Schreber, 1774)		(Pr)		x	x			
<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)				x	x	x		
<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)				x	x	x	x	x
Orden Artiodactyla								
Familia Cervidae								
<i>Odocoileus virginianus</i> (Zimmermann, 1780)				x	x	x	x	
Familia Tayassuidae								
<i>Dicotyles tajacu</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Pecari tajacu</i>			x	x	x		



Efecto de la adición del nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de ratas con diabetes inducida sobre niveles séricos de glucosa y citoarquitectura pancreática

Effect of adding nopal (*Opuntia ficus-indica*) to the diet of rats with induced diabetes on serum glucose levels and pancreatic cytoarchitecture

Cynthia Michelle González Borja¹, Rosa Elena Pérez Sánchez^{1*} , Manuel López Rodríguez², Daniel Val Arreola³, Juvenal Esquivel Córdova⁴ y Ruy Ortíz Rodríguez²

¹ Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁴ Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Historial

Manuscrito recibido: 23 de agosto de 2024

Manuscrito aceptado: 29 de septiembre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Rosa Elena Pérez Sánchez

rosa.perez@umich.mx

ORCID: 0000-0001-6215-8653

Resumen

La diabetes mellitus (DM) tipo I se desarrolla a partir de la destrucción de las células β del páncreas, ocasionada por una exposición crónica a citoquinas proinflamatorias y a células inmunológicas auto-reactivas (insulitis) que, en conjunto, ocasionan la muerte de las células β pancreáticas e inducen los síntomas clínicos de la DM. Sin embargo, en pacientes con DM tipo I se ha demostrado que las células β pueden responder al ataque inmunológico -como mecanismo molecular adaptativo- más no en DM tipo II. Este aspecto se pudo evidenciar en la presente investigación, observándose un incremento de la población de células β , al establecer no solo la dinámica de los niveles séricos de glucosa sino también la citoarquitectura pancreática de ratas inducidas a DM sometidas a un tratamiento de insulina más dieta adicionada con nopal.

Palabras clave: Insulitis, células β , aloxano, hiperglucemia.

Abstract

Type I diabetes mellitus (DM) develops from the destruction of pancreatic β -cells, caused by chronic exposure to proinflammatory cytokines and auto-reactive immune cells (insulitis) that together cause pancreatic β -cell death and induce the clinical symptoms of DM. However, in patients with type I DM it has been demonstrated that β -cells can respond to the immune attack -as an adaptive molecular mechanism- but not in type II DM. This aspect could be evidenced in this research, in which an increase in the β -cell population could be observed by establishing not only the dynamics of serum glucose levels but also the pancreatic cytoarchitecture of DM-induced rats subjected to a treatment of insulin plus diet with nopal cactus.

Keywords: Insulitis, β -cells, alloxan, hyperglycemia.

Introducción

Las enfermedades crónico-degenerativas no transmisibles (ECNT) son la principal causa de muerte y discapacidad en el mundo; al año causan la muerte de alrededor de 15 millones de personas entre 30-69 años y la mayor prevalencia (75% del total de las muertes por ECNT) se registra en los países de bajos y medianos ingresos. Además, el tratamiento de las ECNT -tal como la diabetes mellitus (DM)- es el más elevado dentro de los costos de los sistemas de salud a nivel mundial (Serra-Valdés *et al.*, 2018), lo que pone en riesgo la economía de las familias y obstaculiza las iniciativas de reducción de la

pobreza en los países de ingresos bajos. Las personas socialmente desfavorecidas y expuestas a productos alimenticios nocivos presentan mayor vulnerabilidad o predisposición a desencadenar este tipo de enfermedades (OMS, 2021).

En México, la prevalencia de DM fue de 8.4% en el 2016 (Federación Mexicana de Diabetes, 2018); en el 2019, se registraron entre 10 a 20 millones de personas (9 a 12%, respectivamente) de la población total con diabetes (Federación Internacional de Diabetes, 2019), así, en el país esta enfermedad es considerada como la tercera causa de muerte (13.9%) más común (INEGI, 2020).

La clasificación de la DM establece la existencia de tres tipos de este padecimiento: DM tipo I o insulinodependiente, DM tipo II o no insulinodependiente y DM gestacional, los cuales tienen en común la alteración en la secreción o utilización de la insulina; siendo esta una hormona liberada por el páncreas como respuesta a la presencia de glucosa en la sangre. En la DM puede ocurrir que la insulina no se produzca, que no se produzca en cantidad suficiente o que no se pueda utilizar y en consecuencia la glucosa seguirá circulando en la sangre (Montagna *et al.*, 2010; Federación Internacional de Diabetes, 2019) y origine en el organismo una hiperglucemia (>100 mg/dL preprandial), misma que puede provocar daños en tejido nervioso, retinopatías y nefropatías, principalmente (Cervantes-Villagrana y Presno-Bernal, 2013).

El estudio de la DM utiliza modelos biológicos, los cuales se tratan con distintos fármacos como el aloxano, el cual destruye específicamente las células β pancreáticas simulando la DM tipo I (Negres *et al.*, 2013). Así, se amplía el estudio de distintos tratamientos alternativos para el control de la glucemia en pacientes que padecen DM, acompañados estos con estilos de vida saludables y el autocuidado (Rojas *et al.*, 2015). En general, los tratamientos convencionales para la DM incluyen: dieta adecuada, ejercicio físico, educación diabetogénica y administración de fármacos (hipoglucemiantes y/o insulina), si así se requiere (Montagna *et al.*, 2010; Mediavilla, 2002).

Entre las nuevas alternativas terapéuticas para pacientes con DM se encuentra el uso de plantas medicinales (Federación Internacional de Diabetes, 2019; Cuenca-Villalobos *et al.*, 2020) tales como el nopal (*Opuntia ficus-indica*); cactácea con efecto hipoglucemiante que se presenta como una alternativa viable para disminuir la glucosa en sangre (Ortiz *et al.*, 2017) y capacidad antioxidante (Guevara, 2009). El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la adición del nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de ratas con diabetes inducida sobre niveles séricos de glucosa y citoarquitectura pancreática.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Bioterio de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), el cual está ubicado en la “Posta Zootécnica” de la FMVZ-UMSNH dentro del municipio de Tarímbaro, Michoacán, México, a la altura del km 9.5 de la carretera Morelia, Zinapécuaro (INEGI, 2010).

Los procedimientos experimentales se realizaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-032-ZOO-1999) de especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio y la guía de los Institutos de Salud Nacional (NIH) para el cuidado y uso de los animales de laboratorio, publicación N01-OD-4-2139, 2011, teniendo siempre en cuenta reducir al mínimo el dolor y sufrimiento de los animales.

Animales y conformación de grupos

Se utilizaron 25 ratas macho de la cepa Sprague Dawley, seleccionados al azar, con una edad de 90 ± 10 días y con un peso vivo de 350 ± 35 g. Con el total de ratas se formaron cinco grupos ($n=5$ grupo $^{-1}$): G1 o testigo, ratas sanas sometidas a una alimentación de tipo comercial (Nutricubo $^{\circledR}$); G2, ratas sanas expuestas a una dieta comercial más nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca (BF); G3, ratas que se indujeron a diabetes y fueron tratadas con insulina. Este grupo recibió únicamente Nutricubo $^{\circledR}$; G4, ratas inducidas a diabetes y tratadas con insulina y nopal (BF) más Nutricubo $^{\circledR}$; G5, ratas inducidas a diabetes alimentadas con Nutricubo $^{\circledR}$ que se eutanasiaron 48 h post-inducción.

Confinamiento

Las ratas se confinaron individualmente en jaulas de plástico (23x33x15 cm), mismas que contaban con una rejilla superior (23x33 cm) en donde se colocó el alimento y un bebedero de plástico graduado cada 25 mL con punta de cristal y una capacidad de 700 mL.

Alimentación de las ratas

Se proporcionaron 40 g de alimento comercial (Nutricubo $^{\circledR}$) rata $^{-1}$ grupo $^{-1}$ día (**Tabla 1**) a las 9:00 am. La cantidad de nopal en BF suministrado fue del 1.0% respecto al peso vivo rata $^{-1}$. Diariamente se proporcionó el nopal licuado y mezclado con el alimento comercial a las 9:00 h. El nopal se pesó en una báscula digital OHAUS modelo CS200-001 con una capacidad de 200 ± 0.1 g, mientras que el agua de bebida se administró *ad libitum* rata $^{-1}$ grupo $^{-1}$. La fase experimental tuvo una duración de 21 días.

Obtención de nopal

Los cladodios de nopal (*O. ficus-indica*) se obtuvieron de la parcela ubicada en la Posta zootécnica de la FMVZ-UMSNH. La edad de los cladodios utilizados fue de un mes aproximadamente (cladodio joven o inmaduro), puesto que, a esa edad se considera apto para consumo. Cada cladodio se lavó únicamente con agua; se retiraron las espinas para posteriormente fraccionarse en trozos

Tabla 1. Análisis químico proximal de *Opuntia ficus-indica* y Nutricubos®.

Componente (%)	<i>Opuntia ficus-indica</i> †	Nutricubos#	Nutricubo+OFI
Humedad*	88.9	12	18.57
Cenizas†	26.5	7.0	6.64
Fibra cruda†	32.9	6.0	13.19
Proteína cruda†	5.2	23.0	18.8
Grasa†	0.5	3.0	2.95
E.L.N†	34.6	49.0	53.04

* = Base fresca; † = Base seca.

Fuente: †Ortiz, 2017; #Purina, 2021.

pequeños e introducirse en una licuadora (uso doméstico) y licuarlos. La cantidad de nopal licuado (1% con base en el peso vivo de cada rata) suministrado a las ratas se ajustó al peso rata⁻¹ semana.

Inducción de las ratas a diabetes

De acuerdo con el diseño experimental, las ratas del G3, G4 y G5 se indujeron a diabetes con aloxano de acuerdo con la metodología de Negres *et al.* (2013) al momento de que estas llegaron a un peso vivo de 350 g. Para confirmar la DM en las ratas se hizo la determinación de glucosa a los 30 min, a las 2 y 24 h post-inducción mediante una punción en el ápice de la cola de la rata desechando la primera gota y se utilizó un glucómetro de uso humano (Accu Check Performa®). Se consideró como rata diabética si la glucosa sanguínea a las 24 h post-inducción superó los 200 mg/dL.

Tratamiento de las ratas con insulina

Se administró a los grupos de ratas diabéticas (G3 y G4) insulina® NPH a una dosis de 3 UI/rata cada 24 h por vía subcutánea con jeringas para insulina BD Ultra-Fine de 0.3 mL y aguja 31G x 6mm durante toda la fase experimental.

Toma de muestras para determinación de glucosa, colesterol y triglicéridos sanguíneos en ratas

Las muestras sanguíneas se tomaron de la vena caudal los días 1, 8, 15 y 22. Se obtuvo 1 mL de sangre/muestra/rata con una jeringa de insulina y se colocó inmediatamente después en tubos BD Vacutainer® para suero con gel separador (tapón amarillo) y se centrifugaron a 2,000 rpm durante 10 minutos. El suero obtenido se mantuvo congelado -20°C hasta ser analizado. El análisis serológico se realizó mediante técnica enzimática/colorimétrica en un aparato EasyVet KONTROLab®.

Consumo de alimento

Para el consumo de alimento se pesó el sobrante de lo administrado el día anterior con una báscula digital AGLAN modelo BAS-01 con capacidad de 5kg±1 g.

Consumo de agua

Se administró agua purificada y se cuantificó diariamente su consumo analizando la cantidad de agua suministrada previamente, utilizando la graduación de los bebederos.

Eutanasia

La eutanasia de los animales se realizó el día 28 experimental con una sobredosis de pentobarbital sódico (60 mg/kg) vía intraperitoneal como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 a los grupos G1, G2, G3 y G4; y a las 48 h post-inducción al G5.

Obtención de tejidos para histología

Para la obtención de muestras de páncreas se obtuvo todo el tejido y se fijó por inmersión en un frasco con 150 mL de formalina al 10% y se identificaron de acuerdo con cada rata y grupo.

Procesamiento de las muestras para histología

Para el análisis histológico, las muestras de páncreas, hígado y riñón se fijaron e induraron por 48 h. Posteriormente, se realizó la deshidratación, aclaramiento e inclusión en parafina utilizando un procesador de tejidos o Histokinette Microm®; para la realización de los bloques de parafina se utilizó un incluidor de parafina Ecoshel®, a partir de los cuales se obtuvieron los cortes histológicos con un espesor de 5 micras utilizando un microtomo de avance Microm®. Los cortes histológicos se tiñeron con hematoxilina y eosina y tinción de Gomori.

Análisis de los cortes histológicos

Para el análisis histológico se utilizaron cortes de 5 micras

de espesores teñidos con tinción de Gomori, utilizando un microscopio Leica DM750P y un analizador de imágenes LAS®. De cada corte de páncreas se realizaron 3 micrografías de los islotes de Langerhans a un aumento de 100x y 400x, de los cuales se realizó un conteo y se obtuvo el promedio de la cantidad de células α y β en un área de $3,000 \mu\text{m}^2$.

Análisis estadístico

La información recabada se analizó a través de la metodología de mediciones repetidas utilizando para ello el modelo de efectos fijos y la diferencias entre grupos se obtuvo mediante la prueba de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) a un $\alpha < 0.05$. La curva de glucosa se construyó a partir de mediciones repetidas, utilizando para ello un modelo de efectos fijos (Littell *et al.*, 1998).

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que una vez suministrado el aloxano a las ratas 2 h post-inducción a la diabetes se presentaron las primeras manifestaciones de resistencia a insulina en estos animales, siendo a las 24 h post-inducción donde se encontró la mayor concentración de glucosa de 315.3 mg/dL (**Figura 1**).

Establecida la inducción a diabetes en las ratas, se encontró que el consumo de alimento y agua en ratas con diabetes inducida (G3 y G4) fue de 27.1 ± 9.8 g/día/rata y 99.8 ± 18.3 mL/día/rata, respectivamente. Mientras

que en las ratas sanas (G1 y G2) fue de 26.1 ± 3.0 g/día/rata y 63.8 ± 18.3 mL/día/rata, respectivamente (**Tabla 2**). Montenegro *et al.* (2005) y Valdés *et al.* (2019) registraron consumos con tendencias similares en ratas diabéticas: 26.5 ± 3.0 y 25.1 ± 1.8 g/día/rata, respectivamente. Mientras que Valdés *et al.* (2019) reportaron un consumo de agua en ratas diabéticas de 96.1 ± 4.5 mL/día/rata; promedio menor a lo observado en esta investigación (**Tabla 2**).

Es un hecho que existe una estrecha asociación entre el consumo de alimento y agua. Sin embargo, se ha demostrado que la DM genera incrementos en el consumo de alimento y agua (Almanza, 2021), tal como lo muestran los resultados observados en el grupo de ratas inducidas a DM (**Tabla 2**).

En cuanto a los metabolitos energéticos (glucosa, colesterol y triglicéridos) analizados en ambos grupos, se encontraron mayores niveles séricos de dichos metabolitos en el grupo de ratas inducidas a DM (**Tabla 2**); incremento típico en individuos que cursan la enfermedad de DM, debido a la elevada producción hepática de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y la actividad reducida de la lipoproteína lipasa (LPL), aspectos fundamentales para explicar la génesis de la dislipemia diabética (Wagner *et al.*, 2020).

En lo que respecta a la dinámica de los niveles séricos de glucosa, se encontró que, en ratas diabéticas, bajo la dieta adicionada con nopal, los valores de glucosa lograron descender de 472 mg/dL/rata hasta 214 mg/

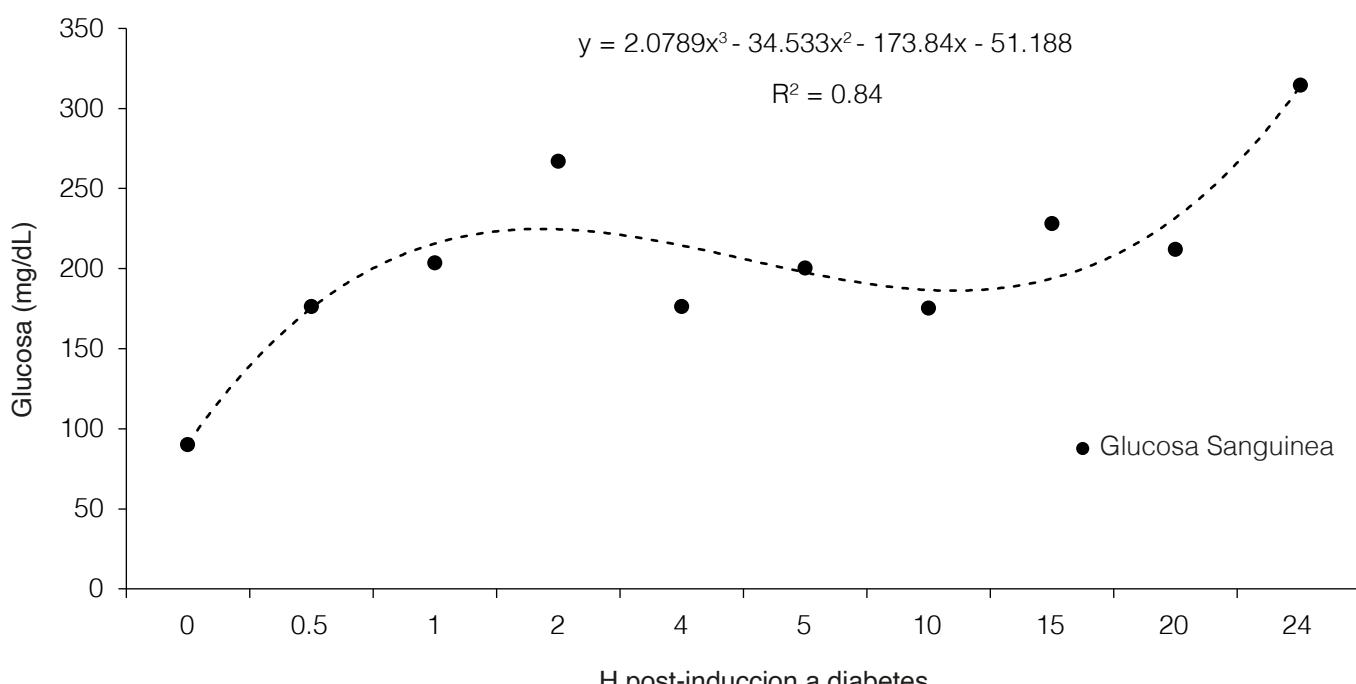


Figura 1. Curva de glucosa rata⁻¹ Sprague Dawley 24 h post-inducción a diabetes con aloxano.

Tabla 2. Promedios de consumo de alimento y agua y de metabolitos energéticos de acuerdo con el grupo.

Variable	Grupo	
	Ratas sanas	Ratas diabéticas
	Media ± D.E.	Media ± D.E.
Consumo de alimento (g/dia)	26.1±3.0	27.06±9.85
Consumo de agua (mL/dia)	63.8±18.35	99.85±41.6
Glucosa (mg/dL)	123.2±20.9	372.97±161
Colesterol (mg/dL)	102.9±52.35	161.0±20.04
Triglicéridos (mg/dL)	81.35±71.02	285.15±72.8

dL/rata en el día 11 post-inducción a diabetes ($p<0.05$). Pero, en el día 12 post-inducción a diabetes se observó un ascenso de glucosa de 2.4 mg/dL/rata/día (**Figura 2**). Caso contrario en las ratas diabéticas bajo alimentación convencional: los valores de glucosa en estas fueron ≥ 422 mg/dL/rata y prácticamente permanecieron constantes ($p>0.05$) durante la fase experimental (día 1 a día 21 post-inducción a diabetes), lo que sugiere que el consumo de nopal puede provocar efectos hipoglucemiantes al menos durante los primeros 15 días de iniciado el tratamiento con esta cactácea.

El incremento de glucosa a partir del día 15 post-inducción en las ratas diabéticas (G4) bajo consumo de nopal (**Figura 2**), pudo deberse al mayor consumo de alimento ($p<0.05$), mismo que fue de forma ascendente desde el día uno hasta el día 17 de la fase experimental (día 17, consumo de alimento = 37 g/rata) (**Figura 3**).

Possiblemente el incremento del consumo de alimento registrado en los grupos de ratas inducida a diabetes se debió a la polifagia que presentan los individuos con DM, pues es una de las características principales de esta patología junto con polidipsia y poliuria (Almanza, 2021). Por ello, los expertos en DM recomiendan además de una dieta hipocalórica, la cantidad de alimento debe estar regulada constantemente, de lo contrario los niveles de glucosa se alteran aun y cuando se esté bajo tratamiento farmacológico (Luna *et al.*, 2014).

