

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Influencia de la Cercanía a Desechos Mineros en la Conducta  
Exploratoria en *Turdus rufopalliatus* en Huautla, Morelos**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**BIÓLOGO**  
P R E S E N T A:  
**CRISTINA GUADALUPE ORGANISTA NAVA**

**CODIRECTORAS**  
**DRA. MARÍA MARCELA OSORIO BERISTAIN**  
**DRA. LYNNA MARIE KIERE**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**MAYO, 2023**

EL PROYECTO PRESENTE DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS) FUE REALIZADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN (CIByC) BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. MARCELA OSORIO BERISTAIN Y LA CODIRECCIÓN CON LA DRA. LYNNA MARIE KIERE.

---

*“La vida es crecimiento, y cuanto más viajamos, más verdad podemos comprender. Comprender las cosas que nos rodean es la mejor preparación para comprender las cosas que hay más allá”*

Hipatia de Alejandría

---

## AGRADECIMIENTOS

A mis **directoras de tesis**, por su sabiduría que es muy grata en momentos de incertidumbre. Gracias por hacer de las ciencias biológicas asombrosas inspirándome a aprender más.

A la **Dra. Marcela Osorio Beristain** por brindarme la oportunidad de trabajar bajo su coordinación, haberme dedicado su tiempo y su asesoría para realizar este proyecto.

A la **Dra. Lynna Marie Kiere** por compartir su tiempo y sus conocimientos, además de su paciencia y la inspiración que evocó en mí hizo posible este proyecto. Gracias por la confianza.

A los miembros sinodales por su retroalimentación y sus comentarios: **Dra. Cristina Martínez Garza, Dra. Elisah Arce Uribe, M. en C. Carmen Lorena Orozco Lugo y Dra. Bibiana Carolina Montoya Loaiza**

A los fondos de **Animal Behavior Society Developing Nations Grant** otorgado a **Lynna Marie Kiere** y al **CONACyT Proyecto de Ciencia de Frontera #191975**, responsable técnico **Marcela Osorio Beristain**.

Al Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (**CIByC**) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (**UAEM**) por ser centro de investigación donde se desarrolló este proyecto.

A la Facultad de Ciencias Biológicas (**FCB**) dónde aprendí mucho y me inspiré a vivir una vida en la ciencia.

A **mis profesores** que me dedicaron su tiempo y compartieron sus conocimientos conmigo, por permitirme mejorar como alumna y persona. Gracias por su enseñanza. A todas las personas que conocí durante la carrera y dedican su vida a la ciencia. Gracias por dar apertura a la diversidad de científicos.

A **mis amigos** más queridos, hemos forjado momentos preciosos durante la carrera, sin duda no hubiera sido la misma aventura sin ustedes, gracias por hacer la vida más divertida, los quiero mucho.

A **mi familia**. A **mis hermanos** Andy, Tony y Laurie, que han sido mi mayor inspiración, la mejor compañía en estos años de cambios. Son mi refugio para descansar y volver con más energías. **A Mila** por ser mi protectora en la casa.

A **mis padres** por el amor y el apoyo. A mi papá por todo el sacrificio. Y a mi mamá por darme las energías y ser fortaleza en mis momentos de inquietud.

*Esta tesis está dedicada especialmente a **Amelí**, por llegar a nuestras vidas haciéndolas memorables y trascendentales.*

---

# CONTENIDO

Índice de figuras.....	3
Índice de tablas.....	4
Resumen.....	5
1. Introducción .....	7
1.1. Actividad minera en México.....	7
1.1.1. Minería en el estado de Morelos .....	7
1.1.2. Contaminación minera .....	9
1.2. Metales pesados .....	10
1.2.1. Efectos neuroconductuales por exposición a los metales pesados	12
1.2.2. Efectos conductuales por metales pesados en aves de vida libre ..	14
1.3. Conducta exploratoria .....	16
1.4. Prueba de ambiente novedoso.....	18
1.5. Especie de estudio, <i>Turdus rufopalliatu</i> s.....	19
2. Justificación .....	21
3. Objetivos.....	22
3.1. Objetivo general.....	22
3.2. Objetivos particulares.....	22
4. Hipótesis y predicciones.....	22
4.1. Hipótesis .....	22
4.2. Predicciones .....	22
5. Metodología .....	23
5.1. Sitio de estudio.....	23
5.2. Diseño del muestreo .....	24
5.2.1. Medición de niveles de Pb, Cu y Zn en plumas de aves.....	26
5.2.2. Diseño de la prueba de ambiente novedoso .....	26
5.2.3. Aplicación de la prueba de ambiente novedoso .....	29
5.3. Análisis de material audiovisual .....	29
5.3.1. Variables de la conducta exploratoria.....	29
5.3.2. Pruebas de confiabilidad y repetibilidad .....	30
5.3.3. Cuantificación de variables conductuales exploratorias.....	31
5.4. Análisis estadísticos.....	32
6. Resultados .....	32

6.1.	Descripción de la conducta exploratoria de <i>T. rufopalliatus</i> .....	32
6.2.	Diferencias en la conducta exploratoria en función de la concentración de metales pesados en plumas.....	36
7.	Discusión .....	40
7.1.	Descripción de la conducta exploratoria de <i>T. rufopalliatus</i> .....	41
7.2.	Diferencia a nivel de concentración de Pb, Cu y Zn en la conducta exploratoria .....	44
8.	Conclusión .....	48
9.	Referencias bibliográficas .....	50
10.	Apéndices .....	62
10.1.	Definiciones operativas de las variables conductuales .....	62
10.2.	Pruebas de confiabilidad y repetibilidad .....	64
10.3.	Tabla de datos completos de 45 individuos.....	66
10.4.	Tabla de conversión para covariables y niveles de concentración de Pb, Cu y Zn.....	68
10.5.	Estadística descriptiva de conducta exploratoria de <i>T. rufopalliatus</i> .....	69
10.6.	Evaluación de distribución de los residuos de los modelos lineales .....	73
10.7.	Porcentaje de varianza total explicada en cada componente .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Desechos mineros almacenados dentro de la REBIOSH .....	8
<b>Figura 2.</b> Mapa de localización geográfica de los sitios de estudio .....	24
<b>Figura 3.</b> Registro y anillación de individuos capturados .....	25
<b>Figura 4.</b> Ubicación y vista al interior de la jaula portátil .....	27
<b>Figura 5.</b> Diseño de la jaula portátil .....	28
<b>Figura 6.</b> Gráficas de valores y cargas de variables de PC1 y PC2 .....	34
<b>Figura 7.</b> Gráficas de valores y cargas de variables de PC2 y PC3 .....	35
<b>Figura 8.</b> Gráficas de valores y cargas de variables de PC1 y PC3 .....	35
<b>Figura 9.</b> Variación del componente principal 1 en relación con la concentración de Pb .....	38
<b>Figura 10.</b> Variación del componente principal 1 en relación con la concentración de Cu .....	38
<b>Figura 11.</b> Variación del componente principal 3 en relación con la concentración de Zn .....	39
<b>Figura 12.</b> Variación del componente principal 3 en relación con la concentración de Zn (sin valores no detectables) .....	39
<b>Figura 13.</b> Variación del componente principal 3 en relación con la concentración de Zn (sin valor extremo) .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Definiciones operativas de las variables conductuales.....	30
<b>Tabla 2.</b> Contribución de cargas de variables conductuales en PCA .....	33
<b>Tabla 3.</b> Coeficientes del modelo lineal PC1 .....	36
<b>Tabla 4.</b> Coeficientes del modelo lineal PC2 .....	36
<b>Tabla 5.</b> Coeficientes del modelo lineal PC3 .....	37

## RESUMEN

México es un país de abundantes recursos minerales debido a su ubicación en el eje neovolcánico transversal; por lo tanto, la minería es una de las principales actividades económicas. Actualmente, las minas del municipio de Tlaquiltenango, Morelos, no se encuentran en operación; sin embargo, las concesiones de exploración continúan. Los desechos mineros almacenados a la intemperie son una fuente de contaminación química constante al liberar metales pesados potencialmente tóxicos al ambiente. Los efectos neuroconductuales causados por los metales pesados se han documentado en numerosos estudios, resultando en alteraciones de la conducta y cambios morfológicos en estructuras cerebrales. Algunos comportamientos son más sensibles ante la exposición a los metales pesados que otros. La conducta exploratoria permite evaluar las características del entorno por medio del movimiento y/o escaneos visuales. La exploración tiene beneficios como encontrar alimento, refugio o pareja para reproducción, pero al mismo tiempo implica costos de energía, riesgos de depredación, etc. El objetivo de este proyecto es evaluar la asociación entre la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) sobre la conducta exploratoria en individuos de *T. rufopalliatum* de zonas con desechos mineros en Huautla, Morelos. El sitio de estudio se estableció en 4 zonas: Quilamula (sin actividad minera, a 8 km río arriba de los jales); Río Rancho Viejo (sitio intermedio, localizado río abajo a 2.5 km de los jales); Jal Rancho Viejo (sitio a 1.07 km a la fuente principal de contaminación) y Jal Huautla (sitio con la fuente principal de contaminación). La conducta exploratoria se documentó en una prueba de ambiente novedoso en campo y se cuantificaron las variables conductuales usando las grabaciones de video de *T. rufopalliatum*. Los resultados de PCA indicaron 3 ejes principales de variación importantes: PC1 (Sacudidas, escaneos, tiempo volando y en percha/pared); PC2 (latencia de salida y saltos) y PC3 (tiempo en suelo y latencia de salida). Se obtuvieron relaciones marginalmente no significativas de PC1 con niveles de Pb y Cu, efectos positivos y negativo, respectivamente, indicando efectos contrarios. La concentración de Zn se asoció a PC3, con efecto positivo. Sin embargo, es necesario explorar la exposición a otros tipos de contaminación en el sitio Quilamula que puede suponer un sesgo en

nuestro sitio control. Los resultados revelaron que *T. rufopalliatum* puede explorar el entorno moviéndose y realizando escaneos visuales simultáneamente; exponiendo una estrategia que permite explorar el entorno sin gasto de energía. Nuestra perspectiva consiste en resolver las limitantes reveladas en este proyecto.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Actividad minera en México

México tiene abundantes yacimientos de recursos minerales a causa de la geología del país, ubicada en el eje neovolcánico transversal. La minería se define como el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de los minerales (INEGI, 2018). La actividad minera provee materiales para las industrias metalúrgicas, siderúrgicas, químicas, electrónicas y de construcción, además de formar parte de la fabricación de artículos de uso cotidiano (Instituto Nacional de Ecología, 1994). La minería es una de las actividades económicas más antiguas y de mayor tradición en México (Volke-Sepúlveda et al., 2005). Los yacimientos mineros principales en la época prehispánica estaban ubicados en regiones como Taxco, la cuenca del río Balsas y la sierra de Querétaro (Volke Sepúlveda et al., 2005). En México, en el año 2018 se contabilizaron 3,123 establecimientos mineros activos, y este número ha crecido constantemente debido al número excesivo de concesiones otorgadas (INEGI, 2018). Actualmente, México cuenta con 25,607 concesiones mineras que cubren una superficie de más de 22 millones de hectáreas, equivalente al 11,15% del territorio nacional (POSSEHL, 2021). La mayor extracción minera en la actualidad se encuentra en Campeche, Tabasco, Sonora, Veracruz, Tamaulipas, Coahuila, Durango y Zacatecas (INEGI, 2018). Por su importancia en el desarrollo del país, así como su antigüedad; la minería se ha convertido en un factor importante actual para la modernización y economía de México. Sin embargo, es una de las principales causas de emergencia social y ambiental en México, provocando situaciones de despojo, movilizaciones de comunidades y contaminación.

### 1.1.1 Minería en el estado de Morelos

El estado de Morelos tiene una superficie territorial de 4, 941,2 km<sup>2</sup> y queda ubicado dentro de dos provincias geológicas importantes: el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (Volke Sepúlveda et al., 2004). El estado de Morelos posee varios

distritos mineros que se han explotado a lo largo del tiempo (Volke Sepúlveda et al., 2005). En Morelos el potencial de minerales es de tipo metálico como la plata (Ag), el plomo (Pb) y el zinc (Zn) (Volke Sepúlveda et al., 2005). La extracción de estos productos minerales hasta ahora se ha limitado a distritos mineros dentro del municipio de Tlaquilténango (Volke Sepúlveda et al., 2005). El distrito minero de Huautla fue explotado por los españoles desde fines del siglo XVII, y se explotaron de manera intermitente en la región durante los siglos XVIII y XIX (Servicio Geológico Mexicano, 2018). En la década de 1950, la compañía “Exploradora de Minas S.A.” explotó cuatro minas en Tlaquilténango (Volke Sepúlveda et al., 2005). La empresa Rosario México S.A. de C.V. fue la última que explotó estas minas durante la década de los años 80, obteniendo productos de Ag, Pb y Zn; sin embargo, las minas fueron clausuradas en el año 1993 (Servicio Geológico Mexicano, 2018). Aunque estas minas actualmente no están en operación, sus desechos mineros, que incluyen grandes cantidades de sedimentos contaminados, construcciones y equipo abandonado, se localizan dentro de la Reserva de la Biosfera de Sierra de Huautla (REBIOSH; Figura 1). Las minas mantienen la concesión para exploración (SGM, 2022), pero la declaración de la REBIOSH en esa zona, en teoría, no permite la minería (Volke Sepúlveda et al., 2005).



**Figura 1. Desechos mineros almacenados dentro de la REBIOSH**

### 1.1.2 Contaminación minera

La minería brinda grandes beneficios económicos para el desarrollo del país; sin embargo, es una de las principales causas de emergencia social y ambiental en México (Gómez Godoy y Peláez, 2018). Los procesos mineros como las excavaciones, extracción de metales y disposición de residuos son una fuente de contaminación que causan afectaciones al medio ambiente y a la salud de muchas poblaciones (Servicio Geológico Mexicano, 2018). Estos procesos tienen consecuencias en los ecosistemas, como erosión de la capa de suelo, contaminación química y pérdida de la flora y la fauna (INECC, 2007).

En los procesos de extracción de productos metálicos, los metales están mezclados con otros minerales en los yacimientos y solo representan una pequeña fracción del material total (Belmonte Serrato et al., 2010). Los metales deben ser dispuestos en procesos de separación para poder obtenerlos, generando desechos mineros, también llamados jales (Belmonte Serrato et al., 2010). Los jales suelen ser almacenados en grandes superficies de terreno a la intemperie y contienen residuos de metales, los cuales son las rutas principales de contaminación química (Belmonte Serrato et al., 2010). El material particulado no está consolidado y puede ser dispersado fácilmente por viento (Mejía et al., 1999) y el agua (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006). Durante los procesos de la extracción de metales, frecuentemente se forman sustancias solubles ácidas, el denominado drenaje ácido, que contienen altas concentraciones de metales biodisponibles (INECC, 2007). Los valores de pH bajos favorecen la dilución de los minerales y a la liberación de metales tóxicos y otros elementos de los cuerpos de agua (Belmonte Serrato et al., 2010). La minería, así como sus procesos de obtención de productos tienen impacto ambiental contaminando agua y suelos.

Los problemas ambientales causados por la actividad minera son un reflejo de la falta de normas de las prácticas pasadas con legislaciones inadecuadas y programas de control ambiental incompletos (Gómez-Godoy y Peláez, 2018). De acuerdo con la secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

en 2009 fue aprobada la norma para la disposición y el manejo adecuado de los desechos mineros (SEMARNAT, 2009). No obstante, aún existen cientos de millones de toneladas de jales dispersos en el país (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006). Cuando los desechos mineros son expuestos a la intemperie, liberan metales pesados al ambiente, inclusive tras el cese de la actividad en la mina (Gundersen et al., 2001). Por todo lo anterior, tanto las minas activas como las clausuradas son una fuente de contaminación por metales pesados de manera persistente para el ambiente (Gundersen et al., 2001)

## **1.2 Metales pesados**

Los metales pesados son elementos naturales en el ambiente, pero su concentración y disponibilidad aumenta debido a actividades antropogénicas, como la minería (ATSDR, 2007). Los metales poseen características como el brillo, alta conductividad de calor y electricidad (excepción del mercurio), son sólidos a temperatura ambiente, maleables, lustrosos, dúctiles, poseen dureza (excepción de los alcalinos que son suaves). Químicamente, pierden electrones para formar iones positivos (cationes), reaccionan con ácidos para formar óxidos básicos, y también forman haluros iónicos (Csuros y Csuros, 2002), por lo que son elementos inestables. En contexto de contaminación ambiental, la definición de metal pesado es para referirse a los elementos químicos perdurables que pueden causar envenenamiento e intoxicaciones ante su exposición (LENNTECH, 2018). El término metal pesado puede ser definido en base a otras características como las toxicológicas, por lo que resulta algo inconsistente el término (Volke Sepúlveda et al., 2005).

Los metales pesados pueden ser clasificados en dos categorías: esenciales y no esenciales. Los metales pesados esenciales poseen funciones importantes en el organismo, y son requeridos a niveles traza, pero se vuelven tóxicos cuando están presentes en concentraciones elevadas o en ciertas formas químicas (Calva B. y Torres A., 2003). La deficiencia o exceso de niveles de estos metales puede conducir a problemas en la salud (Londoño Franco et al., 2016). Algunos de los

elementos que son metales pesados esenciales son cobre, níquel, cobalto, vanadio, cobalto, tungsteno y Zn (Calva B. y Torres A., 2003; Londoño Franco et al., 2016). Por ejemplo, el Zn es un componente estructural de proteínas y enzimas, tiene funciones relacionadas con la prevención de la formación de radicales libres y corrección de funciones inmunitarias (Stefanidou et al., 2006). La deficiencia de ingesta diaria de zinc (15 mg en adultos) causa afectaciones como atrofia del timo, infertilidad, alopecia y mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas (Rosas-Romero y Covarrubias-Gómez, 2021). A su vez, la dosis en exceso resulta en efectos adversos en sistemas gastrointestinales, hematológicos, respiratorios, junto con alteraciones en sistemas cardiovasculares y neurológicos (Rosas-Romero y Covarrubias-Gómez, 2021). La intoxicación aguda de Zn inhibe la absorción de Cu, provocando deficiencia de ese elemento (Rosas-Romero y Covarrubias-Gómez, 2021). El Cu está relacionado en vías fisiológicas, como la producción de energía, la maduración del tejido conjuntivo y la neurotransmisión (Instituto Linus Pauling, 2012). La deficiencia de Cu provoca deficiencias en células sanguíneas, anomalías en el tejido óseo y conjuntivo y desórdenes neurológicos (Instituto Linus Pauling, 2012). La intoxicación por Cu causa daño hepático, falla renal y muerte (Instituto Linus Pauling, 2012). Arcaya y colaboradores (2013) demostraron que la intoxicación por Cu induce alteraciones neurológicas, provocando disminución del desempeño motor en moscas *D. melanogaster* (Arcaya et al., 2013). Por lo tanto, la deficiencia o exceso de niveles de estos metales “esenciales” pueden conducir a problemas en la salud (Londoño Franco et al., 2016).

Los metales pesados no esenciales no tienen función biológica significativa como los elementos traza, y son elementos tóxicos que producen efectos nocivos en la salud (Volke Sepúlveda et al., 2005). Estos elementos incluyen el arsénico, antimonio, cadmio, uranio, Pb, Hg y Ag (Volke Sepúlveda et al., 2005). El Pb es tóxico para el sistema nervioso, provoca trastornos digestivos y renales (Arnáiz et al., 2000). El Pb posee dos valencias (+2) y (+4), el Pb (II) proveniente de la disolución del acetato de Pb es la forma más común, reactiva y soluble (Volke Sepúlveda et al., 2005). La exposición a Pb tiene numerosos efectos en la salud,

inclusive a niveles en sangre muy bajos, por lo que no es posible establecer un umbral seguro (ATSDR, 2007).

La biodisponibilidad es un factor importante para que los metales pesados puedan ser captados y así representar un riesgo de intoxicación para los organismos (Vicente Martonell, 2010). La biodisponibilidad se refiere al grado de concentración de un elemento que puede ser absorbido por un organismo vivo (Lago Vila, 2018). Las características químicas y físicas de los metales pesados pueden determinar la movilidad del metal, la persistencia y su biodisponibilidad en el ambiente (García et al., 2016). Así también, la biodisponibilidad está relacionada con las condiciones fisicoquímicas del ambiente, como el pH, contenido de materia orgánica, potencial redox, temperatura, etcétera (Atchison et al., 1987; Vicente Martonell, 2010; Vullo, 2003). Los metales pesados biodisponibles pueden ser bioacumulables, y aunque una proporción puede ser eliminada por procesos de excreción, el balance entre la absorción y la eliminación del metal determinan la bioacumulación (Calva B. y Torres A., 2003). La bioacumulación es el aumento progresivo de la cantidad de sustancia en un organismo o parte de él, como consecuencia de una mayor absorción que la capacidad de eliminar la sustancia (Nordberg et al., 2009). Los metales pesados frecuentemente también son biomagnificables, lo que significa que alcanzan concentraciones más altas en los organismos en los niveles tróficos superiores como consecuencia de la transferencia de sustancias acumuladas desde los organismos que consumieron (Nordberg et al., 2009). Las condiciones de los metales pesados y del ambiente determinan la toxicidad sea diferente en cada entorno en el que se encuentra.

### **1.2.1 Efectos neuroconductuales por exposición a los metales pesados**

El sistema nervioso (SN) se encarga de transmitir señales entre el cerebro y el resto del cuerpo controlando la capacidad de movimiento, conducta y percepción de estímulos sensoriales (NIH, 2019). El SN se clasifica en SN central que se encarga de ser el centro de procesamiento de señales y el SN periférico que percibe y envía información del entorno al cerebro (Hernández Stender, 2021). Para un

funcionamiento debe de establecerse un equilibrio entre las funciones de ambos sistemas. El mesencéfalo es una estructura del SN central implicado en funciones sensitivas y motoras, como los movimientos oculares y la coordinación de los reflejos visuales y auditivos (Kandel et al., 2002). El cerebelo también es una estructura importante del SN central, y regula la fuerza y amplitud de movimientos, además de participar en el aprendizaje de las capacidades motoras (Kandel et al., 2002). El SN recibe e interpreta los estímulos del medio, por lo que si hay daños en estructuras neurológicas sufrirá cambios, y como consecuencia causará alteraciones neurológicas y conductuales.

