

La diversidad funcional en el calichal yucateco:

una estrategia que permite entender su riqueza desde una perspectiva ecológica

La huella ecológica y el impacto de las acciones humanas han afectado gravemente los ecosistemas y estamos lejos de entender la complejidad que contienen, así como el papel de las especies que los integran. Este ensayo ilustra la diversidad funcional como una estrategia crítica a los estudios de biodiversidad, ya que nos permite entender la riqueza desde una perspectiva ecológica y evolutiva. Es urgente conocer nuestros ecosistemas para establecer estrategias de conservación eficaces, y la diversidad funcional representa una herramienta útil para lograr dicho objetivo.

Palabras clave: Adaptación ecológica, comunidad, filtros ambientales, rasgos funcionales, México, Yucatán.

MAYTE AGUILAR-CANCHÉ, RODRIGO DUNO DE STEFANO
Y DIEGO F. ANGULO

Unidad de Recursos Naturales-Herbario CICY,
Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.
Calle 43 x 32 y 34, No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo,
97205, Mérida, Yucatán, México.
roduno@cicy.mx

Existen ecosistemas con ambientes extremos (p. ej. desiertos, dunas costeras, alta montaña, etc.), en los cuales los filtros ambientales (p. ej. alta incidencia de luz solar, alta salinidad, suelos pobres, etc.) ejercen una fuerte presión de selección sobre los organismos que se establecen en ellos, los cuales han evolucionado hacia el desarrollo de rasgos o caracteres eficientes (p. ej. tallos y hojas modificadas de los cactus, tallos modificados en tubérculos, pérdida de hojas, etc.) a dichos ambientes extremos.

Uno de los ecosistemas con ambientes extremos en la península de Yucatán es la selva baja caducifolia con cactáceas columnares. Esta asociación vegetal se desarrolla en afloramientos rocosos en la franja más seca de la Península de Yucatán y es conocida localmente como calichal o coquinal yucateco (Figura 1, 2). El calichal representa un ambiente hostil con una temperatura media anual de 26° C, pero que puede llegar a superar los 40° C en primavera y muy bajas precipitaciones anuales (600 mm). Además, durante el verano, la costa de la península de Yucatán es frecuentemente impactada por tormentas y huracanes, generando intensas lluvias (Márdero *et al.* 2012).

El calichal yucateco es caracterizado por un proceso geofísico muy particular, donde la interacción de la roca caliza, el agua dulce subterránea, el agua de mar y las lluvias producen una coraza continua y superficial que limita el establecimiento de la vegetación (Duno de Stefano 2017). Por otro lado, ha dado lugar a comunidades vegetales representadas por especies adaptadas a largos periodos de sequía y un corto periodo de precipitación, durante el cual los suelos pueden permanecer inundados. A simple



Figura 1. Paisajes asociados a la vegetación de calichal. **A.** Laguna salobre seca con *Bravaisia berlandieriana* (Nees) T. F. Daniel (Acanthaceae) y *Spartina spartinae* (Trin.) Merr. ex Hitchc. (Poaceae). **B.** Caliche en época de secas. **C-F.** Coraza con diferentes grados de desintegración con selva seca baja. **G.** Selva seca baja con *Beaucarnea pliabilis* (Baker) Rose (Agavaceae) y *Bursera simaruba* Sargt. (Burseraceae) **H.** Caliche aflorado con Cyperaceae y Poaceae formando macollas en pequeñas depresiones de la roca. (Fotos: Rodrigo Duno de Stefano).

vista es evidente una gran diversidad de vegetación (estructura y composición) (Figuras 1, 2A-B).

Algunas especies que crecen en los calichales son endémicas, p. ej. *Angelonia parviflora* Barringer (Plantaginaceae), *Cuphea gaumeri* Koehne (Lythraceae) (Figura 2D), *Jatropha gaumeri* Greenm. (Euphorbiaceae) (Figura 2E), *Mammillaria gaumeri* (Britton & Rose) Orcutt (Cactaceae) (Figura 3A-B) (Orellana *et al.* 2014) y *Zephyranthes orellanae* Carnevali, R. Duno & Tapia-Muñoz.