Una vez establecidos los efectos de consumo de nopal sobre la dinámica de la glucosa sérica en las ratas inducidas a DM, se analizaron los cortes histológicos del páncreas de estos animales (**Tabla 3**).

De acuerdo con la **Tabla 3**, se observa una menor ($p<0.07$) cantidad de células β (10.6 ± 2.3) en el grupo de ratas diabéticas bajo dieta convencional vs grupo de ratas diabéticas alimentadas con la dieta adicionada con nopal (13.1 ± 2.1) y en ratas eutanasias a 48 h post-inducción a DM (13.8 ± 2.4). La posible explicación para las diferencias en el número de células β del páncreas en los grupos de ratas analizadas puede ser la siguiente: la acción de los antioxidantes presentes en el nopal permitiría cierta “protección” o proliferación de las células β , aspectos que se analizan más adelante.

En el análisis microscópico de los islotes de Langerhans en ratas sanas se encontró mayor cantidad de estos, de gran tamaño y con una estructura circular bien definida (**Figura 4C**). Por el contrario, en el grupo de ratas diabéticas bajo la dieta convencional y sin nopal, los

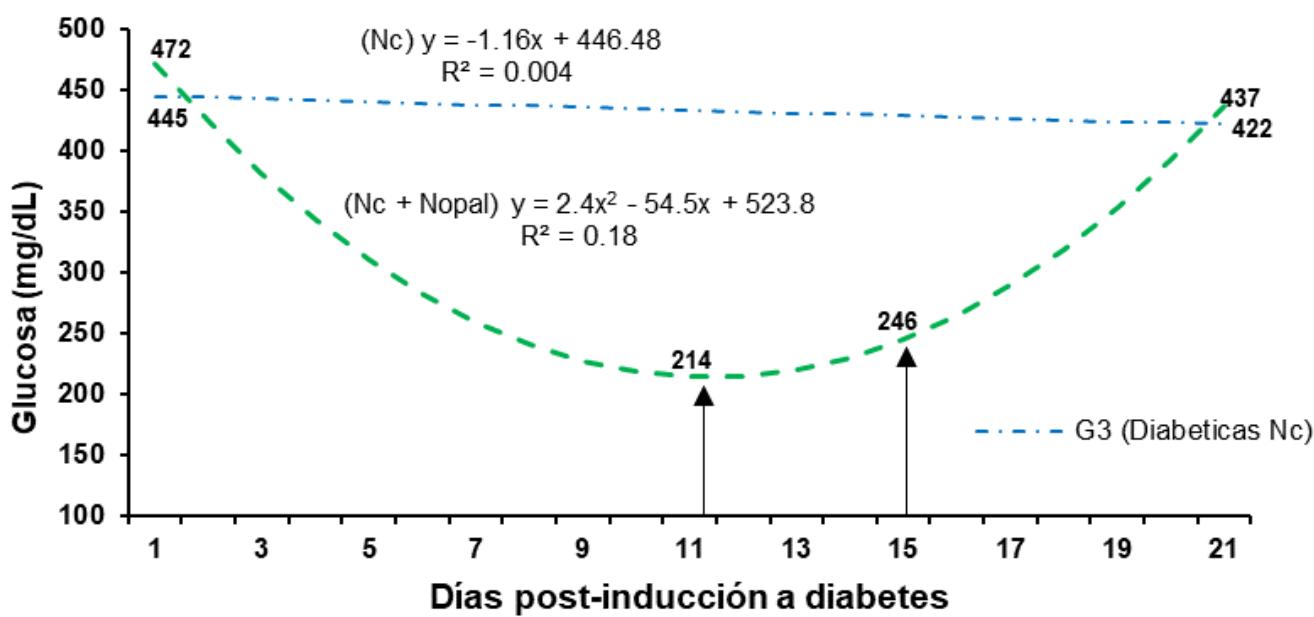
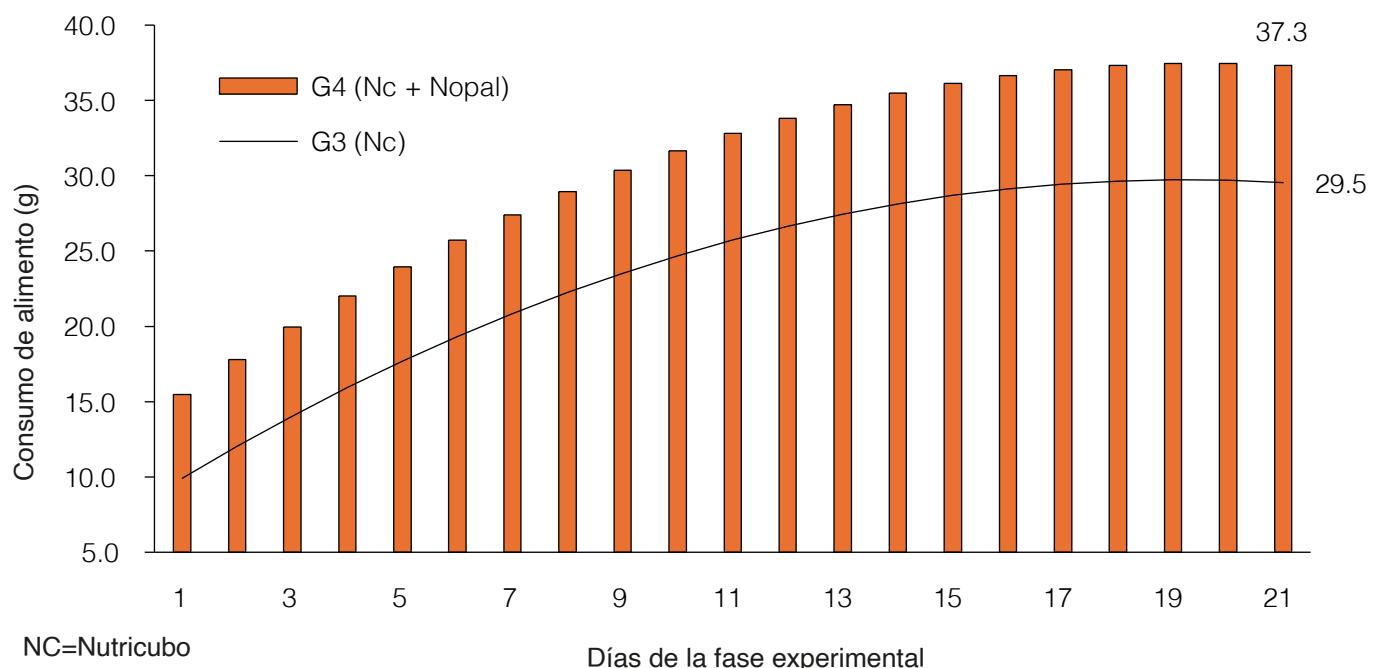
**Figura 2.** Dinámica de la glucosa sanguínea en ratas sanas y diabéticas de acuerdo con el día de monitoreo y tipo de dieta suministrada.

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para la cantidad de células β pancreáticas*.

Estado fisiológico	Fase experimental	Dieta	Promedio	E.E.	P-valor
Sanas	Si	Nutricubo	17.1 ^a	2.1	<0.0001
		Nutricubo+Nopal	18.6 ^a	2.1	<0.0001
Diabéticas	Si	Nutricubo	10.6 ^b	2.3	<0.0001
		Nutricubo+Nopal	13.1 ^a	2.1	<0.0001
Diabéticas	eutanasiadas 48 h post-inducción		13.8 ^a	2.4	<0.0001

E.E.=Error Estándar. Literales ^{a,b} indican diferencias entre grupos ($P<0.07$)* En un área de $3,000 \mu\text{m}^2$ **Figura 3.** Dinámica del consumo de alimento de las ratas de acuerdo con grupo y días de la fase experimental.

islotes de Langerhans se observaron considerablemente de menor tamaño y más atrofiados (**Figura 4D**).

Gupta *et al.* (2012), establecieron que dentro de las propiedades comprobadas del nopal está el efecto antioxidante; capacidad atribuida a los flavonoides (crisina, querцитina, hispidulina, luteolina, apigenina, acacetina, entre otros más) contenidos en esta cactácea (Bonilla *et al.*, 2017) y estos metabolitos secundarios (flavonoides) coadyuvan a mejorar los procesos antioxidantes enzimáticos de las células β ; en este proceso actúa la catalasa y glutatión peroxidasa, los cuales inhiben el incremento de los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS). En individuos con DM los ROS son producto de una hiperglucemia crónica y la acumulación de linfocitos y macrófagos en los islotes de Langerhans.

Para el caso del efecto de la inducción a DM por administración de aloxano (método utilizado en esta

investigación), los ROS (producto del aloxano) provocan la activación de la cascada de caspasas induciendo así la apoptosis de la célula (Vázquez y Hisano, 2011; Ghorbani *et al.*, 2017). Es posible que los flavonoides presentes en el nopal interfieran, hasta cierto punto, con el proceso de destrucción de las células β al inhibir la acción de los ROS; aspecto que explicaría parcialmente la diferencia en el número de células β observado en los cortes histológicos del páncreas de las ratas sometidas al consumo de nopal (**Figura 4**).

Por otra parte, uno de los hallazgos más importantes en esta investigación fue el aumento de células α ($p<0.05$) en ratas diabéticas bajo alimentación convencional (21.3 ± 2.8) y en las alimentadas con la dieta convencional más nopal (22.1 ± 2.6) vs ratas sanas (7.0 y 7.5 ± 2.6) (**Tabla 4**).

De acuerdo a Yu (2014) y Zhang *et al.* (2018), las

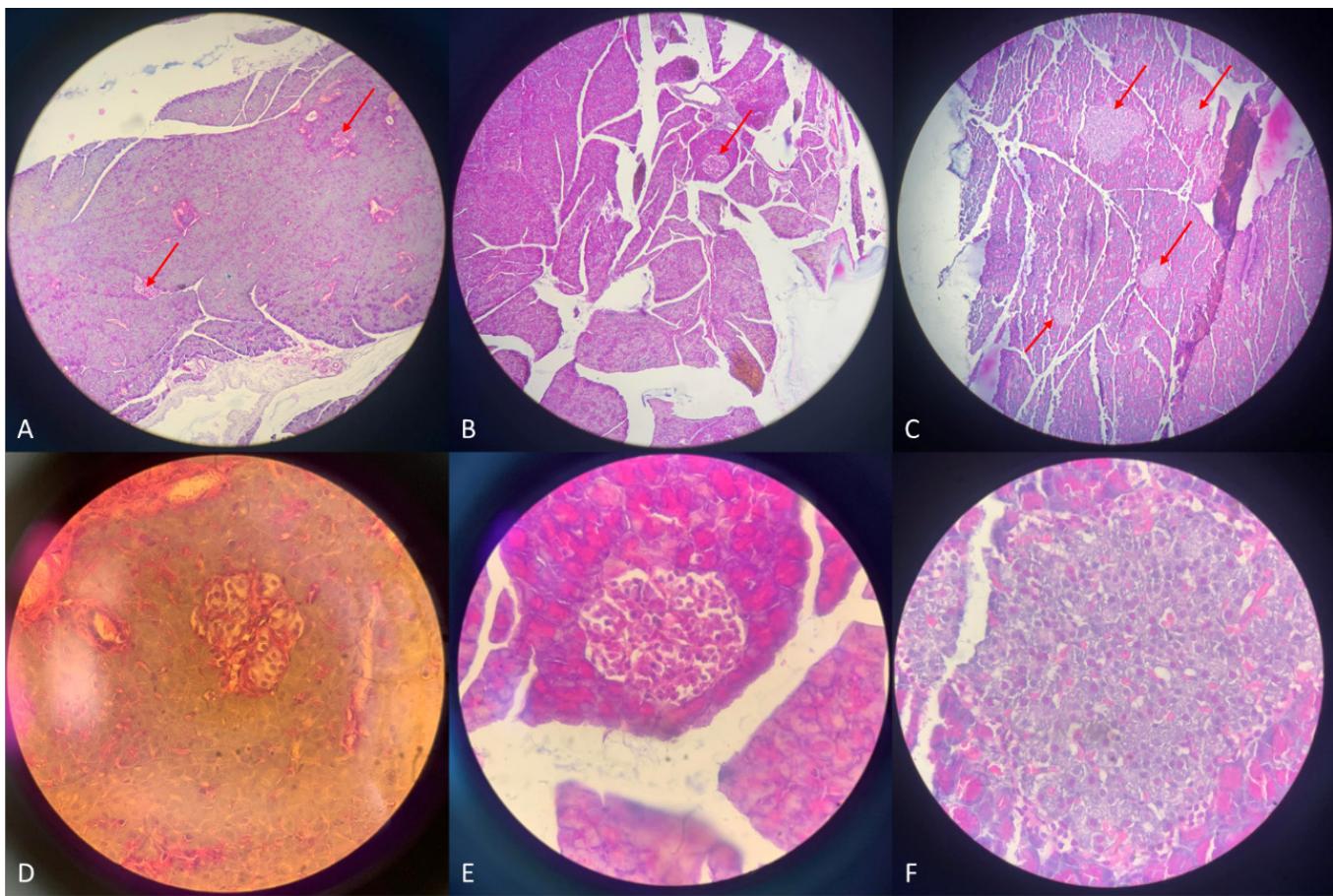


Figura 4. Islotes de Langerhans en (A) rata diabética (10X); (B) rata diabética con consumo de nopal (10X); (C) rata sana (10X); (D) rata diabética (63X); (E) rata diabética con consumo de nopal (63X); (F) rata sana (63X).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para número de células α pancreáticas de acuerdo con el estado fisiológico de las ratas.

Estado fisiológico	Fase experimental	Dieta	Promedio	E.E.	P
Sanas	Si	Nutricubo	7.0 ^a	2.6	0.0085
		Nutricubo+Nopal	7.5 ^a	2.6	0.0048
Diabéticas	Si	Nutricubo	21.3 ^b	2.8	<0.0001
		Nutricubo+Nopal	22.1 ^b	2.6	<0.0001
Diabéticas	eutanasiadas 48 h post-inducción		30.6 ^c	2.9	<0.0001

E.E.=Error Estándar. Literales ^{a,b} indican diferencias entre grupos ($p<0.05$).

células α pancreáticas sufren una hiperplasia bajo la destrucción selectiva de las células β pancreáticas (DM) y el organismo compensa la pérdida de células β con la hiperplasia de células α (Yoon *et al.*, 2003; Yosten, 2018), aspecto que causa mayor producción de glucagón anormal y alteraciones metabólicas como el aumento de la glucogenólisis hepática y mayor lipólisis (Guzmán-Juárez y Madrigal-Bujaidar, 2003; Quesada *et al.*, 2007), y que explicaría el incremento de los niveles de colesterol y triglicéridos (**Tabla 3**) en los grupos de ratas diabéticas que presentaron incremento en las células α .

Conclusiones

El consumo de *O. ficus-indica* al 1.0% (con respecto al peso vivo) disminuyó hasta un 45.3% el valor de la glucosa en ratas diabéticas; no obstante, dicha disminución no es suficiente para igualar los niveles de una rata sana. El consumo de nopal y su relación con el incremento de la población de células β , sugiere mayor producción de insulina, por lo que se sugiere realizar investigación al respecto. No obstante, para fines prácticos y de acuerdo con los resultados de esta investigación, una mayor disminución de glucosa en individuos con DM solo se

logra si se mantiene un régimen estricto de la dieta y de la cantidad consumida.

Referencias

- Almanza-Orellana L (2021). Diabetes infantil: Tesis de Especialidad. *Universidad Mayor de San Simón*.
- Bonilla-Rivera PE, Fernández-Rebaza GA, Bustamante-Peñaiza LE, Casas-Martel LE, Cirineo-Rodríguez MX, Hinostroza-Lorenzo ML, Villar-Meléndez HC, Yupanqui-Gallegos, BM (2017). Determinación estructural de flavonoides en el extracto etanólico de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Tuna Verde. *Revista Peruana de Medicina Integrativa* 30:835-840. doi:10.26722/rpmi.2017.24.71
- Cervantes-Villagrana RD, Presno-Bernal JM (2013). Fisiopatología de la diabetes y los mecanismos de muerte de las células β pancreáticas. *Revista de Endocrinología y Nutrición* 98:106.
- Cuenca-Villalobos LP, Uriarte-Sandoval MA, Rodríguez-Díaz JL, Parcon-Bitanga M (2020). Uso de la medicina no convencional por pacientes diabéticos. *Revista Archivo Médico de Camagüey* 169: 65-76.
- Federación Internacional de Diabetes (2019). “Capítulo 3: Panorama global”. Williams R, Colagiuri S, Almutairi R, Aschner-Montoya P, Basit A. *Atlas de la Diabetes de la FID. International Diabetes Federation*. pp 32-56.
- Ghorbani A, Rashidi R, Shafiee-Nick R (2019). Flavonoids for preserving pancreatic beta cell survival and function: A mechanistic review, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 947-957. doi:10.1016/j.bioph.2018.12.127
- Guevara JC (2009). Efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna. *Revista Horticultura Internacional* 18-19.
- Guzmán-Juárez N, Madrigal-Bujaidar E (2003). Revisión de las características clínicas, metabólicas y genéticas de la diabetes mellitus. *Bioquímia* 14-23.
- INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática”. *Anuario estadístico del estado de Michoacán Ed. 2009*. p. 127-142.
- INEGI (2020). “Características de las defunciones registradas en México durante 2020, preliminar”. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemografico/DefuncionesRegistradas2020_Pre_07.pdf [consultado el 21 de septiembre de 2021].
- Littell RC, Henry PR, Ammerman CB (1998). Statistical analysis of repeated measures data using 528 SAS procedures. *Journal Animal Science* 1216-1231. doi:10.2527/1998.7641216x.
- Luna-López V, López-Medina JA, Vázquez-Gutiérrez M, Fernández-Soto ML (2014). Hidratos de carbono: actualización de su papel en la diabetes mellitus y la enfermedad metabólica. *Nutrición Hospitalaria* 220:1020-1031. doi:10.3305/nh.2014.30.5.7475.
- Mediavilla-Bravo JJ (2002). La diabetes mellitus tipo 2. *Revista Medicina Integral* 38:25-35.
- Montagna G, Manucci C, Ramos O, Santillán S, Agnese L, Moreno I (2010). Insulinoterapia: distintos esquemas, distintos objetivos. *Curso internacional Niños y Jóvenes con Diabetes* 129-131.
- Montenegro SM, Tarrés MC, Picena JC, Martínez SM (2005). Conducta alimentaria y perfil glucémico en dos líneas de ratas con diabetes genética: eSS y eSMT”. *Biomédica* 175:441-450.
- Negres S, Chirita C, Morosan E, Arsene AL (2013). Experimental pharmacological model f diabetes induction with aloxan in rat. *Farmacia* 313-322.
- NOM-062-ZOO-1999 (1999). “Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio”. <https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF> [consultado el 31 de enero de 2021].
- Organización Mundial de la Salud (2021). “Enfermedades no transmisibles”. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases> [consultado el 3 de octubre de 2021].
- Ortiz-Rodríguez R, Orozco-Gaspar A, Val-Arreola D, Portillo-Martínez L, Pérez-Sánchez RE (2017). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. *Nova Scientia* 697:290-312.
- Purina (2021). “Nutricubos. Para animales de Laboratorio”. https://www.nutrientospurina.com/archivos_aplicaciones/files_fkeditor/file/LabChows/Nutricubos.pdf [consultado el 23 de febrero de 2021].
- Quesada I, Tudurí E, Ripoll C, Nadal A (2008). Physiology of the pancreatic α -cell and glucagón secretion: role in glucosa homeostasis and diabetes. *Journal of Endocrinology* 149:5-19. doi:10.1677/JOE-08-0290.
- Rojas-Jiménez S, Lopera-Valle JS, Uribe-Ocampo A, Correa-Pérez S, Perilla-Hernández N, Marín-Cárdenas JS (2015). Consumo de nutracéuticos, una alternativa en la prevención de las enfermedades crónicas no transmisibles. *Revista Biosalud* 103:91-103. doi:10.17151/biosa.2015.14.2.9.
- Serra-Valdés MA, Serra-Ruiz M, Viera-García M (2018). Las enfermedades crónicas no transmisibles: magnitud actual y tendencias futuras. *Revista Finlay* 177:140-148.
- Valdés Miramontes EH, Virgen-Carrillo CA, Martínez Moreno AG, Pineda-Lozano JE, Fonseca-Bustos V (2019) Efecto del jugo de granada (*Punica Granatum*) sobre patrones conductuales de ingesta en ratas con diabetes inducida. *Acta Universitaria* 29:1-9. doi:10.15174/au.2019.1997
- Vázquez SM, Hisano N (2011). Efecto diferencial del aloxano a corto y a largo plazo en testículos de dos líneas de ratas. *Revista Electrónica de Biomedicina* 1:37-44.
- Yosten GL (2018). Alpha cell dysfunction in type 1 diabetes. *Peptides* 100:54-60. doi:10.1016/j.peptides.2017.12.001

- Yoon KH, Ko SH, Cho JH, Lee JM, Ahn YB, Song KH, Yoo SJ, Kang MI, Cha BY, Lee KW, Son HY, Kang SK, Kim HS, Lee IY, Bonner-Weir S (2003). Selective β -Cell Loss and α -Cell Expansion in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus in Korea. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 2300-2308. doi:10.1210/jc.2002-020735
- Yu R (2014). Pancreatic α -Cell Hyperplasia: facts and myths. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 748-756. doi:10.1210/jc.2013-2952
- Wägner AM, Sánchez-Quesada JL, Pérez PA (2020). Diabetes mellitus y lipemia posprandial. *Endocrinología y Nutrición* 311-321.
- Zhang Y, Thai K, Jin T, Woo M, Gilbert RE (2018). SIRT1 activation attenuates α cell hyperplasia, hyperglucagonaemia and hyperglycaemia in STZ-diabetic mice. *Scientific Reports* 1-10. doi:10.1038/s41598-018-32351-z.



