



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

CONDUCTA DE EXPLORACIÓN EN LA CALANDRIA DORSO RAYADO
(*ICTERUS PUSTULATUS*) Y SU RELACIÓN CON LA EXPOSICIÓN A
DESECHOS DE LA MINERÍA METÁLICA EN LA RESERVA DE LA
BIOSFERA SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE
LA BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN

PRESENTA:

BIOL. OSCAR JOSUE AMARO FLORES

DIRECTOR: DRA. MARCELA OSORIO BERISTAIN



CUERNAVACA, MORELOS.

Junio, 2022

Agradecimientos

Al CIByC, UAEM por darme la oportunidad de superarme profesionalmente.

Al CONACYT por haberme otorgado la beca para mis estudios.

Esta tesis fue financiada por CONACyT, proyecto 191975 de Ciencia de Frontera, programa presupuestario F003.

También se recibió financiamiento de la Animal Behavior Society, Development Nations Award.

A la Dra. Marcela Osorio por aceptarme en su equipo de trabajo, por su dedicación, paciencia y apoyo todo momento.

A la Dra. Lynna Kiere por el apoyo con los datos proporcionados para realizar este proyecto y sus valiosas observaciones en el escrito.

Al Dr. Norman Mercado y al Dr. Isaac Santoyo por sus acertadas observaciones y recomendaciones que enriquecieron este trabajo.

Al Dr. Luis Burciaga y a la Dra. Elisah Arce por sus aportaciones al trabajo.

A Don Cruz y su familia por abrirnos las puertas de su hogar y brindarnos su hospitalidad en Huautla.

A mi familia y amigos que me han acompañado y brindado soporte en todo momento.



Índice

Introducción.....	8
Antecedentes.....	15
Minería en Morelos.....	15
Metales pesados en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla.....	16
Especie de estudio Calandria Dorso Rayado (<i>Icterus pustulatus</i>).....	17
Objetivo general.....	20
Objetivos particulares.....	20
Hipótesis.....	20
Predicciones.....	20
Métodos.....	22
Sitio de estudio.....	22
Diseño experimental.....	22
Análisis estadísticos	27
Resultados.....	31
Discusión.....	38
Puntos para resaltar	41
Literatura citada.....	42

Índice de tablas

Tabla 1. Efectos conductuales de la exposición a MP y metaloides.....	10
Tabla 2. Resultados del Índice de Correlación Intraclase.....	28
Tabla 3. Resumen de resultados de variables conductuales.....	32
Tabla 4. Selección de modelo base $\Delta AICc < 2$	34
Tabla 5. Cálculo de intervalos de confianza de modelo base.....	35
Tabla 6. Selección de modelos con $\Delta AICc < 2$	36
Tabla 7. Cálculo de intervalos de confianza de modelos construidos.....	37

Índice de figuras

Figura 1. Calandria dorso rayado (<i>Icterus pustulatus</i>).....	17
Figura 2. Mapa de localización de los sitios de estudio.....	23
Figura 3. Esquema del sistema para prueba conductual.....	25
Figura 5. Análisis de videos.....	26

Resumen

Los metales pesados (MP) están dispuestos en la corteza terrestre de manera natural, y también pueden agregarse por la actividad antropogénica, como quema de combustibles fósiles, la agricultura, la industria y la minería. Los procesos de extracción y purificación de metales en la minería generan desechos que están conformados por roca triturada, metales y metaloides. Generalmente los desechos de la minería metálica están dispuestos a cielo abierto y se conocen como jales. La cantidad de MP disponibles en el suelo es mayor en los jales que en otros sitios, que al estar dispuestos a cielo abierto pueden ser dispersados por corrientes de viento o agua. Los MP pueden perdurar en el ambiente por miles de años, bioacumularse en los organismos y biomagnificarse en las redes tróficas. En las aves silvestres, la exposición a MP afecta su desarrollo, fisiología, éxito reproductivo y conducta. Por ejemplo, los MP causan disturbio en la actividad, capacidad de reacción y de movilidad, que son rasgos cognitivos importantes para la adecuación y supervivencia de los organismos. Dentro y en las inmediaciones de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla se encuentra el distrito minero de Huautla, en donde principalmente se extraía Plata. Los jales siguen en el sitio sin medida de mitigación, por lo que pueden ser dispersados por factores ambientales. Los jales de Huautla contienen altas concentraciones de MP, particularmente el plomo y ponen en riesgo la integridad de la fauna y las comunidades. En este estudio se evaluó la conducta de exploración de *Icterus pustulatus*, en individuos con diferente exposición a los desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. Se predijo menor exploración y movilidad en las aves con mayor

exposición a los contaminantes respecto a los menos expuestos. Se capturaron un total de 75 aves adultas en cuatro sitios con diferente exposición a MP por ubicación relativa a los jales, y afluyente de descarga de los jales en el río Quilamula. Las aves se sexaron y se determinó su edad. Se realizó una prueba con cada ave en el sitio de captura. Las variables de respuesta cuantificadas fueron: área explorada, número de vuelos y el tiempo de desplazamiento. La conducta de exploración fue similar en los cuatro sitios de colecta contrario a lo esperado, posiblemente por el enmascaramiento de otro tipo de contaminantes como agroquímicos, que son utilizados en la agricultura. La conducta de exploración fue similar entre ambos sexos, esto puede deberse a que tanto hembras como machos están bajo similar presión de selección en su ciclo de vida. Las aves de segundo año, se desplazaron menor tiempo y tuvieron menor cantidad de vuelos que las aves mayores al segundo año, independientemente al sitio de captura. Las diferencias interindividuales en el uso de los recursos pueden tener consecuencias en la potencial exposición a contaminantes, por ende, en la variación en la conducta de exploración independientemente del sitio. Para clarificar la relación entre los desechos de la minería metálica y la conducta de exploración es necesario estudiar la concentración de MP individualmente.

Introducción

Los metales pesados (MP) están dispuestos en la corteza terrestre de manera natural (Jaishankar *et al.*, 2014), la disponibilidad de los MP va en aumento por la actividad antropogénica (Volke *et al.*, 2002). Dentro de las fuentes contaminantes más importantes está la quema de combustibles fósiles, la agricultura, la industria y la minería (Parra, 2014; Volke *et al.*, 2002). En particular en la minería, el material de desecho de la extracción de metales que está dispuesto a cielo abierto es conocido como relaves, colas o jales (Gavilán-García *et al.*, 2020). Los MP, tienen número atómico superior a 20, tienen un peso específico mayor a 5 g/cm³ (ATSDR, 2019). Los metaloides como el arsénico están considerados dentro de los MP por sus efectos tóxicos similares (ATSDR, 2019). Existen MP esenciales para el organismo pues se utilizan en pequeñas cantidades en las rutas metabólicas, como el zinc (Zn), níquel (Ni) y cobre (Cu). En concentraciones altas, estos son tóxicos. Los MP no esenciales son aquellos que no son utilizados, y cuando entran en el organismo son tóxicos aún en pequeña cantidad, tal es el caso del plomo (Pb), arsénico (Ar), mercurio (Hg), plata (Ag) y cadmio (Cd) (Tostado, 2014).

Los jales mineros están formados por restos del metal de extracción, y de los compuestos utilizados en los procesos metalúrgicos de purificación y roca triturada (Gavilán-García *et al.*, 2020; Volke *et al.*, 2002). En consecuencia, la cantidad de MP disponibles es mayor en los jales que en otros suelos que no son utilizados como sitio de disposición final de desechos de la minería (Bartkowiak y Lemanowicz, 2014). Los MP pueden ser dispersados de los jales por procesos físicos, como la erosión eólica e hídrica y la dimensión del potencial tóxico de los MP dependerá de

la distancia a la que se dispersen, así como la interacción que tengan con el agua y el suelo (Gavilán-García *et al.*, 2020). En consecuencia, la concentración de MP disponible en el suelo y agua puede estar relacionada con la distancia a los jales (Adair *et al.*, 2002; Zhao y Marriott, 2013).

La contaminación por MP es un problema global que pone en riesgo la integridad de los ecosistemas y afecta a la salud de los humanos y de la vida silvestre (Bartkowiak y Lemanowicz, 2014). Los MP son contaminantes inorgánicos que perduran en el ambiente por miles de años y hay un riesgo latente de intoxicación en los organismos aún en cantidades pequeñas (Hansson *et al.*, 2017; Volke *et al.*, 2002). Además, los MP se pueden bioacumular en los organismos y biomagnificarse a través de las redes tróficas (Parra, 2014; Volke *et al.*, 2002). Así mismo, los MP tienen diferentes rutas de entrada al organismo, como ingesta, absorción cutánea y por vías respiratorias (Doadrio, 2006; Nava-Ruíz *et al.*, 2011).

Un elemento clave de los MP es el mecanismo de toxicidad por ejemplo, los iones de Pb^{+2} sustituyen a los iones de Ca^{+2} en las reacciones bioquímicas (La-Merril *et al.*, 2020; Pokras, 2018). En situaciones particulares en donde los organismos utilizan una gran cantidad de Ca el riesgo de intoxicación por MP aumenta (Pokras, 2018; Stapane *et al.*, 2020). En aves durante la ovoposición el Ca es removido de las reservas en hueso y es transferido al cascarón (Stapane *et al.*, 2020). Si el Pb ha sustituido al Ca, éste es movilizado, haciéndolo biodisponible y por lo tanto una fuente endógena de toxicidad (Boyd, 2010; Stapane *et al.*, 2020).

El Pb tiene efectos tóxicos en los órganos, sistemas y procesos fisiológicos (Jaishankar *et al.*, 2014), particularmente en el sistema nervioso central con consecuencias en la conducta (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; ver revisión en

tabla 1). El daño de los MP en la conducta animal es complejo, ya que la conducta es una combinación de procesos fisiológicos, sensoriales y neuronales (Saaristo *et al.*, 2018). Las funciones motoras comprenden procesos cognitivos que permiten al organismo procesar información, desde la adquisición de la información hasta la emisión de una respuesta conductual (Pravosudov, 2019; Verbeek *et al.*, 1994). Estas funciones son esenciales para la sobrevivencia en diferentes ambientes (Mettke-Hoffman *et al.*, 2006). Mediante estas funciones, los animales adquieren la habilidad de resolver problemas y sobrevivir en ambientes nuevos (Verbeek *et al.*, 1994). La exposición a MP, puede afectar estos procesos cognitivos con consecuencias en alteraciones conductuales (Killen *et al.*, 2013). Por ejemplo, en interacciones sociales, respuesta anti-depredatoria, capacidad de búsqueda y de exploración para la adquisición de recursos (Huang *et al.*, 2015; Mettke-Hoffman *et al.*, 2006; Verbeek *et al.*, 1994).

