

Modelado de hábitat potencial del Cuculillo pico amarillo *Coccyzus americanus* en Baja California Sur

José Emer García de la Puente Orozco^{1,2,3} , Yuri Vladimir Albores Barajas⁴ , David Serrano¹ , Jorge Saul Ramirez-Perez¹ , Miguel Ángel Ojeda Ruiz^{4,*} , Exal Hernández Plata⁴ , Natalia Montes Barrios^{2,3} 

- (1) Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, P.º Claussen S/N, Centro, 82000 Mazatlán, Sinaloa, México.
- (2) Universidad Autónoma de Baja California Sur, Campus Los Cabos Avenida de la Juventud 17, Juárez, 23460 Cabo San Lucas, Baja California Sur, México.
- (3) Laboratorio de Conservación del Hábitat y Especies Clave. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Avenida de la Juventud 17, Juárez, 23460 Cabo San Lucas, Baja California Sur. México.
- (4) Universidad Autónoma de Baja California Sur, Campus La Paz, Boulevard Forjadores S/N entre Calle Av. Universidad y Calle Félix Agramont Cota Col. Universitario. La Paz, Baja California Sur, México.

* Autor de correspondencia / Corresponding author: Miguel Ángel Ojeda Ruiz [maojeda@uabcs.mx]

> Recibido / Received: 09/09/2024 – Aceptado / Accepted: 10/12/2024

Cómo citar / How to cite: García de la Puente Orozco, J.E., Albores Barajas, Y.V., Serrano Hernández, D., Ramirez Perez, J.S., Ojeda Ruiz, M. Ángel, Hernández Plata, E., Montes Barrios, N. 2025. Modelado de hábitat potencial del Cuculillo pico amarillo *Coccyzus americanus* en Baja California Sur. *Ecosistemas* 34(1): 2849. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2849>

Modelado de hábitat potencial del Cuculillo pico amarillo *Coccyzus americanus* en Baja California Sur

Resumen: El Cuculillo pico amarillo (*Coccyzus americanus*) es un ave migratoria emblemática en la cultura del noroeste de México. Su población occidental se encuentra catalogada como amenazada a nivel internacional, debido a la disminución y fragmentación de su hábitat. Por ese motivo este estudio tiene como objetivo mejorar el conocimiento sobre la ecología y distribución de esta especie en la región de Los Cabos en el Estado de Baja California Sur. Para lograr este objetivo, se utilizó el programa MaxEnt incorporando variables ambientales como NDVI, temperatura, pendiente, uso del suelo y velocidad del viento, así como registros históricos de presencia de la especie y datos obtenidos en un monitoreo realizado en 2020 y 2021. El modelo generó dos mapas detallados: un mapa de distribución y un modelo de hábitat potencial de la especie, permitiendo identificar las zonas con mayor probabilidad de presencia. Estas áreas se concentran principalmente dentro de una de las Áreas Naturales Protegidas de la región, la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, donde se identificaron áreas clave para su conservación que cuentan con hábitat ribereño con condiciones adecuadas para la reproducción y migración del Cuco. Este trabajo aporta información esencial para la conservación y manejo de los hábitats ribereños en la región, lo que podría contribuir a mitigar las amenazas que enfrenta esta especie.

Palabras clave: ecosistema ripario; especie amenazada; hábitats ribereños; monitoreo de distribución; pérdida de hábitat

Potential habitat modeling of the Yellow-billed Cuckoo *Coccyzus americanus* in Baja California Sur

Abstract: The Yellow-billed Cuckoo (*Coccyzus americanus*) is a migratory bird emblematic of the culture in northwestern Mexico. Its western population is classified as internationally threatened due to the reduction and fragmentation of its habitat. For this reason, this study aims to improve knowledge of the ecology and distribution of this species in the Los Cabos region of Baja California Sur. To achieve this objective, the MaxEnt program was used, incorporating environmental variables such as NDVI, temperature, slope, land use, and wind speed, along with historical occurrence records and data collected during monitoring conducted in 2020 and 2021. The model produced two detailed maps: a distribution map and a potential habitat model for the species, allowing the identification of areas with the highest probability of presence. These areas are primarily concentrated within one of the Protected Natural Areas of the region, the Sierra La Laguna Biosphere Reserve, where key conservation areas were identified, including riparian habitat with suitable conditions for the cuckoo's reproduction and migration. This study provides essential information for the conservation and management of riparian habitats in the region, which could help mitigate the threats facing this species.

Keywords: riparian ecosystem; threatened species; riparian habitats; distribution monitoring; habitat loss

Introducción

El Cuculillo pico amarillo (en adelante “Cuco”) es un ave migratoria neotropical que pasa el invierno en América del Sur y se reproduce en América del Norte (Fish and Wildlife Service 2014). Cuenta con dos grandes poblaciones encontradas en su amplia área de distribución; una se reproduce en la costa este de los Estados Unidos y México, hasta El Salvador, y la población occidental, en la que se centra este trabajo, anida principalmente en la costa oeste de Estados Unidos desde British Columbia

hasta México, llega a observarse incluso en Sinaloa incluyendo la península de Baja California Sur y la región de Sonora y Chihuahua (Hughes 1999; Toochin y Cecile 2014; Halterman et al. 2016).

La población occidental es una especie de interés para la conservación que recientemente fue catalogada como “Amenazada” según la Ley Federal de Especies en Peligro de Extinción (79 FR 59992) (Fish and Wildlife Service 2020). Esta ley, vigente desde 1973, es una herramienta federal para prevenir la extinción de especies en los Estados Unidos, ha sido fundamental para salvar algunas de las aves y otros organismos más amenazados del país (National Audubon Society 2024).

Históricamente, el Cuco se distribuyó en una vasta área geográfica del oeste de los Estados Unidos, el sur de Canadá y el norte de México (Hughes 1999). Se consideraba común en los ríos de todo el oeste de Estados Unidos y el noroeste de México (Gaines y Laymon 1984). Sin embargo, este rango se ha reducido durante el último siglo y actualmente el Cuco mantiene pequeñas poblaciones reproductoras en California, Arizona, Nuevo México, Texas y el norte de México (Dettling et al. 2015). En México, se tiene registro de que se reproduce al sur de la región del Cabo en Baja California, Sinaloa y Chihuahua (Laymon 1998).