Associated diseases to prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) in the South of Morocco

Redouan Qessaoui¹, Salahddine Chafiki^{1,2}, Rachid Bouharroud^{1*}

¹ Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricultural Research (INRA), Avenue Ennasr, BP415 Rabat Principal, Rabat 10090, Morocco

² AgroBioSciences Plant Stress Physiology Laboratory (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University (UM6P), Benguerir, 43150 Morocco

Dates

Received: 28 August 2024

Accepted: 29 August 2025

Published: December 2025

*Corresponding author

Rachid Bouharroud

rachid.bouharroud@inra.ma

ORCID: 0000-0001-8914-1050

Abstract

The prickly pear cactus plant is an important ecological component in dry and semi-arid areas, not only preventing desertification but also preserving biodiversity. In Morocco, the fruits are consumed as food, while the cladodes are used to feed cattle. The prickly pear cactus is regarded as a rich potential raw material for Moroccan industry. However, cladode and fruit rots have been detected in prickly pear cactus orchards in Morocco's primary producing regions. The infections were most prevalent in orchards where wild cochineal (*D. opuntiae*) is detected. The symptoms start with a color shift from brown to dark patches on the damaged cladode and fruit tissues, followed by superficial necrotic lesions with a bad odor. *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., and *Mycosphaerella* sp. were isolated from diseased tissues and identified as harmful to prickly pear cladodes. Pathogenicity testing indicated that these microorganisms cause cladode rot in prickly pear cactus in Morocco. These data illustrate the economic impact of cactus diseases, which can result in significant yield losses. Effective sustainability solutions are consequently necessary to combat these diseases.

Keywords: Cladode rot, *Opuntia ficus-indica*, *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Mycosphaerella* sp.

Introduction

Worldwide, prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) is an important crop in arid and semi-arid regions. Native to South America, it is well adapted to harsh environmental conditions, including drought, poor soils, and high temperatures (Fouque, 1972; Swart *et al.*, 2003; Arba, 2020; Naorem *et al.*, 2024; Tahiri *et al.*, 2025). The value of the crop is undeniable regarding its economic and ecologic functions. Historically, prickly pear has served in Morocco as a boundary around the douras and their fields in rural areas (Poupon, 1975; **Figure 1**) and has played a strategic role in subsistence agriculture (Bouharroud *et al.*, 2016; Habibi *et al.*, 2004).

The ecological significance of *Opuntia ficus-indica* lies primarily in its role in combating desertification and preserving biodiversity (Naorem *et al.*, 2024). Prickly pear plantations help to increase soil organic matter, improve moisture retention, and improve vegetation cover (Neffar *et al.*, 2011; Yous *et al.*, 2023). In contrast, long-term monocultures of conventional crops frequently degrade the soil. Integrating prickly pear crop

into agricultural systems can help reverse this trend by reducing chemical fertilizers and boosting ecological stability (Hassan *et al.*, 2019). Despite its ecological and nutritional significance, this plant encounters various threats from biotic agents, particularly pests and diseases that considerably reduce the crop's yield and profitability (Méndez-Gallegos *et al.*, 2009; Swart, 2009; Bouharroud *et al.*, 2016)

Fungal and bacterial diseases can cause problems to prickly pear cladodes during the pre-harvest and post-harvest stages and can hurt their yields (Ammar *et al.*, 2004; Swart 2009). Different phytopathogenic agents have been reported on cladodes such as *Alternaria tenuissima*, *Alternaria alternata*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Fusarium sporotrichoides*, *Fusarium solani*, *Diplodia opuntiae*, *Phomopsis cacti*, *Pseudocercospora*, *Phyllosticta concava*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium lunatum* and *Curvularia lunata* (Farr *et al.*, 1989; Fisher *et al.*, 1994; Swart and Kriel, 2002; Ammar *et al.*, 2004; Quezada-Salinas *et al.*, 2006; Flores-Flores *et al.*, 2013).



Figure 1. Prickly pear plants used as borders of agricultural fields in Morocco.

The main symptoms are cactus anthracnose, charcoal spot, dry rot, foot rot, scorch or sunscald, soft rot, root rot, and stem rot, which cause considerable economic losses (Raabe and Alcon, 1968; Cacciola and Magnano, 1988; Varvaro *et al.*, 1993; Carballo *et al.*, 2000; Granata and Sidoti, 1997; Swart and Kriel, 2002). This study aims to isolate and identify the causal agents and their pathogenic capabilities affecting prickly pear in the Souss-Massa region of Morocco.

Material and methods

Plant material and isolation

Infected cladodes were collected from prickly pear with rot symptoms in the Souss region, Morocco. The iso-

lation was carried out according to protocol described by Quezada-Salinas *et al.* (2006) with modifications. Tissue pieces of 0.5 cm^2 were cut on cladodes and disinfected with 1.5% sodium hypochlorite (NaClO) for 1 min 30s. Then, they were washed three times with sterilized distilled water and dried using sterilized paper towels. The pieces were plated onto potato dextrose agar (PDA) plates and incubated at $26 \pm 2^\circ\text{C}$ for ten days. Dishes were daily inspected and the colonies found were isolated, and maintained separately in PDA plates. For the identification of fungi, the mycelial discs (5 mm) of each isolate were placed in the center of Petri plates containing PDA. For morphological characterization, the description of mycelia and spores was carried out by considering taxonomical keys according to the literature (Ellis, 1971; Sutton, 1980; Leslie and Summerell, 2006;

Table 1. Morphological identification of the fungal isolates obtained from cladodes of prickly pear.

Symptoms	Pigment in PDA medium	Mycelium (colony and texture)	Spores (color and shape)	Identification
Circular spot	Brown-black	Grey. Nonaerial	Medium brown ellipsoidal	<i>Alternaria</i> sp.
Yellowing of the cladode	Rose-red	white cream mycelium	Microconidia, Macroconidia and chlamydospores	<i>Fusarium</i> sp.
Pad spots	dark brown	-	Conidia were oval and 0-2 septate	<i>Mycosphaerella</i> sp.



Figure 2. Symptoms of *Alternaria* on a cactus plant.

Domsch *et al.*, 2007; Simmons, 2007).

Pathogenicity tests

The isolated fungi were used for pathogenicity tests. Healthy cladodes were washed and disinfected as already mentioned. 20 µl of the fungal suspension (10^5 conidia/ml) from a 7-day-old culture, was poured into a whole (5-mm-diam.) made by a sterilized cork borer in the desired plant organ. Control treatments were inoculated with distilled water only. The inoculated plant materials were kept in plastic moist containers with moistened cotton to maintain high humidity. Disease incidence for cladodes was determined 10 days after inoculation. To confirm Koch's postulates, fungal isolates that showed any symptoms of pathogenicity were re-isolated from the margins of the lesion on PDA. The fungus colonies obtained were purified by serial dilutions and later monosporic cultures were done (Swart *et al.*, 2003 and Flores-Flores *et al.*, 2013).

Results

Fungal isolation and identification

Disease incidence in the Souss-Massa area indicates its widespread occurrence. Infections initially begin at the top of cladodes, appearing as brown to dark brown spots on one side of the affected tissues. The spots are distinctly zoned at first, but they gradually enlarge until they encompass both sides of the cladodes, which eventually become rotted, cracked, or die. The percentages of natural infection vary significantly depending on the types of prickly pear. Three different fungi, *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., and *Mycosphaerella* sp. were isolated, being *Alternaria* sp. and *Mycosphaerella* sp. the most frequently found, while *Fusarium* sp. was the less frequent.

Alternaria sp.

The fungus *Alternaria* sp causes golden spot disease known as Mancha de Oro in Mexico (Figure 2).



Figure 3. Symptoms of *Mycosphaerella* sp. on a cactus pad.

It is present in many countries that grow cactus pears, including Italy, Mexico, and South Africa. On the PDA medium, the fungus displayed dark, simple, relatively short, or elongated conidiophores that bear a simple or branched chain of conidia. Conidia are typically dark, featuring both cross and longitudinal septa. The conidia can exhibit various shapes, ranging from obclavate to elliptical or ovoid. A characteristic symptom is a slightly raised, circular, or irregularly shaped spot. The dark green underlying tissue lightens to a greenish hue, and the spot turns golden. As the disease progresses, the dark-centered spots are surrounded by yellow crusts, while the remaining area stays yellow (Granata and Sidoti, 1997).

Fusarium sp.

Fusarium sp. is the causal agent of *Fusarium* wilt. It has been reported in Mexico (Gutierrez, 1992). it is characterized by a yellowing of the cladodes, which ends with browning and death plant. On PDA medium, *Fusarium* colonies are fast growing, rose-red, but may start as white. *Fusarium* produces sparse to abundant, white cream mycelium. It produces oval Microconidia. Macroconidia have three to four septa on average, which are slightly curved. They are also wide and thick-walled and may have a slightly blunted apical end. Microconidia are abundant, oval to kidney-shaped and formed in false heads on very long mono phialides. *Fusarium* sp. also produces chlamydospores. Prevention is the most effective control measure such as avoiding the use of infected soil and infected plant propagation material for cultivations.

Mycosphaerella spp.

The genus *Mycosphaerella* poses a severe problem to cacti. This phytopathogenic fungus causes pad spots, which weaken plant tissues and diminish cactus yield and quality (Figure 3). In the advanced stage, little black specks (pycnidia or perithecia) may form in the core of the lesions, indicating fungal reproduction. At 25 °C, the colonies in PDA media were white, dense, and spherical. After one week of incubation, the colonies turned dark

green towards the center. Then they turned into dark brown colonies that were raised in the center, had a wave pattern, and a wrinkled surface.

Pathogenicity tests (*Alternaria* sp.)

The rot on the cactus cladodes was produced by a fungus with a grayish-white aerial mycelium on PDA media. After one week of incubation at $25\pm2^{\circ}\text{C}$, the growth rate was moderate (Figure 4), with a diameter of 5 to 7 cm. Microscopy examination revealed that the mycelium of this isolate is septate, with transverse, longitudinal, and/or oblique septa (Figure 5). Although the structures' shape and size can vary greatly, the conidia are often brown in color and initially oval in shape, with an apex that gradually elongates, eventually resembling a paddle or club shape (Flores-Flores *et al.*, 2013). These findings place the isolate in the Ascomycetes class Dothideomycetes family Pleosporaceae genus *Alternaria*.

Discussion

In worldwide cultivated regions, prickly pear trees are threatened by many diseases such as cladode and fruit rots (Raabe and Alcon, 1968; Granata and Sidoti, 1997; Swart *et al.*, 2003). Its symptoms were already noticeable by the former research (Varvaro *et al.*, 1993; Granata and Sidoti, 1997; 2000; Swart and Kriel, 2002). Our findings showed that prickly pear in Morocco's Souss-Massa region was correlated with *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., and *Mycosphaerella* sp. In the pathology test on cladodes, these pathogens reproduced typical

disease symptoms. These results are comparable to those obtained in other studies (Varvaro *et al.*, 1993; Granata and Sidoti, 1997; 2000; Swart and Kriel, 2002; Ammar *et al.*, 2004). Ammar *et al.* (2004) reported that four different pathogens *A. alternata*, *F. solani*, *B. theobromae*, and *A. niger* were associated with necrosis of cactus pear cladodes in Egypt. The difference in disease incidence and fungi isolated from different countries is traced back to varietal differentiation and/or variation in climatic conditions, as Turner reports (1981). Also, different reports attributed the diseases to varying pathogens. Swart and Kriel (2002) in South Africa, concluded that *Alternaria tenuissima*, *Fusarium sporotrichosis*, and *Lasiodiplodia theobromae* were associated with necrosis of cactus pear cladodes. Similarly, the symptoms were found on both cladodes and fruits caused by *Phialocephala virens*, *Lasiodiplodia theobromae*, and *Fusarium* spp. (Swart *et al.*, 2003). The cactus can be attacked by cactus rust (*Phillosticta opuntiae*) and cactus downy mildew (*Phytophthora cactorum* and *P. omnivora*), particularly in humid areas (Agrimaroc, 2018). The disease can be controlled by pesticides (Chase, 1987; Ammar *et al.*, 2004). However, significant differences among the tested chemicals and the reaction of each pathogen differed from one to another at a particular concentration. The variations obtained among the different fungicides could be attributed to the degree of permeability of the cell, the degree of the resistant action of the fungal cell, and the chemical composition of fungicides (Waard and Ragsdale, 1977; Watkins *et al.*, 1977; Giffin, 1981; Carnegie *et al.*, 1990; Ammar *et al.*, 2004). For the biocontrol of fungi,



Figure 4. Monitoring the *in vitro* progression of *Alternaria* infection on cactus cladodes – Control cladode (Right) and treated cladode (Left).

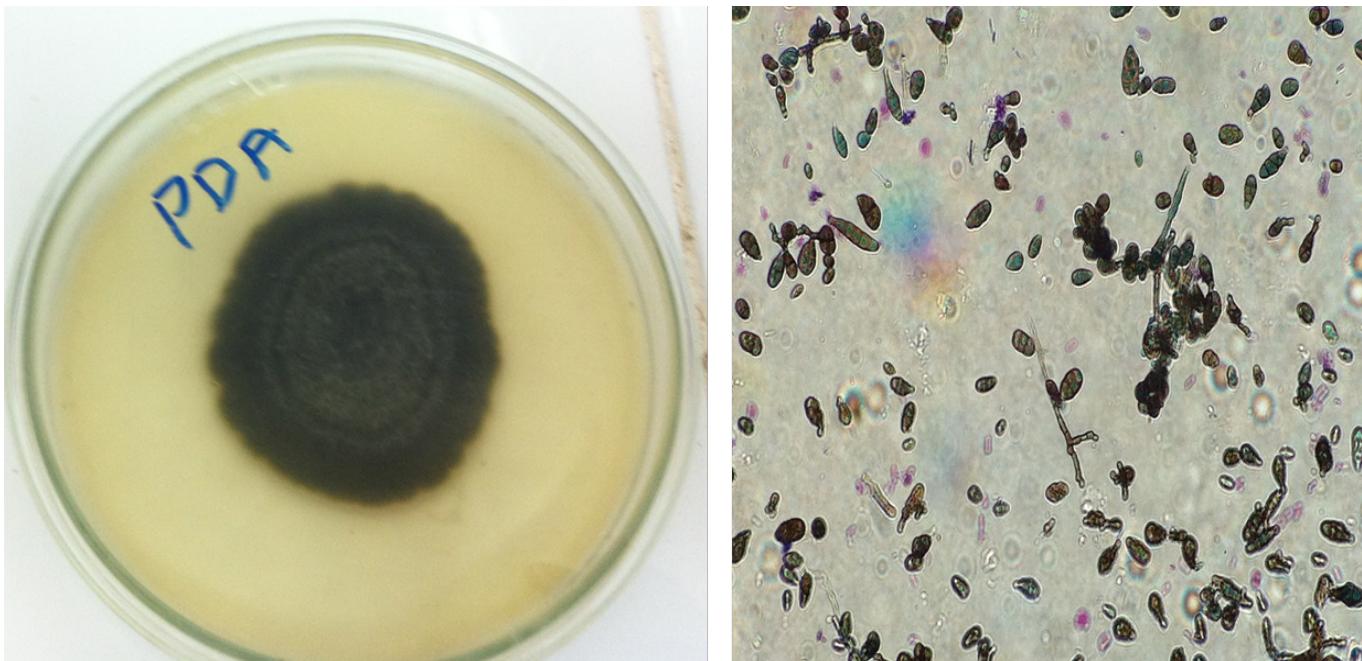


Figure 5. Macroscopic and microscopic aspects of *Alternaria* – Colony morphology on PDA medium and spore structure under the microscope.

chitosan applications diminished the disease incidence caused by *C. Gloeosporioies* and *F. lunatum* (40 and 100%, respectively) (Flores-Flores *et al.*, 2013). These strategies may be useful to protect prickly pear and the services it provides to rural populations. The current study is a starting point towards understanding the fungal diseases in Morocco.

References

- Agrimaroc (2018). Bulletin figuier de barbarie. Transfert de technologie en agriculture: <https://www.agrimaroc.net/2018/05/23/figuier-de-barbarie/>
- Ammar MI, Shltout AM, Kamhawy MA (2004). Cladode and fruit rots of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) in Egypt. *Egypt J Phytopathol* 32:119-128.
- Arba M (2020). The potential of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) as food and forage crop. In Hirich A, Choukr-Allah R, Ragab R (eds), *Emerging Research in Alternative Crops* (pp. 335-357). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-90472-6_15
- Bouharroud R, Amarrague A, Qessaoui R (2016). First report of the Opuntia cochineal scale *Dactylopis opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *EPPO Bulletin* 46(2):308-310.
- Cacciola SO, Magnano DSLG (1988). Foot rot of prickly pear cactus caused by *Phytophthora nicotianae*. *Plant Dis.* 72(9):793-796.
- Carballo S, Peralta S, Wright ER (2000). Stem blight of *Opuntia ficus-indica* in Santiago del Estero and Catamarca provinces of Argentina. *Fitopatología* 35(3):187-190.
- Carnegie SF, Ruthven A, Lindsay DA, Hall TD (1990). Effect of fungicides applied to seed potato tubers at harvest or after grading on fungal storage diseases and plant development. *Ann. Appl. Biol.* 116:61-72.
- Chase AR (1987). Compendium of ornamental foliage plant diseases. American Phytopath. Soc.
- Domsch KH, Gams W, Anderson TH (2007). Compendium of soil fungi. IHW-Verlag, Eching.
- Ellis MB (1971). Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew
- Farr DF, Bills GF, Chamuris GP, Rossman AY (1989). Fungi on Plants and Plant Products in the United States. St Paul, MN, USA, APS Press.
- Fisher PJ, Sutton BC, Petrini LE, Petrini O (1994). Fungal endophytes from *Opuntia stricta*: a first report. *Nova Hedw* 59:195–200.
- Flores-Flores Rosalba, Velázquez-del Valle MG, León-Rodríguez R, Flores-Moctezuma HE, Hernández-Lauzardo A (2013). Identification of fungal species associated with cladode spot of prickly pear and their sensitivity to chitosan. *Journal of phytopathology* 161(7-8):544-552.
- Fouque A (1972). Espèces fruitières d'Amérique tropicale. III, Les cactacées, genre *Opuntia*. *Fruits* 27(3):201-207.
- Giffin DH (1981). Fungal Physiology. John Wiley and Sons., New York, Toronto, and Singapore, 383 pp.
- Granata G, Sidoti A (1996). The appearance of *Alternaria* golden

spot on cactus pear in Italy. III International Congress on Cactus Pear and Cochineal 438.

Granata G, Sidoti A (1997). The appearance of *Alternaria* golden spot-on cactus pear in Italy. *Acta Hort.* 51: 231-237.

Granata G, Sidoti A (2000). Survey of diseases discovered on *Opuntia ficus-indica* in producer countries. IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal 581.

Habibi Y, Heyraud A, Mahrouz M, Vignon MR (2004). Structural features of pectic polysaccharides from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Research* 339(6):1119-1127.

Hassan S, Inglese P, Gristina L, Liguori G, Novara A, Louhaichi M, Sortino G (2019) Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. *Eur. J. Agron.* 105:104-110. doi: 10.1016/j.eja.2019.02.012

Hernández Gutiérrez L (1993). Plagas y enfermedades del nopal en México.