Tabla 1. Efectos conductuales de la exposición a MP y metaloides en vertebrados de vida libre y en laboratorio. ↓ Muestra una disminución en rasgo conductual. ↑ Muestra un aumento en rasgo conductual, NA= no se menciona en el estudio.

Vida libre					
Metales estudiados	Conducta afectada	Consecuencia	Especie	Edad, sexo	Referencia
Pb, Cd, As	↓ Exploración	NA	Carbonero común (<i>Parus major</i>)	Adultos Macho/Hembra	Grunst <i>et al.</i> , 2019

Pb, Cd, As	↓ Exploración y ↑ Agresión	NA	Carbonero común (<i>Parus major</i>)	Adultos Macho/Hembra	Grunst <i>et al.</i> , 2018
Pb	↑ Agresión	↓ Éxito reproductivo, ↓ sobrevivencia	Cenzontle norteño (<i>Mimus polyglottos</i>)	Adultos Machos	McClelland <i>et al.</i> , 2018
Pb	↓ Vuelo	↓ Éxito de caza, ↓ crecimiento	Águila dorada (<i>Aquila chrysaetos</i>)	Adultos/Juveniles	Ecke <i>et al.</i> , 2017
Ar, Ca, Cu, Pb y Zn	↑ Agresión	↓ Éxito reproductivo	Carbonero común (<i>Parus major</i>)	Adultos Machos	Janssens <i>et al.</i> , 2003
Pb	↓ Forrajeo	↓ Crecimiento	Pato triguero (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Polluelos	Douglas- Stroebel <i>et al.</i> , 2005

Laboratorio

Metales estudiados	Rasgo conductual afectado	Consecuencia	Especie	Edad, sexo	Referencia
Cd	↑ Agresión	↑ Ansiedad	Rata wistar (<i>Rattuss norvegicus domestica</i>)	Machos, Adultos	Galviaty <i>et al.</i> , 2011
Acetato de plomo	↓ Exploración, ↑ Agresión	↑ Ansiedad	Ratón cepa C3H (<i>Mus</i>)	Juveniles Machos	Fracchia y Martínez, 2010

*Musculus
domesticus)*

Metil-mercurio	↓ Exploración	↓ Crecimiento	Gallo (<i>Gallus gallus</i>)	Huevos	Carvalho <i>et al.</i> , 2008
Acetato de plomo	↑ Agresión	↓ Crecimiento, ↓ Desarrollo	Hamster dorado (<i>Mesocricetus auratus</i>)	Hembras Juveniles	Delville, 1999
Acetato de plomo, Sulfato de manganeso, Cloruro de aluminio, Cloruro de cobre,	↓ Agresión,	↓ Fertilidad ↑ Reproducción	Rata wistar (<i>Rattus norvegicus domestica</i>)	Machos/adultos	Betaineh <i>et al.</i> , 1998

Laboratorio y vida libre

Metales estudiados	Rasgo conductual afectado	Consecuencia	Especie	Edad, sexo	Referencia
Pb	↓ Equilibrio, ↓ reconocimiento individual	↓ Supervivencia, ↓ crecimiento	Gaviota argenta (<i>Larus argentatus</i>), Charán común (<i>Sterno hirundo</i>)	Polluelos	Burger y Gochfeld, 2000

Pb	↓Equilibrio, ↓reconocimiento individual	↓Sobrevivencia, ↓crecimiento	Gaviota argenta (<i>Larus</i> <i>argentatus</i>)	Polluelos Burger <i>et al.</i> , 1995
----	---	---------------------------------	--	--

La conducta de exploración está relacionada con procesos de memoria y aprendizaje, en donde los animales exploran un sitio, aprenden y memorizan el medio, lo que facilita la toma de decisiones posteriores (Mettke-Hoffman *et al.*, 2006; Pravosudov, 2019). Al explorar los individuos pueden reducir el riesgo de depredación, encontrar recursos e influir en decisiones de historia de vida como el establecimiento de territorio, sitios de anidación, dispersión y colonización de nuevo hábitats (Huang *et al.*, 2015; Mettke-Hoffman *et al.*, 2006; Verbeek *et al.*, 1994). En juveniles de carbonero común *Parus major*, las aves con previos puntajes de mayor capacidad de exploración, fueron las que se desplazaron primero y a mayor distancia a nuevas áreas de alimentación relativo a las aves menos exploradoras (Overveld y Matthysen, 2010). Las lagartijas *Anolis aeneus*, más exploradoras tuvieron mayor éxito en la obtención de territorio que las menos exploradoras en la simulación de un sitio nuevo (Stamps, 1989). Las ardillas *Tamiasciurus hudsonicus*, con mayor distancia recorrida, como indicador de exploración, fueron las que tuvieron la mayor probabilidad de establecimiento en un nuevo hábitat respecto a las que se movieron menor distancia (Haughland y Larsen, 2004).

La prueba de ambiente novedoso es una técnica en la que se cuantifica el movimiento y la actividad como aproximación al estudio de la conducta de exploración (Huang *et al.*, 2015). En esta prueba se miden parámetros de movilidad

como indicadores de exploración de animales en encierros, que simulan un sitio en el cual el animal nunca ha sido expuesto (Perals *et al.*, 2017). En aves, se ha cuantificado la tasa de vuelos y saltos en especies que en vida libre se mueven entre ramas y árboles en busca de alimento (Huang *et al.*, 2015). Particularmente, en especies de aves que exploran por alimento en el suelo, se ha cuantificado desplazamiento en el suelo (Verbreeck *et al.*, 1994). En la prueba de ambiente novedoso también se mide el número de sitios o el área visitada y el número de escaneos oculares (Carter *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2015; Verbreeck *et al.*, 1994).

Antecedentes

Minería en Morelos

La minería metálica en México ha sido una industria que lleva activa desde la época prehispánica; tuvo su auge en la época de la colonia y actualmente sigue vigente (Volke *et al.*, 2005). En la mayoría de las minas los residuos son depositados a cielo abierto, dejando desechos contaminantes sin algún tipo de tratamiento (Volke *et al.*, 2002). Uno de los problemas principales de la minería metálica son los jales, que están constituidos por roca molida formando montículos de tierra con restos de MP y metaloides (Volke *et al.*, 2005).

En Morelos, en el distrito minero de Huautla, se comenzó la explotación a finales del siglo XVII y, el fin de la actividad minera fue a principios de década de 1990 (Esteller *et al.*, 2015). Aquí los principales materiales de extracción fueron Ag, Pb y Zn (Esteller *et al.*, 2015; SE, 2017). Los jales están dispuestos a cielo abierto, son inestables, susceptibles de deslaves y, sin ningún tipo de tratamiento para mitigar el impacto ambiental (Márquez-Huitzil *et al.*, 2022a, 2022b; Volke *et al.*, 2005). En los jales se mantiene actividad humana con las potenciales consecuencias graves en su salud y en el ambiente. Aun así, en los últimos 19 años se ha incrementado en gran cantidad las concesiones territoriales para minería en Morelos, una de ellas se otorgó a la explotación de minería metálica dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH) (Sánchez-Salazar, 2019; Téllez y Sánchez-Salazar, 2018).

La REBIOSH se decretó como Área Natural Protegida en el año de 1999 (SEMARNAT, 2004). Los residuos de la minería se encuentran dentro de la REBIOSH y en sus inmediaciones. En el plan de manejo actual de la REBIOSH, no

se incluye un plan de acción para el control y mitigación de los desechos contaminantes de la minería depositados a cielo abierto (CONANP, 2005).

Metales pesados en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla

Se ha reportado altas concentraciones de Pb, As, F, Fe, Mn, Cd en afluentes temporales y perenes de la galería de la mina abandonada y de los jales en Huautla (Barats *et al.*, 2019). En muestras de agua de afluentes de los jales y de galería de la mina abandonada en Huautla, existe mayor concentración de elementos traza (Al, As, Mn) que la norma permitida por la Organización Mundial de la Salud (Barats *et al.*, 2019). En el suelo de varios puntos de los jales y río abajo con descarga de los jales, la concentración de Pb oscila entre 169 a 1482 mg/Kg (Osorio-Beristain *et al.*, en prep.). Lo cual es en general alto, considerando que la concentración de referencia del Pb para suelo industrial es de un máximo de 800 mg/kg, y para suelo residencial 400 mg/kg, según la normativa mexicana (NOM-147-SEMARNAT/SSA1, 2004).

Los contaminantes por los jales causan daño a la fauna silvestre. En aves los desechos de la minería en Huautla causan efectos negativos en la coloración carotenoide asociado a la cercanía a concesiones mineras (Kiere *et al.*, 2021; López-Michelena, 2021). En estos estudios se encontró coloración disminuida en el plumaje de especímenes de museo colectados en sitios cercanos a las minas, lo cual podría ser indicador de estrés oxidante (Kiere *et al.*, 2021; López-Michelena, 2021). También se encontraron efectos negativos en la salud en aves residentes (Valenzuela-Inzunza, 2020), incluyendo en la conducta de exploración (Organista-Nava, 2023).

Especie de estudio Calandria Dorso Rayado (*Icterus pustulatus*)

Icterus pustulatus es una especie de ave de la familia Icteridae que está fuera de las categorías de riesgo por la norma mexicana (NOM-059-SEMARNAT, 2010; Fig. 1). Es una especie residente que se distribuye desde el norte de México hasta Costa Rica en la costa Pacífico y sus vertientes (Howell y Webb, 1995). Estas aves se encuentran en el dosel de selvas estacionalmente secas, selvas espinosas, matorrales, sabanas y en bordes de carreteras, desde nivel de mar hasta los 1800 metros sobre el nivel del mar (Howell y Webb, 1995). Los individuos de la especie se alimentan de artrópodos, insectos, néctar y frutos, por lo que se consideran omnívoros (Howell y Webb, 1995; Fraga, 2020).



Figura 1. Macho adulto de Calandria dorso rayado (*Icterus pustulatus*).