Los efectos de los metales pesados documentados en numerosos estudios han demostrado que causan cambios histológicos en el sistema nervioso alterando procesos neurológicos (Müller et al., 2008). Por ejemplo, Müller y colaboradores (2008) observaron cambios en estructuras como el mesencéfalo y cerebelo de *Gallus domesticus* expuestos a acetato de Pb, administrados a través de una inyección de dosis única (Müller et al., 2008). Los cambios estructurales provocaron déficits en el comportamiento motor, inactividad y movimientos anómalos evaluados por observaciones cuantitativas y cualitativas de los movimientos (Müller et al., 2008). Los efectos neurológicos asociados a la exposición de Pb pueden tener consecuencias conductuales como problemas de coordinación motora (Müller et al., 2008). Antonio y Leret (2000) observaron efectos a nivel del hipocampo por contaminación por Pb en crías de ratones. El hipocampo es la estructura encargada de la regulación de emociones, aprendizaje, almacenamiento, generación y recuperación de recuerdos (Aguilar-Morales, 2011; Kandel et al., 2002). Las alteraciones causadas ante la exposición del Pb provocan cambios histológicos, procesos neurológicos y además ocasiona déficits en la conducta en especies animales.

La intoxicación por metales pesados altera varias conductas, incluyendo las conductas sociales, lo cual puede tener consecuencias en la adecuación (Montiglio y Royauté, 2014). En hámster dorado (*Mesocricetus auratus*) se observó mayor agresividad en machos expuestos a Pb en dosis bajas por ingesta al agua de beber

comparado con los individuos control. Los hámsteres machos expuestos tuvieron menor actividad al interactuar con otros machos, presentaron más cambios en su conducta y aumento de la agresividad con ataques y mordidas (Delville, 1999). En este estudio de laboratorio, se concluye que la exposición a dosis bajas de Pb tiene consecuencias en la agresividad de los machos en la edad adulta (Delville, 1999).

La toxicidad del As en diferentes sistemas y vías está implicada en aspectos del aprendizaje, la memoria, el movimiento, la toma de decisiones e incluso del estado de ánimo (Cronican et al., 2013). En ratones adultos se observó que la exposición a As alteró la memoria espacial y episódica (Cronican et al., 2013). Los ratones adultos expuestos a As por medio del agua mostraron deterioro cognitivo a un nivel moderado de exposición (Cronican et al., 2013). Adicionalmente, Martínez-Finley (2009) registraron en ratones expuestos a As, una alteración de los receptores de corticosterona (RC). Los RC están presentes en el hipocampo, región importante para el aprendizaje y la memoria en animales (Martinez-Finley et al., 2009). Las crías de ratones expuestas a As mostraron mayor incidencia para acercarse a un objeto nuevo que las crías no expuestas en una prueba de reconocimiento de objetos (Martinez-Finley et al., 2009). El deterioro cognitivo causado por la exposición a metales pesados como el Pb o As alteran las conductas animales. Los estudios en los que evalúan variables conductuales en laboratorio bajo condiciones controladas demuestran el daño causado por la intoxicación con metales pesados en diferentes organismos, pero la información sobre efectos neuro-conductuales por la exposición a niveles relativamente bajos en animales silvestres es relativamente limitada (Burger y Gochfeld, 2005). Los trabajos que existen en aves se detallan en la siguiente sección.

### **1.2.2 Efectos conductuales por metales pesados en aves de vida libre**

La contaminación por metales pesados puede ser evaluada utilizando los cambios conductuales en animales silvestres como indicadores (Ding et al., 2023). Las aves passeriformes son usadas cada vez más como indicadores eficaces de la contaminación en los ambientes (Ding et al., 2023). Las aves bioacumulan

cantidades altas de metales en sus tejidos, principalmente en las plumas, de acuerdo con sus hábitos alimentarios, edad y tamaño (Alleva et al., 2006). La evaluación de la contaminación en organismos vivos silvestres, incluyendo las aves (Ding et al., 2023) puede proporcionar información importante sobre la biodisponibilidad y biotransferencia de metales pesados (Bauerová et al., 2017; Markowski et al., 2013). Ecke y colaboradores (2017) observaron alteración de la conducta del movimiento en águilas reales silvestres (*Aquila chrysaetos*) por ingesta de fragmentos de munición de Pb. Por un lado, la exposición al Pb aumentó el riesgo de mortalidad, pero aún en las águilas intoxicadas con niveles de Pb inferiores a los letales se presentó un deterioro en el rendimiento del vuelo y, la disminución de la altura y la velocidad de movimiento (Ecke et al., 2017). En polluelos de gaviota argénteo (*Larus argentatus*) se describieron los efectos neuroconductuales de la exposición a Pb por una inyección única intraperitoneal que semejaba la concentración encontrada en polluelos silvestres (Burger y Gochfeld, 2005). Se evaluó la locomoción, la petición de alimentación, la termorregulación y el aprendizaje ante la exposición de Pb (Burger y Gochfeld, 2005). La intoxicación por Pb resultó en una disminución de la salud, comportamiento de alimentación menos vigorosos, mala coordinación y disminución de la supervivencia (Burger y Gochfeld, 2005). Estos efectos adversos ponen en manifiesto que la amenaza de la exposición a metales pesados va más allá de la mortalidad directa por exposición aguda.

Los metales pesados influyen inclusive a niveles inferiores a los letales provocando efectos conductuales con implicaciones para la adecuación (Ecke et al., 2017). Los cambios en las respuestas conductuales afectan indirectamente al éxito reproductivo y a la supervivencia de los seres vivos. Algunas conductas poseen mayor sensibilidad ante la exposición a metales pesados tóxicos, y por lo tanto podrían ser más útiles que otras para detectar efectos de la contaminación a niveles todavía sutiles (Grunst et al., 2019). Por estos motivos, es importante explorar, evaluar y definir cuáles conductas son más útiles como indicadores de cambios en el entorno y las consecuencias de la alteración de las conductas animales.

### 1.3 Conducta exploratoria

La mayoría de las definiciones operativas de la exploración la han equiparado al movimiento del animal para la obtención de conocimientos útiles a partir de las características del entorno (Renner, 1990). No obstante, se ha reconocido que la conducta exploratoria incluye tanto las conductas activas, como el desplazamiento del organismo, como conductas pasivas, como los escaneos visuales (Huang et al., 2016). La conducta exploratoria se interpreta generalmente como una forma de comportamiento espontáneo (Renner, 1990), y puede ocurrir tanto en entornos que son familiares al individuo como en entornos completamente nuevos (Huang et al., 2016). La conducta exploratoria, al igual que las demás conductas animales, está influenciada tanto por la morfología y las estructuras fisiológicas del organismo como por su interacción con el entorno (Deen, 2010). Esta conducta puede aumentar la supervivencia de los animales, siempre y cuando los beneficios obtenidos superan los riesgos y costos de la exploración (Renner, 1990). Por lo tanto, de la conducta exploratoria se puede obtener información del entorno y los cambios que ocurren en él.

La exploración es un rasgo complejo, ya que refleja la actividad general del animal y la tendencia del individuo a asumir los riesgos desconocidos a cambio de beneficios potenciales (Jablonszky et al., 2020). Por lo tanto, la exploración que un animal lleva a cabo implica balance entre el riesgo y el beneficio potencial de un nuevo recurso (Mettke-Hofmann et al., 2006). La exploración otorga beneficios de acuerdo con el entorno, por ejemplo, encontrar recursos como alimento, pareja, (Jablonszky et al., 2020) o rutas de escape de la depredación (Deen, 2010); sin embargo, durante la exploración también se puede incurrir en riesgos como ser depredado, parasitado o enfrentarse a la competencia por los recursos con otros organismos (Jablonszky et al., 2020), además del tiempo y la energía que el animal podría invertir en otras actividades (Mettke-Hofmann et al., 2006; Renner, 1990). Por ejemplo, en la curruca mosquitera (*Sylvia borin*) se demostró que la toma de decisiones exploratorias varía de acuerdo con los costos y beneficios. La toma de decisiones estuvo vinculada a la información obtenida asociada a parámetros

externos como las características de los objetos (complejidad y tamaño) e internos, como la experiencia previa de los objetos de cada ave (Mettke-Hofmann et al., 2006). Por lo tanto, se deduce que la conducta exploratoria es un mecanismo que permite a los animales obtener información del medio, evaluarlo y posteriormente, tomar decisiones; brindando información de los patrones de tendencia del individuo al explorar (Mettke-Hofmann et al., 2006).

La conducta animal puede variar incluso dentro de una misma especie (Mettke-Hofmann et al., 2006). Se observaron diferencias consistentes individuales en el comportamiento exploratorio en carboneros comunes (*Parus major*) (Verbeek et al., 1996). En el estudio se observó que las diferencias en la exploración estaban relacionadas con la agresividad y dominancia. Las aves que exploraban más rápido iniciaron peleas y las ganaron más que los exploradores lentos (Verbeek et al., 1996). Las diferencias de la conducta exploratoria en *Parus major* permitían la clasificación en dos categorías: exploradores rápidos y superficiales versus exploradores lentos y minuciosos (Verbeek et al., 1996). Los juveniles de *Parus major* que se acercaron más rápidamente a un objeto extraño y exploraron el entorno nuevo, eran superficiales (Verbeek et al., 1996). Estos poseían hábitos de alimentación más rígidos y no ajustaban rápidamente su comportamiento a un cambio en la disponibilidad de alimento, es decir que decidían alejarse del objeto nuevo durante la prueba (Verbeek et al., 1996). Por otro lado, los juveniles que se acercaban a un objeto extraño y exploraban un entorno nuevo de forma lenta eran más minuciosos (Verbeek et al., 1996). Los individuos minuciosos cambiaban su comportamiento de búsqueda de alimentos al enfrentar un cambio en el entorno, mostrando inmovilidad; no huían ni intentaban eliminar el objeto nuevo (Verbeek et al., 1996). Las diferencias individuales en la exploración pueden estar asociada a más conductas, como la agresividad y la dominancia, pudiendo resultar en una amplia gama de diferentes estrategias de variación entre individuos.

Las conductas, como la exploración pueden cambiar ante factores de estrés en el entorno. La conducta exploratoria es un rasgo sensible que puede medirse ante cambios en el entorno, por lo que puede ser un criterio útil de valoración ante

la exposición de ciertos tóxicos (Janssens et al., 2003). Por ejemplo, se observó en el roedor *Peromyscus melanophrys* proveniente de la zona minera de Huautla (mismo sitio de estudio que el proyecto presente) que había cambios conductuales en el control motor y la actividad exploratoria (Pérez-Ríos, 2021). En el estudio se cuantificaron variables como número de cuadros visitados y tiempo en el cuadro del centro de la prueba (Pérez-Ríos, 2021). Los resultados en la prueba de campo abierto mostraron que los individuos de la zona minera presentaban mayor actividad con signos de hiperactividad y ansiedad en comparación a los individuos del sitio control (Pérez-Ríos, 2021). Adicionalmente, Maldonado-Gómez (2020) encontró diferencias conductuales en la exploración de *Icterus pustulatus* (Maldonado-Gómez, 2020). Los machos jóvenes expuestos a desechos mineros en Huautla realizaron menos actividades de exploración que los del jal Rancho Viejo, que presentaron hiperactividad. Estos resultados sugieren que la alteración de la conducta exploratoria es dependiente del tipo de metal expuestos y dosis. La conducta exploratoria puede verse alterada bajo factores de contaminación minera en zonas como el distrito minero de Huautla, Morelos.

#### **1.4 Prueba de ambiente novedoso**

La prueba de ambiente novedoso es una técnica ampliamente utilizada para caracterizar la exploración y que posee una larga historia de uso en laboratorio (Huang et al., 2016). La prueba de ambiente novedoso consiste en registrar los patrones de movimiento en individuos, y puede ser aplicada en diferentes grupos taxonómicos (Huang et al., 2016); sin embargo, su aplicación todavía es escasa entre especies no modelo (Huang et al., 2016). En la prueba se cuantifican variables que describen las conductas activas (locomoción) y pasivas (escaneos visuales) utilizadas por el animal al explorar en entorno (Huang et al., 2016). Los escaneos visuales se utilizan por ejemplo para la vigilancia ante una amenaza (como lo es un depredador), para localizar alimento (Fernández-Juricic, 2012), o para examinar el hábitat (Carrascal y Moreno, 1992). La prueba puede usarse para evaluar diferencias consistentes en la conducta de individuos de una población (Thys et al., 2017). Los resultados de los estudios que utilizaron la prueba de ambiente novedoso

sugieren que es una métrica aplicable y confiable para evaluar la conducta exploratoria.

En la prueba se colocan a los individuos en una jaula (sala experimental) desconocida (Huang et al., 2016). Las dimensiones de la jaula deben ser proporcionales al tamaño de la especie que le permita explorar (Walsh y Cummins, 1976); por ejemplo, la jaula estándar para los ratones mide 0.5 metros (Manosevitz, 1970). En este entorno nuevo los animales muestran comportamientos ante el escenario novedoso (Jablonszky et al., 2020). Los individuos se colocan en un cubo cerrado para su habituación y posteriormente se liberan en la jaula experimental donde se observan y se registran las variables previamente establecidas (Huang et al., 2016). La jaula al estar forrada con manta evita la vista del exterior, y puede simular un entorno desconocido para medir el comportamiento en condiciones relativamente estandarizadas, ya que cada individuo se somete a la prueba en exactamente el mismo entorno con la misma duración (Jablonszky et al., 2020). Al mismo tiempo, no es necesario que los individuos sean mantenidos en cautiverio por períodos extendidos, ni antes ni después de la prueba (Huang et al., 2016). Por lo tanto, la prueba se puede realizar en campo, colocando a los individuos en el entorno nuevo después de capturarlos, y liberándolos al terminarla (Huang et al., 2016). La prueba de ambiente novedoso es una prueba ampliamente usada con múltiples ventajas que permite usarse en individuos de vida libre, en una gran variedad de especies.

### **1.5 Especie de estudio, *Turdus rufopalliatus***

El mirlo dorso canela (*T. rufopalliatus*), comúnmente llamado primavera, es un ave passeriforme perteneciente a la familia Turdidae (Carbó-Ramírez et al., 2015). La especie es endémica y residente de la vertiente del Pacífico de México y la cuenca del río Balsas (Howell y Webb, 1995). Su distribución se extiende desde el sur de Sonora y el extremo suroeste de Chihuahua hasta el sur de Oaxaca en el istmo de Tehuantepec (Carbó-Ramírez et al., 2015). *T. rufopalliatus* habita en bosques tropicales caducifolios y mixtos, bordes de bosques, arbustos, densos y matorrales

(Martínez-Morales et al., 2010). Los informes recientes han reportado que *T. rufopalliatu*s está ampliando su rango de distribución en México, y se ha observado poblaciones establecidas fuera de su área original (p.ej. Carbó-Ramírez et al., 2015; Martínez-Morales et al., 2010; Pineda-López y Malagamba-Rubio, 2009). El éxito en el establecimiento de poblaciones en zonas nuevas es debido a la capacidad de dispersión, movimiento y de utilizar hábitats urbanos (Carbó-Ramírez et al., 2015).

Las aves de *T. rufopalliatu*s llegan a medir en promedio 21 a 24 cm (Cornell Lab of Ornithology, 2016). Los individuos machos poseen en la cabeza una coloración gris, su garganta es blanca con líneas pardas, del pecho al vientre, la espalda y base de las alas es rojizo canela intenso y gris en alas, rabadilla y cola (Cornell Lab of Ornithology, 2016). Las hembras son similares, pero de plumaje más apagado y menos contrastante (Cornell Lab of Ornithology, 2016). Poseen el pico amarillo y el anillo ocular no posee mancha blanca (Cornell Lab of Ornithology, 2016). Los hábitos de *T. rufopalliatu*s incluyen el uso de los árboles para anidar, percharse y alimentarse (Guevara, 2006). Los hábitos alimenticios están basados en frutos de los árboles y se complementa con lombrices, insectos y otros invertebrados del suelo (Guevara, 2006). Los nidos de la especie se construyen en árboles a una altura promedio de 5.5 metros, y son construidos en forma de taza profunda hecha de material vegetal como musgo, hierba, y pequeñas raíces reforzado con lodo (Carbó-Ramírez et al., 2015). Los huevos son de color azul claro a medio con marcas de color marrón rojizo, y son incubados por alrededor de 13 días. Las puestas típicamente contienen de dos a tres huevos (Carbó-Ramírez et al., 2015). Se ha registrado que los individuos defienden áreas cercanas al nido (Grabowski, 1979), y los zorzales (*Turdus* spp.) poseen una alta fidelidad a su rango hogareño de 2 hectáreas aproximadamente (Calegaro-Marques y Amato, 2014). *T. rufopalliatu*s es una especie que además de su endemismo, es importante por su abundancia, su distribución relativamente amplia en México, y sus hábitos.

El ave *T. rufopalliatu*s fue seleccionada como especie de estudio considerando que es un ave residente, abundante y territorial en la Sierra de Huautla, sitio de estudio de la fuente de contaminación con desechos mineros.

Asimismo, se consideraron sus hábitos de obtención de alimento del suelo, como el consumo de invertebrados que a su vez se alimentan de lodos, y también porque las aves usan lodo para la construcción del nido, lo que puede ser una fuente de exposición a la contaminación. Se ha demostrado claramente que puede ocurrir una transferencia a través de la cadena trófica, desde el suelo, los invertebrados que se alimentan en él y las aves que los consumen (*p. ej.* Roodbergen et al., 2008). Por lo tanto, *T. rufopalliatum* tiene alta probabilidad de estar expuesta a sedimentos contaminados, por lo que es una especie particularmente adecuada para examinar la exposición a desechos mineros y posibles alteraciones en la conducta exploratoria en aves de vida libre.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La minería es una actividad económica importante del país. Sin embargo, produce grandes cantidades de desechos mineros denominados jales, que están almacenados a la intemperie. Los jales son una fuente de contaminación por metales pesados, los cuales se bioacumulan, ocasionando afectaciones en la salud y adecuación de los organismos. El deterioro de procesos neurológicos y fisiológicos por metales pesados está asociado a efectos neuroconductuales, causando alteraciones en la conducta de los organismos. El proyecto presente se enfocará en evaluar la relación entre los niveles de metales pesados y cambios conductuales en la exploración de *T. rufopalliatum*, ave residente y territorial en zonas con desechos mineros en Huautla, Morelos. Adicionalmente, el proyecto permitirá la descripción general de la conducta exploratoria dentro de una prueba de ambiente novedoso enriqueciendo la información del ave y permitiendo futuras comparaciones conductuales de interés. La investigación acerca de las alteraciones en conductas como la exploración permiten inferir sobre los efectos de la exposición crónica a metales pesados en animales de vida silvestre y posibles consecuencias en su adecuación.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

- \* Evaluar la asociación entre la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) y la conducta exploratoria en individuos de *T. rufopalliatum* de zonas con desechos mineros en Huautla, Morelos.

#### 3.2 Objetivos particulares

- \* Describir las conductas que realizan los individuos durante la prueba de ambiente novedoso y su variación individual.
- \* Comparar la movilidad y la exploración dentro de la prueba de ambiente novedoso entre individuos de la especie *T. rufopalliatum* con diferente concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn).

### 4. HIPÓTESIS Y PREDICCIONES

#### 4.1 Hipótesis

Los individuos de *T. rufopalliatum* que tengan una mayor concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) presentarán un deterioro en funciones neurológicas y aletargamiento debido a la intoxicación; por lo tanto, entre mayor concentración de metales pesados, la conducta exploratoria será más lenta y pasiva.

#### 4.2 Predicciones

Se espera que los individuos de *T. rufopalliatum* que contengan mayor concentración en niveles de metales pesados (Pb, Cu y Zn) en plumas sean menos activos y dependan de conductas pasivas al explorar. Por lo tanto, los individuos con mayores

concentraciones de metales pesados tendrán: menor número de saltos, sacudidas y tiempo volando y en perchas/paredes. Al mismo tiempo, tendrán mayores frecuencias de las conductas pasivas: escaneos, latencia de salida y tiempo en suelo.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Sitio de estudio

Los sitios de muestreo se encuentran dentro y en las inmediaciones de la Reserva de la Biósfera de Huautla (REBIOSH) al sur del estado de Morelos. La región pertenece al municipio de Tlaquiltenango. La vegetación es selva baja caducifolia y el clima es cálido subhúmedo con lluvias en el verano y presencia de canícula. La temperatura media anual es de 23.26°C y la temperatura más alta ocurre en abril o mayo. La precipitación anual es de 861.83 mm (SMN, 2023). El sitio de estudio tiene historia de actividad minera desde el siglo XVII hasta la década de los 1980. Ahí se localizan aproximadamente más de 780, 000 toneladas de desechos (Volke Sepúlveda et al., 2005).

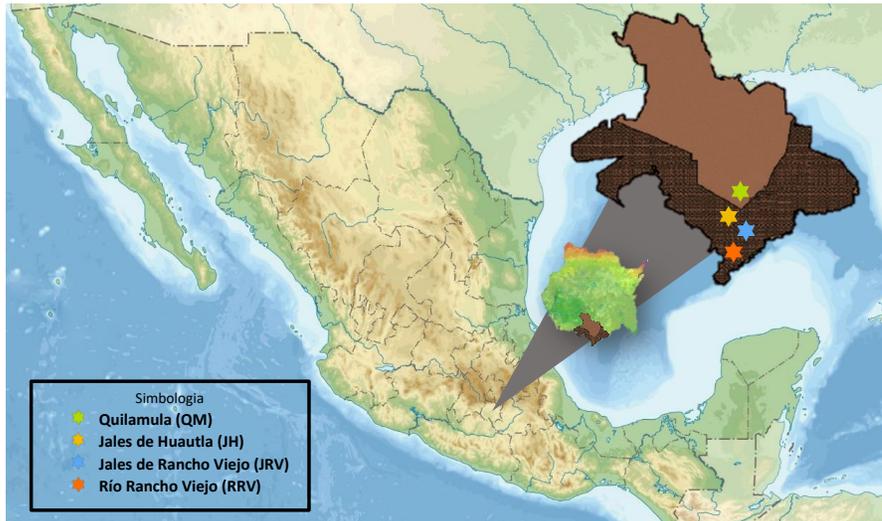
Para la realización de esta investigación se establecieron en 4 sitios de muestreo a diferentes distancias entre sí; localizados en el municipio de Tlaquiltenango, Morelos. Los organismos fueron capturados en 1 sitio control y 3 sitios potencialmente contaminados por desechos mineros (Figura 2).