Leslie J, Summerell BA (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual. Ames, IA, USA, Blackwell Publishing Professional.

Méndez-Gallegos SJ, Talavera-Magaña D, García-Herrera EJ (2009). Identificación y control de las principales enfermedades del nopal. *Rev. Salud Pub. Nut.* 2:2-13.

Naorem A, Patel A, Hassan S, Louhaichi M, Jayaraman S. 2024. Global research landscape of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in agricultural science. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 8:1354395.

Neffar S, Fraga-Beddiar A, Redjel N, Boulkheloua J (2011). Effets de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) sur les propriétés du sol et la végétation à Tébessa (zone semi-aride de l'est algérien). *Ecol. Mediterr.* 37:5-15.

Poupon JE (1975). Cactus et ressources fourragères. Note technique et Aménagement des ressources fourragères. Projet PNEUD/FAO. MOR 73-016. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, Division des Productions Agricoles, 21p.

Quezada-Salinas A, Sandoval-Islas JS, Alvarado-Rosales D, Cárdenas-Soriano E (2006). Etiología de la mancha negra del nopal

(*Opuntia ficus-indica* Mill.) en Tlalnepantla, Morelos. Mexico. *Agrociencia* 40:641-653.

Simmons EG (2007). *Alternaria* an Identification Manual. Utrecht, Netherlands. CBS Fungal Biodiversity Centre.

Sutton BC (1980). The Coelomycetes: fungi imperfecti with pycnidia, acervuli, and stromata. Commonwealth Mycological Institute, Kew.

Swart W, Oelofse R, Labuschagne MT (2003). Susceptibility of South African cactus pear varieties to four fungi commonly associated with disease symptoms. *J Prof Assoc Cactus Devel* 5:86-97.

Swart WJ, Kriel WM (2002). Pathogens associated with necrosis of cactus pear cladodes in South Africa. *Plant Disease* 86(6):693-693.

Swart WJ (2009). Strategies for the management of cactus pear diseases: a global perspective. *Acta Hort* 811:207–216

Tahiri A, Ait Aabd N, Qessaoui R, Mimouni A, Bouharroud R (2025). Genetic diversity and breeding of cactus (*Opuntia* spp.). In *Breeding of Ornamental Crops: Potted Plants and Shrubs* (pp. 153-193). Cham: Springer Nature Switzerland.

Turner PD (1981). Oil palm diseases and disorders, Oxford Univ. Press.

Varvaro L, Granata G, Balestra GM (1993). Severe *Erwinia*-caused damage on *Opuntia ficus-indica* in Italy. *Journal of Phytopathology* 138(4): 325-330.

Waard MA, Ragsdale NN (1977). Fenarimol, a new systemic fungicide, Systemic Fungicides. Berlin, Internat. Sympos. Reinhardtsbrunn, Acad. Emie-Verlag, 187-194.

Watkins JE, Littlefield LJ, Statler GD (1977). Effect of the systemic fungicide 4-n-butyl-1, 2, 4-triazole on the development of *Puccinia recondite* f.sp. *tritici* in wheat. *Phytopathology* 67:985.

Yous FZ, Ferradous A, Elgadi S, Mostakim L, Hafidi M, Ouhammou A *et al.* (2023). Effects of the continentality and the age of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L. Mill.) plantations on soil properties along a coastal and continental transect in a pre-saharan region of south-Central Morocco (ait baamrane). *Appl. Ecol. Environ. Res.* 21:869-887.



El aguacate o la vida: percepción social sobre deforestación y cambio de uso de suelo en una comunidad purépecha

Avocado or life: Social perception of deforestation and land use change in a Purépecha community

Sara Ramírez Lorenzo¹, Josefina Cendejas Guízar^{2*}

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Biología; integrante de la Comunidad de San Juan Pamatácuaro

² Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales

Historial

Manuscrito recibido: 10 de junio de 2024

Manuscrito aceptado: 10 de octubre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Josefina Cendejas Guízar

josefina.cendejas@umich.mx

ORCID: 0000-0002-9606-2606

Resumen

El cultivo del aguacate constituye la principal actividad agrícola en el estado de Michoacán, lo que representa que, en términos económicos, ninguna otra actividad productiva pueda competir con ella, al menos en el sector primario. La región idónea para la producción del fruto es conocida como la Meseta Purépecha, zona que hasta hace pocas décadas estaba mayormente cubierta de bosques templados de pino-encino. Las huertas de aguacate han ido avanzando cada vez más rápido, causando la devastación de los bosques, e imponiendo nuevas dinámicas productivas y sociales a las comunidades locales. En este trabajo presentamos resultados de un proyecto de investigación realizado en la Comunidad de San Juan Pamatácuaro, Michoacán, destacando la percepción de diversos grupos de pobladores sobre la problemática, percepción que refleja un claro entendimiento de la misma, pero también, sentimientos encontrados frente a ella: de culpa e impotencia debido a la falta de organización, por un lado, y de preocupación genuina y voluntad de cambio, por el otro.

Palabras clave: cultivo de aguacate, deforestación, organización comunitaria.

Abstract

Avocado cultivation is the main agricultural activity in the state of Michoacán, which means that in economic terms, no other productive activity can compete with it, at least in the primary sector. The ideal region for the production of the fruit is known as the Purépecha Plateau, an area that until a few decades ago was mostly covered by temperate pine-oak forests. Avocado orchards have been advancing more and more rapidly, causing forest devastation and imposing new productive and social dynamics on local communities. In this paper we present results of a research project carried out in the Community of San Juan Pamatácuaro, Michoacán, highlighting the perception of various groups of residents about the problem, which reflects a clear understanding but with mixed feelings: guilt and helplessness due to the lack of organization, on the one hand, and genuine concern and will to change, on the other.

Keywords: avocado cultivation, deforestation, grassroots organization.

Introducción

México es uno de los diez países con mayor superficie de bosques primarios y en donde se registran todos los tipos de vegetación natural conocidos. A pesar de ello, en el país se han señalado sectores vulnerables por los cambios que están sufriendo los ecosistemas forestales, debido a diversos factores. Las principales causas de pérdida y deterioro de la cubierta vegetal son la conversión a tierras para la agricultura y el desarrollo urbano,

pero también la introducción de especies exóticas invasoras, la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación y el cambio climático (CONAFOR, 2013).

La superficie forestal total en el país es de 138 millones de hectáreas que abarca el 70% de todo el territorio nacional (Beltrán, 2016). En Michoacán, los recursos forestales ocupan el 70% de todo el territorio del Estado, superficie que se ha degradado y perdido por desmontes

y crecimiento urbano, lo que constituye hasta el 80% de las causas de pérdida forestal (Hernández, 2020).

Desde la segunda mitad del siglo XX y hasta el presente, debido a la modernización económica y de integración comercial del país, se comenzó a aprovechar las áreas maderables de una manera excesiva, lo que ha generado en muchos casos perturbaciones permanentes. Uno de los ejemplos más graves de ello es Michoacán, que contaba en los años setenta con 1,811,232 ha de bosque templado y que en los noventa se redujo a 474,216 ha. Esto es, que en poco más de veinte años se perdieron 1,333,500 has. Entre las causas que han intervenido en ello están el cambio de uso de suelo, la conversión a praderas, cultivos agrícolas, así como los incendios forestales y la tala irracional (COFOM, 2007).

El cultivo de aguacate en México es de gran importancia para el estado de Michoacán. En la década de 2000-2010 las áreas de este cultivo aumentaron en el país de 95 mil a 134 mil ha. Se calcula que este proceso representa una pérdida de bosques de 690 ha anualmente (INIFAP, 2012). El impacto de pérdida de biodiversidad en el desarrollo humano es grave, y más severo aún en las regiones donde las comunidades rurales con escasos recursos económicos dependen de manera directa de los recursos naturales, ya que desestabiliza su sobrevivencia y su bienestar social (CONAFOR, 2013).

En la Meseta Purépecha la pérdida de bosque es evidente y ha sido muy severa en los últimos años. En ello ha influido el cambio de uso de suelo para cultivo, como es el caso de la producción del fruto del aguacate, que se ha extendido a casi todo Michoacán, con pérdidas de bosque irreversibles (Ordóñez *et al.*, 2001). En esta zona, que tiene un clima con predominancia húmeda, con un buen temporal de lluvias, se encontraban las extensiones de masa forestal más importantes del estado. Es ahí donde se localiza la comunidad de San Juan Pamatácuaro, orgulloso pueblo Purépecha, lugar donde hace apenas quince años los cerros estaban revestidos de verde bosque.

En la comunidad, el cambio de uso de suelo ha tenido un papel muy importante en los últimos años, devastando las áreas forestales de una manera drástica e incontrolable. A pesar de que esta zona sigue teniendo áreas forestales extensas, la compra y venta de terrenos comunales ha ido en aumento, con compradores pertenecientes a localidades externas que ocasionan conflictos entre los mismos comuneros por evitar el cambio de uso de suelo en zonas que conforman el Cerro Grande o *Juata K'ere* (llamado así por los pobladores).

A través de los años y en épocas recientes, la falta de orden y responsabilidades claras ha desatado descontrol

y caos en toda el área comunal, dando como resultado la venta de terrenos comunales a personas ajenas. Por otra parte, también ha aumentado el aprovechamiento excesivo de la madera forestal sin control alguno. Paralelamente, desde hace algunos años se ha integrado de forma creciente la producción del aguacate en la zona. Sin control y sin un reglamento por cumplir, se arrasan áreas extensas de bosque para la producción de este fruto, comenzando en las áreas bajas de la comunidad. Ahora que esas áreas están repletas de huertas, se comienzan a invadir los bosques que están más cerca del pueblo. También, se están invadiendo las áreas más altas con bosque que conforman el Cerro Grande, la tercera montaña más alta del estado de Michoacán, con una altura de 3,500 msnm.

Al escuchar a personas locales que han percibido los cambios con el paso de los años, se detectó que existen pequeñas posibilidades de que, al obtener y compartir información sobre el problema, surjan alternativas para comprender y afrontar el cambio ambiental que está ocurriendo, no solo en la comunidad, sino fuera de ella. En particular, las personas mayores aún creen poder influir en la manera en que los pobladores ven a sus recursos naturales, “que no están ahí por el simple hecho de estar, sino que existen a través de procesos que se han ido creando durante muchos años.”

La investigación realizada tuvo como propósito conocer la percepción social de los pobladores de la comunidad sobre el problema de la deforestación de sus bosques, y saber si están dispuestos a realizar cambios en conjunto, en torno a la problemática que, desde hace unas cuantas décadas, está destruyendo parte de la riqueza natural de toda la zona purépecha. El propósito central fue considerar las posibilidades de aplicar el Manejo Forestal Comunitario (Merino y Martínez, 2014; Madrid, 2016; Hernández, 2020) con las condiciones necesarias para su realización en la Comunidad de San Juan Pamatácuaro. Se recolectó información precisa de los pobladores para conocer cómo perciben las actividades que se realizan en las áreas, así como los cambios a gran escala que se están causando con el avance de las huertas de aguacate, y, sobre todo, para identificar posibles alternativas que encaminen a la población a entender la relación directa que tienen con el estado de las áreas forestales. En este artículo abordaremos los siguientes objetivos:

1. *Conocer la percepción de los pobladores y autoridades comunales acerca de las causas de la perturbación de sus bosques y las posibles alternativas para revertirla.*
2. *Contribuir a mejorar la comprensión de la comunidad*

sobre los procesos de cambio ambiental, las causas de la pérdida de los bosques y el manejo forestal comunitario.

En cuanto a los resultados, se presentan los relativos al *Taller sobre Conservación y Manejo Comunitario del Bosque*, que se llevó a cabo el 21 de junio de 2022 en la Comunidad de San Juan Památcuarro, y algunos testimonios adicionales derivados de entrevistas a profundidad.

Enfoque teórico-metodológico

Percepción social del cambio ambiental y aprendizajes asociados a ella

Existe una estrecha relación del medio ambiente con los procesos sociales y económicos de las sociedades humanas, por lo que algunos autores han sostenido que la problemática ambiental es de naturaleza social antes que natural (Maass, 2019). Mediante este enfoque, surge la necesidad de emprender estudios que busquen conocer y analizar las características de los actores y sectores sociales cuyas acciones y decisiones repercuten directamente en el mantenimiento de los bienes y servicios que los ecosistemas brindan a las sociedades (Castillo *et al.*, 2007).

Los estudios de percepción social del ambiente explican la manera en cómo las sociedades, poblaciones o ciudades, le dan sentido a todo lo que les rodea en referencia a los paisajes cambiantes a lo largo de todo el mundo, complementándose por experiencias y preconcepciones, coloreadas por los gustos y las preferencias, moldeadas por la memoria y el olvido, que guían sus juicios y acciones ambientales (Tábara, 2001). La percepción proporciona a las personas las bases para conocer la tierra y su entorno inmediato, para realizar sus actividades, dirigiendo y regulando los diversos aspectos que constituyen su vida diaria (Flores y Herrera, 2010).

La percepción que se obtiene de las personas al ser entrevistadas acerca de alguna problemática ambiental a nivel local con relación de los recursos naturales, puede contribuir a entender la problemática ambiental, y a mejorar las acciones que el estado requiera para una participación efectiva y comprometida de los propios actores locales. Asimismo, es importante conocer y comprender el contexto de cada situación de sobreexplotación de los recursos, ya que ello es la base para explorar posibilidades de construir relaciones de confianza, cooperación, y solidaridad entre los pobladores que comparten algún recurso (Merino y Martínez, 2014).

Cocidimos con García *et al.* (2015), que: “La percepción es la acción y efecto de percibir, así como la sensación interior que resulta de una impresión material hecha en nuestros sentidos que deriva en el conocimiento generado en las personas” (García, *et al.* 2015). La percepción de las sociedades no solo es percibir pasivamente estimulaciones, sino es seleccionar, formular hipótesis, decidir, procesar la estimulación; eliminando, aumentando o disminuyendo distintos aspectos. Todo proceso resulta afectado por el aprendizaje, la motivación, la emoción y todo el resto de las características permanentes o momentáneas de los sujetos o de las personas (Salazar *et al.*, 2012). Para hablar de la percepción de una población, ocurre un proceso donde se extrae información, conocimiento, aprendizaje y un pensamiento profundo dependiendo del tipo de situación en el que uno se encuentre. A través de la percepción, se forman referencias que se construyen por medio de las experiencias vividas de las personas. Se percibe a través de los sentidos, lo que otros no alcanzan a percibir, por lo que es común ver o escuchar lo que de forma emocional queremos o para lo que estamos preparados, dado que la percepción no puede deslindarse de la personalidad, se obtiene todo directamente de las circunstancias que se viven y experimentan (Flores y Herrera, 2010). Para los fines de esta investigación asumimos también que “la percepción de las comunidades se considera como la actitud positiva o negativa de alguna actividad socio ambiental o socioeconómica dentro de una misma comunidad” (García *et al.*, 2015). Lo anterior puede conducir a generar mejores o peores respuestas de las comunidades ante riesgos y amenazas que les afecten, dependiendo del nivel de acuerdos que puedan tomar a partir de una visión compartida (Puy y Aragónés, 1997).

Enfoque de diálogo de saberes como estrategia de educación socio-ambiental

El estudio y manejo de los sistemas socioecológicos ha abierto la puerta a otras epistemologías, de las que se derivan nuevas formas de construir, compartir y socializar el conocimiento (Maass, 2019). En primer lugar, el reconocimiento de la complejidad de los problemas socioambientales ha obligado a que su estudio traspase las fronteras disciplinarias, para dar lugar al enfoque transdisciplinario. En la práctica, esto significa que los problemas de investigación y los conceptos para abordarlos se construyen de manera interactiva, generando un espacio compartido de teorías, enfoques metodológicos y apuestas para la acción. De hecho, el conocimiento se produce incorporando de manera importante los saberes locales y empíricos, en una relación de respeto

mutuo y colaboración. A esto se le ha llamado “diálogo de saberes” desde la antropología, haciendo énfasis en la importancia de la interculturalidad. De manera similar, Boaventura de Sousa Santos habla de la necesidad de una “ecología de saberes” para descolonizar las ciencias, desde lo que él ha llamado “epistemologías del sur” (Sousa Santos y Meneses, 2014).

En el caso que nos ocupa, se conjugan muchos de los elementos que justifican la elección del diálogo de saberes. En primer lugar, la problemática forestal abordada se ubica claramente en un socioecosistema, donde las actividades humanas juegan un papel innegable tanto en la destrucción como en la conservación del ecosistema. En segundo lugar, la comunidad de estudio se reconoce a sí misma como purépecha, lo cual agrega una dimensión más a la complejidad, a saber, la de la diversidad cultural.

De esta forma, mediante el reconocimiento de la percepción social sobre la problemática ambiental, y el ejercicio de un diálogo de saberes entre los actores (donde participan varias generaciones) y entre éstos y miembros de la academia, se logra tener un conocimiento más preciso y pertinente de la realidad, para decidir los cursos de acción pertinentes. Creemos que este enfoque puede aportar mucho a la teoría y práctica de la educación ambiental para la sustentabilidad, yendo más allá de una concepción meramente pedagógica, hacia una epistemología descolonial y transformadora.

Metodología

La estrategia metodológica del estudio consistió en una combinación de sondeo, diagnóstico comunitario e investigación acción participativa. El método principal para esta investigación es el de sondeo de tipo cualitativo, para ello se realizó un acercamiento con las personas de la comunidad. Posteriormente, se aplicó un cuestionario a un número significativo de personas para obtener información sobre cómo ven la situación y qué estarían dispuestos a hacer para afrontar esta problemática, tanto en relación con una mejora en su economía familiar, como al bienestar de la comunidad y de su bosque. Se realizaron además entrevistas a profundidad, identificando a personas claves en el pueblo, que asumen un liderazgo y responsabilidad ante la sociedad. Asimismo, se realizó un Taller participativo en el que se compartió información relevante con la comunidad sobre el manejo del bosque. Se aplicaron preguntas –usando la técnica de “Cuestiones de sobrevivencia” de la IUCN (1997)–, a manera de *focus group* para conocer sus percepciones sobre la problemática, las alternativas y la disposición

de la comunidad para aplicar el manejo forestal comunitario.

Por otra parte, para conocer las condiciones de los bosques comunitarios, se realizó una búsqueda de referentes cartográficos, mismos que se tomaron como base para identificar el alcance de los daños y el potencial que aún existe para implementar un plan de manejo forestal en la comunidad.

Contexto socio-territorial

En la región Purépecha del estado desde los años setenta han existido los movimientos indígenas con causas diversas, la mayoría relacionados con la defensa de sus territorios. El que dio inicio fue el de la Unión de Comuneros Emiliano Zapata (UCEZ) en la comunidad de Tingambato, que después se extendió a otros municipios y comunidades. En los noventa, en Cherán por la tala excesiva clandestina se constituyó el Frente Independiente de Comunidades Indígenas de Michoacán (FICIM) y el Frente Independiente de Pueblos Indios (FIPI-Michoacán) surgiendo así la Organización Nación Purépecha (ONP) –movimiento que defendía la propiedad comunal– y se inició así una etapa de organización y lucha por los intereses propios de las comunidades, que además de la autonomía, incorporaba una visión de conservación y protección de los recursos naturales (Pérez y Díaz, 2013). Las comunidades agrarias son las comunidades con más proporción de tierras forestales en estado de conservación, con un 69% del territorio con bosque en México. Las poblaciones de estos territorios comunitarios tienen fuerte sentido patrimonial y de identidad (Merino y Martínez, 2014; Hernández, 2020).

En 2011, comuneros del Municipio de Cherán se organizaron y levantaron en armas para la defensa de sus bosques de la tala clandestina, realizada por grupos identificados como parte del crimen organizado. Además de luchar contra el saqueo del bosque comunal, los comuneros buscaban detener la ola de secuestros, extorsiones y otros delitos violentos que asolaban a la comunidad, detonándose un movimiento de autoprotección liderado inicialmente por las mujeres. Después de unos meses, el movimiento derivó en la conformación de una estructura permanente de seguridad y vigilancia en contra de las acciones represivas de los talamontes y demás grupos de crimen organizado (Pérez y Díaz, 2013). En 2012 se logró la recuperación de algunas zonas con pérdidas de hasta 74% de cobertura forestal (España-Boquera y Champo-Jiménez, 2016).

No todas las comunidades de la Meseta Purépecha han realizado movimientos de este tipo; muchos, ante estas situaciones, prefieren hacer a un lado la problemática y

seguir con sus actividades cotidianas. En algunos casos, las personas incluso forman parte de las actividades en contra de la conservación y el desarrollo forestal sustentable. Elementos como la falta de empleos y la pobreza ha ocasionado que los dueños de los bosques se vean obligados a elegir entre la sustentabilidad económica o la sustentabilidad ecológica de sus bosques.