Los individuos son socialmente monógamos, y territoriales durante todo el año (Murphy *et al.*, 2009). La época de reproducción es en mayo-julio (Price *et al.*, 2008). Los nidos son construidos por las hembras, tejiendo bolsas alargadas de material vegetal y amarrados en ramas de árboles (Howell y Webb, 1995; Jaramillo y Burke 1999). Las hembras exploran entre los árboles y en el suelo colectando el material para el nido (Howell y Webb, 1995). Estas ovipositan de tres a cuatro huevos que incuban durante 12-14 días, las crías son alimentadas por ambos sexos (Fraga, 2020). En Morelos esta especie es dimórfica, (Cortes-Rodríguez *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2010). Los machos tienen rayas negras gruesas en el dorso, y en general son de color más brillante que las hembras, aunque en algunos casos las hembras pueden ser igual o más brillantes que estos (Hall *et al.*, 2010; Howell y Webb 1995). Adicionalmente en esta población, además de las diferencias sutiles generales notadas arriba, se puede usar la coloración de las plumas rectrices para asignar el sexo de adultos mayores al segundo año (Murphy *et al.*, 2009). Las hembras tienen la cola negra del lado dorsal y un color marrón gris claro del lado ventral, mientras que los machos tienen la cola negra de ambos lados, con las puntas grises del lado ventral (Murphy *et al.*, 2009). El método de identificación sexual mediante coloración de plumas rectrices fue confirmado a través del sexado molecular, donde fue correcto en el 100% de los casos (Murphy *et al.*, 2009). Los adultos jóvenes que son sexualmente maduros, en su segundo año de vida, retienen su cola juvenil, por lo que su cola es de color olivo y típicamente muy desgastada (Jaramillo y Burke., 1999). Generalmente no se puede determinar el sexo en aves de segundo año de manera confiable, al menos que presenten caracteres sexuales (parche de cría en

hembras, protuberancia cloacal en machos) o si tienen una pluma repuesta de la rectoriz que tenga coloración que corresponde al después de segundo año.

Objetivo general

Evaluar la conducta de exploración de *Icterus pustulatus*, en individuos con diferente exposición a los desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos, mediante la prueba de ambiente novedoso.

Objetivos particulares

Comparar el área total de exploración, tiempo de desplazamiento y número de vuelos en:

- 1) Aves colectadas en cuatro sitios con diferente exposición potencial a los jales mineros a lo largo del río Quilamula
- 2) Aves de distinto sexo.
- 3) Aves de segundo año y mayores al segundo año.

Hipótesis

La contaminación por MP produce efectos negativos en la conducta de exploración en aves, que se expresa con diferentes niveles de actividad relativa a la exposición a los jales mineros.

Predicciones

- 1) Los niveles de actividad serán menores en aves colectadas en sitios cercanos a los jales y río abajo en comparación al sitio río arriba sin descarga derivada de los jales.
- 2) Los niveles de actividad serán menores en las hembras que en los machos, por el riesgo de intoxicación endógena por la ovogénesis.

- 3) Los niveles de actividad serán menores en las aves mayores al segundo año, ya que han pasado mayor tiempo expuestos a los jales mineros que las aves de segundo año.

Métodos

Sitio de estudio

El trabajo fue realizado en el municipio de Tlaquiltenango, Morelos en las localidades de Quilamula (1099msnm), Huautla (951msnm) y Rancho viejo (928msnm; Fig. 2). Los sitios de estudio se localizan dentro y en las inmediaciones de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, que es considerada como área de importancia para la conservación de las aves (CONABIO, 2004). Todas las localidades presentan condiciones climáticas y de vegetación similares con selva baja caducifolia fragmentada, en una matriz de agricultura, ganadería, pequeños poblados con caminos de terracería y caminos secundarios (García *et al.*, 2019). En el municipio de Tlaquiltenango predominan los valles pluviales o cauces intermitentes (García *et al.*, 2019). En época de lluvias, en mayo-agosto escurre el agua al cauce principal del río Quilamula que fluye de norte a sur (García *et al.*, 2019). El viento tiene una dirección predominante de norte a sur, en el mismo sentido que el río Quilamula (García *et al.*, 2019). De tal manera que el río Quilamula y el viento actúan como dispersores de la contaminación acumulada en los jales aledaños, de donde se han desplazado MP río abajo (Gavilán-García *et al.*, 2020; Márquez-Huitzil *et al.*, en prep.).

Diseño experimental

Se eligieron cuatro sitios de colecta a lo largo del río Quilamula. Dos sitios de estudio se ubicaron en los jales, el primero en el jal de Huautla y el segundo en el jal de Rancho Viejo. La distancia entre estos sitios fue de 1.07 km. El tercer sitio en

Rancho Viejo 2.76 km río abajo de los jales. El cuarto sitio en Quilamula se localiza 8.31 km río arriba de los jales (Fig. 2).

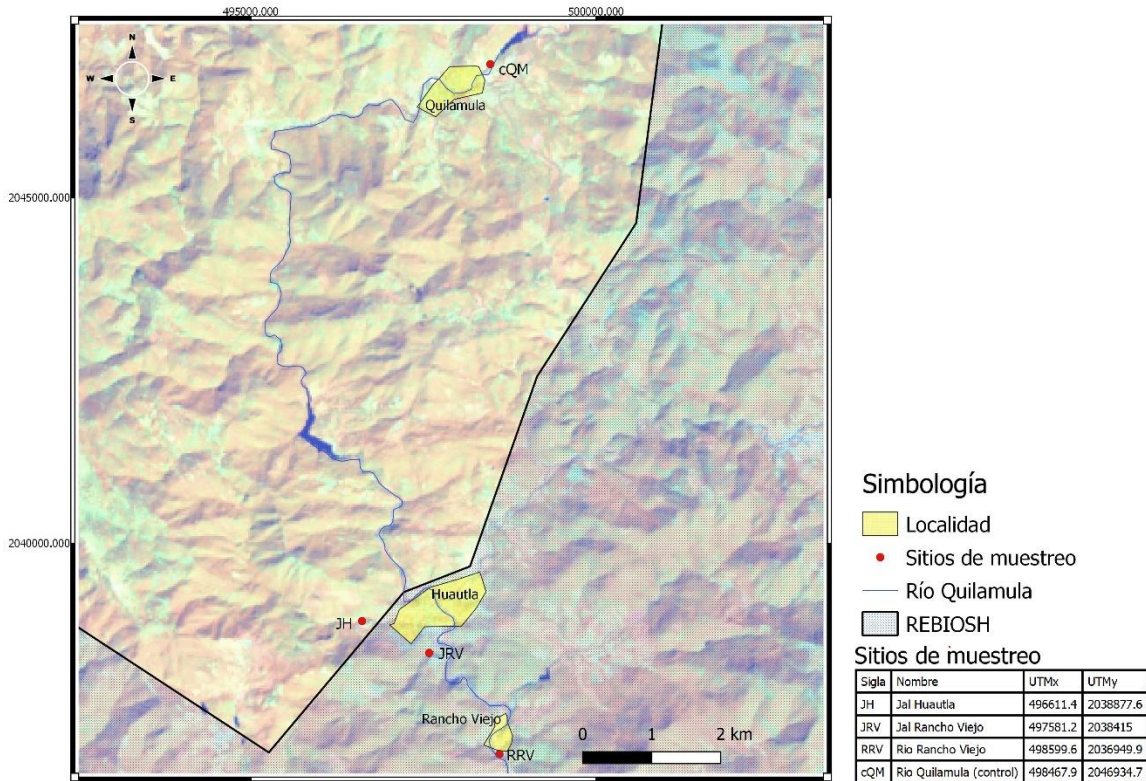


Figura 2. Mapa de localización de los sitios de estudio.

Considerando la distancia entre los sitios de muestreo y la conducta territorial que se mantiene durante todo el año de la especie de estudio, existe una baja probabilidad de que los individuos se muevan entre sitios. Por lo que los sitios de muestreo son independientes. En el estudio se presentaron recapturas en el mismo sitio, pero no existieron recapturas en sitios diferentes. Por lo que, las aves capturadas en cada sitio tienen diferente exposición a los contaminantes derivados de los jales.

El trabajo de campo se realizó con las calandrias dorso rayado de dos cohortes de edad: de segundo año (SA) y mayores al segundo año (+SA). Las aves se capturaron con redes de niebla de 12x2.5m y 6x2.5m en dos temporadas. La primera temporada de colecta fue del 4 de mayo al 12 de junio de 2017, la segunda temporada del 10 de febrero al 19 de marzo de 2020. Las redes de niebla se instalaron en los diferentes sitios partiendo de los jales: 1) en dirección río arriba en Quilamula, 2) en dirección río abajo hasta Rancho Viejo (Fig. 2). Cada ave capturada se guardó en una bolsa de manta hasta su procesamiento. De cada ave se determinó el sexo y edad (Bibby *et al.*, 2000) y se marcó con anillos en los tarsos. Se colocaron dos anillos de plástico en el tarso izquierdo, más otro anillo de color y uno metálico numerado en el tarso derecho. Esto permitió el reconocimiento individual para no repetir la prueba en el mismo individuo. Cada ave se sometió una sola vez a la prueba conductual adaptando la metodología de Huang *et al.*, 2015; Fig. 3).

Para la prueba conductual, se colocó a cada ave en una caja por 5 minutos para su habituación. Posteriormente se abrió la caja, permitiendo la entrada del ave a la sala de exploración, y permaneció 5 minutos. La caja de habituación tuvo las medidas 20cm x 30cm x 20cm, colocada junto a la sala de exploración de 1m x 1m x 1m. La sala de exploración fue construida con tubos de PVC, forrada con tela de manta para aislar al individuo del medio proporcionando un ambiente nuevo para el ave. En esta sala se colocaron cuatro perchas de tubo de PVC, que se fijaron al suelo por medio de varillas metálicas (Fig. 3). La parte frontal fue hecha de malla plástica para permitir la videograbación de la conducta. Se colocó una cámara en un trípode dentro de la sala de exploración. Después de cada prueba, se tomaron

medidas morfométricas y muestras de plumas, y el ave fue liberada en el mismo sitio de colecta. El trabajo de captura y pruebas conductuales se realizó en el horario de mayor actividad en las aves de 7:00h-12:00h (Bibby *et al.*, 2000).

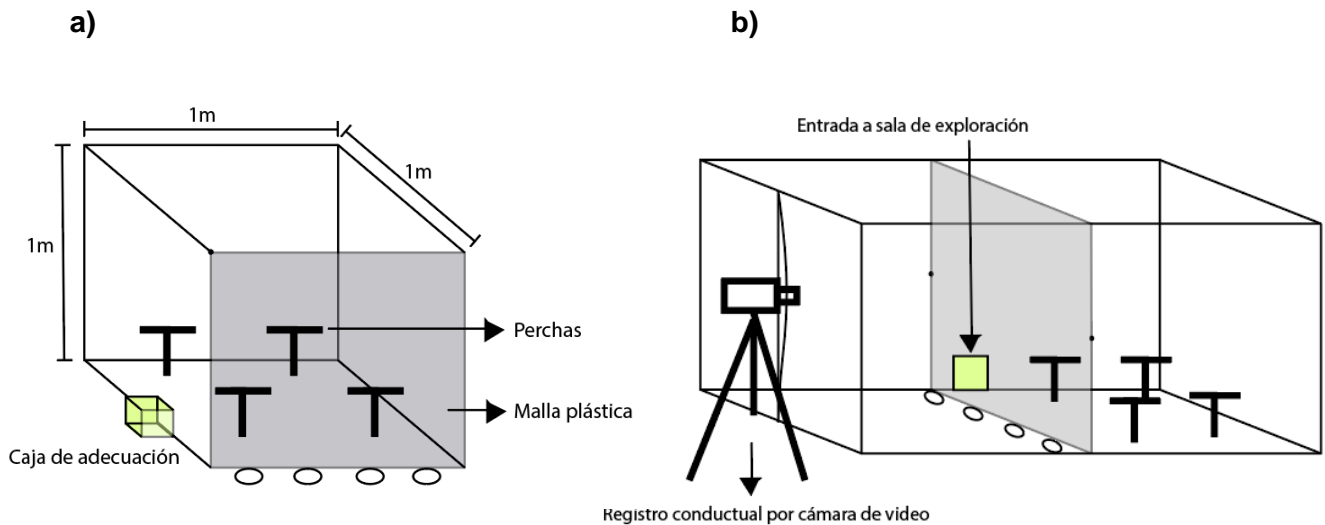


Figura 3. Esquema para las pruebas de conducta. a) Sala de exploración. b) Sistema de video grabación.