El hábitat de nidificación favorito de esta ave en el suroeste de los Estados Unidos y noroeste mexicano son los bosques ribereños de baja elevación (Wallace et al. 2013). Los pocos estudios publicados sugieren que un follaje denso, alta humedad, hábitat extenso, altitud moderada (900-1200 m.s.n.m.) y alimentación adecuada son condiciones que deben cumplirse antes de que el Cuco proceda a anidar en un lugar; también es importante el tamaño de parche de hábitat ya que son animales muy territoriales que necesitan parches de álamo-sauce de más de 100 m de ancho y más de 10 ha de superficie según los estudios de Gaines y Laymon (1984) en California.

En México, solo hay un estudio que informa sobre la disminución poblacional del Cuco (Macías-Duarte 2023), sin embargo, en los estados de Arizona, Nuevo México y California se estima que la pérdida puede ser del 90 al 99% (Halterman et al. 2016). El estado de la porción occidental de la población del Cuco en México es incierto, se cree que es bajo, por lo menos dos tercios de hábitat apropiado para la reproducción se ha perdido o degradado, particularmente en Sonora, pero no más de 330-530 parejas quedan en México (Hughes 2020).

Las alteraciones antropogénicas de las cuencas hidrográficas y los sistemas ribereños están degradando y destruyendo el hábitat del Cuco en toda su área de distribución. La fragmentación del hábitat da como resultado poblaciones pequeñas y aisladas de cucos que contribuyen a su vulnerabilidad. Es importante mencionar que el poco hábitat ribereño que queda en el noroeste de México todavía está en peligro por la degradación, la tala y las inundaciones (Laymon y Halterman 1987), lo que hace que la supervivencia del Cuco sea incierta.

Por lo anterior, se plantea la hipótesis de que la distribución de la población occidental de Cuco en la región de Los Cabos se encuentra influenciada por la extensión y disponibilidad de hábitat ribereño, afectando su presencia y éxito reproductivo en esta zona árida de Baja California Sur.

Este artículo sienta bases para implementar un plan a largo plazo que permita tener una visión general de la especie en la región del Cabo en Baja California Sur, ya que durante años se han reportado avistamientos de la especie, pero no todos sus aspectos ecológicos en esta región, incluyendo su importancia y existencia por parte de la comunidad local. Los objetivos particulares de la investigación fueron: (1) Describir la extensión y ubicación actual del hábitat potencial del Cucillo pico amarillo en Los Cabos y La Paz que cumplen con las condiciones climáticas y ecológicas necesarias para su reproducción y supervivencia y (2) Evaluar los resultados de censos previos de la especie sobre la abundancia y distribución, para ello se compararán los registros históricos y recientes, con el fin de identificar patrones temporales y espaciales, así como posibles tendencias en la población, relacionándolos con variables ambientales.

Materiales y métodos

Área de estudio

Baja California Sur es una de las entidades más áridas del país debido principalmente a la baja precipitación pluvial; la mayor parte del territorio está constituido por zonas desérticas y la vegetación mesófila de estirpe tropical quedó confinada a escasos cuerpos de agua que permanecieron en el desierto peninsular, y que ahora son conocidos como los ecosistemas de oasis, los cuales funcionan como islas biológicas para muchas especies, entre las cuales hay muchas aves migratorias (Ruíz-Campos et al. 2014).

La zona donde el Cuco se establece en Baja California Sur se denomina Región Hidrológica RH6 (Sur-Este: La Paz). Además de Caduño y Miraflores, esta especie se encuentra en la región de San Antonio de La Sierra, la cual se destaca por estar dentro del polígono del Área Natural Protegida (ANP) Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna (REBIOSLA), considerada un baluarte natural por la diversidad que alberga en sus 4 ecosistemas, teniendo la presencia de dos ambientes únicos en el estado: el bosque bajo caducifolio y el bosque de pino-encino (Rzedowsky 1978).

La REBIOSLA es la región con mayor nivel de precipitaciones y fuentes de agua dulce del estado. Por sus características geográficas, geológicas y climáticas, cuenta con un número considerable de especies endémicas tanto en flora como en fauna. En cuanto a la avifauna destacan más de 180 especies de aves, de las cuales 3 especies y 15 subespecies son endémicas (Rebman y Roberts 2012).

El hábitat ribereño en Baja California Sur donde el “Cuco” está presente actualmente se encuentra amenazado por la destrucción y modificación debido al cambio en los procesos hidrológicos, actividades agrícolas y conversión del hábitat a tierras de cultivo y pastoreo, conversión a vegetación no nativa e invasiva, sequías y cambio climático global (Hughes 2020).

Programa de Monitoreo 2020-2021

Para este estudio se siguió la metodología del protocolo de seguimiento para el segmento occidental de población diferenciada del Cuclillo de pico amarillo (Halterman et al. 2016), realizando el monitoreo durante la temporada migratoria de verano del Cuco en los meses de junio, julio y agosto de 2020 y 2021.

Este consistió en identificar y establecer puntos de conteo en un mapa específico para cada sitio de monitoreo (Fig. 1), los cuales se establecieron a intervalos de 200 m a lo largo del hábitat ribereño, cubriendo las áreas de mayor densidad de vegetación que podrían albergar cucos. Se monitorearon en total 13 puntos, distribuidos en tres zonas: Caduaño, Miraflores y Rancho Las Ballenas, este último ubicado en San Antonio. En Caduaño se monitorearon 4 puntos; en Miraflores también se monitorearon 4 puntos; mientras que en Rancho Las Ballenas se establecieron 5 puntos de conteo.

Se utilizó la reproducción de cantos pregrabados para atraer y detectar visual o auditivamente a los cucos, ya que, de acuerdo con Halterman y colaboradores (2016), este método aumenta la probabilidad de detección, ya que el Cuco es una especie críptica y difícil de observar.

Para cada observación se registró el número de individuos observados u oídos, junto con datos generales como el número de punto, las coordenadas, la fecha y la hora del día. Cada punto de monitoreo fue visitado una vez por temporada.