Un caso notable y ejemplar es la de la comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, asentada en un territorio boscoso de gran biodiversidad, que considera a los recursos forestales como el sustento más importante de sus medios de vida. Mediante una organización comunal, el establecimiento de una industria de transformación, reinversión de utilidades y capacitaciones, esta comunidad indígena realiza actividades productivas que generan empleo y a la vez conservan los bosques (Ordóñez *et al.*, 2001).

Problemática forestal en la comunidad de San Juan Pamatácuaro

Durante muchos años la comunidad había podido mantener una relación armoniosa con los abundantes recursos que el bosque les ofrecía, manteniéndose como una de las zonas forestales mejor conservadas en la región purépecha (**Figura 1**). Además, eventualmente ha contado con algunos proyectos que llegaron a la comunidad para el apoyo de las familias y para el buen manejo de los recursos forestales. En 1995 se implementó un plan de manejo forestal que consistió en el aprovechamiento forestal involucrando a las autoridades y a los comuneros, incluyendo la construcción de instalaciones para procesar la madera. Este proyecto se abandonó, de

acuerdo a algunos informantes, por inefficiencia y corrupción, tanto de autoridades como de algunos comuneros involucrados.

El “Parque Ecoturístico Pamatácuaro” fue otro de los proyectos gestionados para la comunidad por parte de Instituto Nacional Indigenista (INI) en el año de 2015. A través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) se obtuvieron recursos para reforestar 120 hectáreas en 2016 y 60 hectáreas en 2017. También hubo programas de pago por servicios ambientales, con empleos temporales para realizar acciones como brechas corta fuego y aclareos, en las áreas forestales pertenecientes al pueblo. Sin embargo, por la poca organización comunitaria, y por malos manejos de los líderes que la comunidad ha tenido en el transcurso de varios años, muchos de los proyectos y apoyos que la comunidad recibía, se quedaron en el camino o simplemente solo llegaron a algunas personas. Es así que desde el año 2019 no ha habido ningún tipo de apoyo por parte de los programas federales o estatales.

Sandoval-Contreras (2019) menciona que en San Juan Pamatácuaro la interrelación del bosque con los comuneros es regulada por acuerdos locales para su uso y explotación, derivados de sus usos y costumbres. Como comunidad indígena se esperaría que la explotación del bosque fuera en forma de organización colectiva, pero en los hechos el aprovechamiento es individual, no colectivo. Con 8,000 ha de uso forestal, el territorio se encuentra dividido en dos partes: parcelas con un máximo de 17 ha pobladas de pino-encino y el área comunal. Según este autor, no se puede hablar de un total de hectáreas parceladas porque no existe una delimitación perimetral y parcelación vigente, ya que algunas

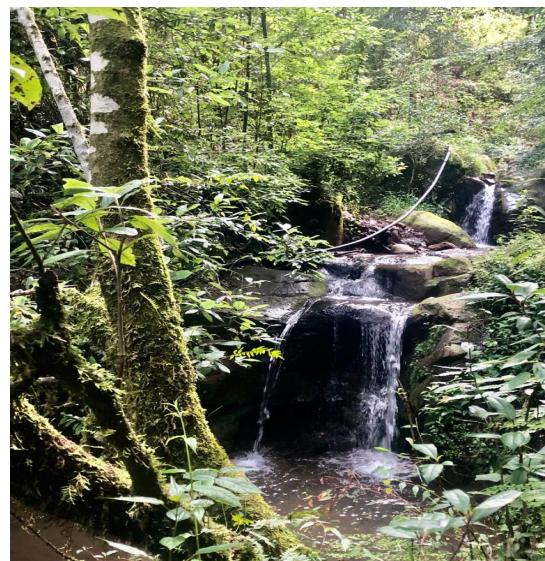


Figura 1. La riqueza del paisaje de Pamatácuaro. Fotos: Sara Ramírez Lorenzo

delimitaciones entre los espacios parcelarios y áreas de uso común son producto de compra y venta de parcelas (Sandoval-Contreras, 2019). Derivado de lo anterior, no se cuenta con un manejo estable de los terrenos comunales por la mala organización de las autoridades actuales y las administraciones anteriores. Así, las personas y los comuneros se han acostumbrado a manejar sus tierras de la manera en que más les convenga, beneficiándose solo unos pocos y aprovechándose de personas que aún respetan la manera tradicional para delimitar sus parcelas y los acuerdos de sus ejidos. En la **Figura 2** puede apreciarse cómo el cambio de uso de suelo afecta la integridad del bosque comunitario.

Las áreas forestales en la comunidad sirven para el aporte de materia prima para la producción de artesanías de madera, que ha sido uno de los trabajos con los que la gente del pueblo se sostenía desde décadas atrás, destacando por su originalidad y buena manufactura. En la actualidad, la elaboración de las artesanías se ha hecho a un lado, aunque no totalmente, debido a la baja demanda. En contraste, la extracción de madera de los bosques de la zona ha ido aumentando en los últimos años para su venta a comunidades externas al pueblo, con el fin de obtener dinero de manera rápida. Se ha llegado incluso

a talar áreas donde hay árboles que no llegan a etapas juveniles, mucho menos a etapas adultas o maduras. Por la falta de vigilancia y coordinación con las autoridades, se ha dejado entrar a gente extraña a los bosques comunales, a talar de una manera ilegal, sin respetar ningún tipo de terreno comunal y sin considerar que el bosque es el ecosistema clave para la supervivencia de toda la comunidad.

Por otra parte, lo que más ha acelerado el corte de madera en estas zonas es el cambio de uso de suelo para la producción del cultivo del aguacate, que, en todo Michoacán, se sigue extendiendo, por los altos precios que alcanza en el mercado; de ahí que toda la gente quiera producirlo. En los últimos quince años, la producción del aguacate en toda la zona está muy demandada y en el pueblo se han ido sustituyendo sin restricción las áreas de bosque por las huertas, pese a que algunas de las áreas por diferentes factores ambientales no son aptas para la producción de plantas de aguacate (Hernández, 2020). Esto ha conducido al abandono paulatino de actividades tradicionales relacionadas con un aprovechamiento sustentable del bosque, tanto en cuanto a recursos maderables como no maderables (**Figura 3**).



Figura 2. Avance de la deforestación por cambio de uso de suelo. Foto: Sara Ramírez Lorenzo.



Figura 3. Usos productivos tradicionales de los recursos forestales en Pamatácuaro. Fotos: Sara Ramírez Lorenzo

Resultados

En este artículo presentaremos los resultados relativos al *Taller sobre Conservación y Manejo Comunitario del Bosque* que se llevó a cabo el 21 de junio de 2022 en la Comunidad de San Juan Pamatácuaro, complementados con algunos testimonios derivados de entrevistas previas. El taller tuvo una duración de 5 horas y contó con la participación de 45 personas de la comunidad (**Figura 4**).

En la primera parte se realizaron varias ponencias temáticas por parte de investigadores de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y algunos jóvenes profesionistas locales; en la segunda, se llevó a cabo el *focus group*, dividiendo a los asistentes en varios grupos para facilitar su participación. A continuación se presenta una síntesis de las respuestas obtenidas a partir del cuestionario “Preguntas de sobrevivencia” diseñado de la IUCN. Los testimonios y respuestas de las y los participantes se presentan en cursivas.

PREGUNTA 1: CAMBIO

¿En qué formas han cambiado nuestros bosques?

Nuestros bosques antes rodeaban cada parte de la comunidad dentro y fuera con hectáreas grandes. En la actualidad cada vez están cortando más árboles, para venta al exterior sin beneficio de ningún tipo para la comunidad, solo para el vendedor particular.

¿Cómo continúan cambiando las cosas?

Las cosas siguen cambiando al paso de los años, lentamente pero con un tremendo cambio del paisaje en cada rincón |del pueblo, y no se diga en sus caminos hacia los predios pertenecientes al pueblo.

¿Cuáles son las dinámicas y las causas de los cambios que presenciamos hoy?

Mucha gente menciona que la causa de los cambios en el cuidado del medio ambiente fue la falta de empleos en la comunidad.



Figura 4. Taller realizado en Pamatácuaro con integrantes de la comunidad. Foto: Josefina Cendejas Guízar

PREGUNTA 2: PROBLEMAS

¿Qué problemas han resultado de los cambios, y cuáles han existido siempre?

- En relación al bosque
- En relación al medio ambiente en general
- En relación a la organización de la comunidad

Los problemas que han resultado a través del tiempo son el cultivo del aguacate en la zona principalmente y la ambición de dinero por algunos comuneros, lo que ha existido siempre es la tala inmoderada de los bosques, que en la actualidad se ha ido de la mano con el cambio de uso de suelo que nos está afectando de una manera alarmante a toda la zona, junto con falta de interés por parte de la mayoría de la población.

PREGUNTA 3: SOMOS AFECTADOS

¿Cómo están siendo afectados nuestros bosques por otros, sin que tengamos ningún control sobre ello?

En pocas palabras nuestros bosques están siendo arrasados con todo por la gente que no pertenece a la comunidad, por el simple hecho que ellos no tienen esa sensibilidad y porque no le dan el valor que tienen, y todo a causa de la venta de terrenos comunales por el simple hecho de recibir grandes cantidades de dinero.

¿Quién y en qué forma? ¿Qué beneficios obtiene de ello? ¿Sabe del daño que provoca?

La gente viene a la comunidad a explotar y a contaminar uno de nuestros recursos más valiosos

que es el suelo y el agua, a través de la venta o renta de terrenos con el fin de hacer el cambio de uso de suelo. Aparte de que lo aprovechan de esa manera ellos se llevan millones y millones de pesos por año del aprovechamiento excesivo de nuestros recursos. Y la comunidad sin ningún tipo de beneficio...con el paso de los años, el agua comenzará a escasear más y los suelos se irán contaminando, poniendo en riesgo a la misma población.

¿Nos beneficiamos indirectamente también? ¿Cuál es el balance de costos y beneficios?

Cabe mencionar que de acuerdo a testimonios, la comunidad también ha tenido algunos beneficios derivados de esos cambios, con la oferta de más trabajo para los hombres y con una entrada de dinero que beneficia a todos, pues se gasta en el mismo pueblo. Sin embargo, reconocen que no han pensado en el daño que hacen a la naturaleza.

¿Está la situación realmente fuera de nuestro control? ¿Cómo podríamos tener más control sobre ella?

La situación sí está un poco fuera de control por el simple hecho de que está totalmente dividida la comunidad, no como hace algunos años, pero aun está corrompida por partidos políticos y un poco por la religión. La única solución es dejar estos prejuicios por un lado y seguir uniéndonos por acciones buenas, no solo en temas del medio ambiente sino en todo lo demás.

PREGUNTA 4: SOMOS RESPONSABLES

¿Cómo estamos afectado la vida de otra gente?

Estamos afectando nuestra propia vida al no poner en primer plano la estabilidad emocional y la estabilidad que necesita la naturaleza que le demos nosotros por el simple hecho de estar en un mismo lugar. Y eso conlleva la estabilidad o la no estabilidad de cada uno de nosotros al conformar una población.

¿Cómo nuestras acciones conducen, directa o indirectamente a la degradación del ambiente?

Cada una de las acciones que realizamos los seres humanos por naturaleza, conllevan una parte de sensibilidad por nuestro entorno, ya sea porque vivimos cerca o porque tenemos poca sensibilidad por lo que alguna vez hemos visto, de ahí parte que desde años atrás nuestros antepasados nunca pensaron en degradar, lastimar o dañar parte de la naturaleza. En

la actualidad toda la tecnología nos ha separado de ese lado humanitario que teníamos y cada una de las acciones que las personas realizan termina igual: en afectarnos a nosotros mismos porque vivimos en un mismo entorno.

¿Cómo podemos cambiarlas, para reducir o eliminar los efectos dañinos en otras comunidades y personas?

Para poder realizar cambios en las comunidades hace falta una buena organización, donde encabecen personas de todos los ámbitos que llenen de conocimiento cada uno de los retos que se pudieran presentar, y culminar con una buena organización comunal para poder avanzar con lo que se quiere hacer. La unión hace la fuerza, y nunca dejar la sensibilidad humanitaria que nos pertenece a cada uno de nosotros.

¿Cómo necesitan cambiar los demás (gobierno, aguacateros, etc.) para ayudarnos a causar menos daño?

El gobierno en este caso debería de acercarse más a las comunidades rurales, que somos las que estamos más apegadas a este tipo de problemas en todo el país, siempre estar presentes y apoyar a las familias a salir adelante, dándoles un valor único por el arte y las artesanías que la mayoría saben hacer.

Los aguacateros en este caso deben ser menos egoístas, tienen que ser conscientes del daño que se está haciendo al ambiente, y después de ahí tomar acciones para que ellos junto con la comunidad puedan equilibrar ese manejo de los recursos de la comunidad.

Los troceros, que busquen alternativas de trabajo para no solo estar dependiendo del corte de árboles, porque ellos mismos ya se acabaron todos los tipos de árboles maduros que había en nuestros bosques y ahora el bosque necesita un respiro para comenzar con su regeneración.

A la población en general, siempre levantar la voz, nunca quedarse callados ante un aprovechamiento indebido de las áreas de bosque.

PREGUNTA 5: CONOCIMIENTO

¿Quién sabe lo que necesitamos saber sobre la situación de nuestros bosques?

Todos tenemos la responsabilidad de saber, e incluso las mismas personas presentes sabemos con total claridad lo que está sucediendo en la comunidad. A lo mejor con los enfoques no muy claros por no saber mucho del tema,

pero sí estamos claros en saber que tales actividades que se están realizando en Pamatácuaro no nos están favoreciendo como se debería.

¿Quién tiene conocimientos en el nivel de la comunidad?

Todas las personas pertenecientes a la comunidad, las de mayor edad, son las que aún tienen conocimiento en cada una de las situaciones que pasó y que está pasando la comunidad en la actualidad, y (pueden aportar) ahora con la problemática ambiental por la que se está viviendo.

¿Qué instituciones tienen la información y los expertos que podrían ayudarnos a saber más?

Todas las dependencias que podrían ayudarnos con orientación están distanciadas de las comunidades como nosotros, necesitamos que los que se especializan en cada una de las problemáticas en este caso ambientales, estén presentes en las localidades que están luchando el día a día con estos cambios. Con su ayuda sabremos un poco más cómo lidiar o cómo sobrellevar la situación hacia un mejor camino para el bienestar mutuo de todas las comunidades.

PREGUNTA 6: COMUNIDAD

¿Quién más comparte nuestros problemas o tiene otros similares?

Todas las comunidades ya sea de la meseta purépecha o de todo el estado están padeciendo algún tipo de problemática ambiental y esto es muy grave.

¿Quién más está amenazado por el mismo problema?

Todas las comunidades en este caso con áreas forestales están amenazadas de alguna o de otra manera. En cómo se está aprovechando su recurso, porque lo que no estamos viendo a largo plazo es qué vamos a hacer cuando el recurso se termine.

¿Podemos aprovechar la experiencia de los que ya han pasado por situaciones similares?

Sí podemos aprovechar cada una de las experiencias que algunas otras comunidades han tenido que padecer hasta con muerte de personas, para poder tomar acciones para un buen manejo de sus recursos, porque al final se tiene un beneficio para todos los habitantes.

¿Qué acciones se pueden tomar de forma comunitaria, mejor que individualmente?

La comunidad se tiene que organizar a la de ya. Se tienen que comenzar a realizar acciones de cualquier tipo como algún Consejo comunal en forma, porque en la comunidad ya no existe un Consejo. Faenas comunitarias como las que se han llevado a cabo, pero más en forma, con una coordinación aún más seria y con la participación y unión de toda la comunidad.

PREGUNTA 7: VALORES

¿Cuáles son nuestras aspiraciones? ¿Tenemos un modelo a seguir o alcanzar? (visión)

Primero que nada necesitamos ubicarnos u orientarnos totalmente como personas y con el papel que jugamos cada uno de nosotros en nuestra comunidad.

¿Cómo queremos estar en el futuro, en relación con nuestros bosques, nuestro medio ambiente y nuestra vida en comunidad?

Todos quisieran seguir dependientes de las cosas fáciles que la tecnología nos ha mostrado hasta estos días. Pero ese no es el sentido que tenemos que darle a la vida que estamos pasando aquí en la tierra. Necesitamos levantar la cabeza, mirar qué tenemos a nuestro alrededor, contemplar lo hermoso y admirar cada una de las pequeñas cosas que nos regala la naturaleza, que al final estamos conectados (a ella) de manera inigualable, porque somos uno mismo.

¿Cuáles son los valores que nos identifican como comunidad, que se han ido perdiendo y que podríamos rescatar?

Los valores que nos identifican como seres humanos y como seres dependientes de la naturaleza aplica con la mayoría de los que existen y lo que debemos de tener siempre presente es la identidad que poseemos como personas pertenecientes a comunidades indígenas y como seres vivos dependientes de la naturaleza. Uno como comunero se tiene que enamorar de la naturaleza que lo rodea, porque a pesar de intentos fallidos, la mayoría de las cosas que comemos todos los días vienen de nuestros propios cultivos. Antes nuestros ancestros realizaban oraciones para poder cortar o comer alimentos que nos ofrecían nuestros bosques y cultivos.

¿Sería viable para nosotros llegar a tener un Manejo Forestal Comunitario? ¿Por qué?

Claro que sería viable, es súper viable. Porque esto va ser la pauta a la que le tenemos que apostar y aún estamos a tiempo. Por todos lados nos ha pegado la

división del pueblo, pero aún se puede lograr este paso. Primero debemos de cuidarnos y estar bien como personas para así cuidar a todo tipo de plantas y animales, que igual como nosotros pertenecen a nuestra misma comunidad.

Conclusiones

Más allá de la aplicación del instrumento “Preguntas de sobrevivencia”, los testimonios obtenidos a lo largo del taller mostraron a una comunidad con problemas de organización, lo que les ha impedido no solo afrontar sus problemas en general, sino también obtener beneficios de sus bosques, para todo el pueblo y de manera equitativa. La comunidad presenta problemáticas ambientales, organizativas, sociales y económicas, que ante la falta de un órgano de gobernanza colectiva, como la asamblea comunitaria, tienen que ser afrontados de manera individual o familiar.

A lo anterior se suman las quejas de las y los comuneros por el abandono de los gobiernos estatal y federal, y la negligencia y acciones corruptas de sucesivas autoridades de bienes comunales. Ante la inacción gubernamental, lo que ha prevalecido en las últimas dos décadas es la anarquía y el desorden, de las que unos pocos han sacado provecho.

Pese a lo anterior, los testimonios y reflexiones conjuntas realizadas durante el taller hacen pensar que aún existen posibilidades de implementar un programa de manejo forestal comunitario, porque las personas vislumbran que sería de gran beneficio; sin embargo, reconocen que tendrían que comprometerse seriamente a hacerlo viable, tanto ante la situación actual de rápido cambio de uso de suelo, como para que la comunidad no cometiera los mismos errores del pasado que la llevaron a dividirse y con ello, a caer en la desorganización y la apatía. Durante el estudio se hizo evidente que muchos de los habitantes de Pamatácuaro —de manera muy enfática, la juventud— están preocupados por el futuro de la comunidad y están levantando la voz, cuestionándose sobre cada una de las actividades que se realiza (o se omite realizar) dentro y fuera del pueblo. Se preguntan, por ejemplo, dónde están las autoridades, por qué la mayoría no participa en las decisiones que se toman, y sobre todo, evidenciando que muchos prefieren voltear a otro lado cuando ven la tala de árboles para convertir las parcelas en huertas de aguacate. Pese a ello, una brigada de jóvenes entusiastas mantiene faenas de reforestación y limpieza del bosque, tratando de motivar a toda la comunidad a participar y como ellos dicen, “a ver a su comunidad con más respeto.” Así, los voluntarios están

convencidos de que sus acciones valen la pena y el esfuerzo: "...no está de más seguir haciendo acciones para equilibrar estos cambios que nos están afectando a todos. Aunque sea la minoría de las personas que estén interesadas por realizarlos, poco a poco se podrá ir integrando más y más gente, con la misma visión de preservar las áreas de bosque que todavía quedan y que enriquecen mucho a la comunidad."