Sitio control: Quilamula (QM), zona sin historia minera. No existen registros de contaminación por metales pesados y sus características geográficas y climáticas son semejantes a la zona minera. Poseen las coordenadas 18.51292125 N latitud, y 99.014515 O longitud. Quilamula se localiza a 8.31 km del jal Huautla, río arriba y en dirección opuesta de los vientos prevalentes.

Sitios contaminados: Jales de Huautla (JH) se localizan a 500 metros del poblado de Huautla, zona con mayor fuente de contaminación y alta exposición a metales pesados. Posee coordenadas 18.44009714 N latitud y 99.03209 O longitud.

Jales de Rancho Viejo (JRV) zona con alta exposición a metales pesados. Está en coordenadas 18.4359175 N latitud y 99.022905 O longitud y se encuentra río abajo a 1.07 km del Jal Huautla.

Río Rancho Viejo (RRV) el sitio con exposición intermedia a metales pesados, sobre las coordenadas 18.42267625 N latitud y 99.01326 O longitud. RRV se localiza a 2.76 km río debajo de los jales. Los metales pesados son descargados y potencialmente dispersados por este río.

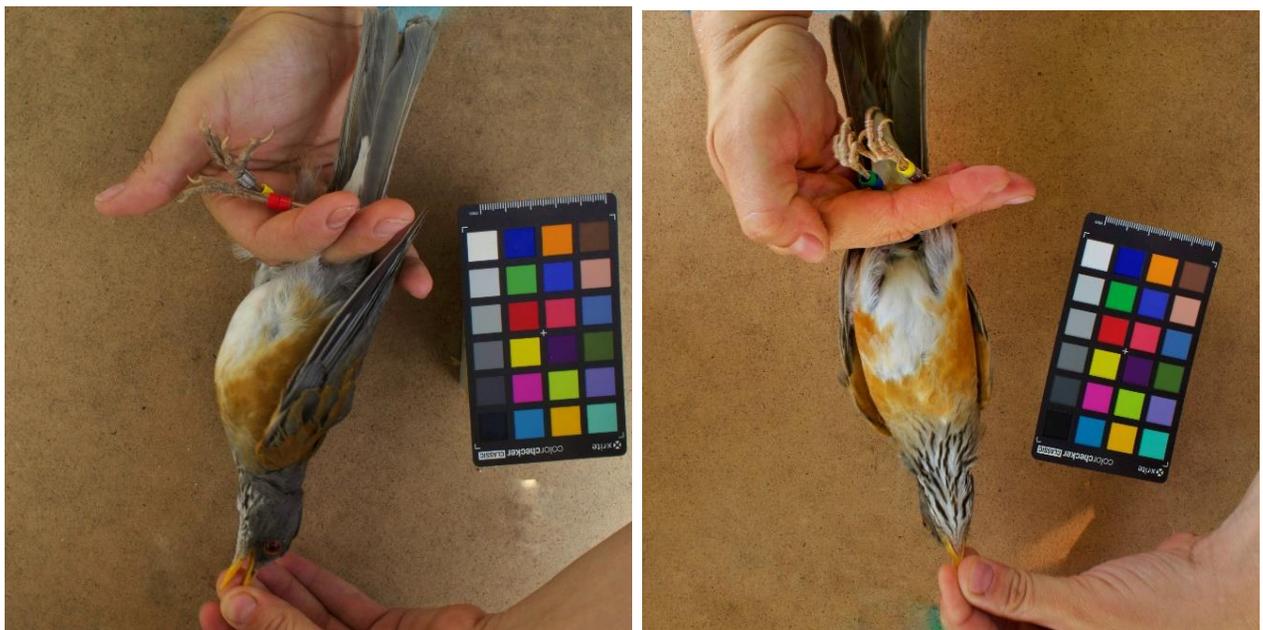


**Figura 2. Mapa de localización geográfica de los sitios de estudio.** Sitios en el poblado de Huautla, municipio de Tlaquiltenango, Morelos. Sitio control: Quilamula (sin exposición a metales pesados); Sitio con exposición media: Río Rancho Viejo y Sitios con exposición alta: jales de Huautla y jales de Rancho Viejo.

## 5.2 Diseño del muestreo

La captura de los individuos se hizo bajo los lineamientos éticos internacionales para el manejo adecuado de los animales para experimentos conductuales (Animal Behaviour Society, 2012) de aves silvestres en particular (Fair et al., 2010; Smith et al., 1999) bajo los permisos de colecta SEMARNAT #SGPA/DGVS/03032/17 y SGPA/DGVS/1149/19. Los muestreos se realizaron en dos períodos de tiempo. El primer período de muestreo fue en los meses de mayo y junio del 2017. El segundo período de muestreo fue en febrero y marzo del 2020. Para la captura de *T.*

*rufopalliatu*s se emplearon redes de niebla de 6 y 12 metros de longitud. Las redes se montaron en puntos estratégicos de los 4 sitios; donde las aves tuvieran mayor incidencia a acercarse. El horario de muestreo comenzaba a 7:00 h y hasta las 13:00 h, de acuerdo con las horas de mayor actividad en las aves y de las condiciones de luz que permitían la grabación de los videos de la conducta de las aves. Los muestreos se realizaban todos los días de ambos períodos, alternando un sitio por día, y así consecutivamente para los 4 sitios (i.e., Día 1: QM, día 2: JH, día 3: JRV, día 4: RRV). Las aves capturadas se colocaron en sacos de manta, atando el saco para evitar el escape de las aves. De cada ave capturada se registraron datos de la hora, fecha, lugar del muestreo y plumaje del individuo. Además, para la identificación individual de cada ave, se colocaron cuatro anillos, dos en cada tarso. Se utilizó una combinación única de cuatro anillos, dos anillos de plástico de colores en el tarso, y un anillo de color junto con un anillo de metal numerado en el otro (Figura 3). Del primer período de muestreo se obtuvieron 28 aves, y en el segundo período fueron 29 aves. El número de total fue de 45 individuos.



**Figura 3. Registro y anillación de individuos capturados.** Se colocaron cuatro anillos, dos por cada tarso. Dispuestos de la siguiente manera en cada tarso: un anillo metálico y un anillo de color; dos anillos de color.

### **5.2.1 Medición de niveles de Pb, Cu y Zn en plumas de aves**

Los niveles de la concentración de Pb, Cu y Zn se midieron mediante una digestión ácida para muestras orgánicas en plumas. Los análisis se hicieron basados en los estudios de CEM Corp, 2001; EPA, 1994; Metrohm, 2022, a continuación, se describen los pasos realizados. Inicialmente, se realizó la homogenización y purificación de las muestras mediante lavados. Las plumas se colocaron en tubos para baños ultrasónicos aplicando tres lavados de agua destilada durante cinco minutos y un lavado de acetona por cinco minutos. Posteriormente, las muestras se secaron en la campana de extracción durante 20 horas aproximadamente, hasta que no tuvieran humedad. Las muestras secas se pesaron con una balanza analítica y se realizaron las digestiones con muestras de no más de 0.20 g del tejido. Se realizaron dos digestiones para cada muestra en el horno microondas CEM Corp Mod MARS X con sensor de presión y temperatura por el método Tejido C (TC). En la primera digestión se agregaron 5mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 50% por una hora. En la segunda digestión se agregaron 3mL de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) durante una hora. Las muestras digeridas se aforaron a 25mL con agua desionizada. Posteriormente, se determinó las concentraciones de Pb, Cu y Zn mediante una voltamperometría de redisolución anódica. Se realizó empleando 5mL de muestra, 1mL de buffer Amonium acetato y 10mL de agua desionizada. Se obtuvieron curvas de concentraciones que fueron verificadas al inicio de cada medición con la calibración del voltamperímetro y una muestra de referencia (Dolt-5). Finalmente se realizaron cálculos de la concentración final en peso seco (mg/kg o ppm) para cada muestra de plumas.

### **5.2.2 Diseño de la prueba de ambiente novedoso**

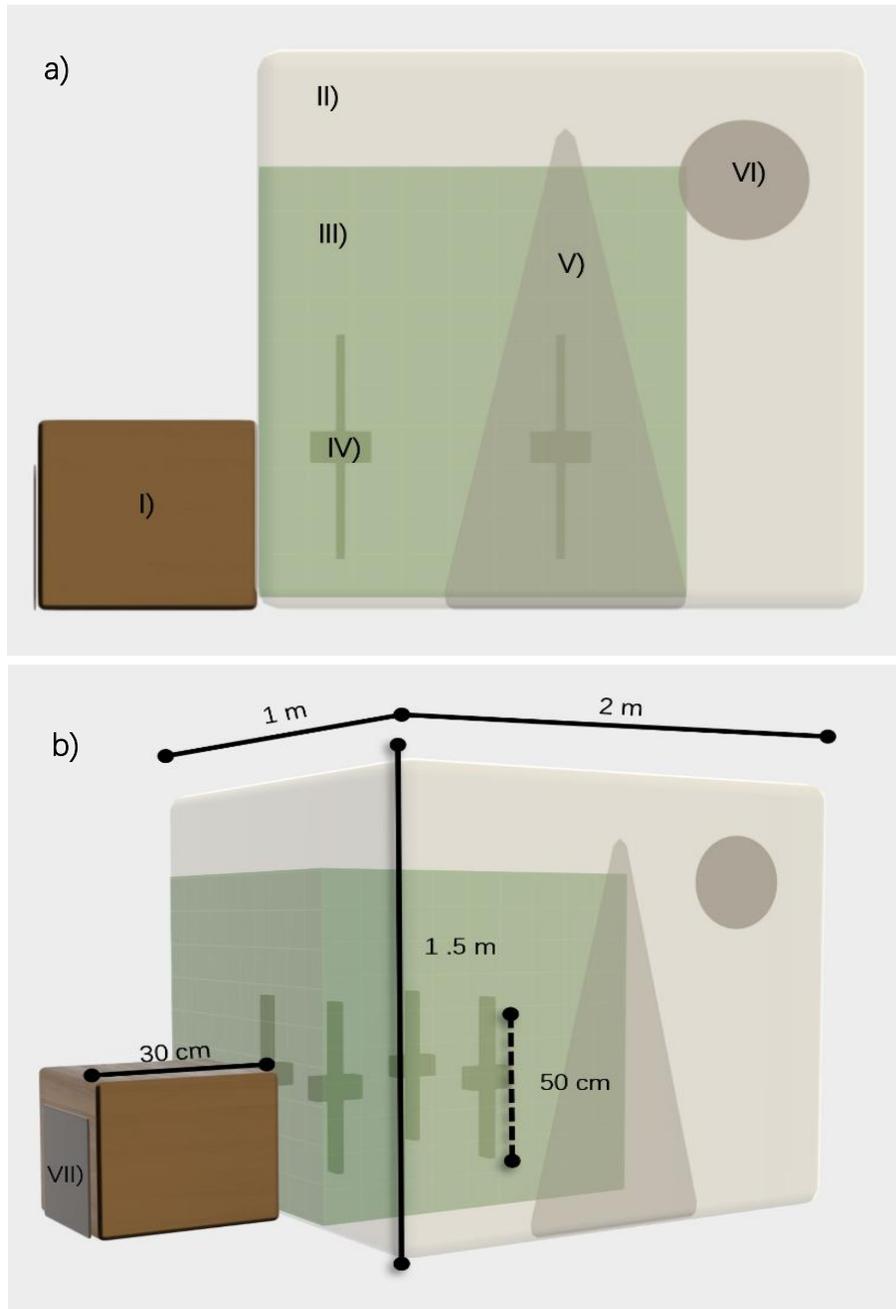
Para la aplicación de la prueba de ambiente novedoso en campo, es necesario el uso de una jaula portátil. La jaula que se construyó para este estudio está basada en el modelo realizado por Huang et al., en 2016 (Figura 4a y 4b). La estructura de la jaula fue armada con tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 3 cm de diámetro,

formando un cubo. Posteriormente, la jaula se cubrió con manta, que evitaba el comportamiento de huida e incitaban a la exploración.



**Figura 4. Jaula portátil a)** Ubicación de la jaula en su aplicación en campo. **b)** Vista al interior de la jaula portátil.

La jaula tenía un tamaño total de 1.5 m de altura, 2 m de longitud y 1 m de anchura. La estructura de la jaula estaba dispuesta de la siguiente manera: al interior de la jaula fue ubicada un cubo más pequeño designada como zona de exploración, donde se realizó el monitoreo de la conducta exploratoria. La zona de exploración se cubrió con tela mosquitera para poder observar al interior. Adentro de la zona de exploración se incluyeron 4 perchas en forma de cruz. Las perchas fueron construidas con tubos de PVC, de 2 cm de diámetro por 50 cm de longitud, atravesados con palos de madera de 25 cm de longitud. Al costado izquierdo de la jaula, se dispuso la “zona de habituación” para la aclimatación del ave antes de la prueba. La zona de habituación estaba hecha con un cubo de madera y poseía una entrada por donde se introducía al ave y una puerta hacia la zona de exploración que se abría para comenzar la prueba (Figura 5a y 5b).



**Figura 5. Diseño de la jaula portátil. a) Vista frontal y componentes:** I) zona de habituación (cubo de madera) a un costado de la jaula; II) jaula portátil cubierta de manta; III) zona de exploración cubierta con tela mosquitera al interior de la jaula; IV) cuatro perchas al interior de la zona de exploración en forma de cruz; V) abertura para la entrada de la jaula portátil; VI) Orificio para la cámara de grabación y VII) puerta del cubo de madera (zona de habituación). **b) Vista en perspectiva y medidas de los componentes.**

### **5.2.3 Aplicación de la prueba de ambiente novedoso**

La prueba de ambiente novedoso se aplicó una vez que se registraron los datos de los individuos capturados. Las aves se colocaron en el cubo de habituación durante 5 minutos para su aclimatación. La puerta se abrió al terminar el tiempo de habituación dando acceso a la zona de exploración. Se dieron dos golpes suaves sobre el cubo de habituación al abrir la puerta de acceso a la zona de explotación para incitar la salida del ave. La prueba inició cuando el ave pudo acceder a la zona de exploración, y las aves fueron monitoreadas por medio de una videocámara durante 4:30 minutos. El tiempo de exploración se determinó en base al diseño de Huang et al., en 2016 y al pilotaje previo de los videos (fueron excluidos los últimos 30 segundos de la prueba de 5 minutos, a causa de perturbación por el acercamiento de personas a la jaula).

Al inicio de los videos, el investigador mencionó los datos del individuo, como: especie de estudio, sitio de muestreo, fecha y hora de la prueba y hora de inicio de la habituación. La prueba terminó al transcurrir los 9:30 minutos (5 de habituación y 4:30 de exploración). Al terminar la prueba el ave fue extraída de la zona de exploración usando una red entomológica y fue librada en la misma zona donde fue capturada. El tamaño de muestra final fue de 45 videos de individuos. Se excluyeron doce videos del análisis debido a que el ave pasó menos de 2:30 min dentro del área de prueba (i.e., se quedó dentro de la caja de habituación), y aves con concentraciones con niveles detectables de metales pesados.

## **5.3 Análisis de material audiovisual**

### **5.3.1 Variables de la conducta exploratoria**

En este estudio se seleccionaron variables de conducta que realiza *T. rufopalliatus* al explorar con base en observaciones previas de los videos. Las variables que se analizaron durante la prueba de ambiente novedoso fueron 1) Tiempo volando, 2) Número de sacudidas, 3) Número de saltos, 4) Número de escaneos visuales, 5)

Latencia de Salida, 6) Tiempo que el ave pasa en el suelo y 7) Tiempo en percha y/o pared (Tabla 1; para definiciones operativas más detalladas, ver apéndice 1).

Variable conductual	Definición operativa
<b>Tiempo volando</b>	Tiempo total del ave volando. El ave debe durar más de 1 segundo en el aire sin tocar el suelo o perchas, contando su inicio cuando el ave tenga las alas desplegadas.
<b>Sacudidas</b>	Movimientos de alas (desplegar) y cola (izquierda o derecha) mientras el ave está en el suelo o posada.
<b>Saltos</b>	Movimientos de impulsarse con las patas al estar en el suelo o posada, sin que haya aleteo.
<b>Escaneos</b>	Movimientos de cabeza del ave hacia los lados (izquierda, derecha, arriba, abajo).
<b>Latencia de salida</b>	Tiempo que tardó en salir el ave de la zona de habituación (cubo de madera) y entrar a la zona de exploración tras la apertura de la puerta.
<b>Tiempo en suelo</b>	Tiempo del ave sin aletear y pasar más de un segundo en suelo.
<b>Tiempo en percha/pared</b>	Tiempo del ave sin aletear y pasar más de un segundo posado en las perchas y paredes de la jaula.

**Tabla 1. Definiciones operativas de las variables conductuales**

### 5.3.2 Pruebas de confiabilidad y repetibilidad

Previo al análisis y compilación de los datos se procedió a realizar pruebas de repetibilidad intra-observador y confiabilidad inter-observador en CowLog. Estas pruebas se repitieron hasta alcanzar un porcentaje de concordancia de 98% para ambos observadores. Para la prueba intra-observador se seleccionaron 6 videos al azar y se cuantificaron las variables del mismo video con base en las definiciones operativas determinadas. Las cuantificaciones fueron ejecutadas en momentos diferentes, cuidando de no hacer el análisis de un mismo video de forma consecutiva

para evitar memorizar las conductas del ave. Para cada video se establecieron dos repeticiones, las cuales debían obtener un 98% para ser consideradas adecuadas la prueba de confiabilidad. Para las pruebas inter-observador, se comparó la confiabilidad de cinco videos bajo las mismas definiciones operativas para dos observadores. Al alcanzar un 98% de confiabilidad en la repetibilidad de los videos, se procedió a cuantificar las variables conductuales en los 45 videos (Apéndice 2).

### **5.3.3 Cuantificación de variables conductuales exploratorias**

El material audiovisual fue analizado utilizando el programa Cowlog®, que permite contabilizar los tiempos y las frecuencias de las variables seleccionadas dentro de la prueba de ambiente novedoso. Se analizaron los videos en dos rondas, considerando en cada una un conjunto de variables que era factible observar de forma simultánea, también basada en la observación piloto de un subconjunto de videos. En la primera ronda se consideraron las variables: 1) Tiempo volando, 5) Latencia de salida, 6) Tiempo en suelo y 7) Tiempo en percha/pared. En la segunda ronda se contabilizaron las variables: 2) Sacudidas, 3) Saltos y 4) Escaneos visuales.

Al obtener los datos completos de los 45 videos, se ordenaron por nombre del video y se unieron en una misma tabla de Excel para su visualización y posterior análisis estadístico (Apéndice 3). Del muestreo realizado de *T. rufopalliatus* se obtuvo una tabla de 45 individuos con el conteo de variables conductuales y que podrían introducir variabilidad adicional que pudiera ocultar o confundirse con el efecto de los metales pesados, por ejemplo, fecha del muestreo (año, mes y hora), hora de inicio de la prueba y el tiempo de espera entre la captura y el inicio de la prueba. Los datos de las variables potenciales fueron convertidos en una base de Excel usando un método de asignación de valores numéricos (i.e., cuantificando la fecha como proporción del año, tal que un valor de 0.5 corresponde al día 183 de año donde ha transcurrido el 50% de un año típico con 365 días, y para la hora, contabilizando los minutos transcurridos partiendo de las 12:00 am; Apéndice 4).

## 5.4 Análisis estadísticos

El análisis de datos de variables conductuales se realizó con los programas Rstudio y R versión 4.2.2 (R Core, 2023; Rstudio, 2016). Se realizó una exploración a los datos para obtener estadística descriptiva (histogramas y boxplots de medianas y rangos intercuartiles) para conocer la distribución y variación (Apéndice 5). Debido a que existían múltiples correlaciones entre las variables conductuales se optó por un análisis de componentes principales (PCA) para reducir el número de relaciones de las 7 variables conductuales. Previo al PCA se estandarizaron las variables para que tuvieran una media= 0 y desviación estándar= 1 dentro del programa. Al explorar el PCA obtuvimos la varianza total de los componentes, su contribución y las representaciones gráficas de las variables conductuales.