Rutas de monitoreo de *Coccyzus americanus* en Baja California Sur (2020-2021)

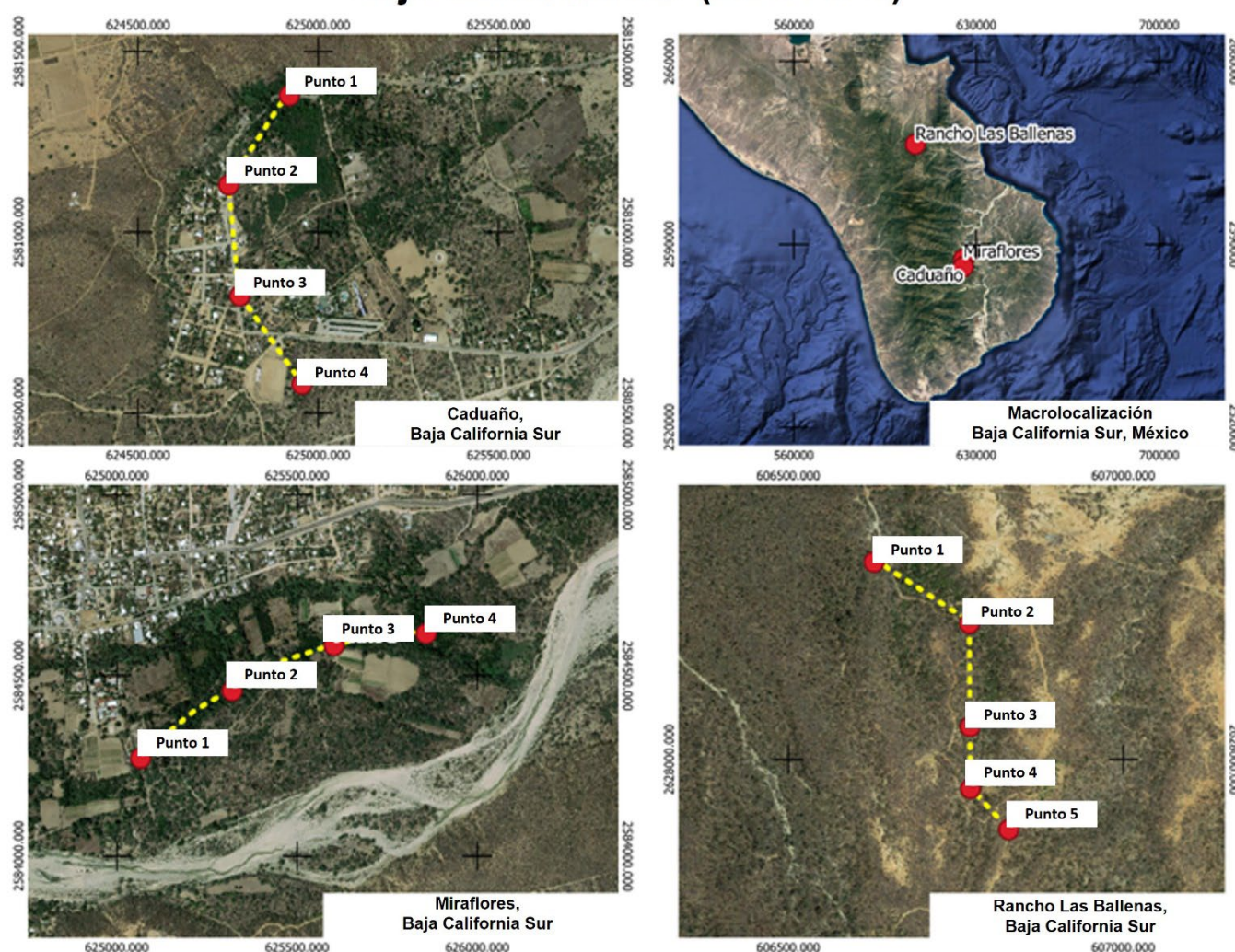


Figura 1. Rutas y puntos de conteo de *C. americanus* en los tres sitios monitoreados en 2020 y 2021 en Baja California Sur. Ver mapa de situación general en la **Figura 3**.

Figure 1. Routes and counting points of *C. americanus* at the three monitored sites in 2020 and 2021 in Baja California Sur. See general situation map in **Figure 3**.

Integración y Filtrado de Registros de Ocurrencia

Para el desarrollo del modelo MaxEnt, se integraron y filtraron registros de ocurrencia del Cuco provenientes de [GBIF \(2021\)](#), [CONABIO \(2021\)](#), [eBird Observation Dataset \(2021\)](#) y registros de campo propios. Los datos incluyeron registros de años anteriores (2010-2020) y registros de campo recientes (2020-2021).

Se unificaron los registros en un archivo CSV que contenía información sobre la especie, coordenadas, mes, año y número de individuos observados. Se eliminaron los registros duplicados, conservando solo un registro por combinación única de coordenadas, especie, mes y año, para evitar sesgos.

Luego, se filtraron los registros para los 3 meses, capturando el periodo de mayor actividad reproductiva de la especie. También se aplicó un filtro espacial con la librería `sf` en R ([R Foundation 2024](#)) version 4.4.1 y el paquete de librerías raster ([Hijmans 2025](#)), `corrplot` ([Wei y Simko 2024](#)), `dplyr` ([Wickham et al. 2023](#)) y `ggplot2` ([Wickham 2016](#)) asegurando una distancia mínima de 250 metros entre observaciones cercanas.

Obtención y Procesamiento de Variables Ambientales

Para el desarrollo del modelo MaxEnt, se seleccionaron variables ambientales relevantes que influyen en la distribución del hábitat del Cuco. Estas variables incluyen datos topográficos, climáticos, índices de vegetación y uso del suelo. Todas las capas se recortaron al área de estudio y se alinearon para asegurar que tuvieran la misma resolución espacial, extensión y sistema de coordenadas (WGS84).

Los datos de elevación se obtuvieron de [WorldClim \(2021\)](#) con una resolución espacial de 1 km (30 segundos de arco). A partir de la capa de elevación, se calculó la pendiente utilizando la función `terrain()` del paquete raster en R, obteniendo valores en grados. Esta variable es relevante porque diferentes grados de inclinación pueden ofrecer microhábitats específicos para la especie.

Las variables climáticas se obtuvieron de WorldClim con la misma resolución de 1 km. Para capturar la estacionalidad, se seleccionaron los meses de junio, julio y agosto. Las variables climáticas se promediaron para cada variable, generando valores representativos del verano. Las variables seleccionadas fueron: Temperatura Máxima (`tmax`), Temperatura Mínima (`tmin`), Temperatura Promedio (`tavg`), Precipitación (`prec`) y Velocidad del Viento (`wind`), y NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Las capas de uso del suelo (LandCover) se obtuvieron del producto MCD12Q1 de MODIS ([NASA 2021](#)). Estas capas proporcionan información detallada sobre los tipos de cobertura, lo que permite evaluar su influencia en la distribución del hábitat. Se seleccionaron las capas correspondientes a los años 2020 y 2021, y se recortaron al área de estudio utilizando [QGIS \(2021\)](#).

Para capturar los cambios en la cobertura entre ambos años, se calculó una capa de diferencia mediante R. Este cálculo permitió identificar las transformaciones en la cobertura entre ambos años, como la urbanización, la expansión agrícola o cambios en áreas naturales. El análisis reveló que solo el 2.42% de los píxeles mostraron cambios entre 2020 y 2021. Dado este bajo porcentaje de cambio, se decidió no incluir la capa de diferencia en el modelo para evitar complejidad innecesaria. Se optó por mantener únicamente la capa de uso del suelo de 2020.