Y es posible que estén en lo cierto. La comunidad de San Juan Pamácuaro, quizás por la velocidad a la que avanza la destrucción de sus bosques, parece estar comenzando a reaccionar, dándose cuenta de que está a tiempo de frenarla y quizás, revertirla. Pero también reconocen que los cambios necesarios para ello no serán fáciles, dado el estilo de vida que ya prevalece entre los habitantes. Como los habitantes de la ciudad, la mayoría de la gente aspira a mejorar su condición económica, tener más ventas en el comercio, abrir más negocios de cualquier tipo dentro y fuera de la comunidad, terminar una carrera y ejercerla con éxito, etc. Por su parte, quienes aún se dedican a la agricultura, buscan que ésta sea redituable, y por desgracia, el aguacate representa esa posibilidad, lo cual constituye una tentación muy grande en la región productora/exportadora más importante a nivel mundial. Más aún, cuando la comunidad no cuenta con un programa de manejo del bosque y las restricciones para cambio de uso de suelo no son efectivas por falta de vigilancia de la autoridad.

De acuerdo a los resultados del taller y de algunas entrevistas, podemos inferir que la mayoría de la gente está consciente del problema y muy interesada en que se puedan manejar los recursos forestales de manera equilibrada, con beneficios para toda la comunidad. Sin embargo, para avanzar en esa dirección, la comunidad requiere tener las condiciones necesarias de organización para establecer un buen manejo del bosque, con la participación de todo el pueblo y el reconocimiento y apoyo de las autoridades, desde el nivel comunal hasta el federal. Una de esas condiciones es la refundación del Consejo comunal y la re-instalación de la Asamblea comunitaria, con el objetivo de lograr una buena organización y comenzar a crear las condiciones necesarias que puedan culminar en el establecimiento de un programa de manejo forestal comunitario a mediano plazo.

Respecto al cumplimiento de los dos objetivos de investigación mencionados al inicio:

- *Conocer la percepción de los pobladores y autoridades comunales acerca de las causas de la perturbación de sus bosques y las posibles alternativas para revertirla.*

- *Contribuir a mejorar la comprensión de la comunidad sobre los procesos de cambio ambiental, las causas de la pérdida de los bosques y el Manejo Forestal comunitario.*

Consideramos que la información recogida sobre la percepción de la comunidad y el diálogo de saberes abonaron significativamente a una comprensión más profunda de la problemática de estudio, al incorporar elementos no sólo de tipo ecológico, sino socio-cultural y político. La evidencia más clara de ello es que, a partir del taller realizado en junio de 2022, los participantes se han dado a la tarea de crear un Consejo comunal confiable, y aunque aún no se hace oficial, el grupo promotor ha iniciado gestiones importantes, tales como la creación de una sede de la Universidad Autónoma Metropolitana en su territorio, a fin de contar con mejores opciones de desarrollo para los jóvenes. Éstos, a su vez, participan en las campañas de reforestación, y realizan actividades de educación ambiental para dar a conocer la biodiversidad de sus bosques y sensibilizar a la población sobre la necesidad de protegerla.

Referencias

Beltrán S (2016). Adaptación basada en ecosistemas: REDD+ y otros programas, Comisión Nacional Forestal, disponible en www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171786/20160628_adaptacion_REDDE_Beltran.pdf

Castillo A, Pujadas A, Schroeder N (2007). La reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala, México: perspectivas de los pobladores rurales sobre el bosque tropical seco y la conservación de ecosistemas. En Gonzalo Halffter, Sergio Guevara & Antonio Melic (Editores), *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica*. Monografías Tercer Milenio vol. 6, S.E.A., Zaragoza, España. pp 245–254.

CONAFOR (2013). *Bosques, Cambio Climático y REDD+ en México*. Área de Proyectos y Mercados Forestales de Carbono. Zapopan, Jalisco, México: Segunda Edición, 2013.

España-Boquera ML, Champo-Jiménez O (2016). Proceso de deforestación en el municipio de Cherán, Michoacán, México (2006-2012). *Madera y Bosques* 22(1):141-153.

Flores R, Herrera L (2010). Estudio sobre la percepción y la educación ambiental. *Tiempo de Educar* 11:228-233

García A, Serrano R, Osorio M, López E (2015). Percepción de la comunidad en torno al turismo como factor de desarrollo local. Caso San Pedro Tultepec, México. *Turismo y Sociedad*, vol. XVI: 43-65.

Hernández H (2020). *Manejo forestal comunitario, cambio de uso de suelo y gobernanza forestal en la región Meseta Purépecha, Michoacán: Un estudio desde los actores*. Tesis doctoral. Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable, División de Estudios de

Posgrado Facultad de Economía Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Agosto, 2012). Impacto del Cambio de Uso de Suelo Forestal a Huertos de Aguacate. México, D.F.: Graphx, S.A. de C.V.

Maass M (2019). Los sistemas socioecológicos (SSE) desde el enfoque socioecosistémico (SES). En Ávila Foucat, V, Perevochtchikova, M (Coords) *Sistemas socio-ecológicos. Marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México.* pp. 15-96. México: IIE-UNAM.

Madrid S (2016). *Manejo Forestal Comunitario en México: un modelo emergente de manejo sustentable de ecosistemas forestales.* México, D.F. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C. Recuperado de <https://www.ccmss.org.mx/manejo-forestal-comunitario-en-mexico-un-modelo-emergente-de-manejo-sustentable-de-ecosistemas-forestales/>

Merino Pérez L, Martínez Romero AE (2014). *A Vuelo de Pájaro. Las condiciones de las comunidades con bosques templados en México.* México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Ordóñez JA, De Jong BHJ, Masera O (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47.

Pérez GP, Díaz AF (2013). Territorios, inseguridad y autodefensas comunitarias en localidades de la Meseta Purépecha de Michoacán, México. *Revista Márgenes Espacio Arte y Sociedad* 10(13):62-68.

Puy A, Aragonés J (1997). Percepción social de los riesgos y gestión de las emergencias ambientales. *Revista Semestral de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina* 5(8):1-25

Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) (2007). *Programa de desarrollo forestal sustentable del estado de Michoacán 2030.*

Salazar J, Montero M, Muñoz C, Sánchez E, Santoro E, Villegas J (2012). *Percepción Social.* México: Trillas.

Sandoval-Contreras R (2019). Territorio comunal: acuerdos locales para el aprovechamiento del bosque en la comunidad indígena de San Juan Pamatácuaro, México. *Revista geográfica de América Central* (62):217-243.

Sousa Santos B, Meneses MP (2014) *Epistemologías del Sur. Perspectivas.* Argentina: Akal-Siglo XXI.

Tábara JD (2001). La medida de la percepción social del medio ambiente. Una revisión de las aportaciones realizadas por la sociología. *Revista Internacional de Sociología* 59(28):127-171.

IUCN Unión Mundial para la Naturaleza (1997). Cuestiones de supervivencia. Un enfoque para comprender el desarrollo sostenible y equitativo basado en el cuestionamiento. Serie herramientas y capacitación. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/ba75106d-9600-4439-8081-f36033fc867c/content>



Ética y ciencias para la sustentabilidad: el decenio internacional como oportunidad transformadora

Ethics and sciences for sustainability: The international decade as a transformative opportunity

Mateo Alfredo Castillo Ceja¹ , Rosalía López Paniagua²

¹ Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

² Centro de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México.

Historial

Manuscrito recibido: 27 de mayo de 2025

Manuscrito aceptado: 10 de octubre de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Mateo Alfredo Castillo Ceja

mateo.castillo@umich.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5473-1314>

Resumen

El Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024-2033), representa una oportunidad histórica para integrar principios éticos en la investigación científica y promover estilos de vida sustentables. Este artículo explora cómo las grandes propuestas éticas internacionales tales como la Declaración de los Derechos Humanos, Carta de la Tierra, Carta Mundial de la Naturaleza y Declaración de Principios Éticos para el Cambio Climático, pueden orientar la acción científica hacia una transformación social, ambiental, y económica, en suma, un cambio cultural profundo, a partir de políticas públicas éticas, una educación transformadora y responsabilidad compartida como ejes de cambio sistémico.

Palabras Clave: Decenio de las ciencias, ética, sustentabilidad, ODS, educación transformadora.

Abstract

The international Decade of Sciences for Sustainable Development (2024-2033) represents a historic opportunity to integrate ethical principles into scientific research and promote sustainable lifestyles. This article explores how major international ethical declarations –such as the Universal Declaration of Human Rights, the Earth charter, the World Charter for nature, and the Declaration of Ethical Principles in Relation to Climate change– can guide scientific action toward a deep social, environmental, and cultural transformation. It highlights the need for ethical public policies, transformative education, and shared responsibility as pillars for systemic chance.

Keywords: Science Decade, ethics, sustainability, SDGs, transformative education.

Introducción: una alianza necesaria para un futuro sustentable

La humanidad enfrenta desafíos sin precedentes que amenazan la estabilidad social y la salud del planeta. El cambio climático, la pérdida acelerada de biodiversidad y los conflictos entre naciones ponen en riesgo la integridad de las familias, y de las sociedades. Nos encontramos en una encrucijada: seguir en un camino de degradación ambiental y erosión social causada por la profunda desigualdad, o rediseñar los sistemas económicos, sociales, políticos y culturales para vivir en armonía con la naturaleza. En este contexto, las ciencias emergen como una herramienta poderosa para enfrentar estos re-

tos, pero la actividad científica no puede actuar en aislamiento, necesita estar anclada en principios éticos que aseguren que las soluciones no solo sean efectivas, sino también justas e inclusivas.

Para fortalecer el papel de las ciencias en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024-2033). Esta iniciativa busca que el conocimiento científico sirva a la humanidad con responsabilidad, haciendo de la ética un eje central.

A lo largo de la historia, expresiones éticas como la Declaración Universal de los Derechos Humanos, la Carta de la Naturaleza, la Carta de la Tierra, la Declaración de

los Principios Éticos para el Cambio Climático y otras más han establecido marcos de referencia para construir sociedades más equitativas, resilientes y sustentables. Estos principios, aunque desarrollados en distintos momentos y contextos, convergen en una visión común: la necesidad de respeto, cuidado, justicia, integridad, equidad y paz para las generaciones presentes y futuras.

En este trabajo, se explora cómo estas declaraciones pueden generar sinergias con los objetivos del Decenio, trazando el camino hacia estilos de vida sustentables. Al integrar ética y ciencias, es posible redefinir las relaciones entre la humanidad, el conocimiento científico y el planeta, transformando los retos globales en oportunidades para un cambio sistémico y duradero.

Las grandes declaraciones éticas y su legado

A lo largo de la historia reciente, diversas declaraciones éticas han marcado hitos importantes en la búsqueda de una convivencia más justa, equitativa, resiliente y sustentable. Estas declaraciones no solo han guiado políticas y acciones globales, sino que también han influido en la forma en que entendemos la relación entre las ciencias, la ética y la vida en sociedad. En el marco del Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (DICDS), estos documentos son más relevantes que nunca, ya que proporcionan principios clave para orientar la acción científica hacia objetivos que beneficien a toda la humanidad y respeten los límites del planeta.

Declaración Universal de los Derechos Humanos: igualdad y dignidad como fundamentos para las ciencias (ONU, 1948)

La Declaración Universal de los Derechos Humanos (DUDH) es el primero de los pilares éticos que establece la dignidad, la igualdad y la libertad como derechos fundamentales para todas las personas (ONU, 1948). Aunque originalmente no se enfocó directamente en las ciencias, sus principios son cruciales para orientar la investigación y la innovación hacia el beneficio colectivo. Los aspectos clave son:

- » Derecho a la educación y al acceso al conocimiento: Fundamental para garantizar que los avances científicos lleguen a todas las personas y no perpetúen desigualdades.
- » Igualdad y no discriminación: Para el quehacer cien-

tífico, esto implica garantizar que las investigaciones consideren a comunidades históricamente marginadas.

- » Derecho a un nivel de vida adecuado: Los avances científicos deben estar orientados a mejorar las condiciones de vida de todas las personas, desde la salud hasta el acceso al agua potable y la energía limpia.

Para el Decenio la DUDH tiene una especial relevancia porque enfatiza la importancia de democratizar los beneficios del conocimiento científico. Esto se alinea con los objetivos del Decenio de promover ciencias inclusivas que empoderen a las comunidades y garantice que nadie quede atrás en la búsqueda de un desarrollo sustentable (UNESCO, 2021).

La DUDH incide directamente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que ambos comparten la visión de un mundo equitativo, justo y sustentable. Los principios fundamentales de la DUDH, como la dignidad, la igualdad y los derechos universales, se reflejan en varios ODS: como el 1, (fin de la pobreza), 3 (salud y bienestar), 4 (educación de calidad), 5 (igualdad de género), 8 (trabajo decente y crecimiento económico), 10 (reducción de las desigualdades) y 16 (paz, justicia e instituciones sólidas).

La DUDH es transversal a todos los ODS porque define los principios éticos y legales que garantizan que las políticas y acciones de desarrollo sustentable respeten la dignidad humana y promuevan la equidad. Sin derechos humanos sólidos, los ODS no pueden lograrse plenamente, ya que las desigualdades estructurales y la discriminación perpetuarían los desafíos globales.

La Carta Mundial de la Naturaleza (CMN): un compromiso con la conservación global (ONU, 1982)

La Carta Mundial de la Naturaleza establece principios éticos para la conservación, protección y uso sustentable de los recursos naturales. Reconoce que la humanidad forma parte de la comunidad de la vida y, como tal, tiene la responsabilidad de proteger el equilibrio ecológico del planeta (Naciones Unidas, 1982). Esta anticipó la visión integral de la sustentabilidad que hoy encontramos en la Agenda 2030 y sus ODS.

Principios clave de la Carta son los siguientes:

- » Respeto por la naturaleza: Subraya el deber ético de preservar los ecosistemas y las especies, valorando su existencia por su intrínseco derecho a ser.
- » Gestión sustentable de los recursos: Promueve el uso

racional y equitativo de los recursos naturales para satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las futuras.

- » Precaución y restauración: Fomenta prácticas responsables que prevengan daños ambientales y, en caso de producirse, que se restauren los ecosistemas afectados.
- » Responsabilidad compartida: Establece que todos los sectores de la sociedad –gobiernos, empresas y ciudadanía– tienen un papel esencial en la protección del medio ambiente.

Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024-2033)

La Carta Mundial de la Naturaleza (CMN) ofrece un marco ético que complementa y potencia los objetivos del **Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (DICDS)**, guiando la investigación científica y las acciones globales hacia la sustentabilidad. Algunas de las sinergias clave son:

Fomento de la ética ambiental en las ciencias

El DICDS busca promover ciencias al servicio de la sustentabilidad. En este contexto, los principios de la CMN inspiran un enfoque ético que priorice la conservación de los ecosistemas y la protección de la biodiversidad. Por ejemplo, investigaciones en biotecnología y conservación deben alinearse con el principio de respeto intrínseco por la vida, evitando prácticas que pongan en riesgo especies o hábitats.

Ciencias y gestión sustentable de los recursos

El llamado de la CMN a gestionar los bienes naturales de manera sustentable se refleja en el Decenio a través de iniciativas científicas que buscan soluciones a problemas globales como la sobreexplotación y contaminación. Proyectos relacionados con la economía circular y la transición energética son ejemplos de cómo las ciencias pueden ayudar a cumplir este principio.

Precaución en la innovación científica

El principio precautorio de la CMN es crucial en un mundo donde la tecnología avanza rápidamente. El Decenio promueve la adopción de tecnologías limpias y responsables, asegurando que las innovaciones científicas no generen impactos negativos irreversibles en el medio ambiente o en las comunidades.

Responsabilidad global y cooperación internacional

El énfasis de la CMN en la responsabilidad compartida se alinea con la visión del DICDS de movilizar a todos los actores sociales, desde gobiernos hasta la ciudadanía. Iniciativas como las ciencias abiertas y la colaboración interdisciplinaria e internacional reflejan esta convergencia.

Impacto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La CMN también refuerza la conexión entre el DICDS y los ODS, al proporcionar un marco ético que guía las acciones hacia metas específicas, como claves éticas y conceptuales:

- » Valor intrínseco con la naturaleza: Más allá de lo económico o utilitario la CMN refuerza una visión biocéntrica que permea los ODS 14 y 15 (vida submarina y vida de ecosistemas terrestres). Subraya la necesidad de proteger la biodiversidad y restaurar ecosistemas degradados, principios que inspiran investigaciones científicas en conservación.
- » Responsabilidad compartida y diferenciada: El espíritu de cooperación global que propone la Carta está en el corazón del ODS 17.
- » Cuidado intergeneracional: fundamenta el enfoque preventivo ante el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (ODS 13).
- » Producción y consumo responsables: Fomenta el uso sustentable de los recursos, clave para transitar hacia economías circulares (ODS 12).

La Carta Mundial de la Naturaleza no solo complementa las grandes declaraciones éticas que deben acompañar al Decenio, sino también amplifica su visión al destacar la interdependencia entre los sistemas naturales y humanos. Al integrar los principios de la CMN en las estrategias científicas y políticas del Decenio, se puede avanzar hacia unas ciencias verdaderamente éticas que no solo entiendan el mundo, sino que lo transformen de manera sustentable.

Principios Éticos para el Cambio Climático: justicia intergeneracional y equidad climática (UNESCO, 2017)

La Declaración de los Principios Éticos para el Cambio Climático subraya la responsabilidad moral de abordar la crisis climática de manera equitativa y justa, consider-

rando tanto a las generaciones actuales como a las futuras (UNESCO, 2017).

Sus principios clave incluyen:

- » Justicia intergeneracional: Asegurar que las acciones actuales no comprometan la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades.
- » Responsabilidad común pero diferenciada: Reconocer que, aunque todos los países deben actuar contra el cambio climático, las naciones desarrolladas tienen mayores responsabilidades debido a su historial de emisiones.
- » Solidaridad global: Fomentar la cooperación internacional para enfrentar los retos climáticos, especialmente apoyando a los países más vulnerables.

La Declaración establece un marco ético para abordar el cambio climático desde una perspectiva de justicia, solidaridad y responsabilidad intergeneracional. Sus principios son cruciales para orientar la acción hacia los ODS, especialmente aquellos que se relacionan con la sustentabilidad ambiental, la justicia social y el fortalecimiento de capacidades para enfrentar desafíos globales.

La declaración actúa como un recordatorio de que el cambio climático no es solo un problema técnico o económico, sino una cuestión moral que afecta los derechos humanos, la equidad y la dignidad. La inclusión de sus principios éticos en las políticas y estrategias climáticas puede garantizar que las acciones sean no solo efectivas, sino también justas y equitativas.

Enfoques clave:

- » Justicia intergeneracional: Asegura que las decisiones climáticas actuales no comprometan el bienestar de las generaciones futuras.
- » Responsabilidad global: Promueve la solidaridad internacional para enfrentar los retos climáticos de manera equitativa.
- » Ética en la acción climática: Establece un estándar moral para guiar las inversiones, investigaciones y políticas relacionadas con el cambio climático.

La Declaración de Principios Éticos en Relación con el Cambio Climático no solo fortalece el enfoque ético de los ODS, sino que también les proporciona un marco moral para abordar la crisis climática como un

desafío multidimensional. Al integrar sus principios en el Decenio de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible, se puede avanzar hacia un futuro que no solo sea sustentable, sino también éticamente responsable.

Estos principios de la Declaración su principal relevancia es ofrecer una guía ética para priorizar investigaciones científicas y políticas que no solo mitiguen los efectos del cambio climático, sino que también promuevan la equidad. Además, refuerzan la importancia de tecnologías limpias y modelos económicos regenerativos como herramientas esenciales para la sustentabilidad (UNESCO, 2022).

La Carta de la Tierra (CT): principios para una ética global (2000)

La Carta de la Tierra, establece una visión global para la sustentabilidad basada en la interdependencia y el respeto por la comunidad de la vida. Este documento es una invitación a repensar los valores y las prácticas humanas desde una perspectiva ética, ecológica, social y espiritual (Earth Charter Commission, 2000).

Entre sus principios fundamentales destacan:

- » Respeto y cuidado por la comunidad de la vida: Reconocer que los seres humanos forman parte de un sistema mayor y que debemos actuar con responsabilidad hacia todos los seres vivos.
- » Integridad ecológica: Proteger la biodiversidad, preservar los ecosistemas y abordar el cambio climático como prioridades globales.
- » Justicia social y económica: Erradicar la pobreza, reducir las desigualdades y garantizar que los recursos se distribuyan de manera equitativa.
- » Democracia, no violencia y paz: Fomentar sociedades inclusivas y resolver conflictos de manera pacífica.

Esta declaración universal es un marco ético integral que resalta los principios fundamentales para construir una sociedad global justa, sustentable y pacífica. Al igual que la Declaración Universal de los Derechos Humanos, la Carta de la Naturaleza y la Carta de la Tierra están profundamente alineadas con los ODS, ya que promueve una visión holística de interdependencia entre los sistemas sociales, económicos y ambientales. A continuación, se detalla cómo inciden en los ODS y cuáles de estos son los más influenciados por sus principios.