El ambiente extremo del calichal yucateco representa un filtro ambiental para la mayoría de las plantas de la región y solo algunas especies con características particulares han podido colonizar y desarrollarse. Por ejemplo, *Croton punctatus* Jacq. (Euphorbiaceae) es una hierba o arbusto pequeño característico de este ambiente que posee una gran cantidad de tricomas en hojas y tallos, los cuales le permiten regular la temperatura ambiental, protegerla de la alta radiación solar, vientos fuertes y recurrentes del área; además de servir como un sistema de defensa a la herbivoría (Martínez y Espinosa 2005). Un representante endémico de la Península de Yucatán que se encuentra frecuentemente en los calichales es la cactácea *Mammillaria gaumeri* (Britton & Rose) Orcutt (Figura 3A-B), que como otras cactáceas, ha evolucionado hacia la modificación de su tallo para retener la mayor cantidad de agua cuando llueve y sus hojas en espinas para reducir el área foliar expuesta al sol y evitar así la pérdida de agua. Así mismo, hay especies que son endémicas al calichal, es decir, solo pueden crecer y desarrollarse en este ambiente; por ejemplo, la especie geófita *Zephyranthes orellanae* Carnevali, R. Duno & Tapia-Muñoz (Figura 2K, 3C-D), la cual es capaz de resistir la época de sequía e inundación, debido a un tallo bulboso que permanece en reposo durante la estación seca y produce hojas, flores y semillas a lo largo del período de lluvias (Menéndez 2017).

Todos esos rasgos o caracteres previamente descritos pueden ser agrupados de acuerdo a su funcionalidad, formando lo que se reconoce como grupos funcionales. El reconocimiento de dichos grupos funcionales representa la base de uno de los componentes que integran el estudio de la biodiversidad; la diversidad funcional.

La diversidad funcional se define como el valor, rango de distribución y abundancia relativa de los

rasgos o caracteres funcionales de una comunidad o ecosistema dado (Díaz *et al.* 2007). Es decir, los rasgos o atributos de las especies que pueden ser medibles en un tiempo y lugar determinado (Arellano *et al.* 2018).

En un estudio de diversidad funcional, los grupos funcionales nos ayudan a entender las diversas estrategias evolutivas (caracteres fijados por procesos evolutivos; p. ej. mutación, flujo genético) y/o ecológicas (caracteres respondiendo al ambiente; p. ej. dispersión, tamaño de hojas) que las especies han desarrollado a través de su historia.

Para determinar grupos funcionales se pueden medir rasgos funcionales en organismos completos o en una estructura en particular. Por ejemplo, algunos de los caracteres usados con frecuencia en los estudios de diversidad funcional en plantas, tomando en cuenta al organismo en su totalidad son: forma de crecimiento, hábito de crecimiento, altura, clonalidad, cobertura de la copa, etc.; mientras que una estructura en particular para una planta podrían ser las hojas y algunos atributos funcionales ampliamente usados son: área específica, tamaño, contenido de agua, área foliar, grosor, entre otros (Cornelissen *et al.* 2003).

La elección de los rasgos funcionales depende del propósito del estudio, por ejemplo, si queremos evaluar la fuerza competitiva de las plantas de una selva podríamos cuantificar caracteres que han sido asociados a la competencia; p. ej. forma de crecimiento, altura de la planta, tamaño de la hoja, estrategia de absorción de nutrientes y profundidad de enraizamiento, entre otros. Si, por el contrario, queremos evaluar la respuesta de las plantas a las perturbaciones, los caracteres a cuantificar serían: forma de dispersión, tipo y tamaño de los frutos, masa de las semillas, capacidad de rebrote, entre otros; ya que de esta manera podemos obtener grupos funcionales relacionados a la reacción de los individuos después de un disturbio.