Alineación de Capas y Creación del Stack Final

Todas las capas se reproyectaron al sistema de coordenadas WGS84 y se recortaron al área de estudio. La capa de elevación se usó como referencia para alinear las demás capas utilizando la función `resample()` del paquete raster en R.

Análisis de Correlación y Redundancia (Pearson)

Para asegurar que las variables seleccionadas fueran independientes y relevantes, se realizó un análisis de correlación de Pearson. Este análisis permitió identificar relaciones lineales fuertes entre variables y evitar redundancias que podrían generar sobreajuste en el modelo y dificultar su interpretación.

Se extrajeron los valores raster de cada capa seleccionada y se combinaron en un data frame en R. Posteriormente, se eliminaron las filas con valores ausentes (NA) para garantizar un análisis consistente. La [Tabla 1](#) muestra los resultados del análisis de Pearson.

La precipitación y NDVI mostraron una alta correlación positiva ($r = 0.85$), lo que indica redundancia. Se conservó NDVI por su relación más directa con la vegetación.

La Temperatura máxima y promedio también tuvieron una correlación alta ($r = 0.85$), por lo que se seleccionó la temperatura promedio como una medida representativa. La temperatura mínima también fue descartada por su correlación moderada con la temperatura promedio ($r = 0.77$).

El viento presentó correlaciones moderadas con la temperatura mínima y baja con NDVI, aportando información única. Por ello, se mantuvo.

La pendiente y precipitación tuvieron una correlación moderada ($r = 0.70$), pero se decidió conservar la pendiente debido a su relevancia topográfica.

El Uso del suelo mostró baja correlación con otras variables, lo que justifica su inclusión junto con NDVI.

Finalmente, las variables seleccionadas para el modelo MaxEnt fueron: pendiente, viento, temperatura promedio, NDVI y uso del suelo.

Tabla 1. Correlaciones de variables ambientales (método de análisis de Pearson).

Table 1. Environmental variable correlations (Pearson analysis method).

	pendiente	wind	prec	tmax	tmin	tavg	LandCover	ndvi
pendiente	1.000	-0.106	0.701	-0.452	-0.172	-0.399	-0.008	0.570
wind	-0.106	1.000	-0.205	-0.004	0.603	0.334	0.363	0.059
prec	0.701	-0.205	1.000	-0.542	-0.095	-0.416	0.058	0.850
tmax	-0.452	-0.004	-0.542	1.000	0.321	0.848	-0.005	-0.656
tmin	-0.172	0.603	-0.095	0.321	1.000	0.774	0.273	0.115
tavg	-0.399	0.334	-0.416	0.848	0.774	1.000	0.149	-0.375
uso_suelo_2020	-0.008	0.363	0.058	-0.005	0.273	0.149	1.000	0.203
ndvi	0.570	0.059	0.850	-0.656	0.115	-0.375	0.203	1.000

Modelado de la Distribución Potencial con MaxEnt

El modelado de la distribución del Cuco se realizó con el software [MaxEnt \(2024\)](#). Se realizaron 10 corridas independientes para verificar la consistencia del modelo, utilizando una muestra distinta en cada una, garantizando predicciones más generales y precisas.

El modelo se ejecutó hasta alcanzar estabilidad en las predicciones, con un máximo de 500 iteraciones. Los datos se dividieron en 80% para entrenamiento y 20% para validación, y se evaluó la precisión con curvas ROC (Receiver Operating Characteristic), cuyo valor de la métrica de AUC (Área Bajo la Curva) cercano a 1 indica alta precisión. Los valores AUC de cada ejecución se promediaron para evaluar el rendimiento general.

Se usaron 10 000 puntos aleatorios en áreas sin registros de la especie para comparar las condiciones ambientales entre zonas con y sin presencia del Cuco.

Finalmente, los resultados del modelo fueron representadas en mapas con una simbología adecuada para visualizar las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie.

Resultados

Programa de Monitoreo 2020-2021 e Integración y Filtrado de Registros de Ocurrencia

Los registros comenzaron con números bajos en el primer mes y fueron aumentando, logrando llegar en el mes de agosto de ambos años a un registro máximo de 22 individuos en 2020 y 13 en 2021.

En 2020, la abundancia del Cuco fue de 20 individuos en Caduaño, 18 en Miraflores y 18 en Rancho las Ballenas. Para 2021, en Caduaño se registraron 11 individuos, en Miraflores 11 y en Rancho las Ballenas 7. Los registros mensuales totales de Cuco en 2020 fueron de 15 individuos en junio, 19 en julio y 22 en agosto. En 2021, se registraron 6 individuos en junio, 10 en julio y 13 en agosto ([Tabla 2](#)).

Después de haber filtrado los registros de ciencia ciudadana se obtuvieron en total 30, los cuales fueron empleados junto con los datos de campo para realizar los mapas de distribución.

Tabla 2. Abundancia del Cucillo pico amarillo en los sitios donde se realizó el monitoreo y registros totales de Cucillo pico amarillo por mes en 2020 y 2021.

Table 2. Abundance of the Yellow-billed Cuckoo at the monitored sites and total records of Yellow-billed Cuckoo per month in 2020 and 2021.

Detecciones por sitio de <i>Cuco</i>		
	2020	2021
Caduaño	20	11
Miraflores	18	11
Rancho Las Ballenas	18	7
Registros totales de <i>Cuco</i> por mes		
	2020	2021
Junio	15	6
Julio	19	10
Agosto	22	13

Modelado de la Distribución Potencial con MaxEnt

El modelo desarrollado muestra resultados consistentes y robustos tras la ejecución de 10 réplicas. La métrica AUC promedio para las réplicas fue de 0.879, indicando un desempeño alto en la capacidad del modelo para distinguir entre áreas favorables y no favorables para la especie. Esta precisión se ve respaldada por la baja desviación estándar del AUC (0.076), sugiriendo que los resultados son consistentes entre las réplicas. Además, la ganancia regularizada promedio del entrenamiento fue de 1.729, lo que refleja la capacidad del modelo para capturar patrones en los datos sin sobre ajustarse.

Las variables que fueron utilizadas como entrada para relacionarlas con la distribución del Cuco presentan dos métricas clave: el porcentaje de contribución y la importancia de la permutación, estas variables se presentan en la [Tabla 3](#).