Cada prueba se videograbó durante 10 minutos en tota; 5 minutos de habituación y 5 minutos de prueba de ambiente novedoso. Cada grabación inició con los datos de hora de ingreso a la caja de habituación y número de anillo del ave. Las variables conductuales que se midieron fueron:

(1) Área de exploración: es el área total de la sala de exploración utilizada durante la prueba. Para realizar el análisis en la computadora se ajustó la pantalla de trabajo a 16x9cm, posteriormente se hizo una cuadrícula de con una separación de 1cm. El análisis del área de exploración se realizó reproduciendo cada video en cámara lenta, para hacer el seguimiento y trazo de la trayectoria de vuelo de cada individuo, utilizando el programa Adobe Illustrator. Posteriormente la trayectoria y la cuadrícula

fueron sobrepuestas y se contó el número de cuadros por donde se desplazó cada ave y se obtuvo el porcentaje del área ocupada (Fig. 4a).

(2) Número de vuelos: cada vuelo fue trazado como un vector en el programa Adobe Illustrator. Se contabilizó el número de vectores que es equivalente al número de vuelos que realizó cada individuo (Fig. 4b).

(3) El tiempo total de desplazamiento: durante la prueba de 5 minutos se reprodujo el video en velocidad real y se midió con cronómetro el tiempo en el que cada ave vuela y se percha. El cronómetro se detuvo cuando el ave permaneció perchada.

El experimento se apegó a la guía ética de la Animal Behavior Society (2012). Este además se apegó a las normas mexicanas con los permisos de colecta científica SGPA/DGVS/03032/17 y SGPA/DGVS/1149/19 (SEMARNAT).

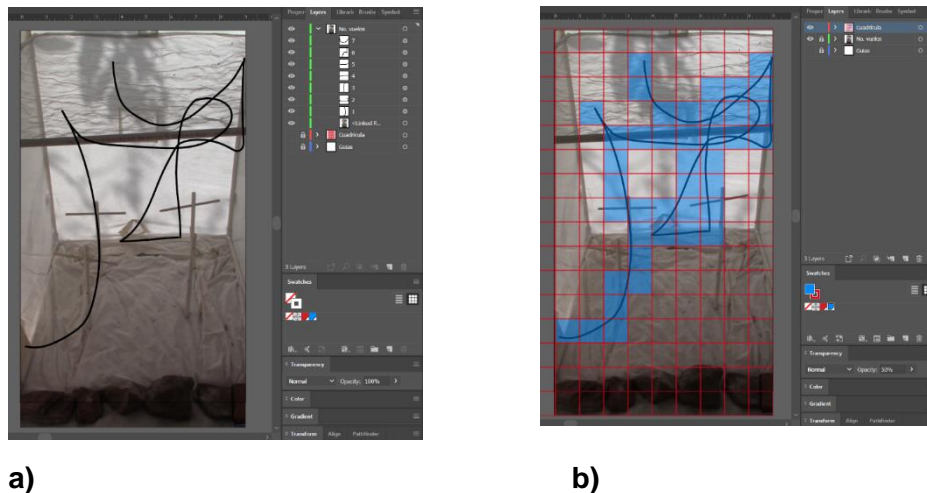


Figura 4. Análisis de videos. Ejemplo de a) la medición de ocupación de la sala de exploración, mediante conteo de cuadros que cruzó la trayectoria de cada ave y b) del trazo de vectores, equivalente al número de vuelos.

Análisis estadísticos

Para determinar el grado de concordancia en la medición de las variables de respuesta se utilizó el paquete ICC de Estudio 4.0.2, para calcular el índice de correlación intraclase (ICC) (Mandeville, 2005). Este describe la variación total que es explicada por la diferencia entre dos repeticiones de medición en cada variable de respuesta (Mandeville, 2005). El ICC tiene un intervalo de valores de 0 a 1, mientras mas cercano el resultado es a 1 indica menor diferencia entre las mediciones (Mandeville, 2005).

$$ICC = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \sigma_e^2}$$

En donde:

σ_p^2 = varianza poblacional

σ_e^2 = varianza del error experimental

El análisis de las grabaciones obtenidos las realizó un observador que realizó dos mediciones de las variables de respuesta área de exploración, tiempo de desplazamiento y número de vuelos. Se utilizó la primera medición para el análisis de la conducta de exploración (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del Índice de correlación intraclase.

	Área de exploración	Número de vuelos	Tiempo de desplazamiento
ICC	0.9916	0.9939	0.9986
Límite inferior	0.9723	0.9799	0.9955
Límite superior	0.9975	0.9982	0.9996

En este trabajo utilizamos modelos lineales para evaluar el efecto de la diferente exposición a los desechos de la minería metálica de la Calandria dorso rayado en la conducta de exploración.

Las variables independientes utilizadas fueron:

- Fecha de colecta: se realizó una transformación de la fecha, se sustituyó por un continuo de 365 días del año. El 1 de enero=1, mientras que el 31 de diciembre=365. Cabe destacar que se eliminaron las variables de temporada de colecta y año de colecta, ya que eran redundantes con el continuo de la fecha de colecta ya que los meses fueron diferentes en los dos años.
- Hora de captura: variable continua con la hora en que el ave fue retirada de la red de niebla.
- Tiempo de espera: Variable continua con la diferencia de tiempo entre la hora de captura del ave y la hora en que se ingresó a la caja de adecuación para ingresar a la prueba conductual.

- Sitio: variable categórica con 4 niveles, cada nivel corresponde a uno de los sitios explicados anteriormente, Río Quilamula (cQM), Huautla (JH), Jal Rancho Viejo (JRV) y Jal y Río Rancho Viejo (RRV).
- Sexo: variable categórica con 2 niveles, Machos y Hembras.
- Edad: variable categórica con dos niveles, segundo año (SA) y mayores al segundo año (+SA).

Para comenzar a realizar los análisis se comprobaron los supuestos de linealidad, normalidad y homocedasticidad (Mendenhall *et al.*, 2006). Para asegurarnos de que no hubiera confusión entre el año, temporada y fecha de colecta, verificamos el factor de inflación de varianza (VIF) < 2 (Zuur *et al.* 2010). Posteriormente con las variables fecha de colecta, hora de captura y tiempo de espera se construyó un modelo base para cada variable conductual (porcentaje de exploración, tiempo de desplazamiento y número de vuelos) y así se descartaron las variables independientes que no aportaron información. Para la construcción de cada modelo base se realizó un modelo lineal con la función `lm` de la plataforma R studio 4.0.2, posteriormente utilizamos la función `dredge` del paquete MuMIN en R studio 4.0.2 en el cual se crearon modelos con todas las combinaciones posibles, el criterio de elección de modelo fue la diferencia del criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas menor a 2 ($\Delta AICc < 2$) (Burnham y Anderson, 2002). Después se calcularon los intervalos de confianza de las variables que incluían los modelos candidatos, se eligieron aquellos modelos en que los intervalos de confianza no cruzaron por cero, en el caso de que no hubiera variables que proporcionen información se utilizó el modelo nulo como base.

De acuerdo con cada hipótesis planteada se construyeron los modelos de la siguiente manera:

Modelo Nulo

Variable Conductual~Modelo base

Variable conductual~Modelo base + Sitio

Variable conductual~Modelo base + Sitio*Sexo

Variable conductual~Modelo base + Sitio*Edad

Variable conductual~Modelo base + Sexo

Variable conductual~Modelo base + Edad

Cada modelo lineal se realizó con la función `lm` de la plataforma Rstudio 4.0.2. Se utilizó la función `dredge` del paquete `MuMIN` en Rstudio para extraer el criterio de información de akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), diferencia del criterio de información de akaike corregido para muestras pequeñas $\Delta AICc$ y el peso (W) de cada modelo construido. El criterio de elección de modelo fue la diferencia del criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas menor a 2 ($\Delta AICc < 2$) (Burnham y Anderson, 2002). Después se calcularon los intervalos de confianza de las variables que incluían los modelos candidatos, se eligieron aquellos modelos en que los intervalos de confianza no cruzaron por cero.

Resultados

La prueba de conducta se realizó en un total de 75 grabaciones obtenidas de *Icterus pustulatus* (Tabla 3; ver modelos abajo). Las aves colectadas en el Río Quilamula, Jal Huautla, Jal Rancho Viejo y Río Rancho Viejo, no presentaron diferencias significativas en el porcentaje de exploración. Entre sexos no existió diferencia significativa en el porcentaje de exploración, ni entre aves de segundo año de edad y mayores al segundo año.

Las aves colectadas en el Río Quilamula, Jal Huautla, Jal Rancho Viejo y Río Rancho Viejo, no presentaron diferencias significativas en el tiempo de desplazamiento. Entre sexos, no existió diferencia significativa en el tiempo de desplazamiento. Entre aves de segundo año edad y mayores al segundo año se encontró diferencia significativa. Las aves de segundo año de edad se desplazaron menos tiempo en la sala de exploración, que las aves mayores al segundo año.

Las aves colectadas en el Río Quilamula, Jal Huautla, Jal Rancho Viejo y Río Rancho Viejo, no presentaron diferencias significativas en el número de vuelos. Entre sexos, no existió diferencia significativa en el número de vuelos. Entre aves de segundo año edad y mayores al segundo año se encontró diferencia significativa. Las aves de segundo año de edad tuvieron menos cantidad de vuelos en la sala de exploración que las aves mayores al segundo año.

Tabla 3. Resumen de resultados de variables conductuales utilizadas en los modelos.
 cRQ= Río Quilamula, JRV= Jal Rancho Viejo, RRV= Río Rancho Viejo, JH= Jal Huautla.
 H= Hembra, M= Macho, SA= Segundo año, +SA= Mayor al segundo año, \bar{x} = promedio,
 DE= desviación estándar, n= número de individuos.