Posteriormente al PCA, se realizaron modelos lineales usando los valores de los componentes principales obtenidos en lugar de las variables crudas de las conductas. Se incluyó tiempo de espera transcurrido entre la captura y el inicio de la prueba, hora de inicio de la prueba de ambiente novedoso y fecha de captura de las aves como covariables. Se exploró la colinealidad con el factor de inflación de la varianza de los modelos (Apéndice 6), encontrando que no hubo colinealidad problemática (todos los VIF < 3; Zuur et al., 2010). El cumplimiento de los supuestos de los modelos lineales se comprobó por examinación gráfica de los residuales (ver apéndice 7). Se realizaron tres modelos lineales en total, uno por cada componente principal seleccionado del PCA. Cada modelo lineal evaluó los niveles de Pb, Cu y Zn en plumas y las covariables (tiempo de espera, hora de inicio de la prueba y fecha de captura) con relación a PC1, PC2 y PC3, respectivamente.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Descripción de la conducta exploratoria de *T. rufopalliatum*

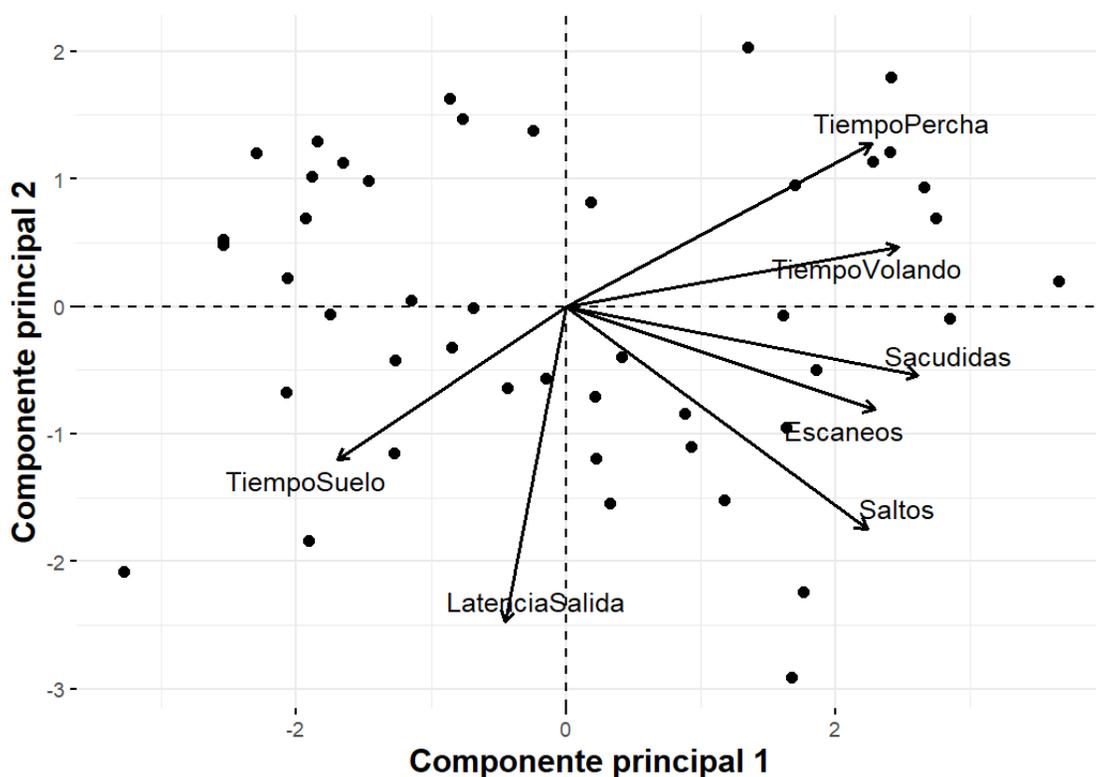
Se evaluaron siete variables conductuales de las 45 aves capturadas. En el análisis PCA, los primeros tres componentes explicaron el 78.4% de la varianza (46.3%,

19.8% y 12.3%, respectivamente). A pesar de que el tercer componente explicó un poco menos que la varianza proporcional a cada variable (100/7 variables =14% de varianza esperada por variable; Apéndice 8), se optó por utilizarlo para poder explicar una proporción sustancial de la varianza total (78.4% incluyendo el tercer componente contra 66.1% al incluir solo los dos primeros. El componente principal 1 (PC 1) estuvo relacionado moderada y positivamente con las variables de sacudidas (carga= 0.466), tiempo volando (carga= 0.439), escaneos (carga= 0.409) y tiempo en percha/pared (carga= 0.404). El componente principal 2 (PC2) estuvo relacionado fuerte y negativamente con la latencia de salida (carga= -0.675) y los saltos (carga= -0.476). El componente principal 3 (PC3) estuvo relacionado fuerte y negativamente con el tiempo en suelo (carga= -0.733) y positivamente con la latencia de salida (carga= 0.477; Tabla 2).

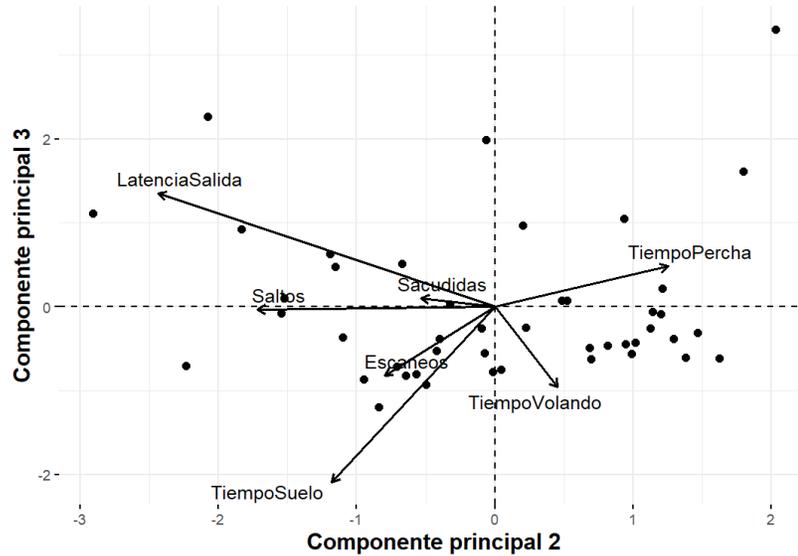
Variable conductual	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Sacudidas	<b>0.466</b>	-0.148	0.036	-0.509	0.095	-0.252	0.652
Tiempo Volando	<b>0.439</b>	0.126	-0.338	0.255	0.520	0.577	0.079
Escaneos	<b>0.409</b>	-0.221	-0.288	0.289	-0.772	0.126	0.061
Tiempo en percha/pared	<b>0.404</b>	0.348	0.170	0.518	0.136	-0.625	-0.077
Saltos	0.399	<b>-0.476</b>	-0.010	-0.291	0.165	-0.130	-0.695
Latencia de Salida	-0.080	<b>-0.675</b>	<b>0.477</b>	0.457	0.179	0.090	0.242
Tiempo en suelo	-0.302	-0.328	<b>-0.737</b>	0.164	0.213	-0.411	0.121

**Tabla 2. Contribución de cargas de variables conductuales en PCA**

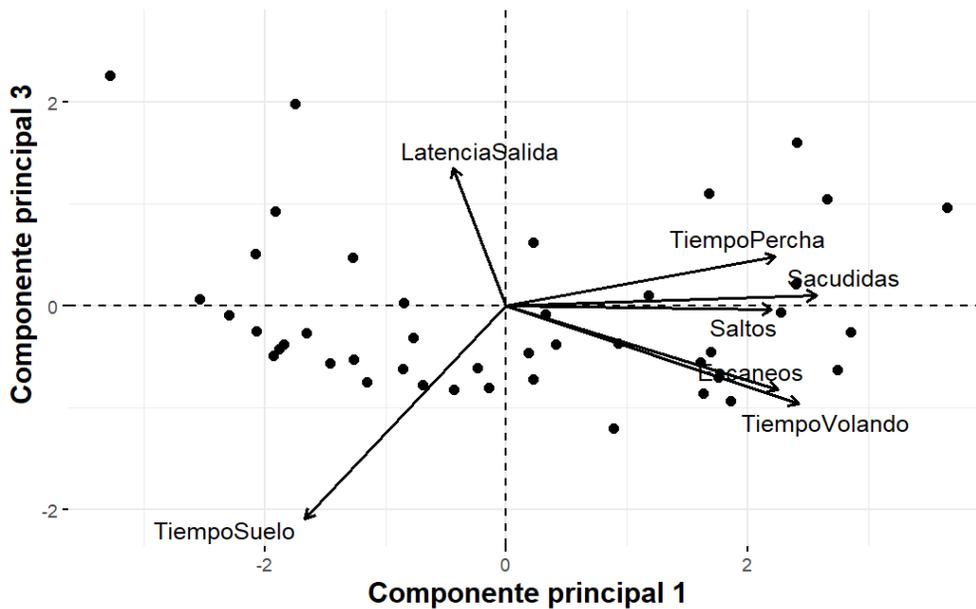
Por lo tanto, en el eje PC1, los valores altos indican individuos que sacudían y escaneaban más, además de pasar más tiempo volando y perchados (Figura 6). En el eje PC2, los individuos con valores altos son aquellos que salieron rápidamente a la zona de exploración (i.e., menor valor de latencia de salida) y saltaron menos (Figura 7). En el eje PC3, los valores más altos estaban relacionados a aquellos individuos que pasaron menor tiempo en el suelo y tardaron más tiempo para entrar a la zona de exploración (Figura 8).



**Figura 6. Gráficas de valores y cargas de variables de PC1 y PC2.** En el eje “x” se correlacionó positivamente con más sacudidas, escaneos, mayor tiempo volando y perchados. En el eje “y” se correlacionó negativamente con la latencia de salida y saltos, por lo tanto, los valores más altos indican individuos que salieron más rápido a la zona de exploración. Las variables están representadas por las flechas indicando su importancia de acuerdo con su longitud: Latencia de salida, saltos, sacudidas, tiempo volando, escaneos y tiempo en percha.



**Figura 7. Gráficas de valores y cargas de variables de PC2 y PC3.** El eje “x” se correlacionó negativamente con la latencia de salida y saltos, por lo que los individuos con valores más altos tardaron más tiempo en salir a la zona de exploración y saltaron menos. El eje “y” se correlacionó negativamente con el tiempo en suelo y positivamente con latencia de salida, por lo tanto, los individuos con valores altos pasaron poco tiempo en el suelo y tardaron más en salir a la prueba. Las cargas de variables más importantes fueron saltos, latencia de salida y tiempo en suelo.



**Figura 8. Gráfica de valores y cargas de variables de PC1 y PC3.** El eje “x” indica una correlación positiva con sacudidas, escaneos, tiempo volando y perchados. En eje “y” se relacionó negativamente con el tiempo en suelo y positivamente con la latencia de salida. Las variables más importantes son tiempo en suelo, sacudidas, tiempo volando, escaneos y tiempo en percha/pared.

## 6.2 Diferencias en conducta exploratoria en función de la concentración de metales pesados en plumas

Se obtuvieron tres modelos lineales, uno por cada componente del PCA seleccionado. A continuación, se muestran los coeficientes de los modelos lineales de PC1 (Tabla 3), PC2 (Tabla 4) y PC3 (Tabla 5), respectivamente:

	Estimado ( $\beta$ )	Error estándar	Valor $t$	Valor $P$
Intercepto	0.45	2.269	0.199	0.843
Concentración de Pb (mg/kg)	0.292	0.153	1.905	<b>0.064</b>
Concentración de Cu (mg/kg)	-0.182	0.097	-1.865	<b>0.070</b>
Concentración de Zn (mg/kg)	-0.006	0.009	-0.636	0.528
Tiempo de espera	0.0001	0.028	0.006	0.995
Inicio de prueba	-0.0004	0.003	-0.12	0.904
Fecha de captura del ave	0.526	3.147	0.167	0.868

**Tabla 3. Coeficientes del modelo lineal PC1**

	Estimado ( $\beta$ )	Error estándar	Valor $t$	Valor $P$
Intercepto	1.892	1.496	1.265	0.214
Concentración de Pb (mg/kg)	-0.010	0.101	-0.107	0.915
Concentración de Cu (mg/kg)	-0.009	0.064	-0.140	0.889
Concentración de Zn (mg/kg)	-0.007	0.006	-1.163	0.252
Tiempo de espera	-0.022	0.018	-1.194	0.240
Inicio de prueba	-0.001	0.002	-0.746	0.460
Fecha de captura del ave	-1.390	2.075	-0.670	0.507

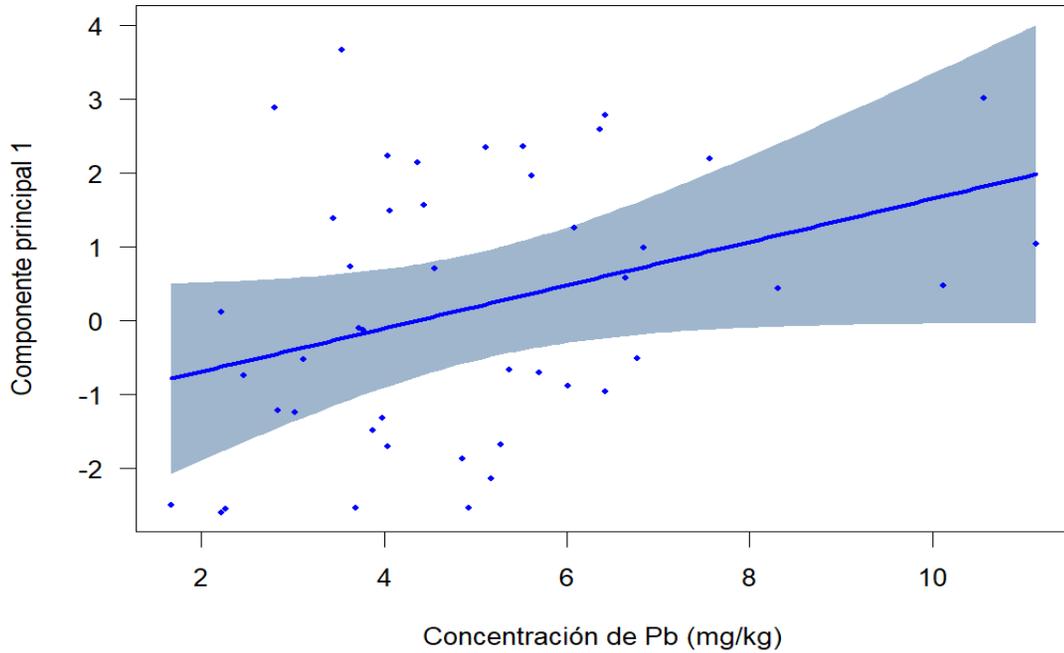
**Tabla 4. Coeficientes del modelo lineal PC2**

	Estimado ( $\beta$ )	Error estándar	Valor $t$	Valor $P$
Intercepto	-1.051	1.045	-1.006	0.321
Concentración de Pb (mg/kg)	0.042	0.070	0.607	0.547
Concentración de Cu (mg/kg)	0.003	0.045	0.080	0.936
Concentración de Zn (mg/kg)	0.016	0.004	3.661	<b>0.0007</b>
Tiempo de espera	-0.014	0.131	-0.131	0.264
Inicio de prueba	0.0006	0.001	0.367	0.264
Fecha de captura del ave	1.482	1.450	1.022	0.313

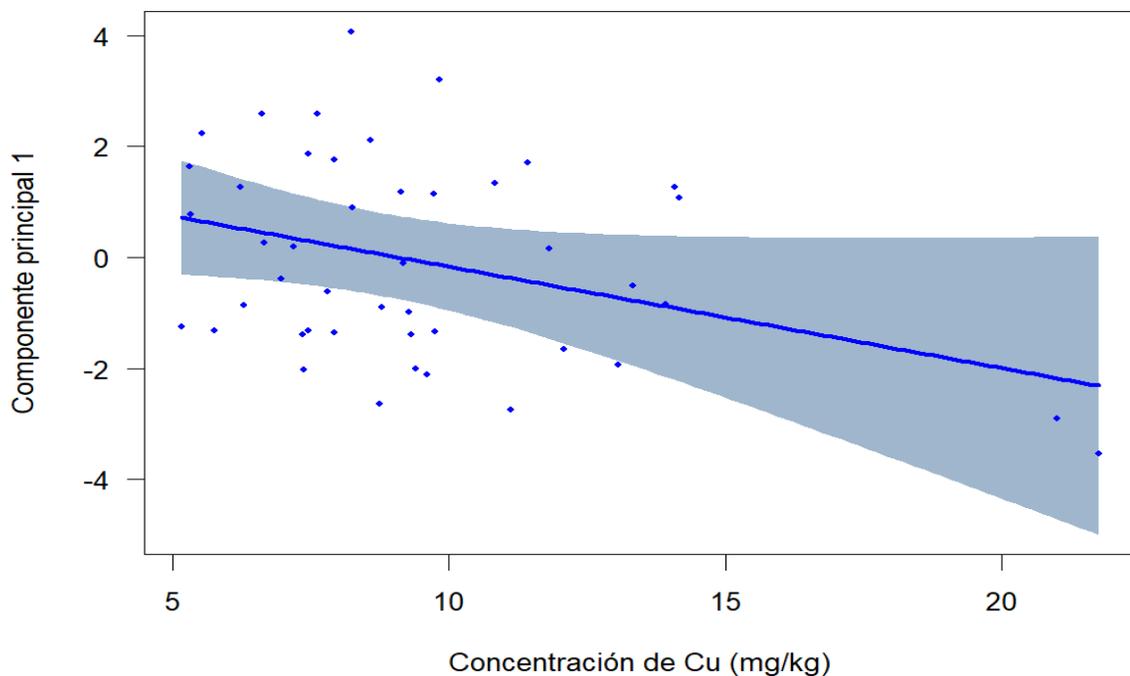
**Tabla 5. Coeficientes del modelo lineal PC3**

En el modelo lineal PC1, las coeficientes y valores de  $P$  correspondientes indicaron una tendencia marginalmente no significativa de los niveles de concentración de Pb ( $P=0.064$ , positiva; Figura 9) y Cu ( $P=0.070$ , negativa; Figura 10). Los efectos de la concentración de Zn y covariables no fueron significativos. Al eliminar las variables no significativas del modelo, se fortalecieron ligeramente los efectos de los niveles Pb ( $P= 0.044$ ) y Cu ( $P= 0.0422$ ) fueron significativos. A mayor nivel de Pb, mayor el valor de PC1; por lo que, entre mayor concentración de Pb en plumas, más sacudidas, escaneos, tiempo volando y en percha/pared. Mientras tanto, el nivel de Cu tuvo un efecto negativo; por lo tanto, a mayor concentración de Cu, menor valor de PC1. El efecto de Pb fue más fuerte que el de Cu (ver estimados en Tabla 3). Los coeficientes del modelo lineal de PC2 no mostraron efectos significativos de ninguna de las concentraciones de metales pesados ni de las covariables. En el modelo lineal del PC3, los coeficientes no mostraron efectos significativos de la concentración de Pb, Cu ni las covariables. Sin embargo, la concentración de Zn tuvo un efecto fuertemente significativo ( $P= 0.0007$ ; Figura 11). Dado que en este modelo se incluyó una proporción importante de individuos cuyos niveles de Zn fueron indetectables, se repitió el modelo incluyendo solo los individuos con niveles detectables de Zn ( $>0.26\text{mg/kg}$ ) para determinar si este efecto se debía exclusivamente a estos individuos con niveles muy bajos, siendo significativo ( $P= 0.014$ ; Figura 12). También se repitió el modelo excluyendo un individuo con valor extremadamente alto ( $179.799\text{ mg/kg}$ ) para observar si el efecto era dependiente de este valor extremo; se mantuvo significativo ( $P= 0.031$ ; Figura

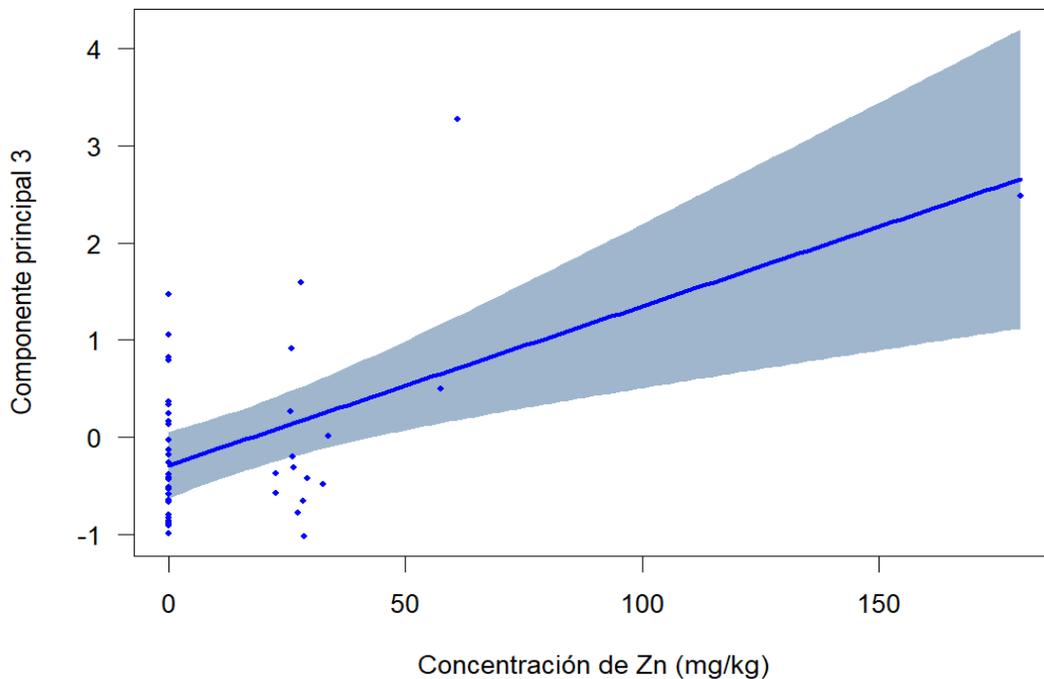
13). Entre mayor la concentración de Zn, mayor el valor de PC3, indicando menor tiempo en suelo y mayor latencia de salida.



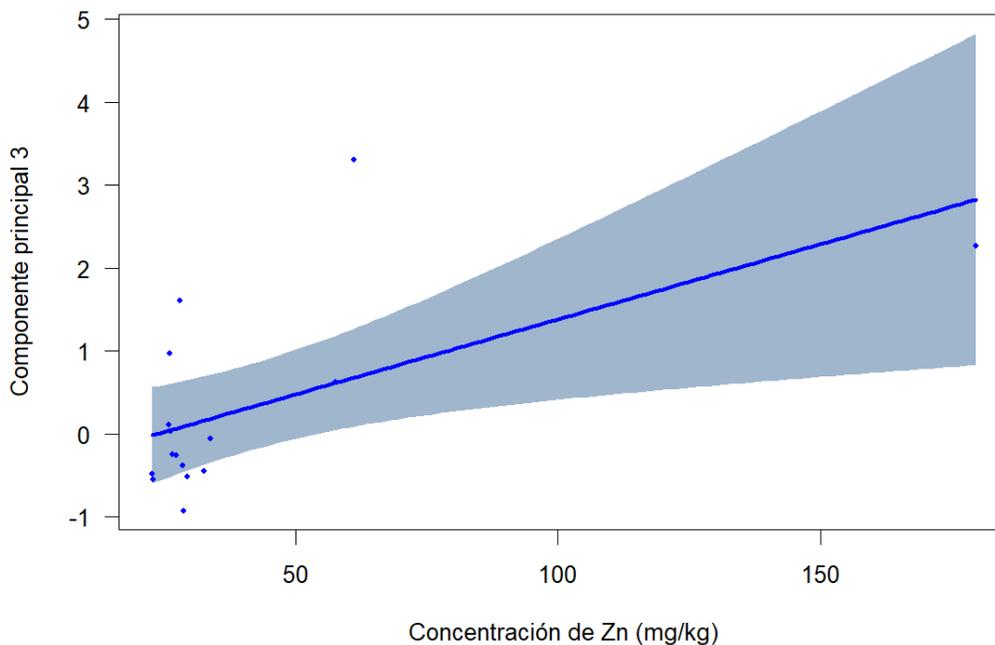
**Figura 9. Variación del componente principal 1 en relación con la concentración de Pb.** El modelo lineal mostró que por cada aumento de un mg/kg de Pb, el valor de PC1 aumenta por 0.292 unidades (línea azul,  $P= 0.064$ ). El área sombreada muestra los intervalos de confianza del 95%.