Las variables incluidas en el modelo tuvieron un impacto significativo en la predicción de la distribución del Cuco. El índice de vegetación (NDVI) mostró la mayor contribución relativa, con un 59.57%, seguido por la velocidad del viento con un 18.58% y la pendiente con un 14.11%, destacando la importancia de los factores relacionados con la vegetación y las condiciones climáticas en la delimitación del hábitat de la especie. La temperatura promedio y el uso del suelo del año 2020, tuvieron contribuciones más moderadas, pero aún relevantes.

En cuanto a la importancia por permutación, que mide la relevancia de cada variable tras reordenar los datos, el NDVI también sobresalió con un valor de 64.64%, confirmando su peso determinante en la modelación. La elevación mostró una contribución mínima del 0.81%, siendo la variable de menor impacto, lo que se reflejó en su importancia por permutación, con un valor de 1.61%.

Tabla 3. Porcentaje de importancia y porcentaje de contribución para el modelo MaxEnt con un valor del AUC de 0.879.

Table 3. Importance percentage and contribution percentage for the MaxEnt model with an AUC value of 0.879.

Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de la Permutación
Elevación	0.81	1.62
NDVI	59.58	64.64
Pendiente	14.11	7.8
tavg	5.22	7.96
Uso de suelo (2020)	1.68	17.98
Viento	18.59	17.98

En términos de validación del modelo, las 10 réplicas se llevaron a cabo utilizando un proceso iterativo con un máximo de 500 iteraciones para cada corrida, logrando una convergencia eficiente. El modelo se entrenó utilizando el 80% de los datos de ocurrencia y validó su desempeño con el 20% restante. La capacidad del modelo para generalizar se refleja en las curvas ROC generadas, que muestran un equilibrio adecuado entre sensibilidad y especificidad, reafirmando la fiabilidad del modelo para identificar áreas de presencia potencial.

Variables Ambientales

Se obtuvieron graficas en las que explican de manera detallada el comportamiento de la presencia del ave según los valores de cada variable ([Fig. 2](#)). El gráfico de respuesta muestra que la elevación tiene una relación no lineal y débil con la presencia del Cuco, con una caída inicial seguida de una leve recuperación cerca de los 1000 metros. Dado su bajo impacto (0.81%), esta variable podría descartarse en futuras versiones para simplificar el modelo.

El NDVI tiene una relación positiva con la probabilidad de presencia del Cuco, incrementando la respuesta hasta una meseta en niveles altos de vegetación. Es la variable de mayor contribución al modelo (59.57%), mostrando la fuerte dependencia de la especie en hábitats con alta cobertura vegetal.

La pendiente muestra que la probabilidad de presencia del Cuco disminuye rápidamente con el aumento de la inclinación del terreno, indicando una preferencia por áreas planas o con pendientes leves. Esta variable contribuyó un 14.11% al modelo, destacando su relevancia en la definición del hábitat adecuado.

La temperatura promedio muestra un aumento en la respuesta cerca de los 27°C, indicando preferencia del Cuco por condiciones cálidas y su tolerancia a temperaturas elevadas. Aunque su contribución fue moderada (contribuyó un 5.22%), sigue siendo relevante en el modelo.

El uso del suelo muestra una respuesta creciente hacia coberturas más adecuadas, aportando información relevante sobre las preferencias de hábitat del Cuco y su interacción con el paisaje. Aunque no es la variable más importante (contribuyó un 1.68%), complementa el modelo.

La velocidad del viento muestra una relación inversa con la presencia del Cuco, disminuyendo la probabilidad de presencia en áreas ventosas. Con una contribución del 18.58%, es una variable importante para definir el hábitat de la especie.

La gráfica ROC compara sensibilidad y 1 - especificidad, mostrando un AUC de 0.880, lo que implica que el modelo tiene una gran capacidad para distinguir entre sitios adecuados y no adecuados para la especie, mucho mejor que una predicción aleatoria representada por la diagonal negra (AUC = 0.5). Además, el sombreado azul alrededor de la curva muestra la desviación estándar entre las réplicas del modelo, lo que proporciona una medida de la estabilidad y consistencia de los resultados.