			Porcentaje de exploración (%)	Tiempo de desplazamiento (segundos)	Número de vuelos	
		n	\bar{x} ; DE; Rango	\bar{x} ; DE; Rango	\bar{x} ; DE; Rango	
Sitio	cRQ		14	48.51 ± 14.17; 68.1-16.6	17.08 ± 10.74; 38.6-1.8	36.14 ± 21.74; 69-2
		H	2	48.95 ± 27; 68-29	16.30 ± 18.03; 29.1-3.6	38 ± 43.84; 69-7
		M	12	48.4 ± 13.07; 68.1-16.7	17.2 ± 1.32; 38.7-1.8	35.8 ± 19.56; 68-2
		SA	3	49.07 ± 8.22; 54.2- 39.6	13.26 ± 6.91; 20-6.2	26.33 ± 14.01; 40-12
		+SA	11	48.36 ± 15.73; 68.1-16.7	18.33 ± 11.61; 38.7-1.8	38.82 ± 23.19; 69-2
	JRV		17	41.26 ± 9.50; 68.7-24.3	14.60 ± 5.93; 34.7-1.2	31.64 ± 11.66; 85-2
		H	2	41.32 ± 24.06; 58.3-24.3	8.39 ± 10.14; 15.6-1.2	15.50 ± 19.09; 29-2
		M	15	41.25 ± 9.9; 68.8-29.2	15.43 ± 7.96; 34.7-6.6	33.8 ± 18.77; 85-15
		SA	3	44.21 ± 14.60; 58.3-29.2	14.54 ± 1.76; 15.6-12.5	33 ± 3.6; 36-29
		+SA	14	40.63 ± 10.71; 68.8-44.4	14.61 ± 9.08; 34.7-1.2	31.36 ± 21.22; 85-2
	JH		22	44.92 ± 13.43; 66.6-13.1	13.70 ± 8.21; 37.3-1.2	28.86 ± 16.97; 76-2
		H	7	43.95 ± 8.68 56.9-37.5	13.47 ± 5.56; 23.7-6.8	28.57 ± 12.09; 46-18
		M	15	45.37 ± 15.41; 66.7-13.2	13.81 ± 9.37; 37.4-1.3	29 ± 19.21; 73-21
		SA	12	39.29 ± 12.32; 43.8-13.2	10.28 ± 6.24; 23.7-1.3	22.9 ± 14.22; 46-2
		+SA	10	51.67 ± 11.92; 66.7-32.6	17.80 ± 8.68; 37.4-7.9	36 ± 17.91; 76-7
	RRV		22	48.80 ± 9.50; 65.9-31.2	14.60 ± 5.93; 27.9-4.6	30.32 ± 11.67; 56-9
H		7	45.24 ± 8.14; 56.3- 31.3	13.77 ± 5.62; 21.4-4.6	28.43 ± 10.39; 40-10	
M		15	50.46 ± 9.84; 66-31.3	17.14 ± 5.95; 27.9-6.7	31.20 ± 12.46; 56-9	
SA		8	46.79 ± 7.52; 57.6-31.3	12.97 ± 5.39; 21.4-4.6	23.88 ± 9.76; 40-10	
+SA		14	49.95 ± 10.55; 66-31.3	17.84 ± 5.65; 27.9-6.7	34 ± 11.33; 56-47	
Sexo	H	18	44.71 ± 11.44; 68.1-24.3	13.34 ± 7.16; 29.1-1.2	28.11 ± 15.96; 69-2	
	M	57	46.27 ± 12.54; 68.7-13.1	15.83 ± 8.42; 38.6-1.2	32.28 ± 17.49; 85-2	
Edad	SA	26	41.34 ± 12.15; 57.6-13.2	11.12 ± 5.56; 20-1.2	23.4 ± 12.59; 40-2	
	+SA	49	48.03 ± 12.19; 68.7-16.6	17.51 ± 8.58; 38.6-1.8	35.45 ± 17.83; 85-2	

Modelos para cada variable conductual

Porcentaje de exploración. En el porcentaje de exploración utilizamos como modelo base el modelo nulo ($AICc= 590.48$, $\Delta AICc=0.07$, $W= 0.24$) (Tabla 4). La hora, fecha de captura y tiempo de espera tuvieron efecto nulo en el porcentaje de la exploración de *Icterus pustulatus* en la sala de prueba conductual. Tres de los modelos contruidos cumplieron con el criterio de selección $\Delta AICc < 2$. Modelo base + sitio ($AICc= 592.497$, $\Delta AICc=2.012$, $W= 0.002$, $IC= -15.922, 1.368$), modelo base + sexo ($AICc= 592.494$, $\Delta AICc=2.01$, $W= 0.002$, $IC= -5.028, 8.131$) y modelo nulo ($AICc= 590.549$, $\Delta AICc=0.065$, $W= 0.006$) (Tablas 6, 7). Utilizamos el modelo nulo para describir el porcentaje de exploración de *Icterus pustulatus* en la sala de exploración, por lo que el sitio de colecta, el sexo y la edad no tuvieron efecto sobre el porcentaje de exploración.

Tiempo de desplazamiento. En el tiempo de desplazamiento utilizamos como modelo al que incluye tiempo de espera ($AICc= 526.63$, $\Delta AICc=0$, $W= 0.40$, $IC= -0.24, -0.03$) (Tablas 4, 5). Este tiene una pendiente negativa lo que nos indica que mientras mayor tiempo esperó el ave en ingresar a la prueba se desplazó menor tiempo. Un modelo cumplió el criterio $\Delta AICc < 2$. Modelo base + edad ($AICc= 524.339$, $\Delta AICc=0$, $W= 0.133$, $IC= -15.922, 1.368$) (Tabla 6). Los límites de confianza en el caso de este modelo indican una pendiente negativa en la edad (Tiempo de espera ($IC= -0.193, 0.016$, Edad SA $IC= -7.988, -0.238$) (Tabla 7)

Utilizamos este modelo para describir el tiempo de desplazamiento de *Icterus pustulatus* en la sala de exploración, las aves de segundo año se desplazaron menos tiempo respecto a las aves mayores al segundo año.

Número de vuelos. En el número de vuelos utilizamos como modelo base el modelo nulo (AICc= 641.10, Δ AICc=0.54, W= 0.24) (Tabla 4). La hora, fecha de captura y tiempo de espera tuvieron efecto nulo en el número de vuelos que realizaron los *Icterus pustulatus* en la sala de exploración. Un modelo cumplió el criterio Δ AICc<2. Modelo base + edad (AICc= 637.118, Δ AICc=0, W= 0.204, IC= -15.922, 1.368) (Tabla 6). Los límites de confianza en el caso de este modelo indican una pendiente negativa en la edad (Edad SA IC= -17.916, -2.015) (Tabla 7). Utilizamos este modelo para describir el número de vuelos de *Icterus pustulatus* en la sala de exploración, las aves de segundo año tuvieron menor cantidad de vuelos respecto a las aves mayores al segundo año.

Tabla 4. Selección de modelo base Δ AICc <2.

Variable conductual	Variables incluidas	AICc	Δ AICc	W
Porcentaje de exploración	Tiempo de espera	590.48	0	0.24
	Nulo	590.55	0.07	0.23
	Fecha de captura	591.55	1.07	0.14
	Hora de captura	592.11	1.63	0.10
	Fecha de captura + Tiempo de espera	592.13	1.65	0.10
	Hora de captura + Tiempo de espera	592.34	1.86	0.09
Tiempo de desplazamiento				
	Tiempo de espera	526.63	0	0.40
	Fecha de captura + Tiempo de espera	527.65	1.02	0.24
Número de vuelos				
	Tiempo de espera	640.56	0	0.31
	Nulo	641.10	0.54	0.24

Tabla 5. Cálculo de intervalos de confianza de modelo base.

Variable conductual	Variable incluida	B	± ES	IC 97.5%		P
Porcentaje de exploración						
	Fecha de captura	-0.023	0.03473	-0.09	0.05	0.507
	Hora de captura	10.919	22.010	-32.97	54.81	0.621
	Tiempo de espera	-0.100	0.082	-0.26	0.06	0.228
	Nulo	/	/	/	/	/
Tiempo de desplazamiento						
	Fecha de captura	0.023	0.023	-0.02	0.07	0.307
	Hora de captura	-3.349	14.339	-31.94	25.24	0.816
	Tiempo de espera	-0.134	0.053	-0.24	-0.03	0.015
Número de vuelos						
	Fecha de captura	0.020	0.049	-0.08	0.12	0.687
	Hora de captura	6.485	30.867	-55.06	68.03	0.834
	Tiempo de espera	-0.189	0.115	-0.42	0.04	0.106
	Nulo	/	/	/	/	/

Tabla 6. Selección de modelos con $\Delta AICc < 2$.

		Porcentaje exploración	Tiempo de desplazamiento	Número de vuelos
Modelo base	AICc	590.549	526.631	641.099
	$\Delta AICc$	0.065	2.291	3.981
	W	0.006	0.04	0.02
Modelo base + Sitio	AICc	592.497	531.353	646.094
	$\Delta AICc$	2.012	7.014	8.976
	W	0.002	0.0004	0.002
Modelo base + Sitio*Sexo	AICc	601.367	539.967	653.678
	$\Delta AICc$	10.883	11.849	16.56
	W	0.0003	0.0003	0.00005
Modelo base + Sitio*Edad	AICc	595.345	536.189	649.135
	$\Delta AICc$	4.861	11.849	12.017
	W	0.006	0.0004	0.0005
Modelo base + Sexo	AICc	592.494	528.249	642.433
	$\Delta AICc$	2.01	3.91	5.315
	W	0.002	0.019	0.014
Modelo base + Edad	AICc	590.833	524.339	637.118
	$\Delta AICc$	0.034	0	0
	W	0.005	0.133	0.204
Modelo nulo	AICc	590.549	529.798	641.099
	$\Delta AICc$	0.065	5.458	3.981
	W	0.006	0.008	0.02

Tabla 7. Cálculo de intervalos de confianza de modelos construidos.