Debido a la heterogeneidad de los suelos en el calichal, existe una gran diversidad de especies con diversos caracteres funcionales que reflejan las diferentes estrategias de supervivencia al ambiente extremo del que tanto hemos hecho mención. Por ejemplo, podemos encontrar pequeños árboles o arbustos con hojas grandes, delgadas, lo que se traduce en una mayor área foliar, reflejando una mayor área de uso efectivo de las hojas para la foto-

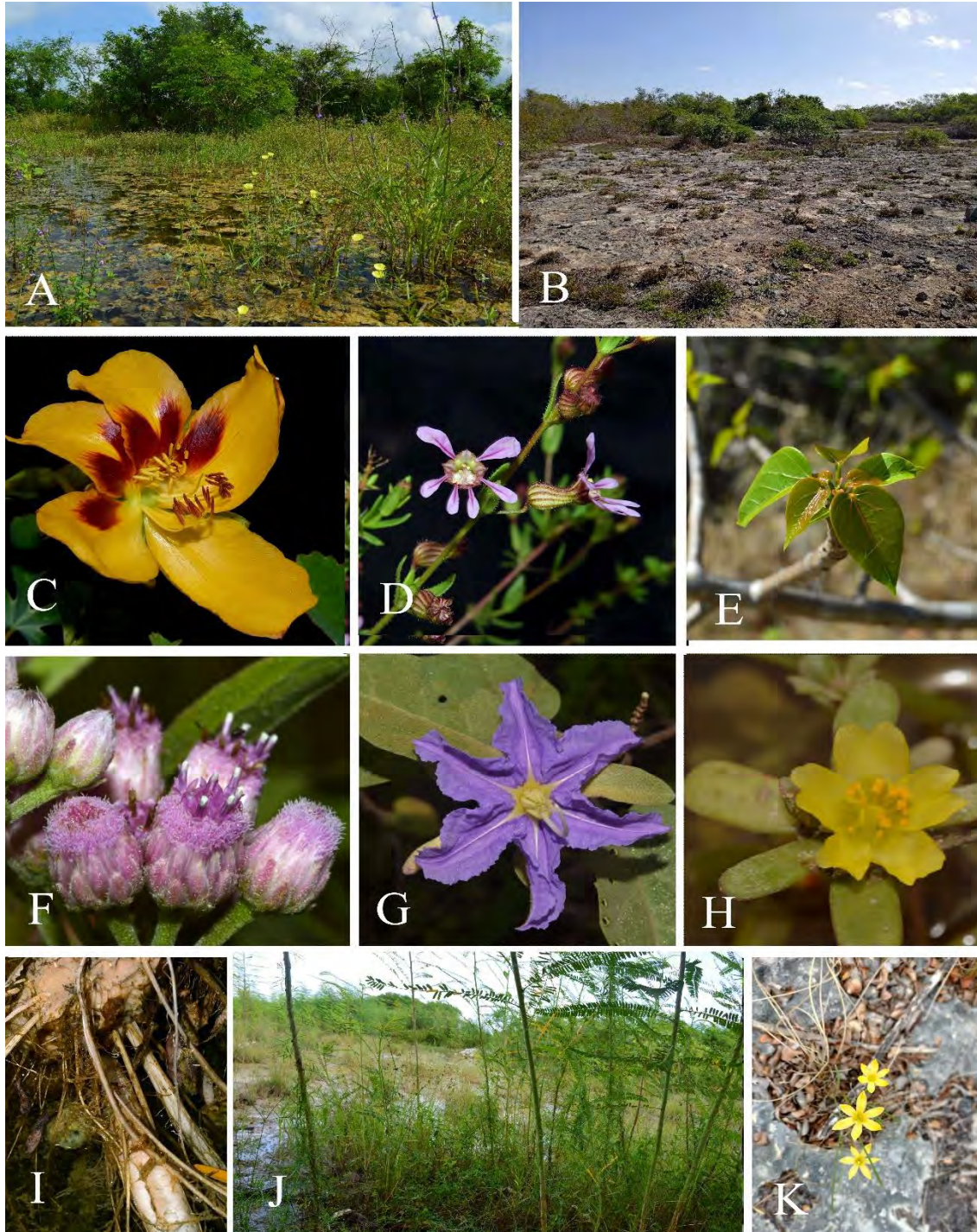


Figura 2. Paisajes y plantas frecuentes a la vegetación de calichal. **A.** Calichal inundado con *Angelonia parviflora* Barringer (Plantaginaceae), *Cienfuegosia yucatanensis* Millsp. (Malvaceae) y *Stachytarpheta angustifolia* (Mill.) Vahl (Verbenaceae), **B.** Calichal en época de sequía con roca aflorando, **C.** *Amoreuxia wrightii* A. Gray (Bixaceae), **D.** *Cuphea gaumeri* Koehne (Lythraceae), **E.** *Jatropha gaumeri* Greenm. (Euphorbiaceae), **F.** *Pluchea rosea* R.K. Godfrey (Asteraceae), **G.** *Solanum tridynamum* Dunal (Solanaceae), **H.** *Portulaca oleracea* L. (Portulacaceae), **I.** Raíces de *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh (Fabaceae), **J.** Tallos de *S. herbacea*, **K.** *Zephyranthes orellanae* Carnevali, Duno & J. L. Tapia (Amaryllidaceae). (Fotos: Claudia Janeth Ramírez).



Figura 3. Algunas especies de la vegetación del calichal. **A.** *Agave angustifolia* Haw. var. *angustifolia* (Agavaceae) y *Mammillaria gaumeri* (Britton & Rose) Orcutt (Cactaceae). **B.** *Mammillaria gaumeri*. **C-D.** *Zephyranthes orellanae* Carnevali, Duno & J. L. Tapia (Amaryllidaceae). (Fotos: Mayte Aguilar).

síntesis (p. ej. *Jatropha gaumeri* Greenm. (Figura 2E)). Por otro lado, encontramos especies de plantas con hojas pequeñas y gruesas, por ende, con una menor área foliar para realizar la fotosíntesis, pero también una menor exposición a la luz solar, reflejando una menor pérdida de agua, mientras que el grosor se traduce en una mayor capacidad de retención de agua y tolerancia a la sequía (p. ej. *Portulaca halimoides* L.) (Zhang *et al.