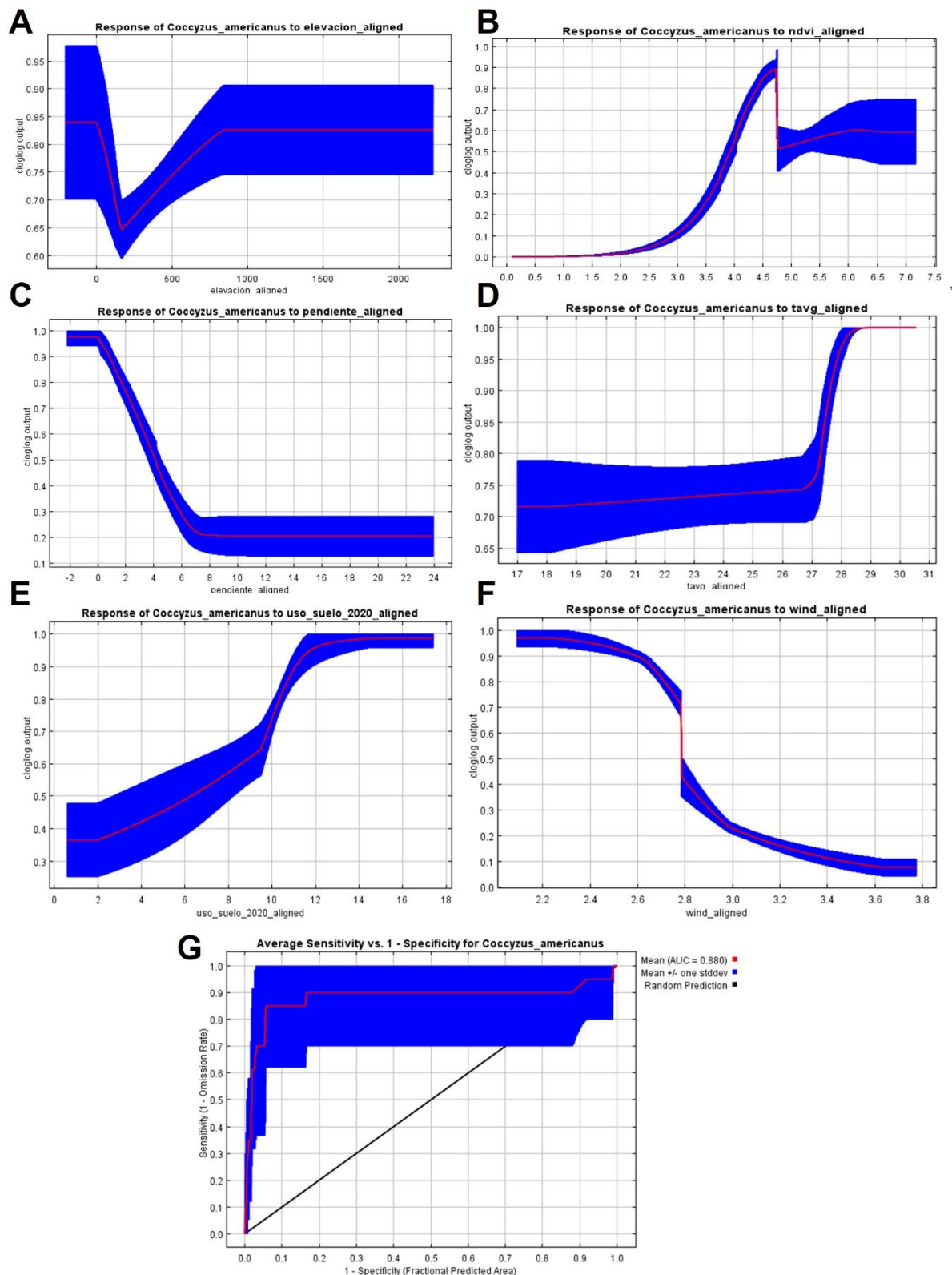


Figura 2. Gráficas en las que explican de manera detallada el comportamiento de la presencia del ave según los valores de cada variable, (A) Elevación, (B) NDVI, (C) Pendiente, (D) tavg, (E) Uso de suelo, (F) Viento (G) La curva ROC. Es decir, el modelo MaxEnt da un porcentaje que representa la posible presencia que pueda tener la especie con respecto a cada variable.

Figure 2. Graphs that explain in detail the behavior of the presence of the bird according to the values of each variable, (A) Elevation, (B) NDVI, (C) Slope, (D) tavg, (E) Land Use, (F) Wind, (G) ROC Curve. That is, the MaxEnt model gives a percentage that represents the possible presence that the species may have with respect to each variable.

Por último, se presentan dos mapas relevantes para comunicar los resultados y permitir su utilización en sistemas de información geográfica. El primero muestra la distribución del Cuco en los municipios de La Paz y Los Cabos (Fig. 3). Los puntos azules representan los puntos en los que existe registro de la existencia del Cuco, concentrándose la mayoría en los alrededores de la Sierra la Laguna, entre La Paz y los Cabos. El mapa en el que se representaron los resultados del modelo MaxEnt, muestra las zonas en las que se reúnen las condiciones climáticas y ecológicas para tener presencia del Cuco y por lo tanto hay más probabilidad de que esté distribuido son las zonas rojas/amarillas, lo que coincide en gran medida con los puntos que están representados en el mapa de distribución. La presencia del Cuco es alta al sur del municipio de La Paz y Norte del municipio de Los Cabos, en los alrededores de la Reserva de la Biósfera Sierra La Laguna.

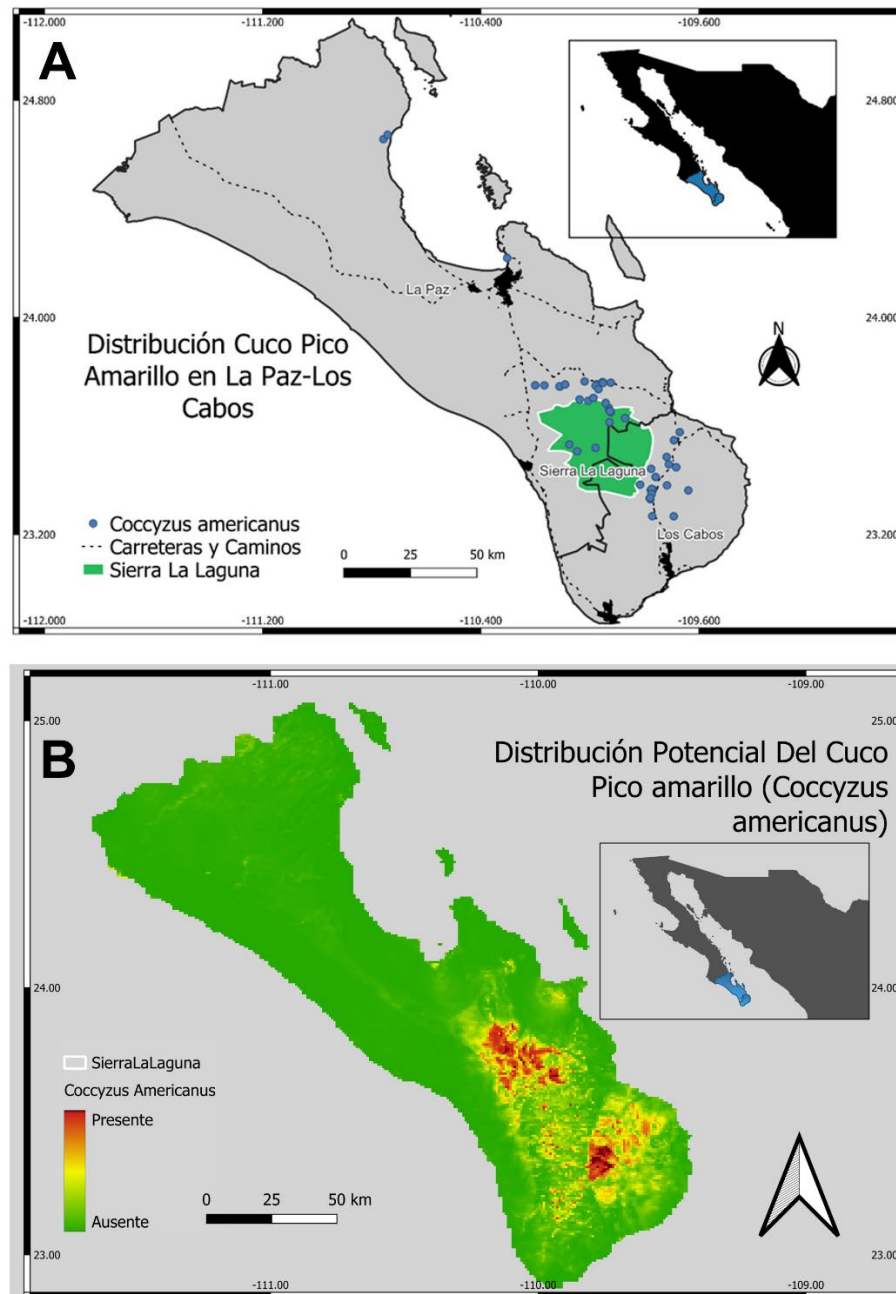


Figura 3. A) Mapa de distribución de *C. americanus* en La Paz – Los Cabos. El siguiente mapa muestra los puntos azules, que representan los puntos donde hay registro de la existencia de *C. americanus*, la mayoría de los cuales se concentran en los alrededores de la Sierra la Laguna, entre La Paz y Los Cabos. **B)** Mapa de distribución potencial de *C. americanus* generado a partir del modelo de MaxEnt. Las zonas con colores rojos y amarillos corresponden con las que presentan una mayor probabilidad de presencia de la especie, principalmente en el sur del municipio de La Paz y en el norte del municipio de Los Cabos, en los alrededores de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna.