La Carta de la Tierra tiene una incidencia transversal en los ODS al proporcionar un marco ético que guía

acciones y políticas hacia una visión holística de sustentabilidad. Sus principios están profundamente alineados con los ideales de la Agenda 2030 (2015), ya que reconocen la interdependencia entre los sistemas sociales, económicos y ambientales.

Enfoques clave:

- » Visión integrada: Integra la justicia social, la sustentabilidad ecológica y la equidad económica en un solo marco.
- » Educación transformadora: Refuerza la importancia de cambiar actitudes y comportamientos a través de la educación.
- » Justicia intergeneracional: Subraya el deber ético de proteger el planeta para las generaciones futuras.

La CT no solo apoya los ODS, sino que también los amplifica al ofrecer un marco ético que conecta los desafíos globales con valores universales. Esta sinergia entre la ética y la sustentabilidad es clave para movilizar a los actores globales hacia un futuro más justo y resiliente.

La Carta de la Tierra tiene una especial relevancia en el Decenio porque ofrece una brújula ética para guiar los avances científicos hacia objetivos sustentables. Al inspirar proyectos que respeten los sistemas naturales y promuevan la equidad social, este marco ético puede asegurar que las innovaciones científicas del Decenio no solo sean efectivas, sino también moralmente responsables (Earth Charter International, 2020).

Declaración de Berlín sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible (UNESCO, 2021) (“La educación camino hacia el desarrollo sostenible”)

Esta declaración surge ante la urgencia de transformar los sistemas educativos a nivel global para empoderar a las personas como agentes de cambio, capaces de enfrentar los desafíos ambientales, sociales, económicos y culturales contemporáneos. Su propósito es colocar la educación para el desarrollo sustentable en el centro de la Agenda 2030 y del esfuerzo para lograr los ODS, destacando la educación como catalizador de transformación social y ecológica. Los principios claves que manifiesta esta declaración son: Transformación educativa; Visión holística; Ciudadanía global y local; Justicia, equidad y derechos humanos; Aprendizaje a lo largo de toda la vida.

La relación explícita con los ODS de la Agenda 2030, está directamente vinculada con los objetivos: 4.7, 12.8, 13.3, 5, 10 y 16.

La sinergia con el Decenio de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024-2033), se muestra en 4 elementos fundamentales:

- » Formación ciudadana científica y ética: Impulsa el conocimiento científico en combinación con valores éticos.
- » Transformación de sistemas educativos: Apoya el objetivo del Decenio de fomentar una ciencia inclusiva, abierta y orientada al bien común.
- » Empoderamiento social: Capacita a individuos y comunidades para participar en la gobernanza ambiental y social.
- » Innovación educativa para la sustentabilidad: Favorece la creación de nuevos enfoques pedagógicos que integren ciencia, ética y acción transformadora.

La Declaración de Berlín reconfigura el papel de la educación como motor de transformación ética y social, no solo como transmisora de conocimientos. Su impacto ético se traduce en:

- » Promover valores de equidad, justicia, solidaridad y cuidado de la vida.
- » Integrar perspectivas interculturales y conocimientos locales e indígenas.
- » Preparar a la humanidad para enfrentar los retos globales con responsabilidad, resiliencia y compromiso intergeneracional.

En este sentido, la Declaración de Berlín se convierte en una herramienta estratégica clave para alinear la educación, la ética y la ciencia en la construcción de sociedades sustentables, justas y pacíficas, en perfecta sintonía con la Carta de la Tierra y el espíritu de los ODS.

Además, de las declaraciones ya mencionadas, existen otras iniciativas éticas que fortalecen el Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible, vinculándolo estrechamente con la Agenda 2030 y los ODS. Algunas de ellas son las siguientes:

Declaración de Estocolmo sobre el Medio Humano (ONU, 1972), Esta declaración reconoce la necesidad de un enfoque común para inspirar y guiar a los pueblos del mundo en la preservación y mejora del medio humano. Muy relevante la Declaración de Estocolmo para

el decenio ya que sienta las bases para la integración de consideraciones ambientales en el desarrollo, un aspecto clave para las ciencias orientadas al desarrollo sustentable. Reconoce el derecho a un medio ambiente sano y establece la obligación de protegerlo. Sus principios son fundamentales para los ODS 6 (agua limpia y saneamiento), 13 (acción por el clima), 14 (vida submarina) y 15 (vida de ecosistemas terrestres), contribuyendo a integrar las ciencias en la preservación del medio ambiente.

Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992). Es el primer documento global que concilia explícitamente medio ambiente y desarrollo, establece 27 principios que guían la relación entre el desarrollo económico y la protección ambiental, mismo que anticipó casi todos los ODS de la Agenda 2030. Define las responsabilidades comunes y diferenciadas, los derechos humanos ambientales, los derechos de participación, información y acceso a la justicia, el principio precautorio, y la necesidad de integrar el medio ambiente en el desarrollo. Ofrece un marco para que la ciencia respete los límites planetarios mientras impulsa la sustentabilidad del desarrollo.

Declaración de la Conferencia Mundial sobre la Ciencia y Uso del Saber Científico (1999). Esta declaración reconoce el papel crucial de la ciencia en el desarrollo sustentable y la necesidad de una nueva ética científica que incluya responsabilidad social, equidad y sustentabilidad. A través de sus principios, impulsa acciones que hoy son imprescindibles para alcanzar los ODS. Esta propuesta se vincula directamente con 12 de los 17 ODS, destacando especialmente el ODS 4 (educación de calidad), 9 (industria, innovación e infraestructura) y 17 (alianza para lograr los objetivos). Plantea una orientación de la investigación hacia el bien común y subraya la importancia de poner la ciencia al servicio del bienestar de todos los pueblos y de la preservación del planeta.

Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible (ONU, 2002). Aunque la Declaración de Johannesburgo es previa a la Agenda 2030, fue un puente entre Río 1992 y los ODS. Asimismo, consolidó la visión de sustentabilidad como un sendero que trenzó las dimensiones clásicas del desarrollo (ambiental, económica y social). Al menos 13 de los 17 ODS encuentran bases directas o similares con Johannesburgo, y destaca la necesidad de fortalecer la cooperación multilateral (ODS 17), erradicar la pobreza (ODS 1) y cambiar los patrones insostenibles

de producción y consumo (ODS 12), aspectos que son fundamentales para el éxito del Decenio de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible.

Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos (UNESCO, 2005). La Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos es una herramienta transversal que aborda cuestiones éticas vinculadas a la medicina, las ciencias de la vida, las tecnologías asociadas y la equidad, en relación con los derechos de todos los seres vivos, principalmente los humanos. Impacta directamente al menos 10 de los 17 ODS, al promover que el progreso científico y tecnológico sirva de manera justa, inclusiva y sustentable. Además, proporciona al Decenio de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible una brújula ética indispensable, asegurando que la innovación respete la dignidad humana, promueva la equidad social y garantice una distribución justa de los beneficios del conocimiento.

Cada una de estas declaraciones ofrece principios que, al ser integrados en el Decenio, permiten que la ciencia se convierta en un motor ético y efectivo para alcanzar los ODS, promoviendo una transformación profunda y sustentable. En la **Tabla 1**, se evidencia una amplia y sólida vinculación entre los principales instrumentos éticos internacionales y los ODS, mostrando que valores como la dignidad humana, la equidad, la justicia ambiental y la responsabilidad intergeneracional son transversales a todas las declaraciones analizadas. En este contexto destaca la Carta de la Tierra, la Declaración de Río 1992 y la Declaración de Johannesburgo como marcos integrales que abordan de manera casi total los 17 ODS. Esta convergencia ofrece al Decenio de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible una base ética robusta, permitiendo orientar la investigación, la innovación y el saber científico hacia un futuro más justo, resilientes, sustentable y pacífico.

Sinergias y aprendizajes compartidos

Al integrar los principios de estas declaraciones éticas en las iniciativas del Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible, se puede esperar que los avances científicos contribuyan de manera efectiva y equitativa al bienestar humano y la salud del planeta. Aunque estas declaraciones se originaron en diferentes contextos y momentos históricos, comparten una visión común basada en la justicia, la equidad y la sustentabilidad. Juntas, armonizan y ofrecen una base ética sólida para guiar las acciones del Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible.

Aprendizajes clave para la acción científica:

Tabla 1. Interacción de los ODS de la Agenda 2030 con las declaraciones que fortalecen el Decenio de las Ciencias

ODS	DUDH	CMN	CT	PECC	DBEDS	DE	DRío 92	DCyUSC	DJDS	DUByDH
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										

DUDH Declaración Universal de los derechos Humanos (ONU, 1948)

CMN Carta Mundial de la Naturaleza (ONU, 1982)

CT Carta de la Tierra (2000)

PECC Principios Éticos para el Cambio Climático (UNESCO, 2017)

DBEDS Declaración de Berlín sobre Educación para el Desarrollo Sustentable (UNESCO, 2021)

DE Declaración de Estocolmo (ONU, 1972)

DRío 92 Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (ONU, 1992)

DCyUSC Declaración de la Conferencia Mundial sobre la Ciencia y Uso del Saber Científico (UNESCO, 1999)

DJDS Declaración de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible (ONU, 2002)

DUByDH Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos (UNESCO, 2005)

Fuente: Elaboración propia con base en ODS de la Agenda 2030 y Decenio de las Ciencias

- Integración holística: Combinar los principios éticos de estas declaraciones con la investigación científica permite abordar los problemas de manera integral, considerando tanto factores sociales, económico, culturales, políticos y, sin duda, ambientales.
- Participación inclusiva: Garantizar que las comunidades locales, los pueblos indígenas y otros actores relevantes sean parte activa en la creación y aplicación del conocimiento.

- Responsabilidad global: Diseñar proyectos científicos que beneficien a la humanidad en su conjunto, evitando perpetuar desigualdades o impactos negativos.

Estas declaraciones éticas invitan a reflexionar sobre el verdadero propósito del conocimiento científico: no solo entender el mundo, sino transformarlo para el beneficio colectivo. En el marco del Decenio, representan un recordatorio poderoso de que la ciencia y la ética no deben ser opuestas, sino aliadas inseparables en la búsqueda de un futuro sustentable.

El Papel de las ciencias en el desarrollo sustentable

Las ciencias son un motor central en la transformación hacia un modelo de desarrollo sustentable. A través de avances científicos y tecnológicos, es posible abordar desafíos como el cambio climático, la pobreza, la xenofobia, el hambre y el analfabetismo. Sin embargo, para maximizar su impacto, la ciencia debe vincularse estrechamente con la educación, la ética y la colaboración global, principios que guían el Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024-2033).

Las Ciencias como herramienta transformadora para la sustentabilidad

Los avances científicos son catalizadores clave del progreso hacia la sustentabilidad. Innovaciones tecnológicas en energías renovables, biotecnología y tecnologías de bajo impacto ambiental impulsan la mitigación del cambio climático y fortalecen la seguridad alimentaria y la salud global. Además, el desarrollo de herramientas pedagógicas innovadoras empoderan a las comunidades, promueven la resiliencia y fomenta alternativas comparativas, fortaleciendo los pilares sociales de la sustentabilidad (UNESCO, 2024).

Ciencia abierta, colaboración global y ética

El Decenio apuesta por democratizar el conocimiento a través de la ciencia abierta, garantizando acceso equitativo a datos y resultados científicos, conforme a la Recomendación de la UNESCO (2021). La colaboración internacional y transdisciplinaria se vuelve esencial para enfrentar retos complejos, incorporando a diversos actores, incluidas comunidades locales e indígenas, para asegurar soluciones culturalmente pertinentes. Al mismo tiempo, la alfabetización científica debe ser acompañada por una formación ética basada en principios universales como los de la Carta de la Tierra y la Declaración de Principios Éticos para contrarrestar el Cambio Climático, asegurando que los avances científicos respeten la equidad y la justicia social.

Construcción de una ciudadanía científica para la sustentabilidad

El fortalecimiento de la educación especialmente en ciencias, humanidades, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) formalizado en el año 2001 por la National Science Foundation (NSF), no solo para fomentar la capacidad técnica, sino también la imaginación, sensibilidad estética, pensamiento crítico y diseño innovador, será clave para formar una ciudadanía crítica, capaces de

comprender e intervenir en los desafíos del planeta. Según la Declaración de Berlín (2021), la educación debe empoderar a las personas como agentes de cambio. Así, ciencia, ética y educación convergen para transformar comportamientos y estructuras sociales, impulsando el logro de los ODS, especialmente en materia de educación de calidad (ODS 4), acción climática (ODS 13) y reducción de desigualdades (ODS 10). El decenio convoca a todos los sectores de la sociedad a participar en la construcción de un sistema científico global que priorice el bienestar colectivo y la sustentabilidad del desarrollo del planeta.

Ética y estilos de vida sustentables

La transición hacia estilos de vida sustentables exige un replanteamiento ético profundo que transforme los valores, hábitos y sistemas que guían la relación de la humanidad con la naturaleza. El Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible reconoce la ética como un pilar para orientar la acción colectiva hacia modelos responsables y equitativos, integrando ciencia, educación y cultura en la construcción de un futuro sustentable.

Transformar consumo, producción y responsabilidad social

La crisis ambiental y social actual, causada por patrones de consumo y producción insostenibles (Leff, 2019), demanda nuevos modelos como la economía circular (Sachs, 2020) y prácticas de consumo ético. Sin embargo, como señala Gudynas (2018), la transformación no debe recaer solo en los individuos, sino que requiere regulaciones firmes y mercados solidarios, como los impulsados en Brasil, Ecuador y México particularmente en Pátzcuaro, Michoacán en el mercado del trueque. Gobiernos, empresas y ciudadanía tienen responsabilidades compartidas: diseñar políticas públicas amigables ambientalmente, asumir prácticas empresariales sustentables, al fortalecer el activismo y la participación social informada (Acosta y Martínez, 2009).

Valor de los saberes locales y comunidades indígenas

Las comunidades indígenas han practicado la sustentabilidad durante siglos, gestionando recursos de manera equitativa y resiliente (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). Sus conocimientos tradicionales –como la agricultura diversificada y el manejo forestal comunitario– protegen la biodiversidad y promueven la soberanía alimentaria. Integrar estos saberes en la investigación científica

mediante un diálogo respetuoso y recíproco (De Sousa Santos, 2009) es esencial para construir soluciones sustentables. Un ejemplo emblemático es el “Vivir Bien” de Bolivia, que refleja una cosmovisión armoniosa entre humanidad y naturaleza (Acosta, 2016).

Sinergia ética y científica para estilos de vida sustentables

Construir estilos de vida sustentables implica más que innovaciones tecnológicas: requiere un conocimiento crítico para transformar las estructuras sociales, económicas y culturales que sostienen el actual modelo de desarrollo (Leff, 2014). El DICDS brinda la oportunidad de fortalecer una ética planetaria que articule saberes ancestrales, ciencia, gobernanza democrática y responsabilidad social, promoviendo modelos de vida más justos, resilientes y en armonía con el planeta.

Hacia un cambio sistémico: acciones y compromisos

La transformación hacia un modelo de desarrollo sustentable requiere cambios sistémicos que integren avances científicos con transformaciones políticas, sociales, culturales y económicas. El DICDS ofrece una oportunidad histórica para movilizar conocimientos y voluntades bajo principios éticos que prioricen la equidad, la justicia ambiental y el respeto a los límites planetarios.

Políticas públicas basadas en principios éticos

El diseño de políticas públicas éticamente fundamentadas es esencial para garantizar que la innovación científica contribuya al bienestar colectivo y no perpetúe desigualdades. Según Leff (2019), la política ambiental debe guiarse por una ética de la sustentabilidad que priorice la equidad intergeneracional, la justicia ambiental y el respeto a los límites planetarios.

- Marcos regulatorios éticos: Las políticas deben fomentar la investigación científica y la innovación tecnológica, pero bajo principios de precaución, equidad y responsabilidad social.
- Participación ciudadana: Como señala Gudynas (2018), las decisiones políticas deben incluir la voz de las comunidades afectadas, especialmente de las más vulnerables, para evitar el uso de las ciencias como herramienta de exclusión o explotación.

- Ejemplo en América Latina: En Ecuador, la incorporación de los derechos de la naturaleza en la Constitución refleja un marco ético que guía políticas ambientales y científicas hacia la conservación y el uso responsable de los recursos naturales (Acosta y Martínez, 2009).

Educación transformadora

La Educación desempeña un papel esencial en la formación de una ciudadanía crítica y consciente capaz de liderar la transición hacia un desarrollo sustentable. Según Viezzer (2020), es necesario integrar la ética y la ciencia en todos los niveles educativos, articulando el conocimiento con valores que orienten la acción hacia la sustentabilidad.

Curriculos éticos y científicos

Los programas educativos deben vincular el conocimiento científico con valores éticos para enfrentar problemas globales y locales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la desigualdad social. Viezzer (2020) subraya que esta integración es fundamental para construir un pensamiento complejo y comprometido con la transformación social.

Fomento de pensamiento crítico y habilidades prácticas

Toledo y Barrera-Bassols (2008), destacan la importancia de formar estudiantes en habilidades prácticas, innovación y pensamiento crítico, dotándolos de herramientas para diseñar soluciones sustentables y aplicables a sus contextos.

Ejemplos en América Latina: educación socioambiental en Brasil

Un ejemplo de educación transformadora se observa en Brasil, donde programas de educación ambiental en escuelas públicas han logrado incorporar principios de sustentabilidad y ética, promoviendo actitudes responsables hacia el medio ambiente y fortaleciendo la conciencia socioambiental en las nuevas generaciones (Viezzer, 2020).

Movilización social: el poder de las alianzas

La movilización social basada en valores éticos es fundamental para catalizar cambios estructurales (Leff, 2014). La sociedad civil, los movimientos sociales y la colaboración entre academia y sectores productivos desempeñan un rol estratégico en exigir y construir modelos sustentables (Gudynas, 2011; Toledo y Barrera-Bassols,

2008). Ejemplos como el movimiento agroecológico en Argentina muestran cómo alianzas entre campesinos, científicos y activistas pueden impulsar prácticas agrícolas respetuosas de las comunidades y el ambiente.

Sinergias para un cambio sistémico

El cambio sistémico solo será posible mediante la convergencia de políticas públicas éticas, educación transformadora y movilización social articulada. El Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible representa una plataforma para enraizar la ciencia en valores éticos, la diversidad cultural y la justicia ambiental, como plantean Acosta (2011) y Leff (2019), abriendo camino hacia un futuro verdaderamente sustentable.

Conclusiones: una oportunidad para redefinir el futuro

El Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024-2033) representa una oportunidad histórica para redefinir las relaciones entre la ciencia, la ética y la humanidad y asegurar su futuro. En un contexto de crisis múltiples y globales, desde el cambio climático hasta las profundas desigualdades sociales que prevalecen, este decenio ofrece un marco para repensar cómo utilizamos el conocimiento científico y tecnológico en beneficio del planeta y de las generaciones presentes y futuras.

Las ciencias para la transformación

Las ciencias son una herramienta transformadora para enfrentar problemas complejos, pero su impacto será real si se guía por principios éticos. Leff (2019) destaca que la sustentabilidad no solo es resolver crisis ambientales, sino también cuestionar las estructuras sociales y económicas que perpetúan la degradación. La alfabetización científica y ética, es esencial para empoderar a las comunidades en la toma de decisiones informadas. Además, Toledo & Barrera-Bassols (2008), resaltan que los conocimientos tradicionales, especialmente en América Latina, ofrecen soluciones sustentables basadas, en la convivencia armónica con la naturaleza. El Decenio tiene potencial de movilizar actores globales hacia el conocimiento abierto, promover estilos de vida sustentables, y generar sinergias entre ética y ciencia para asegurar que el progreso tecnológico beneficie a toda la humanidad respetando los límites planetarios.

Un llamado a la acción

A medida que el mundo enfrenta desafíos cada vez

más urgentes, es imperativo que gobiernos, empresas, instituciones académicas y la ciudadanía adopten un enfoque ético y científico en sus decisiones cotidianas. Como destaca Gudynas (2011) la transición hacia la sustentabilidad no será posible sin una responsabilidad compartida basada en el conocimiento científico que, atraviese todas las esferas de la sociedad y se convierta en estilos de vida.