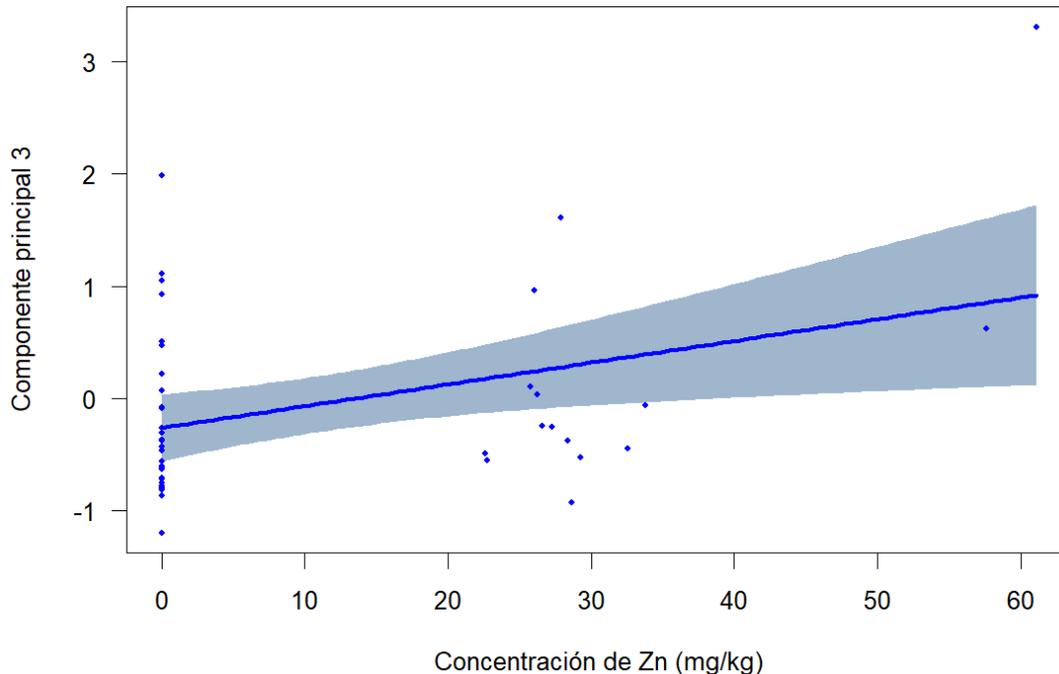
**Figura 10. Variación del componente principal 1 en relación con la concentración de Cu.** El modelo lineal mostró que por cada aumento de un mg/kg de Cu, el valor de PC1 disminuye por 0.182 unidades (línea azul,  $P= 0.070$ ). El área sombreada muestra los intervalos de confianza del 95%.



**Figura 11. Variación del componente principal 3 en relación con la concentración de Zn.** El modelo lineal mostró que por cada aumento de un mg/kg de Cu, el valor de PC3 aumenta por 0.016 unidades (línea azul,  $P= 0.0007$ ). El área sombreada muestra los intervalos de confianza del 95%



**Figura 12. Variación del componente principal 3 en relación con la concentración de Zn (sin valores no detectables).** El modelo lineal mostró que por cada aumento de un mg/kg de Zn, el valor de PC3 aumenta por 0.018 unidades (línea azul,  $P= 0.014$ ). El área sombreada muestra los intervalos de confianza del 95%.



**Figura 13. Variación del componente principal 3 en relación con la concentración de Zn (sin valor extremo).** El modelo lineal mostró que por cada aumento de un mg/kg de Zn, el valor de PC3 aumenta por 0.019 unidades (línea azul,  $P=0.013$ ). El área sombreada muestra los intervalos de confianza del 95%.

## 7. DISCUSIÓN

El presente proyecto describió las conductas del ave en una prueba de ambiente novedoso y comparó la exploración de individuos con diferentes concentraciones de metales pesados. Además de evaluar la asociación de las concentraciones de los metales pesados Pb, Cu y Zn con la conducta exploratoria de *T. rufopalliatu*s. Los resultados obtenidos mostraron asociaciones importantes en variables conductuales, por ejemplo: PC1) sacudidas, escaneos, tiempo volando y en percha/pared; PC2) latencia de salida y saltos y PC3) tiempo en suelo y latencia de salida, indicando que no existe un eje de variación conductual en *T. rufopalliatu*s entre variables activas y pasivas. Nuestra predicción propuso que los individuos con mayores concentraciones de Pb, Cu y Zn serían menos activos, por lo que dependerían de las conductas pasivas como: escaneos y tendrían una mayor

latencia de salida y tiempo en suelo. Los resultados obtenidos apoyan parcialmente nuestra predicción realizada; al observar los efectos de las concentraciones altas de Cu, los individuos sí fueron menos activos, sin embargo, esto no sucedió en el efecto del Pb (efecto de hiperactividad) ni en concentraciones de Zn, aun siendo variables pasivas. El PC1 se asoció los niveles de Pb altos con un efecto positivo, contrario a Cu, que tuvo un efecto negativo. En PC2 no hubo valores significativos. El PC3 se correlacionó con la concentración de Zn con un efecto positivo.

### **7.1 Descripción de la conducta exploratoria en *T. rufopalliatum***

La conducta exploratoria es un medio usado por los organismos para obtener información sobre su entorno. En este trabajo se predijo lo siguiente respecto a la conducta exploratoria en *T. rufopalliatum*. Habría individuos que serían exploradores menos activos, por lo que tendrían mayores valores de las variables como: escaneos, tiempo en el suelo y latencia de salida (tardar más tiempo en salir a la zona de exploración), mientras que otros serían exploradores más activos, por lo que realizarían mayor número de sacudidas, saltos, tiempo volando y en percha/pared. Sin embargo, esto no sucedió en la exploración de *T. rufopalliatum*. Al obtener los resultados, podemos interpretar varios puntos importantes en las relaciones de las diferentes variables conductuales.

La estadística descriptiva de la exploración mostró una distribución no normal de los datos. Optamos por realizar un PCA que permitió examinar los ejes principales de variación en nuestros datos. El gráfico de sedimentación nos permitió decidir el número de componentes considerados en este proyecto. El gráfico nos indicó que solo el primer componente explicaba el 46.3% de la variación total, y el “codo” se ubicaba entre el primer y segundo componente. Sin embargo, optamos por considerar los primeros tres al ser más informativo al obtener un 78.4% de la varianza total. Esto nos muestra que la exploración no se dividió en variables activas o pasivas, sino que hay tres ejes principales de variación. En el componente principal 1 se asociaron variables activas como sacudidas y tiempo volando con variables aparentemente “pasivas”: escaneos y tiempo en percha/pared, todas

siendo relaciones con cargas moderadas y positivas. En el componente principal 2 se obtuvo una asociación moderada y negativa en saltos (variable activa) y latencia de salida (variable pasiva). El componente principal 3 fue una excepción, ya que mostró una asociación en dos variables consideradas pasivas, sin embargo, eran asociaciones con efectos opuestos, el tiempo en suelo tuvo una carga fuerte y negativa, y la latencia de salida, una carga moderada y positiva.

Los números de escaneos fueron de particular interés, ya que representan una estrategia de exploración que permite observar el entorno sin el gasto energético que implica la locomoción misma. Las variables medidas más usadas dentro de la prueba de ambiente novedoso son el cambio posicional del cuerpo y las características visitadas del entorno (Dingemanse y de Goede, 2004). Sin embargo, los escaneos visuales son un aspecto clave de la exploración de las aves que rara vez es contemplado durante las pruebas (Huang et al., 2012). En nuestro estudio, los escaneos estuvieron asociados a variables como sacudidas, tiempo volando y en pecha/pared. Estas asociaciones positivas entre el número de escaneos y variables que involucraban el movimiento del ave fueron contrarias a nuestras predicciones, donde esperábamos que los escaneos reemplazaran estas conductas activas. La exploración de *T. rufopalliatum* no se limita al movimiento, sino que pueden usarse variables activas y pasivas para obtener de la información del medio.

Como parte de los objetivos, se describió la conducta exploratoria general para enriquecer la información de la especie y realizar comparaciones conductuales de interés. Las gráficas de las cargas de las variables (Figuras 5, 6 y 7) y los datos obtenidos de PCA, mostraron que los individuos de *T. rufopalliatum* tienden a estar mayor tiempo en el suelo que perchados o volando, además, que tuvieron una menor latencia de salida, es decir, tardaron menos tiempo en entrar a la zona de exploración tras la apertura de la puerta de la zona de habituación en la prueba de ambiente novedoso. Debido a estos resultados, podemos concluir que *T. rufopalliatum* tiende a desplazarse en el suelo; esto está de acuerdo con la descripción de los hábitos de la especie de obtener alimento y material de

construcción para sus nidos del suelo (Guevara, 2006). Nuestros resultados concuerdan con los datos previos en el estudio presentados por Huang y colaboradores (2016), donde se obtuvo una asociación positiva en el movimiento y escaneos visuales en una especie residente. Se observó en *Setophaga coronata*, una asociación positiva en vuelos realizados, y escaneos al aplicarse una prueba de ambiente novedoso (Huang et al., 2016).

En el presente estudio se empleó la prueba de ambiente novedoso descrita por Huang y colaboradores (2016). En la evaluación de la conducta en un entorno novedoso es difícil crear un entorno nuevo estandarizado sin causar una perturbación inusual en la vida silvestre (Jablonszky et al., 2020). La prueba de ambiente novedoso posee ventajas como simular novedad y poder ser aplicada en campo, pudiendo así capturar al ave y liberarla posterior a la prueba, evitando largos períodos de cautiverio para las aves. Sin embargo, es un tratamiento que, por definición, no simula cercanamente las situaciones naturales. Por lo tanto, es valioso combinar y comparar los resultados de las pruebas de ambiente novedoso con variables conductuales en los mismos individuos bajo condiciones naturales o seminaturales (ver, e.g., Grunst et al., 2019).

Aunque la prueba de ambiente novedoso ha sido aplicada en condiciones relativamente estandarizadas para el comportamiento de exploración (Huang et al., 2016), es necesario evaluar aspectos de la prueba que podrían afectar sus resultados para asegurar que no generen sesgo en los análisis posteriores. Muchas variables pueden influir en la conducta exploratoria de *T. rufopalliatus*, causando una alteración en la exploración. A pesar de hacer un esfuerzo por estandarizar la mayor cantidad de variables posibles, al ser una prueba en campo hay variables que no pueden mantenerse constantes. Algunas de estas variables fueron tomadas en cuenta en este estudio para evaluar sus efectos: 1) tiempo de espera transcurrido entre la captura y el inicio de la prueba, 2) hora de inicio de la prueba de ambiente novedoso y 3) fecha de captura de las aves. Sin embargo, al realizar los modelos lineales, ninguna de estas covariables mostró influencia sobre las variables conductuales, indicando que la fecha y hora del muestreo, la captura de aves y

aplicación de la prueba es independiente a la evaluación de exploración en la prueba de ambiente novedoso. Esta información es valiosa para el diseño de posibles estudios en el futuro, dado que confirma que no es necesario realizar un esfuerzo excesivo por mantener estandarizadas estas variables, y que se pueden considerar comparables los datos tomados de pruebas realizadas en diferentes temporadas (e.g., para aumentar el tamaño de muestra).

## **7.2 Diferencias en la conducta exploratoria como función de las concentraciones de Pb, Cu y Zn**

Dentro del comportamiento animal, existen conductas que poseen mayor sensibilidad a la exposición a tóxicos, y por lo tanto son útiles para detectar cambios sutiles por metales pesados (Grunst et al., 2019). Se ha documentado que los metales pesados alteran procesos neurológicos, ocasionando cambios histológicos en el sistema nervioso (Müller et al., 2008). Si bien la conducta exploratoria brinda información de acuerdo con el entorno, también depende de la morfología de las estructuras cerebrales (Deen, 2010). Por lo tanto, una intoxicación por contaminantes químicos podría expresarse como la alteración de la conducta exploratoria del individuo.

La toxicidad por Pb, Cu y Zn tienen un mayor impacto clínico en aves, causando frecuentemente enfermedades en aves (Osofsky et al., 2001). Nuestros modelos lineales revelan asociaciones significativas entre los niveles de metales pesados (Pb, Cu, y Zn) y los componentes principales (variables conductuales) obtenidos del PCA. En el PC1, se encontraron efectos marginalmente no significativos en concentración de Pb y Cu, que se volvieron significativos al excluir del modelo las demás variables no significativa (nivel de Pb y Cu presentaron valores de  $P=0.044$  y  $0.042$ , respectivamente). El efecto de la concentración de Pb fue positivo, indicando que los niveles altos de Pb estaban asociados con un mayor valor de PC1. En términos de las variables conductuales reales, esto significa que las aves que tienen mayores concentraciones de Pb realizan mayores números de escaneos, sacudidas, tiempo volando y tiempo en perchas o paredes. Por lo tanto,

a mayor concentración de Pb, las aves eran más activas, presentando un posible efecto de hiperactividad. Se ha observado que la exposición a Pb está asociada a un estado de hiperactividad en ratas, caracterizado por conductas como nivel alto de actividad motora, hiper-excitabilidad y escaso control de los impulsos (Weinreich et al., 1977). En la exposición por Pb está bien documentado la competencia de iones de Pb con los de Calcio por los sitios de unión de canales iónicos importantes en las sinapsis (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011). Estos resultados se correlacionan con el nivel de Pb y la disfunción del SN central, provocando la inhibición de la liberación de neurotransmisores e interfiriendo en la regulación del metabolismo celular (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Weinreich et al., 1977).

El efecto de Cu en PC1 fue negativo, por lo que concentraciones altas estaban asociadas a un menor valor de PC1. Los individuos que tenían concentraciones altas de Cu escaneaban, se sacudían, volaban y se perchaban en menor frecuencia. Esto indicando que con mayores concentraciones de Cu las aves eran menos activas y que pudieran presentar un efecto de aletargamiento. Se ha documentado que la intoxicación por Cu promueve el daño oxidativo en músculos esqueléticos en pollos a través de la autofagia y apoptosis (Wang et al., 2018). Además, se ha observado que la toxicidad puede producir poliuria, diarrea, melena, vómitos, anorexia, letargia, parálisis de extremidades posteriores, disminución en la producción de huevos y muerte (Osofsky et al., 2001). Pal y colaboradores (2013) observaron efectos en ratas Wistar expuestas a Cu por vía intraperitoneal, como la disminución de la memoria espacial y la coordinación neuromuscular en comparación a los individuos control (Pal et al., 2013).

El efecto de Zn, en cambio, tuvo un efecto significativo y positivo sobre el componente principal 3, indicando que los individuos que tenían altas concentraciones de Zn pasaron menor tiempo en suelo y tenían una mayor latencia de salida. En la detección de concentración, existieron individuos que poseían niveles no detectables al umbral de detección establecidos ( $>0.26$  mg/kg), además de la presencia de un individuo con una concentración excepcionalmente alto ( $=179.7991$  mg/kg). Al encontrarse el efecto significativo en el modelo incluyendo

estos individuos, se procedió a repetir el modelo excluyendo estos caos, para ver si este era dependiente de valores extremos, o valores sin valor detectable de Zn, pero se mantuvo significativo. La intoxicación por zinc puede producir letargia, y en menor frecuencia, trastornos neurológicos (Bonvehí, 2009; Lightfoot y Yeager, 2008). Se han descrito casos de intoxicación por Zn en patos que presentaron signos de pérdida de control muscular y peso corporal (Grandy et al., 1968). Un estudio en loros de vientre naranja (*Neophema chrysogaster*) expuestos a Zn observó que los loros no presentaban signos clínicos en aves afectadas; sin embargo, estas aves presentaban niveles altos de Zn en órganos y tendían a morir por traumatismos resultado de disfunción neurológica inducida por Zn (Holz et al., 2000). Estas evidencias podrían ser la explicación del efecto de los niveles de Pb, Cu y Zn en *T. rufopalliatus* al explorar. Los resultados pueden sugerir alteraciones de la exploración ante contaminantes tóxicos. Sin embargo, hay varios factores que tomar en cuenta.

Existe mucha variación en los rangos de los niveles encontrados de Zn en plumas de aves. Por ejemplo: Movalli (1999) encontró en *Falco biarmicus jugger* rangos de 70.00-151 mg/kg; Hahn et al., (1989) encontró 100-400 mg/kg en *Accipiter gentilis*; Doi y Fukuyama (1983) encontró niveles 50-250 mg/kg en plumas de aves silvestres y de zoológico; Scanlon (1980) encontró en el pavo salvaje (*Meleagris gallopavo*) 72-112 mg/kg y finalmente Goede (1985) encontró 80-175 mg/kg en *Sterna sandvicensis* (Doi y Fukuyama, 1983; Goede, 1985; Hahn et al., 1989; Movalli, 2000; Scanlon et al., 1980). Por lo tanto, se podría interpretar que los niveles considerados altos son normales, mientras que los no detectables pueden ser niveles que indiquen una deficiencia de Zn y no sean efectos de una intoxicación en los organismos.

Por un lado, dado que los efectos de Pb y Cu sobre PC1 fueron marginalmente no significativos, no es un efecto tan robusto. Esto se puede deber a factores como el tamaño de la muestra, que es relativamente pequeño (45 individuos) y efectos con mucha variación. Se requiere tomar un mayor tamaño de muestra para observar si el efecto se conserva o incluso se fortalece.

Los residuos mineros almacenados a la intemperie pueden contener concentraciones de metales pesados que ejercen efectos adversos (Mejía et al., 1999) a los individuos de *T. rufopalliatus*. Sin embargo, la asignación del sitio control y sitios contaminados con los niveles de metales pesados podría no ser preciso, debido a que hay otras posibles fuentes de metales pesados y otras sustancias tóxicas. El sitio Quilamula, a pesar de que no tiene historia de minería y ha sido utilizado como sitio control en estudios de exposición a metales pesados en ratones silvestres en la zona (Mussali-Galante et al., 2013), podría tener contaminación reciente o por otros tipos de contaminantes en este sitio (e. g., agroquímicos o metales pesados de otras fuentes de contaminación).

Por otro lado, la disponibilidad biológica y grado de toxicidad de muchos metales son dependientes de la forma de la sustancia química en el ambiente. Las propiedades del ambiente como el pH, la calidad del agua y gradiente de concentración del metal modifican la biodisponibilidad del metal pesado (Atchison et al., 1987). Por lo tanto, es posible que, aunque haya altas concentraciones totales en el suelo de desecho en nuestros sitios de estudio, las condiciones los dejan relativamente menos biodisponibles, lo cual evitan su acumulación en mayores concentraciones en *T. rufopalliatus*.

El muestreo también puede presentar un sesgo al estar examinando solo una parte de la población; al ser un muestreo restringido a aves adultas, es posible que los individuos capturados ya hayan pasado por un filtro de desaparición selectiva; y sean individuos que no hayan sufrido efectos fuertes por los metales pesados. Es decir, puede ser que los efectos de los metales pesados se manifiestan más temprano en el desarrollo, en individuos que no alcanzan un estadio adulto, juvenil o siquiera la eclosión del huevo (Burger y Gochfeld, 2005). Podría considerarse explorar los nidos de *T. rufopalliatus* y contemplar un seguimiento de los huevos, las crías y los juveniles. Diversos estudios revelan la afectación a la supervivencia por la exposición a metales pesados. Los metales pesados afectan procesos esenciales de sobrevivencia, ya sea por alteraciones fisiológicas o por modificaciones conductuales. Por ejemplo, la exploración está relacionada con la

obtención de beneficios entre estos el alimento y refugio (Verbeek et al., 1996) por lo que los efectos de los metales pesados podrían reflejarse en estadios más tempranos de las aves.

Es evidente que todavía hay que realizar más estudios en aspectos de la conducta exploratoria de *T. rufopalliatu*s. De acuerdo con Groothuis (2005) la investigación científica está limitada debido a la centralización en las diferencias entre poblaciones, sin seguir a los individuos durante un período de tiempo más largo (estudios longitudinales) (Groothuis y Carere, 2005). El seguimiento de las puestas y desarrollo de las crías abriría la visión de la influencia de estos tóxicos en la conducta exploratoria relacionada con la adecuación. Nuestra perspectiva consiste en mejorar las limitantes reveladas en este proyecto, como el seguimiento de las puestas y variables de historia de vida de las aves de estos diferentes sitios.