Variable conductual	Modelo candidato	Variables incluidas	B	± ES	97% IC		P
Porcentaje exploración							
Modelo base + Sitio							
		JRV	-7.277	4.336	-15.922	1.368	0.098
		RRV	0.273	4.107	-7.916	8.462	0.947
		JH	-3.613	4.107	-11.802	4.576	0.382
Modelo base + Sexo							
		Sexo/Machos	1.551	3.301	-5.028	8.131	0.64
Modelo nulo							
			/	/	/	/	/
Tiempo de desplazamiento							
Modelo base + Edad							
		Edad SA	-4.113	1.387	-7.988	-0.238	0.038
		Tiempo de Espera	-0.089	1.944	-0.193	0.016	0.096
Número de vuelos							
Modelo base + Edad							
		Edad SA	-9.965	3.989	-17.916	-2.015	0.015

Discusión

El estado fisiológico del organismo influye en su actividad, y en el iniciar movimientos exploratorios en ambientes nuevos (Wu y Seebache 2022). La contaminación, particularmente el Pb, puede incidir en la menor capacidad exploratoria (Tabla 1). En el presente estudio se midió el área de exploración, número de vuelos y tiempo de desplazamiento, como medidas relacionadas a la conducta de exploración en *Icterus pustulatus*. Con esta aproximación evaluamos la relación de la exposición a los contaminantes con la conducta de exploración en un ambiente nuevo en las aves de estudio. Las predicciones del presente estudio se plantearon con relación a la exposición individual a los metales pesados desechados por las minas abandonadas en Huautla, Morelos.

Contrario a nuestra primera predicción, de menor exploración en las aves más expuestas a los contaminantes por su ubicación de colecta, esta conducta fue similar en las aves colectadas en los diferentes sitios. En aves insectívoras, *Parus major*, en un diseño similar al nuestro, de distancia a sitios contaminados, la exploración fue menor relativa a la cercanía de la fuente de contaminación por MP (Grunst *et al.*, 2018). Similar a nuestros resultados, independientemente de la concentración de Pb suministrada experimentalmente, la exploración fue similar en pollos que en aves juveniles (Ruuskanen *et al.*, 2015). En este experimento las aves con tratamiento de ingesta de Pb, registraron mayores niveles de este metal en hueso relativo a las del tratamiento control, aunque sin efecto en la conducta (Ruuskanen *et al.*, 2015).

Contrario a nuestra segunda predicción asociada al sexo, las hembras con mayor exposición endógena al Pb por potencial sustitución con el Ca en huesos,

por la ovogénesis (Stapane *et al.*, 2020), exploraron similar a los machos que no tienen ese mecanismo en su fisiología. En *Parus major*, en un diseño similar al nuestro, de cercanía a los sitios con MP, no se encontró diferencia entre sexos en la exploración (Grunst *et al.*, 2018). La historia de vida similar en ambos sexos de nuestra especie de estudio puede influir en los efectos similares de los MP. Ambos sexos, son conductualmente similares, y posiblemente con la misma presión de selección, en variables de exploración y movimiento, por ejemplo en la defensa territorial (Murphy *et al.*, 2009), en la búsqueda de alimento, y en los viajes de forrajeo para alimentación de las crías (Fraga, 2020).

Contrario a nuestra tercera predicción asociada a la edad, las aves con mayor exposición crónica por edad exploraron menos que las jóvenes, independientes del sitio de colecta. Los resultados contrastantes, entre diferentes especies, e incluso en la misma especie, puede relacionarse, con diferencias fisiológicas individuales, como metabolismo, hormonales, o capacidad de quelación de tóxicos (Durkalec *et al.*, 2022). Por ejemplo, diferencias interindividuales en la preferencia de la dieta, o del uso de recursos, o espacio pueden tener consecuencias en la exposición a los contaminantes y por lo tanto en la salud individual (Sun *et al.*, 2022). Nuestro estudio no se diseñó para identificar diferencias finas en exposición a los contaminantes que pudieron tener consecuencias en nuestros resultados. Preferencia por carotenos incluidos en la dieta puede incidir en menor estrés oxidativo y combatir el efecto de los contaminantes (Monaghan *et al.*, 2009). Alimentos ricos en minerales como magnesio, puede incidir en el mejor metabolismo celular (Liu *et al.*, 2021). Individuos con tendencia a colectar lodos o insectos directo de los jales vs en otros sitios con menos tóxicos, o a perchar sobre los jales vs en otro sitio, alejado del

contaminante podrían tener diferente exposición a los tóxicos. Lo anterior, puede ser el principio de adaptaciones locales (Andrew, 2018; Reid, 2016).

Sugerimos para un próximo estudio, incluir valores individuales de los metales de desecho de la minería reportados en los sitios de estudio como Pb y As, que se han relacionado con efectos en variables de cognición como lo es la exploración (Barats *et al.*, 2019; Tabla 1). También se sugiere medir otros contaminantes con similares consecuencias en la conducta como los agroquímicos. En los cuatro sitios de estudio, existe agricultura con herbicidas organoclorados y fertilizantes. Estos tienen efectos en el sistema endócrino, con consecuencias en niveles de actividad en aves (Montiglio y Royauté, 2014). Sugerimos realizar un estudio individual de uso de recursos, que permita observar preferencia en la dieta o sitios de anidación para detectar exposición a los desechos de la minería (Sun *et al.*, 2022), o detectar dieta que posiblemente esté contrarrestando el efecto de los MP en la conducta de exploración (Grunst *et al.*, 2018, 2019; Monaghan *et al.*, 2009).

Puntos para resaltar

1. Este estudio evaluó la conducta de exploración en aves silvestres *in situ* asociado a los jales en un distrito minero de plata no activo del centro sur de México.
2. El sitio de colecta en diferentes puntos del río respecto a los jales mineros no tuvo efecto sobre las variables de la conducta de exploración en este estudio.
3. El sexo de las aves, no tuvo relación con el efecto de los MP en la conducta de exploración.
4. La conducta de las aves ubicadas río arriba (Quilamula) sin descarga de los jales, no fue diferente a los otros sitios con mayor exposición a los contaminantes por MP.
5. Otras fuentes de contaminación, como agroquímicos en los sitios de estudio con efectos en la conducta pueden enmascarar nuestros resultados.
6. Se sugiere tomar en cuenta los valores individuales de MP en los análisis.
7. Se sugiere el uso de técnicas no invasivas, como lo fue nuestro diseño experimental en ambiente novedoso, en la valoración de la relación de los contaminantes y la conducta animal.

Literatura citada

- Adair, B. M., McBride, T. J., Hooper, M. J. y Cobb, G. P. (2002). Trophic Transport of Metals in Birds: Birds as Indicators of Exposure and Effect. *Chemicals in the Environment*, 321-339, DOI: 10.1021/bk-2002-0806.ch018
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (2019). Toxicological Profile for Lead, U.S. Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Centers for Diseases Control, Atlanta, GA.
- Andrew, S. C., Taylor, M. P., Lundregan, S., Lien, S., Jensen, H., y Griffith, S. C. (2018). Signs of adaptation to trace metal contamination in a common urban bird. *Science of The Total Environment*, 650: 679–686 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.0
- Animal Behavior Society (2012). Guidelines for the treatment of animals in behavioural research and teaching. *Animal Behaviour*. 83: 301–309.
- Barats, A., Renac, C., Orani, A. M., Durrieu, G., Martin, H. S., Esteller, M. V. y Garrido, S. E. (2019). Tracing source and mobility of arsenic and trace elements in a hydrosystem impacted by past mining activities (Morelos state, Mexico). *Science of The Total Environment*. Volume 712, 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135565>
- Bartkowiak, A. y Lemanowicz, J. (2014). Application of biochemical tests to evaluate the pollution of the unislaw basin soils with heavy metals. *International Journal of Environmental Research*. 8 (1), 93-100.
- Betaineh H., Al-Hamood, M. H. y Elbetieha, A. M. (1998). Assessment of aggression, sexual behavior and fertility in adult male rat following long-term

- ingestion of four industrial metals salts. *Human & Experimental Toxicology*. 17: 570-576. DOI: <https://doi.org/10.1177/096032719801701008>
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A. y Mustoe, S. (2000). *Bird census techniques*. 2nd edition. Academic Press, London. 105-129
- Boyd, R. S. (2010). Heavy Metal Pollutants and Chemical Ecology: Exploring New Frontiers. *Journal of Chemical Ecology*. 36: 46–58. DOI: 10.1007/s10886-009-9730-5
- Burger, J. y Gochfeld, M. (2000). Effects of lead on birds (Laridae): A review of laboratory and field studies, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 3 (2), 59-78, DOI: 10.1080/109374000281096
- Burger, J. y Gochfeld, M. (1995). Behavior Effects of Lead Exposure on Different Days for Gull (*Larus argentatus*) Chicks. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. 50 (1), 97-105. DOI: 10.1016/0091-3057(94)00290-y
- Burnham, K. P. y Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. 2nd ed.; Springer-Verlag: New York.
- Campbell, D. L. M., Weiner, S. A., Starks, P. T., y Hauber, M. E. (2009). Context and control: Behavioural ecology experiments in the laboratory. *Annales zoologici fennici*. 46 (2), 112-123. DOI: 10.1080/03949370.2014.928653
- Carter, A. C., Feeney, W. E., Marshall, H. H., Cowlshaw, G. y Heinshn, R. (2012). Animal personality: what are behavioural ecologist measurings? *Biological Reviews*, 88: 465-475. DOI: 10.1111/brv.12007
- Carvalho, M. C., Nazari, E. M., Farina, M. y Muller, Y. M. R. (2008). Behavioral, Morphological, and Biochemical Changes after In Ovo Exposure to

Methylmercury in Chicks. *Toxicological Sciences* 106 (1), 180–185. DOI: 10.1093/toxsci/kfn158

CONABIO (2004). Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS). [En línea, disponible en: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>. Consultado: 22/05/2019].