* 2022). Esto, biológicamente nos sugiere que son especies adaptadas al estrés hídrico y a suelos pobres en nutrientes, ya que tienden a maximizar la explotación del recurso cuya disponibilidad es limitante (Gianoli 2004). Por otra parte, en el calichal también existen plantas que han desarrollado estrategias para poder sobrevivir a la baja disponibilidad de carbono y nutrientes, condiciones de sombra o daños mecánicos causados por inundaciones (Trémolières 2004). Por ejemplo, *Echinodorus berteroi* (Spreng.) Fassett, una hidrófita capaz de permanecer sumergida por periodos de tiempo prolongado gracias a un rizoma corto y grueso; un tejido aerenquimatoso (con grandes espacios intercelulares llenos de aire) que le permiten mantener hojas a flote para fotosintetizar. Otro caso es la especie herbácea *Ludwigia bonariensis* (Micheli) H. Hara, la cual posee tallos rastreros, flotantes con enraizamiento en los nudos, formando esponjosos neumatóforos blancos que le permiten crecer en suelos anóxicos (con oxígeno limitado) (Bailey y Colmer 2014). Algo parecido hace *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh (Figura 2I-J), una hierba que desarrolla numerosas raíces esponjosas blanquecinas y adventicias que le permiten adaptarse a estas condiciones donde el oxígeno es bajo. Otro filtro ambiental importante es la salinidad. Fragmentos de calichal cercanos al manglar donde los suelos son más salados crecen especies como *Conocarpus erectus* L. y *Bravaisia berlandieriana* (Nees) T. F. Daniel, las cuales desaparecen un poco más al sur, donde disminuye la salinidad. *Fimbristylis complanata* (Retz) Link. sometida a un gradiente de salinidad, muestra cambios en caracteres funcionales (fisiológicos) como concentración de osmolitos orgánicos, pigmentos fotosintéticos y concentración de potasio y calcio (Kaleem y Hameed 2021). Otros caracteres más sencillos de evaluar como son el grosor de la hoja también cambian con la salinidad, engrosándose con un aumento de salinidad (Matinzadeh *et al.* 2022).

Adoptar una visión integrada de la biodiversidad y entender las funciones de las especies en sus ecosistemas, es de suma prioridad y un gran desafío para su conservación (Devictor *et al.* 2010). Si comprendemos la manera en que funcionan los ecosistemas, podremos proponer estrategias de conservación que integren no solo la riqueza de las especies, sino también su función e historia evolutiva.