## 8. CONCLUSIÓN

Los individuos de *T. rufopalliatu*s no pueden ser ubicados sobre un solo continuo lineal de exploradores de menos a más activos, ya que nuestro análisis de componentes principales reveló tres ejes principales de variación. El componente 1 se refería a individuos que realizaban mayor número de escaneos, sacudidas, tiempo volando y tiempo en perchas/pared. En el segundo componente estaban asociadas variables como la latencia de salida y los saltos, dónde los individuos que salieron rápidamente de la habituación saltaron menos. Y el tercer componente indicaba menor tiempo en suelo y una mayor latencia de salida. En nuestro estudio encontramos un rango amplio de variación en los individuos y que a su vez estuvo asociada a la concentración de metales pesados. La prueba de ambiente novedoso no mostró sensibilidad ante las covariables medidas (tiempo de espera, hora de inicio de prueba y fecha de captura) lo que resultó ser una prueba práctica y robusta. Nuestro estudio ayuda a refinar el protocolo para esta prueba, siendo la primera vez que ha sido aplicada en esta especie. Los datos obtenidos indican un posible efecto de hiperactividad ante niveles elevados de Pb; efecto de letargo en concentraciones altos de Cu y finalmente, las concentraciones de Zn tuvieron influencia en la latencia

de salida, y menor tiempo en suelo. Sin embargo, es imprescindible investigar la posible correlación de la acumulación de metales pesados en más individuos, considerar todo el ciclo de vida de esta especie antes de poder concluir que los metales pesados en estos sitios conservan el efecto en su conducta y adicionalmente ver las fuentes de contaminación como agroquímicos (usualmente conteniendo Cu) y otros tipos de contaminantes presentes en los desechos mineros como el Cd y As.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Morales, J. E. (2011). *La estructura del sistema nervioso* (AOP, Vol. 1).  
www.conductitlan.net
- Alleva, E., Francia, N., Pandolfi, M., De Marinis, A. M., Chiarotti, F., & Santucci, D. (2006). Organochlorine and heavy-metal contaminants in wild mammals and birds of Urbino-Pesaro Province, Italy: An analytic overview for potential bioindicators. En *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 51, Número 1, pp. 123–134). <https://doi.org/10.1007/s00244-005-0218-1>
- Animal Behaviour Society. (2012). Guidelines for the treatment of animals in behavioural research and teaching. *Animal Behaviour*, 83(1), 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.10.031>
- Arcaya, J. L., Tejeda, C. M., Salazar, U., Silva, E. J., Urdaneta, K., & Varela, K. (2013). La intoxicación con cobre disminuye la sobrevivencia e induce alteraciones neurológicas en *Drosophila melanogaster*. *Invest Clin*, 54(1), 47–57.
- Arnáiz, F. J., Pedrosa, M. R., Mendía, A., Arnáiz, S., & Aguado, R. (2000). *Un ciclo de compuestos de plomo como modelo de experimentos con productos peligrosos*. 11(3), 333–335.
- Atchison, G. J., Henry, M. G., & Sandheinrich, M. B. (1987). Effects of metals on fish behavior: a review. *Environmental Biology of Fishes*, 18(1), 11–25.
- ATSDR. (2007). *Toxicological profile for lead*.
- Bauerová, P., Vinklerová, J., Hraníček, J., Čorba, V., Vojtek, L., Svobodová, J., & Vinkler, M. (2017). Associations of urban environmental pollution with health-related physiological traits in a free-living bird species. *Science of the Total Environment*, 601–602, 1556–1565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.276>

- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A., & Moreno Brotóns, J. (2010). Contaminación ambiental por estériles mineros en un espacio turístico en desarrollo, la Sierra minera de Cartagena-La Unión (Sureste de España). *Cuadernos de Turismo*, 25, 11–24. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39813352001>
- Bonvehí, C. (2009). Intoxicación por metales pesados en una *Cacatua alba* con picaje. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales*, 29(1), 23–28.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Effects of lead on learning in herring gulls: An avian wildlife model for neurobehavioral deficits. *NeuroToxicology*, 26(4 SPEC. ISS.), 615–624. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2005.01.005>
- Calegaro-Marques, C., & Amato, S. B. (2014). Urbanization breaks up host-parasite interactions: A case study on parasite community ecology of rufous-bellied thrushes (*Turdus rufiventris*) along a rural-urban gradient. *PLOS ONE*, 9(7), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103144>
- Calva B., L. G., & Torres A., M. del R. (2003). *Metales pesados y sus efectos en organismos*.
- Carbó-Ramírez, P., González-Arrieta, R. A., & Zuria, I. (2015). Breeding Biology of the Rufous-backed Robin (*Turdus rufopalliatu*s) in an Urban Area Outside its Original Distribution Range. *Wilson Journal of Ornithology*, 127(3), 515–521. <https://doi.org/10.1676/14-056.1>
- Carrascal, L. M., & Moreno, E. (1992). Scanning behaviour and spatial niche. *Journal of Ornithology*, 133(1), 73–77. <https://doi.org/10.1007/BF01640041>
- CEM Corp. (2001). *Microwave accelerated reaction system for extraction. Operation Manual*.
- CEMP Corp. (2001). *Plus vessel accesory sets and autovent option. Instructions for use*.

- Cornell Lab of Ornithology. (2016). *Rufous-backed Robin | Celebrate Urban Birds*.  
<https://celebrateurbanbirds.org/learn/birds/focal-species/rufous-backed-robin/>
- Cronican, A. A., Fitz, N. F., Carter, A., Saleem, M., Shiva, S., Barchowsky, A., Koldamova, R., Schug, J., & Lefterov, I. (2013). Genome-Wide Alteration of Histone H3K9 Acetylation Pattern in Mouse Offspring Prenatally Exposed to Arsenic. *PLoS ONE*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053478>
- Csuros, M., & Csuros, C. (2002). *Environmental sampling and analysis for metals*.
- Deen, J. (2010). *Pigs: Behavior and Welfare Assessment*.
- Delville, Y. (1999). Exposure to Lead During Development Alters Aggressive Behavior in Golden Hamsters. En *Neurotoxicology and Teratology* (Vol. 21, Número 4).
- Ding, J., Wang, S., Yang, W., Zhang, H., Yu, F., & Zhang, Y. (2023). Tissue distribution and association of heavy metal accumulation in a free-living resident passerine bird tree sparrow *Passer montanus*. *Environmental Pollution*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120547>
- Dingemans, N. J., & De Goede, P. (2004). The relation between dominance and exploratory behavior is context-dependent in wild great tits. *Behavioral Ecology*, 15(6), 1023–1030. <https://doi.org/10.1093/beheco/arh115>
- Doi, R., & Fukuyama, Y. (1983). Metal Content in Feathers of Wild and Zoo-kept Birds from Hokkaido. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 31, 1–8.
- Ecke, F., Singh, N. J., Arnemo, J. M., Bignert, A., Helander, B., Berglund, Å. M. M., Borg, H., Bröjer, C., Holm, K., Lanzone, M., Miller, T., Nordström, Å., Räikkönen, J., Rodushkin, I., Ågren, E., & Hörnfeldt, B. (2017). Sublethal Lead Exposure Alters Movement Behavior in Free-Ranging Golden Eagles. *Environmental Science and Technology*, 51(10), 5729–5736. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06024>

- EPA. (1994). *Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*.
- Fair, J. M., Paul, E., Jones, J., Clark, A. B., Davie, C., Kaiser, G., Fair, J., Paul, E., & Jones, J. (2010). *Guidelines to the use of wild birds in research*. <http://www.nmnh.si.edu/BIRDNET>
- Fernández-Juricic, E. (2012). Sensory basis of vigilance behavior in birds: Synthesis and future prospects. *Behavioural Processes*, 89(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2011.10.006>
- García, R., Campos, J., Cruz, J. A., Calderón, Ma. E., Raynal, Ma. E., & Buitrón, G. (2016). Biosorption of Cd, Cr, Mn, and Pb from aqueous solutions by *Bacillus* sp strains isolated from industrial waste activate sludge. *TIP*, 19(1), 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2016.02.001>
- Goede, A. A. (1985). Mercury, Selenium, Arsenic and Zinc in Waders from The Dutch Wadden Sea. *Environmental Pollution (Series A)*, 37, 287–309.
- Gómez Godoy, C., & Peláez, J. (2018). *Minería en México: Despojo, contaminación, conflicto y movilización*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/581439/Miner\\_a\\_en\\_M\\_xico\\_\\_Despojo\\_contaminaci\\_n\\_conflictos\\_y\\_movilizaci\\_n.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/581439/Miner_a_en_M_xico__Despojo_contaminaci_n_conflictos_y_movilizaci_n.pdf)
- Grabowski, G. L. (1979). Vocalizations of the rufous-backed thrush (*Turdus rufopalliatu*s) in Guerrero, México. *The Cooper Ornithological Society*, 81, 409–416.
- Grandy, J. W., Locke, L. N., & Bagley, G. E. (1968). Relative Toxicity of Lead and Five Proposed Substitute Shot Types to Pen-Reared Mallards. En *Source: The Journal of Wildlife Management* (Vol. 32, Número 3).
- Groothuis, T., & Carere, C. (2005). Avian personalities: Characterization and epigenesis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 29(1 SPEC. ISS.), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2004.06.010>

- Grunst, A. S., Grunst, M. L., Daem, N., Pinxten, R., Bervoets, L., & Eens, M. (2019). An Important Personality Trait Varies with Blood and Plumage Metal Concentrations in a Free-Living Songbird. *Environmental Science and Technology*, 53(17), 10487–10496. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03548>
- Guevara, A. M. (2006). *Biología reproductiva de Turdus rufopalliatu s en un ambiente urbano*. Instituto de Biología.
- Gundersen, P., Olsvik, P. A., & Steinnes, E. (2001). Variations in heavy metal concentrations and speciation in two mining-polluted streams in central Norway. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(5), 978–984.
- Hahn, E., Hahn, K., & Stoepler Einleitung, M. (1989). Scermetalle in Federn von Habicht (Accipiter gentilis) aus unterschiedlich belasteten Gebieten. *Journal Ornithology*, 130, 303–309.
- Hernández Stender, L. (2021, agosto 6). *El Sistema Nervioso Periférico*. <https://www.saluteca.com/el-sistema-nervioso-periferico/>
- Holz, P., Phelan, J., Slocombe, R., Cowden, A., Miller, M., & Gartrell, B. (2000). Suspected zinc toxicosis as a cause of sudden death in orange-bellied parrots (Neophema chrysogaster). *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 14(1), 37–41. [https://doi.org/10.1647/1082-6742\(2000\)014\[0037:SZTAAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1647/1082-6742(2000)014[0037:SZTAAC]2.0.CO;2)
- Howell, S., & Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America* (Oxford University Press, Ed.).
- Huang, P., Kerman, K., Sieving, K. E., & St. Mary, C. M. (2016). Evaluating the novel-environment test for measurement of exploration by bird species. *Journal of Ethology*, 34(1), 45–51. <https://doi.org/10.1007/s10164-015-0444-6>
- Huang, P., Sieving, K. E., & Mary, C. M. S. (2012). Heterospecific information about predation risk influences exploratory behavior. *Behavioral Ecology*, 23(3), 463–472. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr212>

- INECC. (2007). *El suelo*.  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/459/cap2.html>
- INEGI. (2018). *Minería. Cuéntame de México*.  
<https://cuentame.inegi.org.mx/economia/secundario/mineria/default.aspx?tema=e>
- Instituto Linus Pauling. (2012). *Cobre*.  
<https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/cobre>
- Instituto Nacional de Ecología. (1994). *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994*.  
[http://centro.paot.org.mx/documentos/sedesol/informe\\_proteccion\\_ambiente\\_1993.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/sedesol/informe_proteccion_ambiente_1993.pdf)
- Jablonszky, M., Krenhardt, K., Markó, G., Szász, E., Hegyi, G., Herényi, M., Kötél, D., Laczi, M., Nagy, G., Rosivall, B., Török, J., & Garamszegi, L. Z. (2020). A behavioural trait displayed in an artificial novel environment correlates with dispersal in a wild bird. *Ethology*, 126(5), 540–552.  
<https://doi.org/10.1111/eth.13005>
- Janssens, E., Dauwe, T., Van Duyse, E., Beernaert, J., Pinxten, R., & Eens, M. (2003). Effects of heavy metal exposure on aggressive behavior in a small territorial songbird. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(1), 121–127. <https://doi.org/10.1007/s00244-002-0133-7>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessel, T. M. (2002). *Principios de Neurociencia* (4a edición). McGraw Hill .
- Lago Vila, M. (2018). *Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=221733>
- LENNTECH. (2018). *Metales pesados*. <https://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>

- Lightfoot, T. L., & Yeager, J. M. (2008). Pet Bird Toxicity and Related Environmental Concerns. En *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice* (Vol. 11, Número 2, pp. 229–259). <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2008.01.006>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Maldonado-Gómez, J. N. (2020). *Conducta de exploración de Icterus pustulatus expuestos a un gradiente de concentración de contaminantes de los desechos mineros en Huautla, Morelos*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Manosevitz, M. (1970). Early enviromental enrichment and mouse behaviour. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 71(3), 459–466.
- Markowski, M., Kaliński, A., Skwarska, J., Wawrzyniak, J., Bańbura, M., Markowski, J., Zieliński, P., & Bańbura, J. (2013). Avian feathers as bioindicators of the exposure to heavy metal contamination of food. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91(3), 302–305. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1065-9>
- Martinez-Finley, E. J., Ali, A. M. S., & Allan, A. M. (2009). Learning deficits in C57BL/6J mice following perinatal arsenic exposure: Consequence of lower corticosterone receptor levels? *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 94(2), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.09.006>
- Martínez-Morales, M. A., Zuria, I., Chapa-Vargas, L., MacGregor-Fors, I., Ortega-Álvarez, R., Romero-Águila, E., & Carbó, P. (2010). Current distribution and predicted geographic expansion of the Rufous-backed Robin in Mexico: A fading endemism? *Diversity and Distributions*, 16(5), 786–797. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00691.x>

- Mejía, J., Crrizales, L., Rodríguez, V. M., Jiménez-Capdeville, M. E., & Díaz-Barriga, F. (1999). *Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras*.
- Metrohm. (2022). *Determination of cadmium, lead and copper in foodstuffs, waste water and sewage sludge by anodic stripping voltammetry after digestion*.
- Mettke-Hofmann, C., Rowe, K. C., Hayden, T. J., & Canoine, V. (2006). Effects of experience and object complexity on exploration in garden warblers (*Sylvia borin*). *Journal of Zoology*, 268(4), 405–413. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2005.00037.x>
- Montiglio, P. O., & Royauté, R. (2014). Contaminants as a neglected source of behavioural variation. En *Animal Behaviour* (Vol. 88, pp. 29–35). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.11.018>
- Movalli, P. A. (2000). Heavy metal and other residues in feathers of laggar falcon *Falco biarmicus jugger* from six districts of Pakistan. *Environmental Pollution*, 99, 267–275. [www.elsevier.com/locate/envpol](http://www.elsevier.com/locate/envpol)
- Müller, Y. M. R., Rivero, L. B. D., Carvalho, M. C., Kobus, K., Farina, M., & Nazari, E. M. (2008). Behavioral impairments related to lead-induced developmental neurotoxicity in chicks. *Archives of Toxicology*, 82(7), 445–451. <https://doi.org/10.1007/s00204-007-0266-6>
- Mussali-Galante, P., Tovar-Sánchez, E., Valverde, M., Valencia-Cuevas, L., & Rojas, E. (2013). Evidence of population genetic effects in *Peromyscus melanophrys* chronically exposed to mine tailings in Morelos, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 7666–7679. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1263-8>
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivo de Neurociencia (México)*, 16(3), 140–147.

- NIH. (2019, octubre 17). *¿Cuáles son las partes del sistema nervioso?*  
<https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/neuro/informacion/partes>
- Nordberg, M., Templeton, D. M., Andersen, O., & Duffus, J. H. (2009). Glossary of terms used in ecotoxicology. *Pure and Applied Chemistry*, 81(5), 829–970.  
<https://doi.org/10.1351/PAC-REC-08-07-09>
- Osofsky, A., Jowett, P. L. H., Hosgood, G., & Tully, T. N. (2001). Determination of normal blood concentrations of lead, zinc, copper, and iron in hispaniolan amazon parrots (*Amazona ventralis*). *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 15(1), 31–36.  
[https://doi.org/10.1647/1082-6742\(2001\)015\[0031:DONBCO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1647/1082-6742(2001)015[0031:DONBCO]2.0.CO;2)
- Pal, A., Badyal, R. K., Vasishta, R. K., Attri, S. V., Thapa, B. R., & Prasad, R. (2013). Biochemical, histological, and memory impairment effects of chronic copper toxicity: A model for non-wilsonian brain copper toxicosis in Wistar rat. *Biological Trace Element Research*, 153(1–3), 257–268. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9665-0>
- Pérez-Ríos, A. R. (2021). *Estudio neuroconductual en el roedor Peromyscus melanophrys expuesto a jales de Huautla, Morelos*. Facultad de Ciencias Biológicas.
- Pineda-López, R., & Malagamba Rubio, A. (2009). Primeros registros de presencia y reproducción del mirlo dorso rufo (*Turdus rufopalliatu*s) en la ciudad de Querétaro, Querétaro, México. *Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología*, 10(2), 66–70. [www.huitzil.net](http://www.huitzil.net)
- POSSEHL. (2021, agosto 26). *La minería a cielo abierto*.  
<https://www.possehl.mx/mineria-a-cielo-abierto/>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. (4.2.2). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>  
<https://www.R-project.org/>

- Ramos-Arroyo, Y. R., & Siebe-Grabach, C. D. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23, 54–74.
- Renner, M. J. (1990). Neglected aspects of exploratory and investigatory behavior. En *Psychobiology* (Vol. 18, Número 1).
- Roodbergen, M., Klok, C., & van der Hout, A. (2008). Transfer of heavy metals in the food chain earthworm Black-tailed godwit (*Limosa limosa*): Comparison of a polluted and a reference site in The Netherlands. *Science of the Total Environment*, 406(3), 407–412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.051>
- Rosas-Romero, R., & Covarrubias-Gómez, A. (2021). Papel del zinc en la salud humana. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58(4), 477–485. <https://doi.org/10.24875/rmimss.m20000073>
- Rstudio. (2016). *Rstudio* (4.2.2). <http://www.rstudio.com/>
- Scanlon, P. F., Oderwald, R. G., Dietrick, T. J., & Coggin, J. L. (1980). Heavy Metal Concentrations in Feathers of Ruffed Grouse Shot by Virginia Hunters. *Bull. Environm. Contam. Toxicol*, 25, 947–949.
- SEMARNAT. (2009). *NORMA Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.* <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4485/semarnat1/semarnat1.htm>
- Servicio Geológico Mexicano. (2018). *Panorama Minero del Estado de Morelos.*
- SGM. (2022). *GeoInfoMex, El Banco de Datos del SGM.* <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>

- Smith, H., Mccracken, J., Shepherd, D., & Velez, P. (1999). *The Mist Netter's Bird Safety Handbook: A Bird Bander's Guide to Safe and Ethical Mist Netting and Banding Procedures*.
- SMN. (2023). *Servicio Meteorológico Nacional*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Stefanidou, M., Maravelias, C., Dona, A., & Spiliopoulou, C. (2006). Zinc: A multipurpose trace element. *Archives of Toxicology*, 80(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00204-005-0009-5>
- Thys, B., Pinxten, R., Raap, T., De Meester, G., Rivera-Gutierrez, H. F., & Eens, M. (2017). The Female Perspective of Personality in a Wild Songbird: Repeatable Aggressiveness Relates to Exploration Behaviour. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08001-1>
- Verbeek, M., Boon, A., & Drent, P. J. (1996). Exploration, aggressive behaviour and pair-wise confrontations of juvenile male great tits. *Behaviour*, 133, 945–963.
- Vicente Martonell, J. J. (2010). *Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa suratlántica andaluza afectados por contaminación difusa*. Universidad de Cádiz.
- Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, J. A., & de la Rosa Pérez, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides*.
- Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, J. A., De la Rosa Pérez, D. A., & Solórzano Ochoa, G. (2004). *Evaluación de tecnologías para suelos contaminados con metales*.
- Vullo, D. L. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva*, 2(3), 93–104. [www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)
- Walsh, R. N., & Cummins, R. A. (1976). The Open-Field Test: A Critical Review. *Psychological Bulletin*, 83(3), 482–504.

