



Estimados

Dr. Francisco Estrada Porrúa

Dr. Jorge Escandón Calderón

Programa de Investigación en Cambio Climático-UNAM

ASUNTO: INFORME FINAL DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

P R E S E N T E.-

Reciban un cordial saludo, quien suscribe es la Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga, Responsable del proyecto de investigación "**CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL SOBRE LAS INTERACCIONES ECOLÓGICAS COMO PROCESOS ECOLÓGICOS CLAVE EN EL MANTENIMIENTO DE LA INTEGRIDAD DE LOS ECOSISTEMAS**". Mediante la presente hago entrega del informe técnico de cierre correspondiente al referido proyecto. En este sentido, cumplo con detallar las actividades desarrolladas, los objetivos y metas alcanzados, así como los resultados y productos generados y en proceso en el marco del proyecto:

1) ACTIVIDADES REALIZADAS

- SELECCIÓN DE ESPECIES Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN: Se construyó una base de datos históricos de presencia de las especies de colibríes en México y las plantas asociadas a sus usos de hábitat (Anexo 1). Esta información fue compilada a partir de los registros disponibles en colecciones ornitológicas nacionales y bases de datos en línea de acceso abierto (p.ej. GBIF [<http://www.gbif.org>], Enciclovida [<https://enciclovida.mx/>], ebird [<https://ebird.org/home>], DRYFLOR [<http://www.dryflor.info/>], etc.). Para cada especie se realizó un proceso de depuración y limpieza de los registros utilizando los métodos estándar establecidos, que incluyen: (a) eliminar todos aquellos registros que no presentaron información taxonómica completa en los niveles de género y/o especies, (b) eliminar los registros sin coordenadas geográficas (latitud y longitud) o que fuesen de dudosa procedencia; (c) eliminar ocurrencias repetidas en más de una fuente de datos, reteniendo solo un registro de acuerdo a una distancia mínima de separación definida mediante un área buffer; y (d) la valoración de los datos de presencia cuyos intervalos temporales de obtención correspondan a los últimos 10 años calendario y por ende, no coincidan con el de las capas climáticas utilizadas para la elaboración de los modelos de las especies.

- MODELOS DE NICHO ECOLÓGICO Y DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES: Se construyeron, utilizando el algoritmo MaxEnt y la paquetería "*kuenm*" en el programa R, modelos de distribución potencial de las especies para los escenarios climáticos del presente y futuro (años 2040, 2060 y 2080). Para ello, se realizó un protocolo de calibración a fin de evaluar la complejidad del modelo y seleccionar los mejores parámetros de modelado. Posteriormente, utilizando un umbral de omisión del 10% de los datos de entrenamiento, para cada especie se generaron mapas binarios ("presencia" vs. "ausencia") en cada uno de los escenarios



climáticos analizados. Adicionalmente, se calculó la métrica MOP a fin de identificar las zonas de mayor incertidumbre dentro de los modelos.

- ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIO-TEMPORALES DE LAS ESPECIES: Los impactos del cambio climático global en las especies fueron evaluados considerando dos escenarios alternativos de dispersión (“no dispersión” vs. “dispersión limitada”) para las especies. Además, se analizó si la proporción de cambio observado en los rangos de distribución de las especies entre el período actual y los escenarios futuros es mayor en aquellas especies actualmente consideradas como de distribución restringida, especialistas de hábitat y/o amenazadas como en peligro de extinción. Posteriormente, luego de identificar las áreas de mayor idoneidad climática para la distribución de las especies, se realizaron cuatro análisis espaciales: (a) la determinación de las áreas que corresponden a zonas climáticas estables dentro de la distribución de las especies; (b) la evaluación de la disponibilidad e importancia de cada ecosistemas dentro de las áreas de distribución de las especie; (c) la evaluación del impacto de la deforestación en los patrones espaciales de distribución de las especies; y (d) el análisis de los cambios en la congruencia espacial en los rangos de distribución para las asociaciones entre especies de colibrí y plantas. Para este último caso, se analizaron los aspectos de estructura, modularidad y anidación en las redes ecológicas entre plantas-colibríes.

- ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN DE ÁREAS PARA LA CONSERVACIÓN: Se identificaron áreas prioritarias para la conservación a largo plazo de los colibríes en México, evaluando los valores de representatividad de especies en las áreas protegidas actuales. Además, considerando que no todas las especies se pueden proteger adecuadamente en el interior de áreas altamente modificadas, se consideró el uso de variables referidas a la presión antrópica (p.ej. grado de deforestación, uso de suelo, etc.) en el presente y el futuro para de esta forma de minimizar tanto como sea posible el conflicto por el uso del territorio. Esto es un paso crítico para promover un sistema de áreas protegidas idóneo en el marco del desarrollo sostenido y la complementariedad de todo el paisaje, favoreciendo así a la adaptación ante los escenarios de cambio climático y uso de suelo futuros.

2) OBJETIVOS, METAS Y RESULTADOS ALCANZADOS

- **Objetivo 1.** Determinar la distribución geográfica potencial de las especies de colibríes y las plantas ecológicamente asociadas a sus usos de hábitat, para los escenarios climáticos del presente y futuro (años 2040, 2060, 2080) estimando los patrones espaciales de riqueza y endemismos de especies en los ecosistemas de México.

METAS Y RESULTADOS (100% DE ALCANCE):

a) Compilación y depuración de bases de datos contentivas de los registros de presencia de las especies (Anexo 1). Se obtuvieron en total 54,023 registros únicos de ocurrencia para las 58 especies de colibríes con presencia en México, de los cuales 17,453 (32.31%) corresponden a registros históricos en localidades en el país. Para el caso de las plantas (n = 339), se obtuvo un total de 139,846 registros únicos de ocurrencia de los cuales 74,892 (53.55%; Anexo 1) son registros de localidades en el territorio mexicano.

b) Construcción y validación estadística de los modelos distributivos para las especies bajo escenarios climáticos del presente y el futuro (años 2040, 2060 y 2080). Para el caso de los



colibríes, los modelos de las especies migratorias ($n = 9$) fueron descartados en la investigación debido a su baja significancia estadística. En el caso de las plantas se han construido y validado hasta el momento los modelos para un total de 187 especies (50.13%). Todos los mapas de distribución en el territorio mexicano para las especies de colibríes (en cada escenario climático analizado) son anexados, en formato ESRI GRID, al presente informe (Anexo 2). Los mapas finales obtenidos para las especies de plantas serán entregados una vez se culmine el proceso de publicación de los artículos asociados a esos datos.

- **Objetivo 2.** Analizar el efecto del cambio climático global, considerando dos escenarios alternativos de dispersión (“limitada” vs. “no dispersión”), en los patrones de distribución geográfica potencial de las especies de colibríes y plantas ecológicamente asociadas a sus usos de hábitat, así como su impacto en los patrones espacio-temporales de las redes ecológicas potenciales entre colibríes y plantas ecológicamente asociadas.

METAS Y RESULTADOS (75% DE ALCANCE):

a) Caracterización de los patrones espacio-temporales de distribución de las 49 especies no migratorias de colibríes en México, evaluando los potenciales efectos del cambio climático global y la pérdida del hábitat en las especies y comunidades de estas aves.

b) Caracterización, como caso de estudio, de los patrones espacio-temporales de distribución de las 16 especies de plantas asociadas a la distribución del colibrí *Tilmatura dupontii* en Mesoamérica, evaluando los potenciales efectos del cambio climático global en la congruencia espacial para las asociaciones entre esta especie de colibrí y sus plantas.

c) Estimación de los patrones espacio-temporales de distribución de las 118 especies de plantas nativas asociadas a los patrones de distribución de 12 especies no migratorias de colibríes endémicos a México, evaluando los potenciales cambios en el futuro para las asociaciones colibrí-plantas a través de ocho (8) provincias biogeográficas del país.

- **Objetivo 3.** Evaluar los valores de representatividad de las especies de colibríes, y las plantas ecológicamente asociadas a sus usos de hábitat, dentro del sistema actuales de áreas protegidas de México y cómo estos se modificarían bajo escenarios de cambio climático futuro para los años 2040, 2060, 2080.

METAS Y RESULTADOS (75% DE ALCANCE):

a) Determinación, considerando las dinámicas espacio-temporales de las especies ante los escenarios de perturbación ambiental en el futuro, de los valores de representatividad de las especies de colibríes en las áreas protegidas actuales.

b) Determinación, considerando las dinámicas espacio-temporales de las especies ante los escenarios de perturbación ambiental en el futuro, de los valores de representatividad en las áreas protegidas actuales para las especies de plantas asociadas al uso de hábitat de los colibríes en México. (En proceso).

c) Identificación de especies de colibríes prioritarias y con importantes vacíos de conservación (i.e., escasamente protegidas). (En proceso para las plantas).