Figure 3. A) Distribution map of *C. americanus* in La Paz – Los Cabos. The following map shows the blue dots, which represent the points where there is a record of the existence of *C. americanus*, most of which are concentrated around the Sierra la Laguna, between La Paz and Los Cabos. **B)** Map of potential distribution of *C. americanus* generated from the Maxent model. The areas with red and yellow colors correspond to those with a higher probability of presence of the species, mainly in the south of the municipality of La Paz and in the north of the municipality of Los Cabos, in the surroundings of the Sierra La Laguna Biosphere Reserve.

Discusión

Programa de Monitoreo 2020-2021 e Integración y Filtrado de Registros de Ocurrencia

Pocos son los estudios recientes sobre la distribución del Cuco en México, se tienen registros de que su área de reproducción geográfica en el país incluye la Región del Cabo de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, el oeste de Chihuahua y el noroeste de Durango (Fish and Wildlife Service 2014).

Un estudio realizado en Sonora (Macías-Duarte 2023) muestra un declive en su población en dicho estado debido a pérdida de su hábitat. Los resultados sugieren que la especie tiene una ocupación limitada y que su abundancia depende de la disponibilidad de hábitats ribereños adecuados teniendo una densidad de 13 cucos/km². Tanto en Sonora como en Baja California Sur, la población del Cuco permanece, aunque en cifras reducidas.

Los datos obtenidos en el monitoreo de campo desarrollado en 2020 y 2021 fueron esenciales para verificar la presencia de la especie, y confirmar que los sitios donde se tenía registros de avistamientos actualmente forman parte de los ecosistemas riparios y que los cucos están haciendo uso de ese hábitat. Si bien no realizamos una estimación directa de densidades debido a las limitaciones del método de muestreo, se debe considerar la posibilidad de realizar estudios más específicos en el futuro para comparar densidades con otras áreas de distribución.

Modelo de distribución

La modelización de la distribución del Cuco en Baja California Sur aporta información clave sobre las variables ambientales que influyen en su hábitat potencial dentro de la región. Los resultados de este estudio se alinean con investigaciones realizadas en hábitats similares, como los ecosistemas riparios del río Colorado, donde el Cuco muestra una preferencia por áreas con alta humedad, matorrales húmedos, lechos de río y estanques (Johnson et al. 2017). Estas características destacan la importancia de los hábitats con cobertura vegetal densa y condiciones húmedas para la reproducción de la especie.

La efectividad del modelo actual, con un AUC de 0.880, sugiere que las variables seleccionadas permiten identificar correctamente áreas de alta probabilidad de presencia del Cuco en Baja California Sur. Sin embargo, mejorar los esfuerzos de monitoreo y complementar los datos de presencia-ausencia en regiones con hábitats potenciales facilitará una actualización más precisa del rango de distribución de la especie. Esto permitirá tomar decisiones informadas para la conservación, apoyando acciones como la restauración de hábitats críticos y el desarrollo de estrategias de manejo que respondan a los desafíos climáticos emergentes.

Es crucial reconocer que los mapas de distribución actuales pueden sobrestimar el área de ocupación real de la especie, debido a su limitada dispersión y preferencia por hábitats específicos, lo que afecta la precisión en la representación de su rango de distribución. Por lo tanto, restaurar y conservar áreas riparias sería una estrategia efectiva para ampliar los hábitats de reproducción disponibles y aumentar la conectividad de sus poblaciones en México.

En futuras modelizaciones, podría considerarse la incorporación de capas de vegetación con descripciones detalladas sobre estructura, tipo de cobertura y composición, con el fin de ajustar el modelo de manera que represente mejor las necesidades de cría de la especie. Asimismo, optimizar el modelo podría implicar la eliminación de variables con bajo aporte predictivo, como la elevación, cuya contribución al modelo fue mínima (0.81%). Además, se sugiere que los futuros estudios utilicen un enfoque a múltiples escalas espaciales y temporales como lo han señalado Mateo-Sánchez et al. (2016) y Gastón et al. (2017). El enfoque multiescala permite que cada variable ambiental se cuantifique en la escala espacial que maximice su capacidad predictiva (escala operativa), capturando dimensiones que suelen pasar desapercibidas en modelos a escala única y mejorando la precisión en la predicción de la ocurrencia de la especie. El enfoque multitemporal facilitaría el análisis de las variaciones en el paisaje y en el uso del hábitat a lo largo del tiempo. En conjunto, permiten reducir el riesgo de interpretaciones erróneas sobre la relación especie-ambiente y sus implicaciones para la conservación.

El Cuco es una especie con valor cultural en comunidades locales, conocida como "Pájaro Chubasquero" debido a su presencia durante la temporada de huracanes, y es asociado con la llegada de la lluvia. Esta relación cultural es una oportunidad para implementar programas de ciencia ciudadana que fortalezcan la participación comunitaria en su monitoreo y la conservación.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en este estudio tales como las variables y la base de datos de ocurrencia, así como los datos de monitoreo en los años 2020 y 2021 están disponibles en figshare en <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28366583.v1>.

Contribución de los autores

José Emer García de la Puente Orozco: Redacción - borrador original, investigación y supervisión, Yuri Vladimir Albores Barajas: Redacción - revisión y edición, David Serrano: Conceptualización, Jorge Saul Ramirez Perez: Redacción - revisión y edición, Miguel Ángel Ojeda Ruiz: Redacción - revisión y edición, Exal Hernández Plata: Metodología, Software, Natalia Montes Barrios: Curaduría de datos.

Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Agradecemos a la comunidad del Ejido de Caduaño, y a Ángel Ceseña el Comisionado Ejidal, por su valioso aporte. Expresamos también nuestro agradecimiento a Conservación del Territorio Insular Mexicano, A.C. "ISLA" y a la Estación Científica Sierra Sur por su apoyo y asistencia en nuestra investigación.