CONANP (2005). Programa de conservación y manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Cortes-Rodríguez, N., Hernández-Baños, B. E., Navarro-Sigüenza, A. G., y Omland, K. E. (2008). Geographic variation and genetic structure in the Streak-backed oriole: Low mitochondrial DNA differentiation reveals recent divergence. *The Condor*, 110 (4), 729-739. DOI:10.1525/cond.2008.8578

Delville, Y. (1999). Exposure to Lead During Development Alters Aggressive Behavior in Golden Hamsters. *Neurotoxicology and Teratology*, 21 (4), 445–449. DOI: 10.1016/s0892-0362(98)00062-2

Doadrio, V., A.L. (2006). Ecotoxicología y acción toxicológica del plomo *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*. 72: 409-422

Douglas-Stroebel, E. K., Brewer, G. L. y Hoffman, D. J. (2005). Effects of Lead-Contaminated Sediment and Nutrition on Mallard Duckling Behavior and Growth. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*. 68: 113–128. DOI: 10.1080/15287390590885839

Durkalec, M., Martínez-Haro, M., Nawrocka, A., Pareja-Carrera, J., Smiths, E. G. J. y Mateo, R. (2022). Factors influencing lead, mercury and other trace

- element exposure in birds from metal mining areas. *Environmental Research*. 212 (513), 11357. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113575
- Ecke F., Singh, N. J., Arnemo, J. M., Bignert, A., Helander, B., Berglund, Å.M.M., Borg, H., Brojer, C., Holm, K., Lanzone, M., Miller, T. A., Nordström, Å., Raikkonen, J., Rodushkin, I., Ågren, E. y Hörnfeldt., B. (2017). Sub-lethal lead exposure alters movement behavior in free-ranging Golden Eagles. *Environmental Science y Technology*, 51 (10), 5729–5736. DOI: 10.1021/acs.est.6b06024
- Esteller, M. V., Domínguez-Mariani, E., Garrido, S. E. y Avilés, M. (2015). Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. *Environment Earth Science*. 74 (4). DOI: 10.1007/s12665-015-4315-9
- Fracchia L. N. y Martínez, N. (2010). Behavior Alterations of Contaminated Lead Mice Exposed to Ansiogenic Stimulus. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias* 10 (1), 23-33.
- Fraga, R. (2020). Streak-backed Oriole (*Icterus pustulatus*), version 1.0. In *Birds of the World* (J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie, and E. de Juana, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. DOI: <https://doi.org/10.2173/bow.stbori.01>
- Galbiati G. T., Almeida, A. A. y Godinh, A. F. (2011). Cadmium and exposure to stress increase aggressive behavior. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 32: 40-45. DOI: 10.1016/j.etap.2011.03.005
- García V. M. A., Flores, C. L., González, M., Ovando, C. y Romero, J. A. (2019). Plan de desarrollo municipal de Desarrollo Talquitenango 2019-2021.

<http://www.tlaquiltenango.gob.mx/wp-content/uploads/2019/11/Plan-Municipal-Tlaquiltenango-2019-2021.pdf>

- Gavilán-García, I. C., Ladino, L. A., Franco, E. y Juárez, J. (2020). Determinación de factores involucrados en la valoración del riesgo potencial asociado a la dispersión atmosférica de jales mineros y a su ingestión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 36 (1), 127-138, 2020. DOI: 10.20937/RICA.2020.36.53384
- Grunst, A. S., Grunst, M. L., Thys, B., Raap, T., Daem, N., Pinxten, R. y Eens, E., (2018). Variation in personality traits across a metal pollution gradient in a free-living songbird. *Science of the Total Environment*. 630: 668–678. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.191
- Grunst, A. S., Grunst, M. L., Daem, N., Pinxten, R., Bervoets, L. y Eens, M. (2019). An Important Personality Trait Varies with Blood and Plumage Metal Concentrations in a Free-Living Songbird. *Environmental Science y Technology*. 53: 10487–10496. DOI: 10.1021/acs.est.9b03548
- Hall, Z. J., MacDougall-Shackleton, S. A., Osorio-Beristain, M., y Murphy, T. G. (2010). Male bias in the song control system despite female bias in song rate in Streak-Backed Orioles (*Icterus pustulatus*). *Brain, Behavior and Evolution*, 76 (3-4), 168–175. DOI:10.1159/000320971
- Hansson, S. V., Claustresa, A., Probst, A., Vleeschouwer, F., Baron, S., Galop, D., Mazier, D. y Le Roux, G. (2017). Atmospheric and terrigenous metal accumulation over 3000 years in a French mountain catchment: Local vs distal influences. *Anthropocene* 19: 45–54. DOI: 10.1016/j.ancene.2017.09.002

- Haughland, D. L., y Larsen, K. W. (2004). Exploration correlates with settlement: red squirrel dispersal in contrasting habitats. *Journal of Animal Ecology*, 73(6), 1024–1034. DOI:10.1111/j.0021-8790.2004.00884.x
- Howell, N.G. y Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press. New York.
- Huang, P., Kerman, K., Sieving, K. E., y St. Mary, C. M. (2015). Evaluating the novel-environment test for measurement of exploration by bird species. *Journal of Ethology*. 34(1), 45–51. DOI:10.1007/s10164-015-0444-6
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. y Beeregowda, K. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*. 7: 60-72. DOI: 10.2478/intox-2014-0009
- Janssens, E, Dauwe, T., Duyse, E. V., Beernaert, J., Pinxten, R. y Eens, M. (2003). Effects of Heavy Metal Exposure on Aggressive Behavior in a Small Territorial Songbird. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 45: 121–127. DOI: 10.1007/s00244-002-0133-7
- Jaramillo, A. y Burke, P. (1999). *New World Blackbirds: The icterids*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 432 pp.
- Killen, S. S., Marras, S., Metcalfe, N. B., McKenzie, D. J. y Domenici, P. (2013). Environmental stressors alter relationships between physiology and behaviour. *Trends in Ecology and Evolution*. 1-8. DOI: 10.1098/rspb.2018.1297
- Kiere, L. M., Osorio-Beristain, M., Sorani, V., Prieto-Torres, D.A., Navarro-Sigüenza, A. G. y Sánchez-González, L.A. (2021). Do metal mines and their runoff

affect plumage color? Streak-backed Orioles in Mexico show unexpected patterns. *The Condor*. 123 (1), 1-18. DOI: 10.1093/ornithapp/duab023

La-Merril, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patiasul, H. B., Guyton, K. Z., Korteskamp, A., Cogliano V. J., Woodruff, T. J., Rieswijk, L., Sone, H., Korach, K. S., Gore, A. C., Zeise, L. y Zoeller, T. (2020). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification. *Nature reviews endocrinology*. 16 (A), 1-13. DOI: 10.1038/s41574-019-0273-8

Liu, H., Zhang, S., Qiu, M., Wang, A., Ye, J. y Fu, S. (2021). Garlic (*Allium sativum*) and Fu-ling (*Poria cocos*) mitigate lead toxicity by improving antioxidant defense mechanisms and chelating ability in the liver of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Ecotoxicology* 30: 885–898 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02405-6>

López-Michelena, A. (2021). Variación de la coloración del plumaje de aves residentes, asociada a la distancia a las concesiones de minería metálica en el centro-sur de México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Márquez-Huitzil, R., Martínez-Garza, C, Osorio-Beristain, M. (2022a). Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica. *Acta Botánica Mexicana*. 129: e2019. DOI: 10.1111/ibi.13140

Márquez-Huitzil, R., C. Martínez-Garza, S. I., Hinojosa-Espinoza y V., Sorani. (2022b). Identificación de minas y jales en Huautla, Morelos, México. *Investigaciones geográficas*. 109. DOI: 10.14350/rig.60633

- McClelland S. C., Duraes, R., Mielke, H. W., Finkelstein, M. E., González, C. R., Jones, J. A., Komedeur, J., Derryberry, E., Saltzberg, E. B., y Karubian, J. (2018). Sub-lethal exposure to lead is associated with heightened aggression in an urban songbird. *Science of the Total Environment*. 654: 593–603. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.145
- Mandeville, P. B. (2005). El coeficiente de correlación intraclase (ICC) *Ciencia UANL*, julio-septiembre, año/vol. VIII, número 003 Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey, México pp. 414-416
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., y Beaver, B. M. (2006). *Introduction to probability and statistics*. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole.
- Mettke-Hofmann C., Rowe, K. C., Hayden, T. J. y Canoine, V. (2006). Effects of experience and object complexity on exploration in garden warblers (*Sylvia borin*). *Journal of Zoology*. 268: 405-413. DOI: 10.1111/j.1469-7998.2005.00037.x
- Monaghan, P., Metcalfe, N. B., y Torres, R. (2009). Oxidative stress as a mediator of life history trade-offs: Mechanisms, measurements and interpretation. *Ecology Letters*, 12 (1), 75–92.
- Montiglio, P.O. y Royauté, R. (2014). Contaminants as a neglected source of behavioural variation. *Animal Behaviour* 88: 29-35. DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.11.018
- Murphy, T. G., Hernández-Muciño, D., Osorio-Beristain, M., Montgomerie, R., y Omland, K. E. (2009). Carotenoid-based status signaling by females in the tropical streak-backed oriole. *Behavioral Ecology*, 20(5), 1000–1006. DOI:10.1093/beheco/arp089

- Nava-Ruíz, C. y Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de neurociencias*. 16; 3: 140-147.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, Segunda sección, México. p. 78.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. 02 de marzo de 2007. Segunda sección. México. 69p.
- Organista-Nava, C. G. (2023). Influencia de la cercanía a desechos mineros en la conducta exploratoria en *Turdus rufopalliatus*, en Huautla, Morelos. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Parra O. E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *CES Salud Pública*. 5 (1), 59-69.
- Pearls, D., A. S., Griffin, I. Bartomeus y D. Sol (2017). Revisiting the open-field test: what does it really tell us about animal personality? *Animal behaviour*. 123: 69-79. DOI: 10.1016/j.anbehav.2016.10.006
- Pokras, M. (2009). Understanding Lead Uptake and Effects across Species Lines: A Conservation Medicine Based Approach. DOI:10.4080/ilsa.2009.0101

- Price, J. J., Yunes-Jiménez, L., Osorio-Beristain, M., Omland, K. E., y Murphy, T. G. (2008). Sex-role reversal in song? Females sing more frequently than males in the streak-backed oriole. *The Condor*. 110 (2), 387–392. DOI:10.1525/cond.2008.8430
- Pravosudov, V. V. (2018). Memory, Learning, Hormones and Behavior. Reference Module in Life Sciences. DOI:10.1016/b978-0-12-809633-8.20795-4
- Réale, D., Reader, S. M., Sol, D., McDougall, P. T., y Dingemanse, N. J. (2007). Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biological Reviews*. 82 (2), 291–318. DOI:10.1111/j.1469-185x.2007.00010.x
- Reid, N. M., D. A., Proestou, B. W., Clark, W. C., Warren, J. K., Colbourne, J.R., Shaw y A. Whitehead (2016). The genomic landscape of rapid repeated evolutionary adaptation to toxic pollution in wild fish. *Science*, 354 (6317), 1305–1308 DOI: 10.1126/science.aah4993
- Ruuskanen, S., Eeva, T., Kotitalo, P., Stauffer, J., y Rainio, M. (2014). No delayed behavioral and phenotypic responses to experimental early-life lead exposure in great tits (*Parus major*). *Environmental Science and Pollution Research*. 22 (4), 2610–2621. DOI:10.1007/s11356-014-3498-z
- Saaristo M., Brodin, T., Balshine, S., Bertram, M. G., Brooks, B. W., Ehlman, S. M., McCallum, E. S., Sih, A., Sundin, A., Wong, B. B. M. y Arnold, K. E. (2018). Direct and indirect effects of chemical contaminants on the behaviour, ecology and evolution of wildlife *Proceeding of the Royal Society B:Biological Sciences*. 285 (1885), 20181297. DOI: 10.1098/rspb.2018.1297