Probablemente el calichal sea el ecosistema con mayor diversidad funcional en la Península de Yucatán, lo que lo hace un ecosistema único y de gran importancia ecológica. Sin embargo, cada vez vemos más cerca del calichal el desarrollo urbano. Si logramos entender mejor su diversidad biológica y en particular su diversidad funcional, quizá logremos establecer estrategias apropiadas y educadas para protegerlo y conservarlo.

Agradecimientos

Al Botanic Gardens Conservation International (BGCI), quienes apoyaron el proyecto “Endemic species in small fresh water lagoons in the Yucatan caliche” (GBGF 2020/44938).

Referencias

- Arellano R., De Nova, J., y Munguía R. 2018.** Patch isolation and shape predict plant functional diversity in a naturally fragmented forest. *Journal of Plant Ecology* 11(1): 136–146.
<https://doi.org/10.1093/jpe/rtw119>
- Bailey-Serres J. y Colmer T. D. 2014.** Plant tolerance of flooding stress—recent advances. *Plant, Cell & Environment* 37(10): 2212.
<https://doi.org/10.1111/pce.12420>
- Cornelissen J., Lavorel S., Garnier E., Díaz S., Buchmann N., ... y Poorter, H. 2003.** A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany* 51(4): 336.
<https://doi.org/10.1071/BT02124>
- Devictor V., Mouillot D., Meynard C., Jiguet F., Thuiller W., ... y Mouquet N. 2010.** Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need

- for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecology letters* 13(8): 1030-1031
- Díaz S., Lavorel S., de Bello F., Quétier F., Grigulis K., y Robson T. 2007.** Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(52): 20684. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>
- Duno De Stefano R. 2017.** El caliche yucateco, una vegetación compleja que falta por estudiar y definir. *Desde el Herbario CICY* 9: 231–235.
- Gianoli E. 2004.** Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. En: M. Cabrera. Ed. *Fisiología Ecológica en Plantas: Mecanismos y Respuestas al Estrés en los Ecosistemas*, pp. 13–25. Departamento de Botánica. Universidad de Concepción, Chile. <http://www2.udec.cl/~egianoli/04gianolifisioco.pdf>
- Kaleem M y Hameed M. 2021.** Functional traits for salinity tolerance in differently adapted populations of *Fimbristylis complanata* (Retz.). *International Journal of Phytoremediation*. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1895718>
- Martínez M. y Espinosa S. 2005.** Tricomas foliares de *Croton* sección *Barhamia* (Euphorbiaceae). *Acta Botánica Mexicana* 72: 40. <https://doi.org/10.21829/abm72.2005.1000>
- Márdero S., Elsa Nickl E., Schmook B., Schneider L., Rogan J., Christman Z. y Lawrence D. 2012.** Sequías en el sur de la península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones geográficas* (78): 19-33.
- Matinzadeh Z., López-Angulo J., Escudero A., Palacio S., Abedi M. y Akhiani H. 2022.** Functional structure of plant communities along salinity gradients in Iranian salt marshes. *Plant-Environment Interaction* 3: 16–27. <https://doi.org/10.1002/pei3.10070>
- Menéndez V. 2017.** La magia de las brujitas, *Zephyranthes* y *Habranthus* en Yucatán. *Desde el Herbario CICY* 9: 155–159.
- Orellana R., Espadas C. y Nava F. 2014.** Clima. En: Euán J. I., García de Fuentes A., Liceaga M. A. y Munguía A. Eds. Tomo II. *La costa del estado de Yucatán, un espacio de reflexión sobre la relación sociedad-naturaleza, en el contexto de su ordenamiento ecológico territorial*, pp. 115-123. Plaza y Valdés, Mérida.
- Trémolières M. 2004.** Plant response strategies to stress and disturbance: the case of aquatic plants. *Journal of Biosciences* 29: 461–470. <https://doi.org/10.1007/BF02712119>
- Zhang X., Zhao N., Zhou C., Lu J., y Wang X. 2022.** Seedling age of *Abies georgei* var. *smithii* reveals functional trait coordination in high-altitude habitats in southeast Tibet. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10: 955663. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022-955663>

Desde el Herbario CICY, 14: 234–240 (3-noviembre-2022), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Diego Angulo y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 3 de noviembre de 2022. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.