- Wang, Y., Zhao, H., Shao, Y., Liu, J., Li, J., Luo, L., & Xing, M. (2018). Copper (II) and/or arsenite-induced oxidative stress cascades apoptosis and autophagy in the skeletal muscles of chicken. *Chemosphere*, 206, 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.013>
- Weinreich, K., Stelte, W., & Bitsch, I. (1977). Effect of Lead Acetate on the Spontaneous Activity of Young Rats. *Nutr. Metab*, 21(1), 201–203.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>

## 10. APÉNDICES

### 10.1 Definiciones operativas de las variables conductuales

<b>Análisis 1 (Conjunto de variables 1, 5, 6 y 7)</b>	
Inicio de la prueba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Establecer el mismo tiempo de inicio para los videos y sus repeticiones.</li> <li>2. Comienzo cuando la puerta está totalmente abierta y en el suelo (apertura de arriba hacia abajo).</li> <li>3. Excepción de los videos con salida del ave muy rápida (milisegundos), contar desde la apertura de la puerta.</li> </ol>
Tiempo volando	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El primer vuelo es considerado al iniciar la prueba y poder observar el pico del ave al salir.</li> <li>2. En caso de no observar el pico directamente, considerar observar la salida de la cabeza del ave.</li> <li>3. Las caídas de percha a suelo no son consideradas vuelos (Considerar de “percha/pared” a “suelo”. Excepción a que sean vuelos &gt;1 segundo; entonces se considerará “percha/pared” a “vuelo” a “suelo”).</li> <li>4. Los “saltos” del suelo a perchas si son considerados como vuelos.</li> <li>5. Comienzo del tiempo de vuelo cuando el ave tiene las alas desplegadas del cuerpo.</li> </ol>
Tiempo en suelo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El ave debe de estar en suelo &gt;1 segundo para ser considerado.</li> <li>2. Comienza el tiempo cuando el ave mantiene sus patas en el suelo y sus alas cerradas. No considerar cuando el ave todavía está aleteando o con las alas abiertas.</li> </ol>
Tiempo en percha y/o paredes	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El ave debe de mantenerse &gt;1 segundo sujeto en la percha y/o la pared.</li> <li>2. No considerar si el ave aletea todo el tiempo sujeto a la percha o a la pared.</li> <li>3. Si el ave está posada &gt;1 segundo y aletea intermedio, pero vuelve quedarse inmóvil, todo el tiempo será considerado como posado en percha y/o pared.</li> </ol>
Ave no visible en la jaula	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El ave debe de ser “no visible” &gt;1 segundo en la grabación de la prueba.</li> </ol>

Terminación de la prueba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contar el tiempo de inicio +270 segundos (4:30 minutos) lo que debería durar la prueba.</li> <li>2. Establecer el mismo tiempo de terminación para los videos y sus repeticiones.</li> </ol>
--------------------------	--

<b>Análisis 2 (Conjunto de variables 2, 3 y 4)</b>	
Inicio de la prueba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se tomará el mismo tiempo de inicio para las repeticiones a partir de las variables anteriores.</li> </ol>
Número de Sacudidas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Considerar un movimiento tanto si solo mueve la cola o alas por separado o si es en conjunto (que el ave se sacuda).</li> </ol>
Número de Saltos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los “pasitos” al aterrizar o al “caminar” no son considerados como saltos.</li> </ol>
Número de Escaneos visuales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si el ave mueve la cabeza al iniciar el vuelo no se considerará como escaneo.</li> <li>2. Considerar 1 escaneo siempre y cuando el ave no esté moviéndose (i.e., aleteando).</li> <li>3. Los movimientos hacia adelante o atrás de la cabeza no cuentan como escaneo.</li> <li>4. No considerar movimiento cuando el ave abra o cierre el pico, si considerar si mueve el pico hacia los lados (izquierda, derecha, arriba, abajo).</li> <li>5. Las inclinaciones de la cabeza son consideradas como movimiento.</li> </ol>
Ave no visible en la jaula	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No se tomarán en los escaneos, saltos y sacudidas del ave cuando ésta no sea visible en su totalidad (que no estén bien diferenciadas las cabezas, alas o patas), para evitar confusiones de conteo (especialmente en los movimientos de cabeza del ave).</li> </ol>
Terminación de la prueba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contar el tiempo de inicio +270 segundos (4:30 minutos) lo que debería durar la prueba.</li> <li>2. Establecer el mismo tiempo de terminación para los videos y sus repeticiones</li> </ol>

## 10.2 Pruebas de confiabilidad y repetibilidad

	Lat. salida	Vuelos	T. en suelo	T. en percha/ pared	Rep Lat salida	Rep Vuelos	Rep en Suelo	Rep en percha/ pared
MVI_1541_M 1	1.403	5	243.02	7.719	0.994	1	0.999	0.996
MVI_1541_M 2	1.395	5	242.921	7.689				
MVI_1536_M 1	2.847	2	258.933	0	0.995	1	0.999	-
MVI_1536_M 2	2.859	2	259.053	0				
TuRu_3495_ M1	12.625	6	234.371	5.511	0.998	1	0.999	0.992
TuRu_3495_ M2	12.608	6	234.287	5.47				
MVI_1544_M 1	0.709	7	250.837	0	1	1	0.999	-
MVI_1544_M 2	0.709	7	250.847	0				
TuRu_06_M1	5.703	2	259.867	0	0.994	1	0.999	-
TuRu_06_M2	5.673	2	259.804	0				

Individuo	Sacudidas	Saltos	Escaneos	Rep sacudidas	Rep saltos	Rep Escaneos
MVI_1488_R1	1	1	20	1	1	1
MVI_1488_R2	1	1	20			
TuRu_05_R1	0	0	51	-	-	1
TuRu_05_R2	0	0	51			
TuRu_06_R1	1	1	22	1	1	1
TuRu_06_R2	1	1	22			
TuRu_3383_R1	1	0	19	1	-	1
TuRu_3383_R2	1	0	19			
TuRu_3395_R1	2	6	56	1	1	0.982
TuRu_3395_R2	2	6	55			

### 10.3 Tabla de datos completos de 45 individuos

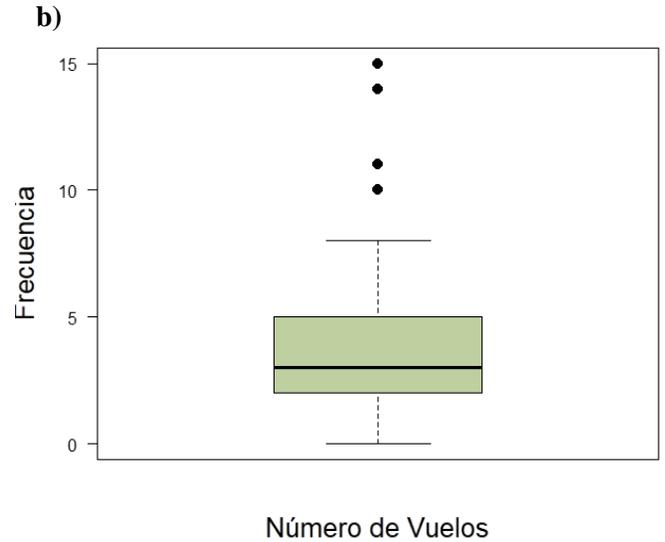
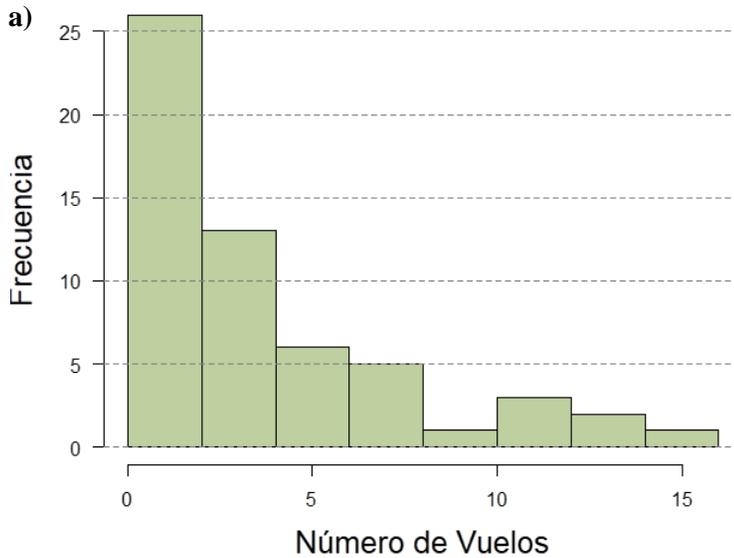
Individuo	Latencia de Salida	Tiempo Volando	Tiempo en Suelo	Tiempo en Percha	Sacudidas	Salto	Escaneos	Vuelos
MVI_1488	0.309	4.835	264.855	0	1	1	20	2
MVI_1514	3.347	12.349	249.007	3.023	25	8	146	4
MVI_1523	0.144	8.872	248.763	12.213	3	1	17	3
MVI_1531	2.017	6.571	261.422	0	0	0	11	2
MVI_1532	1.832	28.943	235.675	3.553	9	31	150	8
MVI_1534	0.798	24.411	150.285	94.506	15	3	225	3
MVI_1536	2.847	8.209	258.933	0	0	1	117	2
MVI_1537	11.486	35.157	215.78	7.577	1	15	183	11
MVI_1539	2.605	13.029	254.377	0	102	70	159	6
MVI_1544	0.709	18.875	250.837	0	12	23	113	7
MVI_1545	0.277	10.344	248.981	10.403	16	3	31	3
MVI_1547	0.321	8.434	48.849	1.014	38	3	24	3
MVI_1548	1.27	2.809	265.92	0	1	0	16	1
MVI_1549	0.971	15.006	254.025	0	1	0	3	2
MVI_1568	0.362	29.281	208.809	31.548	28	6	50	8
MVI_1569	1.731	11.517	256.757	0	1	6	113	2
MVI_1572	0.637	16.756	98.5	153.728	10	6	86	8
MVI_1573	28.054	17.594	217.506	6.876	35	45	92	5
MVI_1576	0.325	12.627	244.426	12.621	0	0	45	3
MVI_1580	0.363	7.253	259.791	2.596	0	1	30	2
MVI_1581	0.447	5.097	264.465	0	11	2	74	2
MVI_1591	0.305	18.183	175.919	75.603	47	4	133	4
MVI_1596	1.171	8.051	260.778	0	1	1	83	2
MVI_1598	2.138	25.307	231.333	11.229	57	2	161	14
MVI_1600	0.9	27.032	239.315	2.754	105	13	97	7
MVI_1603	0.36	7.938	258.234	3.473	0	2	10	3

Individuo	Latencia de Salida	Tiempo Volando	Tiempo en Suelo	Tiempo en Percha	Sacudidas	Saltos	Escaneos	Vuelos
TuRu_06	5.703	4.426	259.867	0	1	1	22	2
TuRu_3383	0.236	5.167	262.362	2.226	1	0	19	1
TuRu_3390	0.776	6.833	262.386	0	12	7	87	3
TuRu_3391	3.604	12.203	254.204	0	33	23	31	10
TuRu_3393	0.529	4.595	262.785	2.108	0	0	37	2
TuRu_3395	7.591	0.455	261.95	0	2	6	56	1
TuRu_3400	0.164	40.86	185.813	43.164	23	21	115	14
TuRu_3460	0.408	27.973	235.138	6.488	3	1	19	4
TuRu_3462	0.729	13.96	132.83	122.472	46	14	81	5
TuRu_3481	9.1	5.742	177.675	2.659	1	1	7	1
TuRu_3482	0.932	31.26	191.345	46.479	31	47	105	15
TuRu_3483	1.536	16.388	248.85	3.231	9	15	32	5
TuRu_3484	1.481	7.481	260.443	0.614	10	9	10	4
TuRu_3485	0.751	2.234	267.017	0	1	1	35	1
TuRu_3486	5.454	3.98	260.566	0	9	3	29	2
TuRu_3495	12.625	17.487	234.371	5.511	10	3	54	6
TuRu_3497	21.811	0	248.181	0	0	5	9	0
TuRu_3498	1.448	21.849	128.036	118.666	95	33	159	11
TuRu_3499	0.86	11.997	257.133	0	17	18	40	3

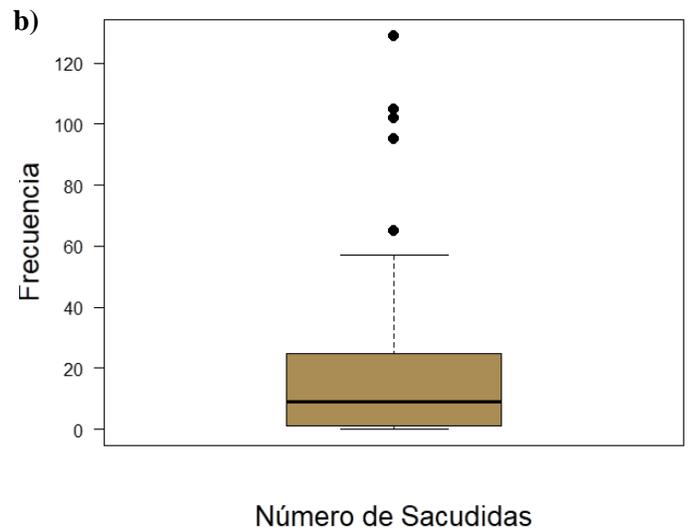
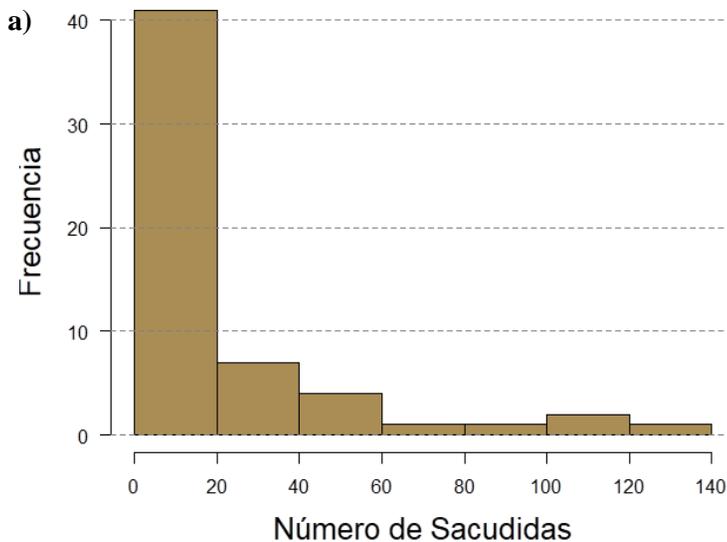
## 10.4 Tabla de conversión para covariables y niveles de concentración de Pb, Cu y Zn.

Fecha	Year	Año clave	Sitio	Hora captura	Hora captura clave	Anillos Izq	Anillos Der	Conducta Inicio hora	Conducta inicio clave	Tiempo espera	Archivo Video	Pb mgkg	Cu mgkg	Zn mgkg
02/20/2020	2020	0.1361111111	3	07:36:00 a. m.	456	GG	VX	07:43:00 a. m.	463	7	MVL_1488	5.28137	9.3992	22.6172
03/02/2020	2020	0.1694444444	4	08:58:00 a. m.	538	XY	BV	09:02:00 a. m.	542	4	MVL_1514	11.12797	9.2776	0.026
03/03/2020	2020	0.1722222222	1	12:12:00 p. m.	732	VN	XR	12:18:00 p. m.	738	6	MVL_1523	5.365854	8.7927	0.026
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	07:13:00 a. m.	433	BR	XY	07:22:00 a. m.	442	9	MVL_1531	5.170494	11.117	0.026
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	07:36:00 a. m.	456	AS	XB	07:41:00 a. m.	461	5	MVL_1532	6.364291	14.163	0.026
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	08:10:00 a. m.	490	SV	XN	08:26:00 a. m.	506	16	MVL_1534	5.525551	8.5868	0.026
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	09:23:00 a. m.	563	SS	XB	09:31:00 a. m.	571	8	MVL_1536	3.025895	7.7951	29.294
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	09:35:00 a. m.	575	AR	XV	09:49:00 a. m.	589	14	MVL_1537	3.63617	5.3078	25.7422
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	09:53:00 a. m.	593	Y-	X-	10:38:00 a. m.	638	45	MVL_1539	6.415612	14.09	0.026
03/07/2020	2020	0.1833333333	1	12:50:00 p. m.	770	--	R-	01:30:00 p. m.	810	40	MVL_1544	3.440305	10.838	0.026
03/10/2020	2020	0.1916666667	2	07:40:00 a. m.	460	RG	YX*	07:45:00 a. m.	465	5	MVL_1545	6.83549	13.335	0.026
03/10/2020	2020	0.1916666667	2	08:27:00 a. m.	507	SX	VY	08:33:00 a. m.	513	6	MVL_1547	6.078576	6.222	61.1293
03/10/2020	2020	0.1916666667	2	09:04:00 a. m.	544	RX	SY	09:15:00 a. m.	555	11	MVL_1548	4.922868	8.7523	0.026
03/10/2020	2020	0.1916666667	2	09:25:00 a. m.	565	RX	YY	09:33:00 a. m.	573	8	MVL_1549	3.692227	7.3634	0.026
03/15/2020	2020	0.2055555556	2	07:46:00 a. m.	466	GX	SV	07:50:00 a. m.	470	4	MVL_1568	5.117117	11.417	32.5504
03/15/2020	2020	0.2055555556	2	09:15:00 a. m.	555	YX	SV	09:21:00 a. m.	561	6	MVL_1569	6.012887	6.2857	0.026
03/16/2020	2020	0.2083333333	3	07:47:00 a. m.	467	AN	YX	07:52:00 a. m.	472	5	MVL_1572	5.610727	5.5324	27.9213
03/16/2020	2020	0.2083333333	3	10:42:00 a. m.	642	YN	GX	10:48:00 a. m.	648	6	MVL_1573	4.066865	7.4549	0.026
03/17/2020	2020	0.2111111111	4	07:37:00 a. m.	457	XG	VY	07:43:00 a. m.	463	6	MVL_1576	2.837398	6.9715	0.026
03/17/2020	2020	0.2111111111	4	08:35:00 a. m.	515	X-	--	09:10:00 a. m.	550	35	MVL_1580	4.034866	7.4562	0.026
03/17/2020	2020	0.2111111111	4	08:48:00 a. m.	528	X-	--	09:30:00 a. m.	570	42	MVL_1581	6.772658	9.7487	0.026
03/18/2020	2020	0.2138888889	1	07:20:00 a. m.	440	--	X-	07:27:00 a. m.	447	7	MVL_1591	4.040653	7.6172	33.7881
03/18/2020	2020	0.2138888889	1	12:05:00 p. m.	725	--	X-	12:12:00 p. m.	732	7	MVL_1596	3.777514	13.929	0.026
03/19/2020	2020	0.2166666667	2	07:50:00 a. m.	470	YX	RY	07:53:00 a. m.	473	3	MVL_1598	4.433475	7.9268	22.7693
03/19/2020	2020	0.2166666667	2	08:26:00 a. m.	506	YX	RR	08:36:00 a. m.	516	10	MVL_1600	7.566781	9.7333	28.6524
03/19/2020	2020	0.2166666667	2	11:45:00 a. m.	705	YX	YY	11:48:00 a. m.	708	3	MVL_1603	3.875676	9.3216	0.026
07/05/2017	2017	0.3444444444	1	10:45:00 a. m.	645			10:52	652	7	TuRu_06	3.97835	13.054	0.026
18/05/2017	2017	0.3722222222	1	10:00:00 a. m.	600	AA	XB	10:27	627	27	TuRu_3383	10.12218	21.756	0.026
22/05/2017	2017	0.3805555556	1	09:00:00 a. m.	540	BV	XA	09:07	547	7	TuRu_3390	3.11335	7.1935	0.026
22/05/2017	2017	0.3777777778	1	07:50:00 a. m.	470	VN	XA	07:58	478	8	TuRu_3391	2.225796	8.2556	0.026
22/05/2017	2017	0.3722222222	1	09:59:00 a. m.	599	AB	XV	10:07	607	8	TuRu_3393	2.219945	5.1576	0.026
21/05/2017	2017	0.3666666667	2	07:55:00 a. m.	475	NX	RN	08:08	488	13	TuRu_3395	4.851266	9.6129	0.026
30/05/2017	2017	0.3861111111	1	10:30:00 a. m.	630	VY	XY	10:37	637	7	TuRu_3400	2.804114	9.838	0.026
14/06/2017	2017	0.4222222222	1	08:54:00 a. m.	534	X-	--	09:01	541	7	TuRu_3460	2.462653	6.6487	0.026
12/06/2017	2017	0.4138888889	4	08:35:00 a. m.	515	XV	YA	08:46	526	11	TuRu_3462	4.364138	6.6219	0.026
03/06/2017	2017	0.3777777778	1	10:29:00 a. m.	629	YY	XY	10:36	636	7	TuRu_3481	8.304375	21.016	0.026
02/06/2017	2017	0.3722222222	4	09:17:00 a. m.	557	XY	RY	09:24	564	7	TuRu_3482	10.56361	9.1404	27.2618
02/06/2017	2017	0.3694444444	4	08:52:00 a. m.	532	XV	VA	09:03	543	11	TuRu_3483	6.638666	9.1773	28.3541
02/06/2017	2017	0.3666666667	4	07:45:00 a. m.	465	XA	RR	07:55	475	10	TuRu_3484	6.424609	7.9157	26.2219
31/05/2017	2017	0.3611111111	2	08:34:00 a. m.	514	BX	NN	08:44	524	10	TuRu_3485	2.269962	5.7449	26.5582
31/05/2017	2017	0.3583333333	2	10:21:00 a. m.	621	BX	YN	10:42	642	21	TuRu_3486	5.694811	12.09	0.026
26/05/2017	2017	0.3361111111	2	09:40:00 a. m.	580	NX	NN	09:50	590	10	TuRu_3495	3.72904	5.3154	57.5742
24/05/2017	2017	0.3277777778	3	08:31:00 a. m.	511	VA	RX	08:56	536	25	TuRu_3497	1.670049	7.3431	179.799
30/05/2017	2017	0.3416666667	1	09:38:00 a. m.	578	YY	XY	09:54	594	16	TuRu_3498	3.53429	8.2355	26.0423
30/05/2017	2017	0.3388888889	1	09:03:00 a. m.	543	AN	XN	09:14	554	11	TuRu_3499	4.554959	11.813	0.026

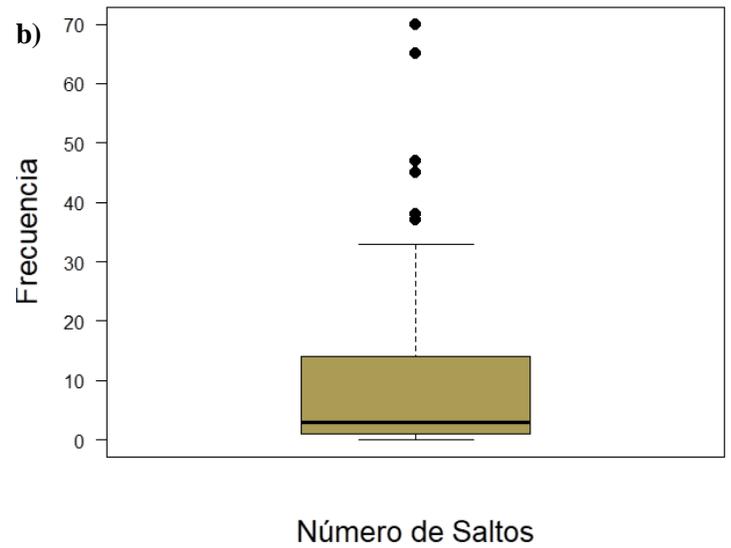
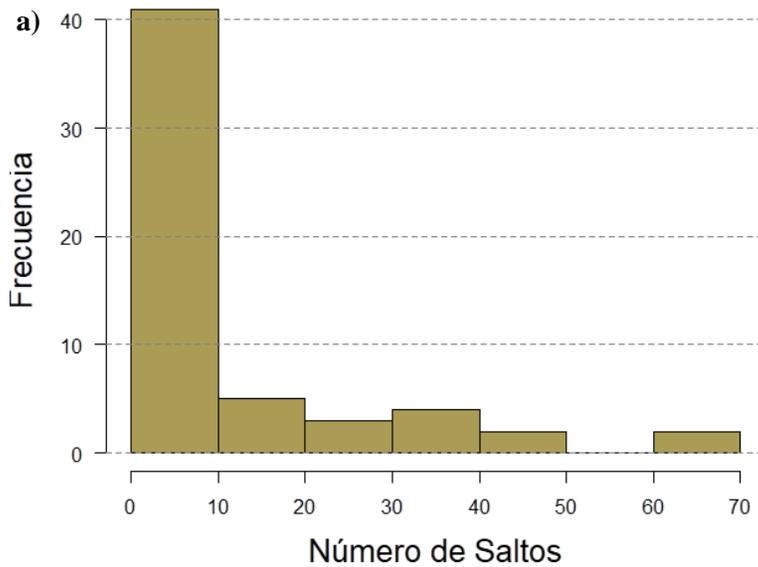
## 10.5 Estadística descriptiva de conducta exploratoria de *T. rufopalliatu*s