- Sánchez-Salazar, M. T. (2019). Minería en México desde una visión integral. [En línea, disponible en: <http://ciencia.unam.mx/leer/870/mineria-en-mexico-desde-una-vision-integral> Consultado: 20/10/2019]
- SE. (2017). Secretaría de Economía. Acciones y programas, Minería [En línea, disponible en: www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria. Consultado: 22/02/2019].
- SEMARNAT. (2004). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección general del centro nacional de investigación y capacitación ambiental. Dirección de Investigación en Residuos y Proyectos Regionales Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales.
- Stamps, J. A., y Eason, P. K. (1989). Relationships between spacing behavior and growth rates: A field study of lizard feeding territories. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 25(2), 99–107. DOI:10.1007/bf00302926
- Stapane, L., N. L., Roy, J., Ezagal, A. B., Rodriguez-Navarro, V., Labas, L., Combes-Soia, M. T., Hincke y J., Gautron. (2020). Avian eggshell formation reveals a new paradigm for vertebrate mineralization vesicular amorphous calcium carbonate. *Journal of biological chemistry*. 295 (47), 15853-15869. DOI: 10.1074/jbc.RA120.014542
- Sun, Y., Lu, Z., Xiao, K., Zeng, L., Wang, J., Zhang, Y. y Gabrielsen, G. W. (2022). Spatial and interspecific variation of accumulated highly toxic trace elements between fifteen bird species feathers from Antarctic, Arctic and China. *Environmental Technology & Innovation* 27 (20), 102479. DOI: 10.1016/j.eti.2022.102479

- Téllez R. I. y Sánchez-Salazar, M. T. (2018). La expansión territorial de la minería mexicana durante el periodo 2000-2017. Una lectura desde el caso del estado de Morelos. *Investigaciones geográficas*. 96: 2448-7279. DOI: 10.14350/rig.59607
- Tostado M., E. (2014). Neurotoxicidad de los metales pesados: Plomo, Mercurio y Aluminio. Tesis de Maestría. Universidad de Valladolid. Valladolid, España. 34pp.
- Valenzuela-Inzunza, C.C. (2020). Hematocrito, morfología variante de eritrocitos y presencia de hemoparásitos en *Icterus pustulatus* y *Molothrus aeneus*: parámetros basales y relación con la proximidad a desechos mineros en Huautla, Morelos. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Van Overveld, T. y Matthysen, E. (2010). Personality predicts spatial responses to food manipulations in free ranging Great tits (*Parus major*). *Biology letters*. 6 (2), 187-90. DOI: 10.1098/rsbl.2009.0764
- Verbeek, M. E. M., Drent, P. J., y Wiepkema, P. R. (1994). Consistent individual differences in early exploratory behaviour of male great tits. *Animal Behaviour*. 48(5), 1113–1121. DOI:10.1006/anbe.1994.1344
- Volke, T., y J. Velasco. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. INE-SEMARNAT. México. 18-27.
- Volke, T., Velasco, J., y De la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. SEMARNAT. México. 19-35

- Wu, N. C. y Seebacher, F. (2022) Physiology can predict animal activity, exploration, and dispersal. *Communications biology*. 5 (1). DOI: 10.1038/s42003-022-03055-y
- Zhao, Y. y Marriot, S. B. (2013). Dispersion and remobilisation of heavy metals in the River Severn system, UK. *Procedia Environmental Sciences*. 18, 167-173. DOI: 10.1016/j.proenv.2013.04.022
- Zuur, A. F., Leno, E. N. y Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 3–14.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

20 de mayo de 2023

Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “**Conducta de exploración en la Calandria Dorso Rayado (*Icterus pustulatus*) y su relación con la exposición a desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos**” del alumno **Oscar Josué Amaro Flores**, con número de matrícula **10029581**, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(X) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Dra. Marcela Osorio Beristain

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, ,
Tel. (777) 329 7000/Ext 7019



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MARIA MARCELA OSORIO BERISTAIN | Fecha:2023-05-23 18:47:43 | Firmante
cJEoL33EVvFvbiZVtbi35pVZA57A1f5Sz2PHidHs/Cmw4IZ3scZDm4TK23djlQ2HO9rRkYqcvAg2CuJ179VF302h3ZQrBvFrvj6+JIM5HLZMYKfPEIDtrpDSzN+MC3QOj8UTUIAV
LgKIFM4+cdQWMZBQMnri+NkVph+YDEI7J5JMd7UX8kLV7uXUqq8WUjGJzA5e9wfb9/6EXJ+vSsnOFuINUyrs5ptskFdc3KjD3hZA5i5Je1nfnUXVeQBxpl85Z1D8o1VjnvJT3dzk
oGjmf5qns5IU6bgDq995nzc9szJALMHEOfQHIRDk090435v6ZTzXpqbMm/fesg--

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR. Ingresando la siguiente clave:



2mOZQclqv

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/5VXXFch0XDTySVm3l4sM3wUnsFhVDWw>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN (CIByC)

Fecha: 20 de mayo de 2023

**Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada "Conducta de exploración en la Calandria Dorso Rayado (*Icterus pustulatus*) y su relación con la exposición a desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos" del alumno Oscar Josue Amaro Flores, con número de matrícula 10029581, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(X) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Firmado Electrónicamente

Dr. Norman Mercado Silva



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

NORMAN MERCADO SILVA | Fecha:2023-05-24 09:15:53 | Firmante
POB0+EIZDA0duxr2HXf8ogMZVIH0C2zm1A6bLLAn5GF8maxYjJE5w+AdVvCaY9CbWAVSL7q7IqKdGLXD6NxnD1Rhnv8U6XsDCWazR0XuSHKAXMaw6pVEEAbjm4qYpH2
F3MC/UJS 120HmQIDYC+viEMFSczJkgNKEFD4/r+IbD06uXT6y33Shdul/cuTib6EmbS1P7Jcx1JeCQ17qgmKpPto9KLVF2y6YWI0XzVxuzNcYSin+6pS3zZTcJ3y6ETAxP18D7
MEtO/qSISpXp1JZuGjbxm13zGhJ90MKsLUCXBdCU/qCrM1GthOspJ7y/vDJmbXmCW6yA--

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



VSmO6oxhC

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/dtmHnRvzv3fsgVJLwHz6iqK9HABx2PO>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



Fecha: 24 de mayo de 2023

Coordinación Académica

Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación

Presente

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Conducta de exploración en la Calandria Dorso Rayado (*Icterus pustulatus*) y su relación con la exposición a desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos”** del alumno **Oscar Josue Amaro Flores**, con número de matrícula **10029581**, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

O otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, CDMX.

Dr. Isaac G-Santoyo
Profesor Titular “A” T.C.
Sistema Nacional de Investigadores Nivel I
Investigador Principal del Laboratorio de Neuroecología
Facultad de Psicología, UNAM
Tel. 5538305238



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ISAAC GONZÁLEZ SANTOYO | Fecha:2023-05-24 09:08:16 | Firmante
kWVIRavk2ZULNMVynX65jmt/AhqaGRxjcBuoOgHkYpv5J2KAY8IVUGVDU2MqYfodk3WEBolNP89via39oL+0IwV78C9vyYF9RkVkdKjJAYUPLHH0+TJIBIS6SAkI3Dveez7JY
Q92vn4ACVrzoHPlm44RVqh6KG7qT9+KeeCpQY137owLgTdW8H37S6R+g7OWQGYWo44kRVhN46xu8hix0Ra9HWPd+nZyg6uQwqLtkG+5Xv8sxJT+sxUMozLJezjq998/k14
vuT6VpdhgFkkI7JHwBGS4gV7+1zKLR4+zP07qjh+Dgx0aWvODYT8Z4Pr9z/n66bSXFMHZksQ--



Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

eMT2SNPFI

<https://efirma.uaem.mx/noRepudlo/70HDnehqc4Ahu6NwPIWJOJTW8yFSANa>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

Laboratorio de Acuicultura e Hidrobiología



Cuernavaca Mor., a 20 de mayo de 2023

Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “Conducta de exploración en la Calandria Dorso Rayado (*Icterus pustulatus*) y su relación con la exposición a desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos” del alumno Oscar Josue Amaro Flores, con número de matrícula 10029581, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente
(Firma electrónica)

Dra. Elisah Arce Uribe

Río Pánuco no. 41, Col. Vista Hermosa, Cuernavaca Morelos, México, 62290. Tel. (777) 3162354. elsah.arce@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ELSAH ARCE URIBE | Fecha:2023-05-30 13:42:08 | Firmante
GmZbkOy6Oty3WileaWMLVkoRHQXSCRi+GUFutUuQTVDpuOtQWmJWgkYk8nUihu47nh0CSVz+SGfpa1x985wpr3oj82V8z1Gady904Nv15CSDwplcvmoD6qY9pnr7TFgUPq
yZxeGqRB5soscJst5oJohnKustD5kE3woFuH00K60CJD0GJ4W2q4JzQy48wlXzextIKKDXwUGeQR466l0dLUEJ+ekdnM0WnvAARxhhpDB6Z+63PF586TBT06g+hjN7R3kzHV
DSnM6JFV0WRbD9n4P1cdGzAIPFJk/vmteKuzVRBL9Zoz2ZTKwGoD6rVqrvQDc1JBJ53UcC1dZA---

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[b8rqofg5](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/056TxDuJygmXMYq9130FdFNO9LsFBBC0>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



28 de mayo de 2023

**Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **"Conducta de exploración en la Calandria Dorso Rayado (*Icterus pustulatus*) y su relación con la exposición a desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos"** del alumno **Oscar Josue Amaro Flores**, con número de matrícula **10029581**, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

() Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

**Dr. Luis M. Burciaga Cifuentes
Profesor Asociado C, T.C.
Departamento de Ecología y Recursos Naturales
Facultad de Ciencias, UNAM**



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

LUIS MIGUEL BURCIAGA CIFUENTES | Fecha:2023-05-28 15:19:51 | Firmante
W+aPbv+L0EiElyAfbkN0Z0bU+pQuC9zEX11WryhoWWGguS7mkDuU+zYkaTXE0zrzSFLLiUxkBLTDh4hhufe1NbnalFgsqBJUDFBl4bgf55EiwkWU7iUpa0nS+HEXQ/T4aCA
pb73gZfXGpZCiyEcoJj80MBSzXqQIUaFO3MeLNrdOgEGdJZ6466ZZw0pJZfADjvl0rb1Dzk2VZYVdXM0galwtybaeJL7p0eW2Nwn9G6e4IA6XEJMRPk3QGllpNqozo2cPw6hq4
/9LumXh0M9C8QWuttyeFKRi44+SGrRYWNstUF9FyCAVpHidGpnmM23COZZ2h+KbJQ--

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR Ingresando la siguiente clave:



CwdguFo6l

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/EmDly6JTYGr3beoyEsBQFkpsHgb3ns>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023