- **Objetivo 4.** Identificar prioritarias, complementarias al sistema actual de áreas protegidas en México, para la conservación de las especies de colibríes y las plantas



ecológicamente asociadas a sus usos de hábitat, que permitan incrementar la representatividad de las especies y sus interacciones ecológicas, maximizar su protección a largo plazo y favorecer a la adaptación ante el cambio climático global.

METAS Y RESULTADOS (50% DE ALCANCE):

a) Determinación de áreas clave para la conservación de las especies de colibríes presentes en México, considerando los escenarios de cambio climático global futuro y las dinámicas de uso de suelo para el año 2050. Estas áreas (26,689 km²) son consideradas como sitios “hotspot” de alta resiliencia ambiental para este grupo de aves especializadas y altamente vulnerables, por lo cual requieren de inmediatas acciones de protección. El mapa, en formato polígono shapefile, de las áreas prioritarias de conservación a largo plazo para los colibríes de México es anexado al presente informe (Anexo 3).

b) Elaboración de una priorización de áreas de conservación para la conservación de las especies de colibríes y las plantas ecológicamente asociadas a sus usos de hábitat, que permitan incrementar la representatividad tanto de las especies como de sus interacciones ecológicas, maximizando así su protección a largo plazo. (En proceso).

3) PRODUCTOS ALCANZADOS:

El alcance logrado en el desarrollo de cada objetivo del proyecto ha permitido la elaboración y difusión de diferentes productos académicos y educativos. En cada uno de ellos se ha realizado el debido reconocimiento al Programa de Investigación en Cambio Climático-UNAM por la subvención otorgada a este proyecto. Además, se espera que varios productos (adicionales a los originalmente comprometidos) puedan ser culminados y publicados durante el año 2022. Se presenta un listado de los productos resaltantes:

- ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN EN REVISTAS INDEXADAS PUBLICADOS Y EN PREPARACIÓN: Se publicó un (1) artículo de investigación en revista internacional indexada (Anexo 4). Además, actualmente se están preparando dos (2) artículos adicionales, los cuales son productos de los trabajos de tesis desarrolladas por los estudiantes participantes en el proyecto.

- Prieto-Torres, D.A., Nuñez Rosas, L.E., Remolina Figueroa, D.R., & Arizmendi, M.C. (2021). **Most Mexican hummingbirds lose under climate and land-use change: Long-term conservation implications.** *Perspectives in Ecology and Conservation* 19: 487-499. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.07.001>

- Remolina Figueroa, D., Prieto-Torres, D.A., Dáttilo, W., Slagado-Díaz, E., Nuñez Rosas, L.E., Rodríguez Flores, C., Navarro-Singüenza, A.G. **Together forever? Hummingbird-plant co-occurrence networks from Mexican endemic species in the face of climate warming.** (En preparación).

- Neri-Vargas, J., Prieto-Torres, D.A., & Arizmendi, M.C. **Extinction risk of Short-crested Coquette (Aves: *Lophornis brachylophus*) in future global changes scenarios.** (En preparación).

- CAPÍTULOS DE LIBRO EN PROCESO Y SOMETIDOS: Los resultados de este proyecto fueron integrados en los análisis realizados para la elaboración de un (1) capítulo de libro en el que participaron los investigadores (Anexo 5). Este capítulo de libro tiene como objetivo analizar



y describir el impacto de las actividades antrópicas en la biodiversidad de la avifauna mexicana. El documento se encuentra actualmente en proceso de evaluación.

- Prieto-Torres, D. A., Vázquez-Reyes, L., Kiere, L. M., Sánchez-González, L. A., Pineda-López, R., Arizmendi, M. C., Gordillo-Martínez, A., Almazán-Núñez, R. C., Rojas-Soto, O. R., Ramírez-Bastida, P., Peterson, A. T., & Navarro-Sigüenza, A. G. **Mexican avifauna of the Anthropocene**. En: Jones, R., Ornelas, P., Pineda, R., & Álvarez, F. *Mexican Fauna in the Anthropocene*. Springer (En evaluación).

- ARTÍCULO DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA: Se elaboró un (1) artículo de divulgación científica en el que se muestran y discuten los resultados alcanzados en la primera etapa de desarrollo del proyecto (Anexo 6). Este artículo se encuentra en proceso de evaluación por parte del comité editorial de la revista.
 - Prieto-Torres, D. A., Nuñez, L. E., & Arizmendi, M. C. **Los colibríes de México en la era del cambio climático**. Revista "¿cómoves?" (En evaluación).

- FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS: En total cuatro (4) estudiantes de licenciatura estuvieron participando en las actividades del proyecto. De estos, tres (3) han realizado sus estancias de servicio social participando en los programas coordinados por los investigadores participantes de este proyecto (Anexo 7). Dos de estas estudiantes desarrollaron sus proyectos de tesis abordando casos de estudios con especies de colibríes. En ambos casos, los análisis y redacción de las tesis han sido culminadas, estando actualmente en proceso de evaluación por parte de los jurados asignados. Además, gracias a este proyecto se pudo apoyar el desarrollo de una tesis de maestría actualmente en ejecución (tercer semestre).
 - **Licenciatura**. "Riesgo de extinción del colibrí Coqueta de Atoyac *Lophornis brachylophus* (Aves: Trochilidae) en escenarios futuros de cambio climático global y uso de suelo". Alumna: Jennifer Vargas Neri con, Tutor: Dr. David A. Prieto-Torres. (Por espera de fecha para el examen de titulación). (Anexo 8).
 - **Licenciatura**: "¿Co-ocurrentes o co-dependientes?: Impactos del cambio climático global en los patrones de distribución geográfica del Colibrí Cola Pinta *Tilmatura dupontii* (Aves: Trochilidae) y las plantas asociadas a su uso de hábitat". Alumna: María de los Ángeles Reyes Mondragón, Tutor: Dr. David A. Prieto-Torres. (Por espera de los votos aprobatorios del jurado de titulación). (Anexo 9).
 - **Maestría**: "¿Polinización en riesgo? impactos del cambio climático global sobre los patrones de distribución de los colibríes y sus plantas asociadas en México". Alumna: Daniela Remolina Figueroa, Tutora: Dra. María del Coro Arizmendi. (Tesis en desarrollo). (Anexo 10).

- DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS: Se presentaron los resultados de las investigaciones en tres (3) diferentes congresos científicos:
 - Título del trabajo: "**¿Polinizadores en riesgo? Impactos del cambio climático global en la distribución de los colibríes de México**". Congreso Internacional de Variabilidad y Cambio Climático. Bogotá, Colombia. Del 21 al 23 de abril de 2021. (Anexo 11).



Facultad de Estudios Superiores

IZTACALA

- Título del trabajo: “**¿Es el cambio climático global una amenaza para los colibríes en México?**”. XXXIX Coloquio de Investigación de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala-UNAM. Estado de México, México. Del 02 al 06 de agosto de 2021. (Anexo 12).

- Título del trabajo: “**Riesgo de extinción del colibrí coqueta de Atoyac Lophornis brachylophus (Aves: Trochilidae) en escenarios de cambio climático global y uso de suelo**”. XVIII Congreso para el estudio y conservación de las aves en México (CECAM). Pachuca, Hidalgo, México. Del 02 al 04 de diciembre de 2021. (Anexo 13). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=v7OZttBz9qM>

- **OTROS:** Se hace entrega de un video de difusión científica creado en marco de la participación realizada en el XXXIX Coloquio de Investigación de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala-UNAM. (Anexo 14).

4) DIFICULTADES Y OTROS COMENTARIOS: En términos generales el proyecto pudo realizarse sin contratiempos mayores durante el desarrollo de las actividades de campo, laboratorio y análisis computacionales. No obstante, es importante resaltar que el trámite administrativo para la adquisición de los equipos de cómputos fue bastante demorado dado el cierre de año al recibir los recursos. Esto retrasó el inicio de los análisis y su completa culminación de acuerdo con el calendario de actividades programado.

Por otra parte, al término del año 2021 el proyecto cuenta con un saldo a favor de \$12,982.12 pesos mexicanos (ver informe Financiero). Por ello, se solicita considerar la asignación de este recurso para cubrir los gastos de inscripción y viáticos para los integrantes del equipo que asistirán al VIII Congreso Mexicano de Ecología, organizado por la Sociedad Científica Mexicana de Ecología del 22 al 27 de mayo de 2022, en la Oaxaca de Juárez, Oaxaca. Esto con la finalidad de continuar la difusión y disseminación de los importantes resultados obtenidos en el proyecto.

Sin otro particular al cual hacer referencia, agradeciendo de antemano su atención para con el caso, quedo de Uds.,

Atentamente,

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU”

Los Reyes Iztacala, 03 de diciembre de 2021

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA

Investigadora Responsable

Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Universidad Nacional Autónoma De México