- **Estilos de vida sustentables:** Se requiere un cambio cultural profundo que fomente patrones de consumo y producción responsables, integrando principios centrales como el respeto y cuidado de la comunidad de la vida, la integridad ecológica, la justicia social y económica, así como la inclusión, democracia, no violencia y paz.
- **Políticas públicas inclusivas:** Los gobiernos deben liderar este cambio mediante regulaciones que incentiven la sustentabilidad y penalicen las prácticas que perjudican al medio ambiente y las comunidades vulnerables.
- **Educación para la formación de una ciudadanía:** Formular currículos y docentes con perspectiva crítica para formar una ciudadanía empoderada capaz de liderar la transición hacia un desarrollo sustentable. Educación basada en integrar la ética y la ciencia en todos los niveles educativos, articulando el conocimiento con valores que orienten la acción social hacia la sustentabilidad.
- **Movilización social y alianzas:** Los movimientos sociales, en colaboración con la academia y los sectores productivos, tienen el poder de generar transformaciones sistémicas.

El Decenio es una invitación a abrazar la ética como un principio rector, no solo en la ciencia, sino también en nuestras decisiones personales y colectivas. Al hacerlo, no solo estaremos contribuyendo a un futuro sustentable, sino también a la construcción de una humanidad equitativa, solidaria y en armonía con el planeta.

Agradecimientos

Este ensayo forma parte del proyecto ERASMUS-EDU-2023-CBHE-STRAND-2 (Propuesta No. 101128939, Acrónimo: ACT4SDGs). El proyecto tiene como propósito fortalecer la profesionalización docente para la sustentabilidad mediante la integración de los ODS en

la educación superior latinoamericana.

Referencias

- Acosta A (2011). La naturaleza con derechos: de la filosofía a la política. (“La naturaleza con derechos: de la filosofía a la política - SciELO”) Ediciones Abya-Yala, Quito, 372p.
- Acosta A, Martínez E (2009). Derechos de la naturaleza: El futuro es ahora, Ediciones Abya-Yala, Quito, 272 p.
- De Sousa Santos B (2009). Una epistemología del sur: la reinvención del conocimiento y la emancipación social, Siglo XXI Editores, México, 336 p.
- Gudynas E (2011). Más allá del nuevo extractivismo: transiciones sostenibles y alternativas al desarrollo. Em Wanderley F (Ed.), El desarrollo en cuestión. Reflexiones desde América Latina (pp. 379-410). CIDES-UMSA y Oxfam, La Paz, pp. 379-410.
- Gudynas E (2018). Derechos de la naturaleza: Ética biocéntrica y políticas ambientales, Tinta Limón Ediciones, Buenos Aires, 320 p.
- Leff E (2014). La apuesta por la vida: Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur, Siglo XXI Editores, México, 523 p.
- Leff E (2019). Ecología política. De la deconstrucción del capital a la territorialización de la vida, Siglo XXI Editores, México, 483 p.
- Sachs W (2020a). La sustentabilidad como problema global. Fondo de Cultura Económica, México, 184 p.
- Sachs JD (2020b). The Ages of Globalization: Geography, Technology, and Institutions. Columbia University Press, New York, 280 p.
- Toledo VM, Barrera Bassols N (2008). La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales, Icaria Editorial, Barcelona, 232 p.
- Viezzer M (2020). Participación en el panel “alcances y retos de la educación ambiental en las políticas públicas, las luchas sociales y la gobernanza” en el Seminario Internacional: Educación Ambiental para la habitar la pandemia y alentar transiciones socioecológicas, Alcaldía de Santiago de Cali, 7 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.cali.gov.co/publicaciones/157207/el-sabado-inicia-seminario-internacional-de-educacion-ambiental/>

Declaraciones Internacionales y Documentos de Naciones Unidas

- Earth Charter Commission, “*The Earth Charter*”, Earth Charter Initiative, <https://earthcharter.org/library/the-earth-charter/>, [consultado el 25 de mayo de 2025].
- Earth Charter International, “*The Earth Charter Handbook*”. Earth Charter Initiative, <https://earthcharter.org/wp-content/assets/virtual->

library2/images/uploads/HandBook%2020%20Octubre%20%20%282%29.pdf, [consultado el 25 de mayo de 2025].

- Naciones Unidas, “*Universal Declaration of Human Rights*”. United Nations, <https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights> [consultado 20 mayo de 2025].
- Naciones Unidas, “*Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*”, Naciones Unidas, <https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972>, [consultado el 17 de febrero de 2025].
- Naciones Unidas (1982). “*Carta Mundial de la Naturaleza*”. Naciones Unidas, <https://www.un.org/es/documents/treaty/carta-mundial-naturaleza>, [consultado el 18 de febrero de 2025].
- Naciones Unidas (1992). “*Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*”, Naciones Unidas, <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>, [consultado el 20 de febrero de 2025].
- Naciones Unidas (2002). “*Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible*”. (“Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 …”) Naciones Unidas, https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/Decl_Johannesburgo.htm, [consultado el 20 de febrero 2025].
- UNESCO (2005). “*Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos*”, UNESCO, https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000142825_spa, [consultado 22 de febrero 2025].
- UNESCO (2017). “*Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático*”, UNESCO, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260129>, [consultado el 25 de mayo de 2025].
- UNESCO (2021). “*Declaración de Berlín sobre la educación para el desarrollo sostenible*”, UNESCO, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>, [consultado el 25 de mayo de 2025].
- UNESCO (2021). “*Science for Sustainability: Decade of Science for Sustainable Development*”, UNESCO, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376780>, [consultado el 25 de mayo de 2025].
- UNESCO (2022). “*Ethics and Climate Action: A Global Perspective*”, UNESCO, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386677>, [consultado el 25 de mayo de 2025].
- UNESCO (2024). “*Decenio Internacional de las Ciencias para el Desarrollo Sostenible (2024–2033)*”, UNESCO, https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391158_spa.locale=es, [consultado el 25 de mayo de 2025].



Sobre Miguel Martínez Trujillo, *La humanidad joven. Novela de un futuro cercano*. Morelia, Michoacán, 2025, ISBN-13: 979-8307294222

Para el Científico, la escritura es una obligación, o mejor dicho, una necesidad que surge del cúmulo de conocimientos y que aumenta su altura con la adición de nuevos hallazgos. Para el Escritor de masas no hacen falta cimientos: su imaginación puede fincar un castillo empezando desde el techo, y quizás no hagan falta ladrillos. En este libro, Miguel ha logrado esa transmutación, de Científico a Escritor, sin renunciar al oficio; más bien, escudriña aquellos temas que resultan polémicos, en un área que domina, la biotecnología y sus implicaciones éticas, para construir una historia que atrapa al lector desde el inicio.

La humanidad joven es un libro que nos acerca a un mundo futurista, en el que los robots interactúan con los humanos, usualmente hijos únicos, y los *terraires*, coches aéreos, rompen la serenidad del azul celeste; donde viven quienes recibieron los 25 genes *NEO* que reducen el envejecimiento, los mismos que, según la tradición, portaba el Matusalén bíblico. Es un mundo en el que los verdes bosques, el trinar de las aves y el canto de los ríos se personifican mediante paisajes virtuales u hologramas controlados por ordenadores, los cuales ofrecen al usuario una experiencia natural.

La trama se desarrolla en lugares y ambientes que solo puede describir quien los ha transitado. El autor construye un interesante entramado conversacional sobre la formación de parejas, cinco, para ser precisos, sin ser una novela román-

tica; y se manifiesta tanto la practicidad de una convivencia convenida como la infeliz unión disímil entre un juvenil maduro y alguien con envejecimiento ordinario. ¿Cómo se entrelazan las vidas de humanos modificados genéticamente para conservar una juventud perdurable al tiempo que acumulan experiencia? ¿Cuál es el sentir de enamorarse de alguien que permanecerá joven frente al calce de la corrosión inevitable que el tiempo deja en el propio cuerpo? El lector tendrá el reto de averiguarlo.

Este es un libro de lectura obligada para jóvenes de cualquier edad, para mentes inquietas e inquisitivas, para aquellos interesados en la innovación, en la toma de riesgos, en el valor del capital, pero sobre todo para quienes creen en el talento y la perseverancia que conducen a nuevos escenarios. ¿Quiénes de los aquí presentes se convertirán en los Andreas y Frederick para tomar el liderazgo de empresas capaces de hacer posible la corrección de genes para eliminar enfermedades hereditarias, predecir riesgos seniles, o incluso detener el envejecimiento? Ciertamente, no seremos inmortales: un simple resbalón, o una resaca después de una noche loca y pasada de copas, nos devuelve a nuestra simple levedad del ser; sí, del ser organismos carentes de paredes celulares y sin regeneración extendida, propiedades únicas de nuestros primos vegetales.

Por demás está decirlo: pensar en extender la vida, unos

segundos, unos minutos, algunos años, resulta surrealista, o más bien idealista. Si preguntamos a un joven o a un anciano, a un atleta o a un enfermo terminal, las opiniones podrían ser disímiles. No obstante, la oferta es tentadora: el ser humano siempre ha buscado el secreto de la eterna juventud. Gilgamesh en las flores del campo; el emperador chino, en brebajes enriquecidos con mercurio; los cruzados, en el Santo Grial; los aventureros españoles, en manantiales de aguas cristalinas. Bien valdría la pena otorgar algunos Premios Nobel a científicos avezados, sumergidos en la cotidianidad del método. Quizá la buena suerte, o un simple chiripazo, podría conducirnos a la piedra filosofal que cambie la enfermedad en salud o tristeza en alegría.

Ese es el tiempo futurista de *La humanidad joven*: se nos revelan los secretos de un elixir misterioso y místico, en el que los trasplantes, la clonación de órganos, la fertilización asistida y la manipulación genética compiten y escapan a las prohibiciones mundanas para tentar a los más arriesgados, como Susan, que al portar un gen defectuoso podría transmitir a sus hijos la pérdida de la independencia para moverse por sí mismos.

Y si nos concedemos el derecho de especular, si en lugar del Valle del Silicio situamos a la empresa Neurotech, de capital privado, en nuestro México, o más específicamente en nuestra Morelia, y sustituimos a los Andreas y Frederick por Andrés y Federico, ¿tendría futuro dicha iniciativa? Quizá dependería de nuestra capacidad actual para sopesar el valor de los saberes tradicionales, depositados en chamanes y hechiceros, frente a la ciencia occidental en la conducción de los destinos colectivos.

Atentando contra la imaginación de Miguel Martínez, fructífera a toda prueba, me atrevo a preguntar: ¿existirá algún

futuro para las serenatas y las bohemias con guitarras y mandolinas? ¿Nos alcanzará el destino, como en *Terminator*? ¿El árbol que emite luz y derrocha sabiduría como en el *Avatar* de James Cameron, al fin tomará su lugar eternamente negado? ¿En algún momento futuro seremos capaces de terminar con el hambre y los antagonismos que provocan la guerra, la migración y el sufrimiento? ¿Cuál debe ser la receta para transitar de una humanidad joven a una menos infeliz? Quizá estas preguntas escapen a los talentos de Andreas y Frederick, pero podrían atraer la atención del autor como tema para su próximo libro.

La lectura de *La humanidad joven* también me trasladó al pasado, a la década de 1980, cuando la saga *Volver al futuro*, protagonizada por Michael J. Fox, hacía las delicias de los cinéfilos, y me llevó a la reflexión: si existiera una cura para el temible mal de Parkinson, ¿a qué nuevas aventuras nos habría llevado este gran actor que entregó su talento a mitad de su vida? Mientras la eterna juventud se vuelve algo más que una ilusión, el derecho humano a la salud se convierte en apremiante necesidad. Como en las grandes obras, lo mejor llega al final, aunque no se manifiesta sin leer los capítulos iniciales. La piedra filosofal seguirá siendo esquiva, en tanto que algunos robots tendrán la decisión de condenar o absolver a Frederick por su temeridad de extender la juventud a los que aún no tenían voz.

José López Bucio

Instituto de Investigaciones Químico Biológicas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Ciencia Nicolaita

Normas editoriales

Sólo se recibirán materiales originales, inéditos, exclusivamente postulados, en español o inglés, que hagan una aportación relevante al conocimiento de las ciencias físicas, de la vida, matemáticas, químicas, de la salud, ingenierías y arquitectura que en ningún modo difieran de la práctica editorial de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, estipulada en su normativa editorial y vigilada de manera permanente por el Comité Editorial de Ciencia Nicolaita y el Consejo Editorial de la UMSNH.

Las propuestas de contribuciones deberán cumplir con lo siguiente:

1.- El manuscrito siempre deberá estar acompañada con una CARTA AL EDITOR, indicando el tipo de contribución que se propone:

- a.- **Volúmenes Monográficos** relacionados con las áreas del conocimiento mencionadas y a una CONVOCATORIA ESPECÍFICA.
- b.- **Artículos extensos** con datos científicos originales que demuestren rigor en su metodología, resultados y discusión
- c.- **Artículos de Revisiones** del trabajo científico de investigadores nicolaitas o de externos por invitación
- d.- **Artículos de análisis** y debates científicos actuales.
- e.- **Reseñas** de temas relevantes obtenidas a partir de obra (libros), entrevistas, congresos y simposios nacionales e internacionales.
- f.- **Artículos de educación** de cada área científica con referencias críticas en el desarrollo de técnicas o materiales de enseñanza.
- g.- **Noticias** de la comunidad científica universitaria (premios, congresos, patentes, logros).

2.- La presentación del primer manuscrito deberá ser en formato PDF, a doble espacio con fuente Times New Roman de 12 puntos. La extensión de los artículos propuestos en general no podrá sobrepasar las 25 cuartillas, y 7 figuras como máximo, incluyendo datos del autor (nombre, adscripción institucional, dirección profesional, correo electrónico, teléfono de contacto e identificador ORCID). Todas las colaboraciones deben contar con un título y resumen en español y otro en inglés (incluidos el título y las palabras clave) que no supere las 120 palabras, además de máximo 5 palabras clave en ambos idiomas.

3.- Las ilustraciones, gráficas, cuadros y tablas se enviarán intercaladas después de su primera mención en el texto en el lugar que corresponda.

4.- EN CASO DE SER ACEPTADO EL MANUSCRITO, las ilustraciones, gráficas, cuadros y tablas se podrán enviar por separado (formatos tiff o jpg a 300 dpi como mínimo), en un archivo “Lista de Figuras y Tablas” (Caption Figures) numerados consecutivamente, o bien incluir figuras de alta calidad en el texto en Word después de su primera mención, las tablas serán incluidas en formato de Word y no como imágenes.

5.- Los textos destinados a la sección de reseñas y noticias no podrán exceder las 5 cuartillas, ni comentar libros o artículos que hayan sido publicados hace más de tres años o que no cuenten con ISBN. Los autores de este tipo de colaboraciones deberán incluir una referencia bibliográfica detallada de la obra (autor, título, lugar de edición, editorial, colección, número de páginas e ISBN).

6.- Todo el material del manuscrito (texto y figuras) deberá subirse directamente a la plataforma OJS3/PKP y en paralelo **TAMBIÉN enviar la misma versión** digital a la dirección de correo electrónico: ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx

7.- Referencias

Las **referencias a artículos** respetarán el siguiente modelo:

Apellido(s), nombre(s) abreviado seguidos por un punto, fecha, título seguido por una coma, seguido por el nombre de la revista o editorial en itálicas sin abreviación, seguido por el número de páginas, p. o pp. Si la referencia cuenta con el registro se deberá indicar el ISSN e incluir el DOI.

Ejemplo: Fitz-Díaz E, Lawton TF, Juárez-Arriaga E, Chávez-Cabello G (2018). The cretaceous-paleogene Mexican orogen: Structure basin development, magmatism and tectonics: *Earth Science Reviews* 183: 56–84.

Para las **referencias a libros o capítulos de libro** se seguirá una regla similar a los artículos, pero en este caso se deberá indicar en itálica la Editorial y se deberá indicar el ISBN.

Ejemplo: Fegley E (2013). Practical chemical thermodynamics for geoscientists: *Amsterdam, Academic Press (Elsevier)*, p. 674. ISBN: 9780128102701.

Capítulos de libro: Apellidos, nombre(s) abreviados, fecha entre paréntesis, título en letra normal entrecomillado, nombre del autor o autores de la obra colectiva (libro), título de la obra en itálicas, lugar de edición, editorial, año de edición y páginas que comprende el capítulo. Se deberá indicar el ISBN.

Las referencias de tesis deben comprender lo siguiente:

Nombre y apellido(s) del autor (si lo hay), fecha, título, nombre de la Institución en itálicas, señalar el grado de la tesis, indicar si incluye mapas o material audiovisual, seguido por el número de páginas.

Ejemplo: Gómez-Rivera FJ (2019). Análisis petrológico e isotópico del Complejo Batolítico Aquila, suroccidente de México: Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en Geociencias, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Pp.103.

Las referencias hemerográficas deben comprender lo siguiente:

Nombre y apellido(s) del autor (si lo hay), título abreviado de la nota o artículo (si cuenta con ella), nombre de la publicación en itálicas, lugar de impresión, fecha, p. o pp., seguido por el

número de páginas.

Ejemplos: Rafael Nieto Compeán, “Lo que México podría hacer”, *Excélsior*, Ciudad de México, 19 de septiembre de 1921, p. 2A; Sin autor, “La delincuencia en su apogeo”, *El Globo*, Ciudad de México, 23 de febrero de 1925, pp. 1-2.

Las **referencias electrónicas** observan la misma lógica y se integran como sigue:

Apellido(s) y nombre (s) del autor o de la entidad responsable, título en letra normal entrecomillado, título del portal, dirección electrónica y fecha de consulta entre corchetes.

Ejemplo: The United Nations Office at Geneva (Library & Archives), “Mandate of the Institutional Memory Section”, [http://www.unog.ch/80256EE60057D930/\(httpPages\)/555411BC07897556C1257C85004A5725?OpenDocument](http://www.unog.ch/80256EE60057D930/(httpPages)/555411BC07897556C1257C85004A5725?OpenDocument) [consultado el 14 de febrero de 2021].

8. No se aceptará ninguna contribución que no se ajuste a estas normas técnicas.

9.- Acerca de la Revisión

Todos los artículos serán enviados a dictamen doble ciego con especialistas externos y/o extranjeros (el formato de dictamen es público y puede consultarse en el sitio electrónico de la revista), cuyo resultado será sancionado por el editor de la publicación, quien, a través de un tercer dictamen, en el caso de ambigüedad o controversia, podrá determinar, solo o en compañía del Comité Editorial, el resultado del procedimiento. El Comité Editorial y el editor de la revista se reservan el derecho de solicitar modificaciones no previstas en los dictámenes para aprobar la publicación de estas colaboraciones. El autor será notificado del resultado de los anteriores en un periodo no mayor a dos meses.

10.- Todos los autores recibirán un ejemplar de la edición en formato PDF y al aceptar su publicación se acepta de manera implícita y legal otorgar los derechos de reproducción de sus respectivas colaboraciones a la revista *Ciencia Nicolaita* y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a fin de que puedan ser editadas, publicadas y difundidas tanto en versión impresa como electrónica.

11.- El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja en modo alguno el punto de vista de la Revista *Ciencia Nicolaita* o de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Artículos aceptados

Después del proceso de arbitraje, el dictamen sobre la aceptación o rechazo del trabajo será comunicado por el Editor al autor responsable, con las indicaciones correspondientes que sustenten la decisión emitida.

Página legal y créditos

CIENCIA NICOLAITA, año 33 no. 95, agosto de 2025, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de la Coordinación de la Investigación Científica, Av. Francisco J. Mújica, s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tel. 443 316 7436, 443 327 2366, y 443 322 3500, <http://www.cic.cn.umich.mx>, ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx. Editor: Dr. José López Bucio. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-072913082200-203, ISSN: 2007-7068, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Coordinación de la Investigación Científica, Edificio C-2, Av. Francisco J. Mújica s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tel. 443 316 74 36 y Fax 443 327 23 66. Responsable de la última actualización de este Número, Área de Tecnologías y Procesos de Información de la Coordinación de la Investigación Científica, Fidel Anguiano Rodríguez, fecha de última modificación, diciembre de 2025.

Ciencia Nicolaita No. 95 fue formada y preparada para su versión electrónica, en el Área Editorial del Departamento de Comunicación de la Ciencia de la Coordinación de Investigación Científica. Edificio C-2, Ciudad Universitaria, Morelia.

Imagen de la portada

Descripción: Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas

Foto: Jonatan Torres-Pérez-Coeto.

Derechos de uso

Se permite la reproducción, publicación, transmisión, difusión en cualquier modo o medio de cualquier parte del material contenido en el archivo (únicamente texto sin imágenes) sin alterar o modificar el original, con fines de referencia y/o reproducción, académicos o educacionales, con excepción de los personales o comerciales, citando la fuente de referencia y otorgando el crédito correspondiente al autor y al editor.

Sitio web implementado por el equipo de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo sobre la plataforma OJS3/PKP.