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- CONABIO 2021. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Used October 25, 2021], <https://enciclovida.mx/especies/35856-coccyzus-americanus>
- Detting, M.D., Seavy, N.E., Howell, C.A., Gardali, T. 2015. Current status of the western yellow-billed cuckoo along the Sacramento and Feather Rivers, California. *PLoS One* 10(4), e0125198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125198>
- eBird Observation Dataset 2021. *eBird Estado y tendencias*, Versión de datos: 2021; Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. [Used October 25, 2021], https://www.gbif.org/es/occurrence/search?country=MX&dataset_key=4fa7b334-ce0d-4e88-aaae-2e0c138d049e&taxon_key=2496287
- Fish and Wildlife Service 2014. Endangered and threatened wildlife and plants; determination of threatened status for the western distinct population segment of the yellow-billed cuckoo (*Coccyzus americanus*). *Federal Register* 79(192), 59992-60038. <https://www.federalregister.gov/documents/2014/10/03/2014-23640/endangered-and-threatened-wildlife-and-plants-determination-of-threatened-status-for-the-western>
- Fish and Wildlife Service. 2020. *Endangered and Threatened Wildlife and Plants; Revised Designation of Critical Habitat for the Western Distinct Population Segment of the Yellow-Billed Cuckoo*, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2020-02-27/pdf/2020-02642.pdf>
- Gaines, D., Laymon, S.A. 1984. Decline, status and preservation of the yellow-billed cuckoo in California. *Western Birds* 15, 49-80.
- Gaston, A., Ciudad, C., Mateo-Sanchez, M.C., Garcia-Vinas, J.I., Lopez-Leiva, C., Fernandez-Landa, A., Marchamalo, M., et al. 2017. Species' habitat use inferred from environmental variables at multiple scales: how much we gain from high-resolution vegetation data? *International journal of applied earth observation and geoinformation* 55, 1-8.
- GBIF 2021. Global Biodiversity Information Facility [Used October 25, 2021], https://www.gbif.org/es/occurrence/search?country=MX&taxon_key=2496287
- Halterman, M., Johnson, M.J., Holmes, J.A., Laymon, S.A. 2016. *A natural history summary and survey protocol for the western distinct population segment of the yellow-billed cuckoo*. US Fish and Wildlife Service. Sacramento, CA, USA.
- Hijmans, R. 2025. *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 3.6-31, <https://github.com/rspatial/raster>.
- Hughes, J.K. 1999. Yellow-billed Cuckoo (*Coccyzus americanus*). *The Birds of North America* (418), 28. <https://doi.org/10.2173/tbna.418.p>
- Hughes, J.M. 2020. Yellow-billed Cuckoo (*Coccyzus americanus*), version 1.0. In: Rodewald, P.G. (Ed.) *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. [Used October 25, 2021]. <https://doi.org/10.2173/bow.yebcuc.01>
- Johnson, M.J., Hatten, J.R., Holmes, J. A., Shafroth, P.B. 2017. Identifying western yellow-billed cuckoo breeding habitat with a dual modelling approach. *Ecological Modelling* 347, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.12.010>
- Laymon, S.A. 1998. Yellow-billed Cuckoo (*Coccyzus americanus*). In: *The Riparian Bird Conservation Plan: a strategy for reversing the decline of riparian-associated birds in California*. California Partners in Flight. https://partnersinflight.org/wp-content/uploads/2024/05/riparian_v-2.pdf
- Laymon, S.A., Halterman, M.D. 1987. *Distribution and status of the yellow-billed cuckoo in California*. Final report to the California Department of Fish and Game, Sacramento, CA, USA. 35pp.
- Macías-Duarte, A., Juárez, E., Murrieta, E.S., Perales-Hoeffer, E.L., Rosas, C.I.O. 2023. Abundance and occupancy of the western yellow-billed cuckoo (*Coccyzus americanus*) in Sonora, Mexico. *Canadian Journal of Zoology* 101(8), 603-613.
- Mateo-Sanchez, M.C., Gaston, A., Ciudad, C., Garcia-Vinas, J. I., Cuevas, J., Lopez-Leiva, C., Fernández-Landa, A., et al. 2016. Seasonal and temporal changes in species use of the landscape: how do they impact the inferences from multi-scale habitat modelling? *Landscape Ecology* 31, 1261-1276.
- MaxEnt 2024. *Maxent software for modeling species niches and distributions*. American Museum of Natural History. (Version 3.4.1), https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- NASA 2021. *MODIS Land Cover Type/Dynamics*. [Used October 25, 2021], <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php>
- National Audubon Society. (s.f.). *Ley de especies en peligro de extinción*. [Used October 25, 2021], <https://www.audubon.org/es/conservacion/ley-de-especies-en-peligro-de-extincion>
- QGIS 2021. *QGIS Geographic Information System* (Version 3.32.3) Available from: <https://qgis.org>
- R Foundation 2024. *The R Project for Statistical Computing* (Version 4.4.1) RStudio 2024.09.0+375 "Cranberry Hibiscus". <https://community.chocolatey.org/packages/r.project/4.4.1>
- Rebman, J.P., Roberts, N.C. 2012. *Baja California Plant Field Guide*, third edition. Sunbelt Pubns. El Cajon, CA, USA.
- Ruiz-Campos, G., Andreu-Soler, A., Vidal-Abarca Gutiérrez, M.R., Delgadillo-Rodríguez, J., Suárez-Alonso, M.L., González-Abraham, C., Luja, V.H. 2014. *Catalog of freshwater wetlands of Baja California Sur, Mexico*. Secretariat of Environment and Natural Resources/National Institute of Ecology and Climate Change, Mexico DF, Mexico.
- Rzedowsky, J. 1978. *Vegetation of Mexico*. Ed. Limusa, México DF, Mexico. 432pp.
- Toochin, R., Cecile, D. 2014. *Status and occurrence of Yellow-billed Cuckoo (Coccyzus americanus) in British Columbia*. https://ibis.geog.ubc.ca/biodiversity/efauna/documents/Yellow-billed_Cuckoo-RT-DC-g.pdf
- Wallace, C.S., Villarreal, M.L., van Riper III, C. 2013. Influence of monsoon-related riparian phenology on yellow-billed cuckoo habitat selection in Arizona. *Journal of Biogeography* 40(11), 2094-2107. <https://doi.org/10.1111/jbi.12167>
- Wei, T., Simko, V. 2024. *R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix*. (Version 0.95), <https://github.com/taiyun/corrplot>
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., Vaughan, D. 2023. *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.1.4, <https://github.com/tidyverse/dplyr>, <https://dplyr.tidyverse.org>
- WorldClim 2021. *Global climate and weather database* [Used October 25, 2021], <https://www.worldclim.org/>