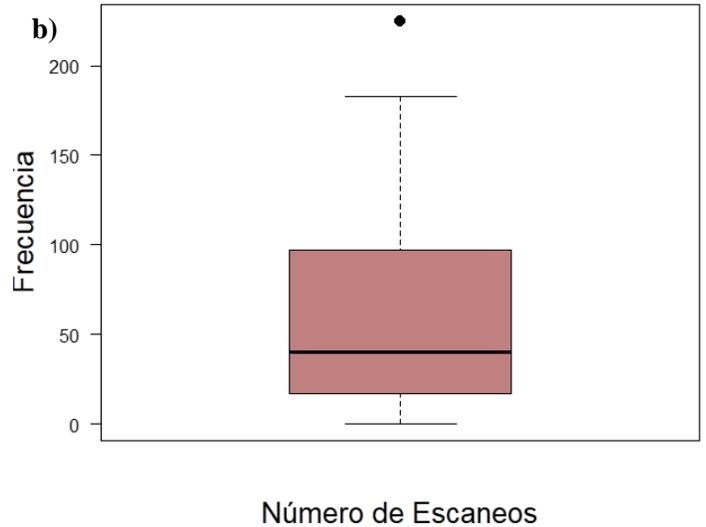
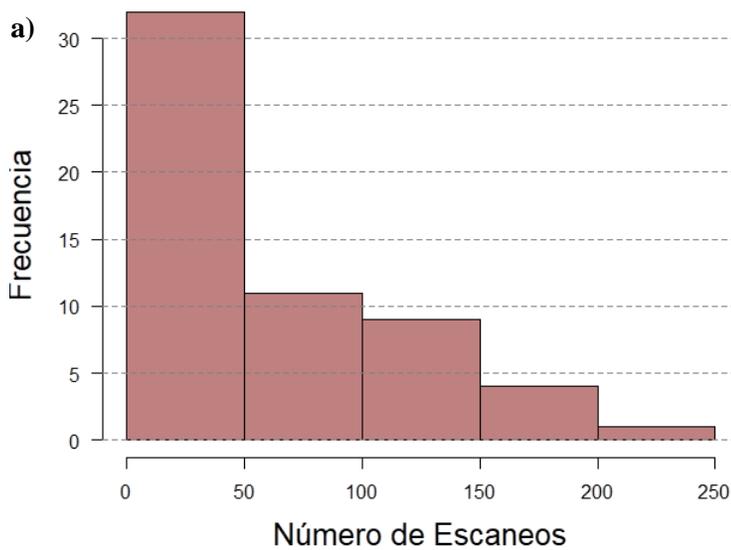
**Estadística descriptiva de tiempo volando.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos se centró dentro de los primeros 3 vuelos. Las frecuencias más bajas fueron cerca de los 10 y 15 vuelos. b) Boxplot: La mediana y el IQR fue =3, los valores atípicos son a partir de 10 a 15 vuelos y el rango abarca de 0 y 7 vuelos.



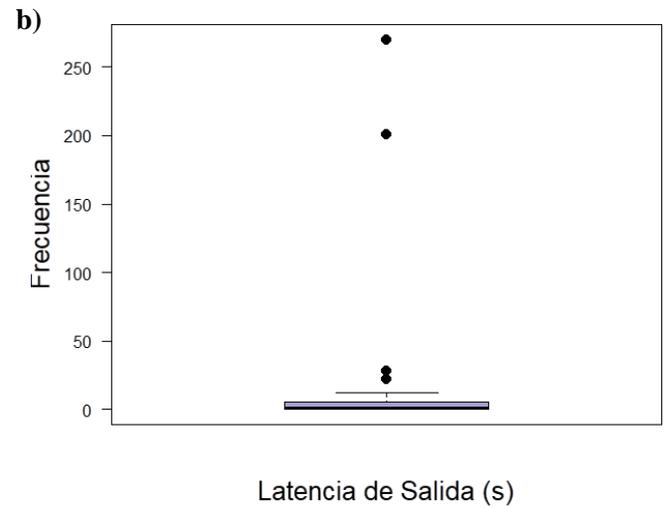
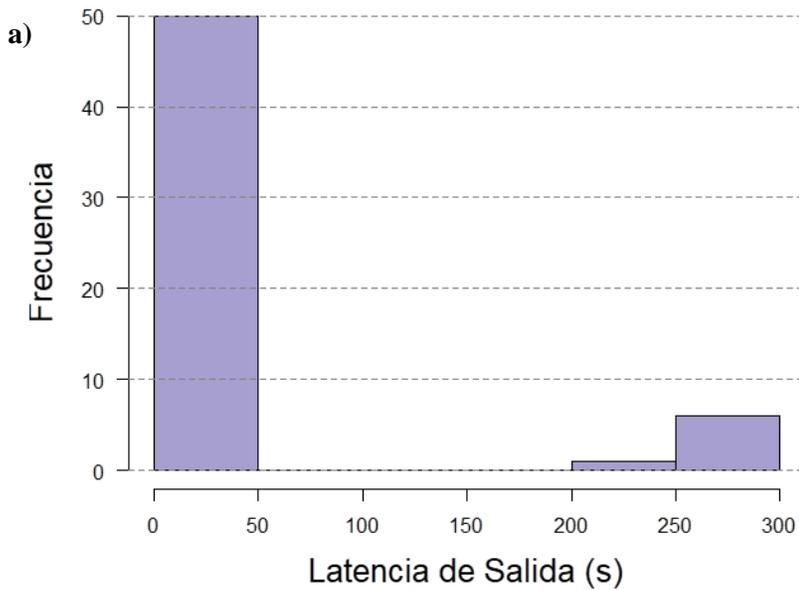
**Estadística descriptiva de número de sacudidas.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos estuvo dentro de las primeras 20 sacudidas. Las frecuencias más bajas fueron cerca de los 60, 80 y 129 sacudidas. b) Boxplot: La mediana fue =9 y el IQR=24, los valores atípicos son a partir de las 60 sacudidas hasta las 129 y el rango abarca de 0 a 129 sacudidas.



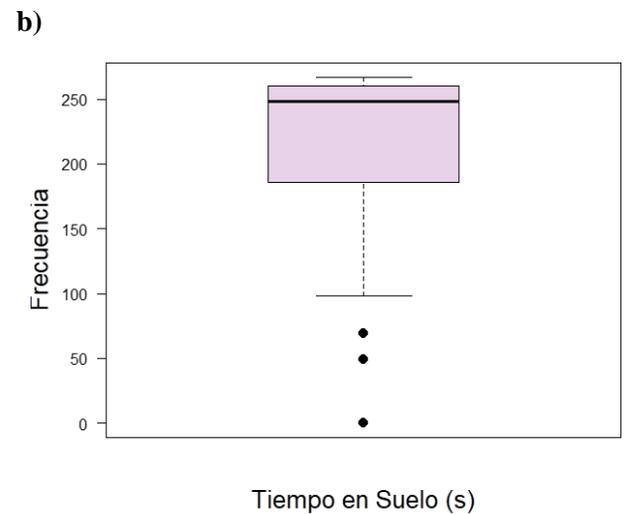
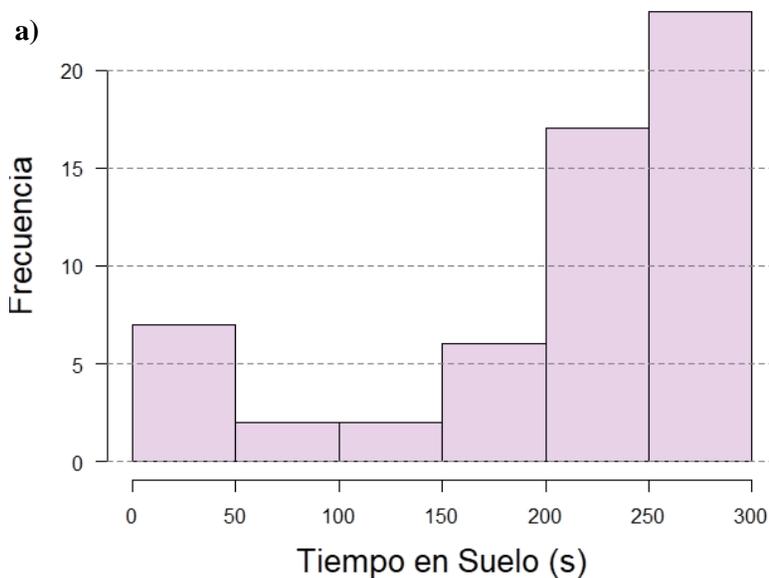
**Estadística descriptiva de número de saltos.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos estuvo dentro de los primeros 10 saltos. Las frecuencias más bajas fueron cerca de los 50 saltos. b) Boxplot: La mediana fue =3 y el IQR=13, los valores atípicos son a partir de los 35 saltos hasta los 70 y el rango abarca de 0 a 70 saltos.



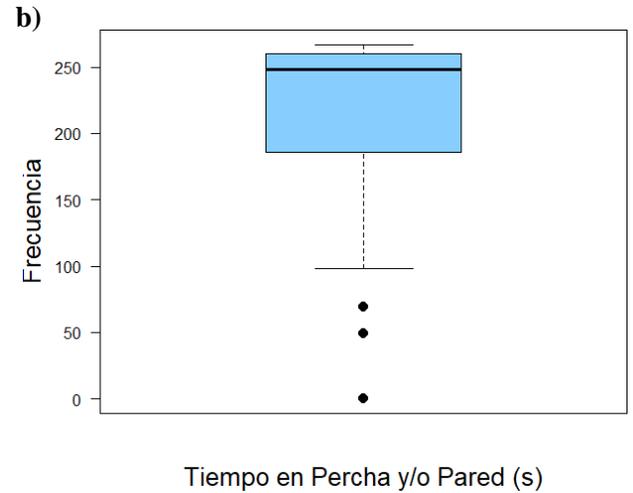
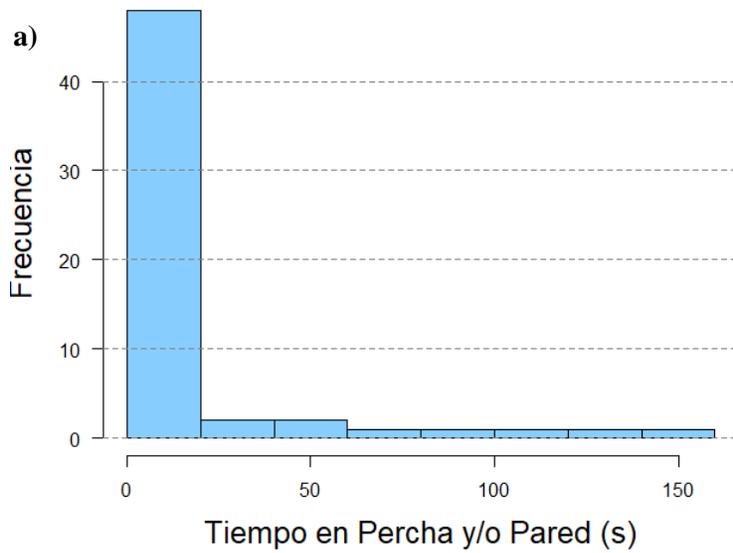
**Estadística descriptiva de número de escaneos.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos estuvo dentro de los primeros 50 escaneos. Las frecuencias más bajas fueron cerca de los 200 escaneos. b) Boxplot: La mediana fue =40 y el IQR=80, el valor atípico fue a partir de 225 escaneos y el rango abarca de 0 a 225 escaneos.



**Estadística descriptiva de la latencia de salida.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos estuvo dentro de los primeros 50 segundos. Las frecuencias más bajas fueron cerca de los 50 a los 200 segundos. b) Boxplot: La mediana fue =1.27 y el IQR=4.925 segundos, el valor atípico fue a partir de 50 segundos y el rango abarca de 0 a 270 segundos.

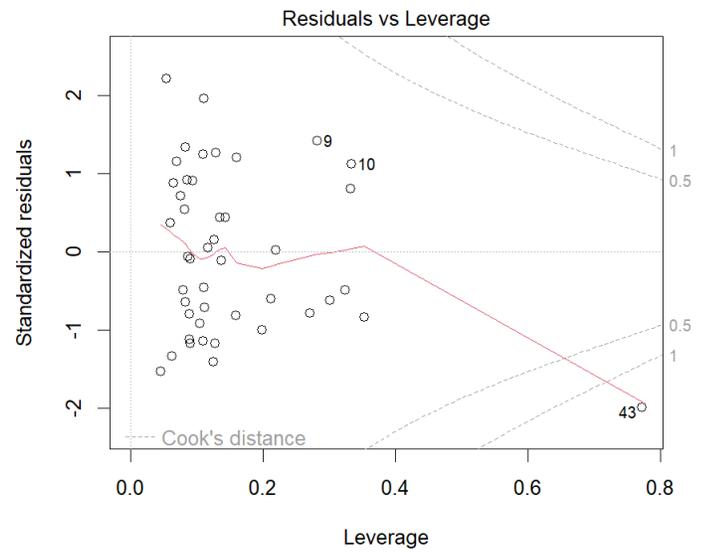
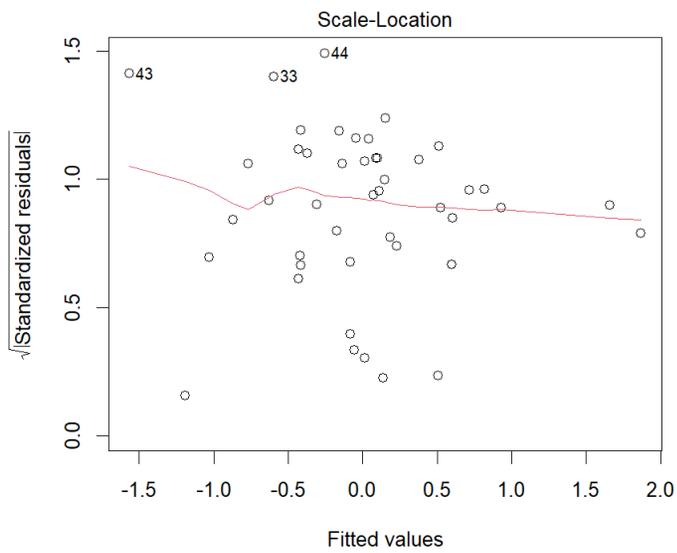
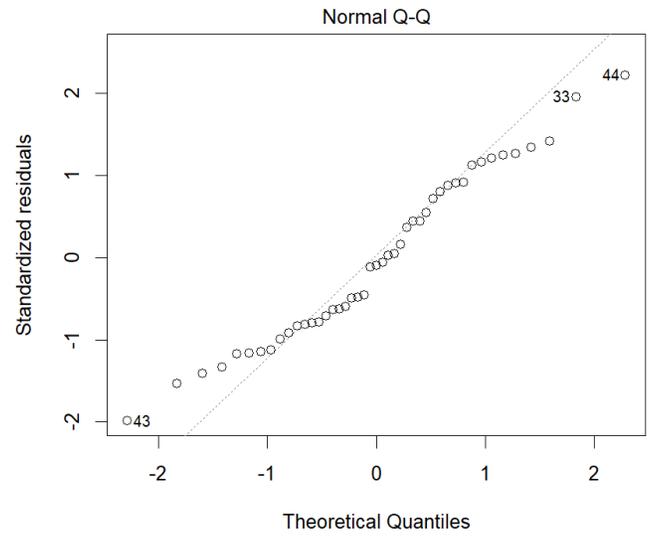
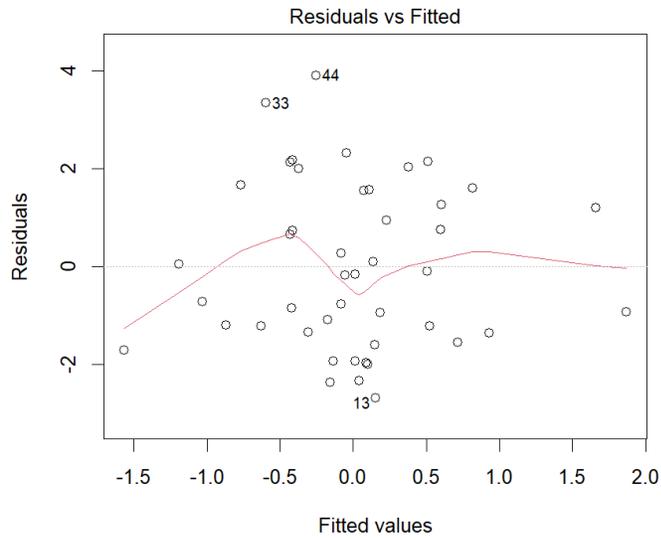


**Estadística descriptiva del tiempo en suelo.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos estuvo dentro de los primeros 200 segundos. Las frecuencias más bajas fueron cerca de los 50 a los 150 segundos. b) Boxplot: La mediana fue =248.181 y el IQR=73.978 segundos, los valores atípicos fueron a partir de 70 segundos y el rango abarca de 0 a 270 segundos.

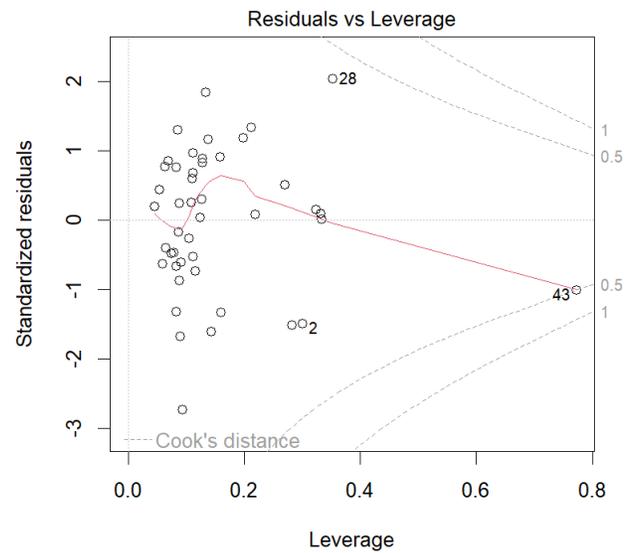
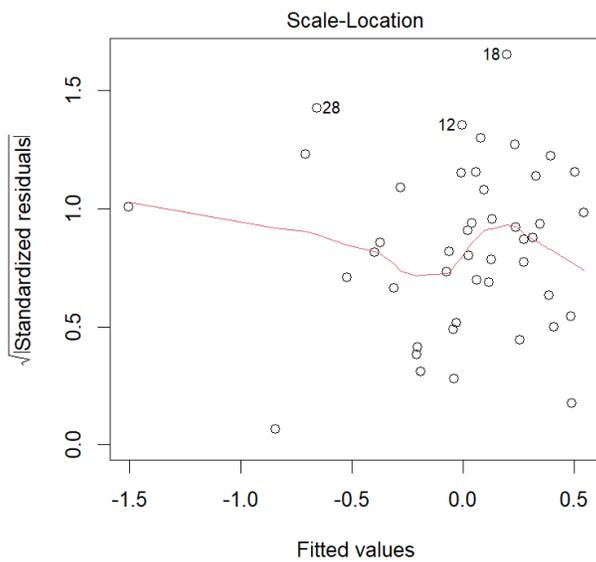
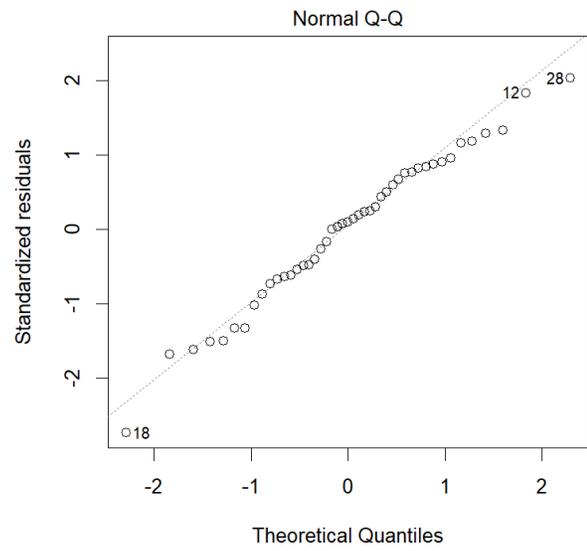
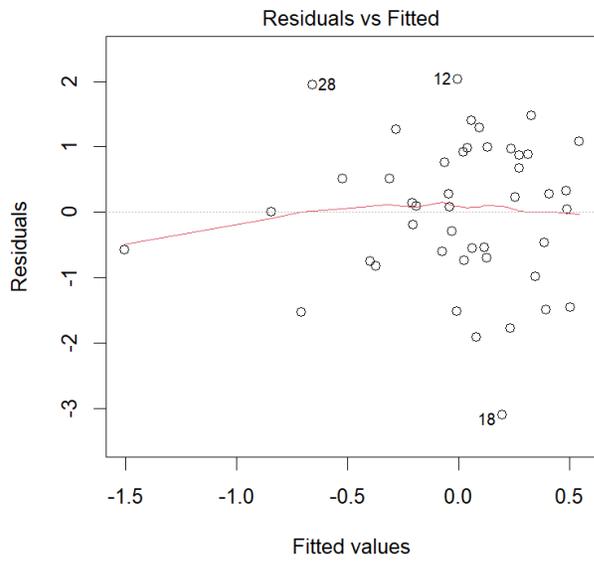


**Estadística descriptiva del tiempo en perchas y/o pared.** a) Histograma: La mayor frecuencia de individuos estuvo dentro de los primeros 13 segundos. Las frecuencias más bajas fueron a partir de los 75 a los 153 segundos. b) Boxplot: La mediana fue =1.826 y el IQR=7.719 segundos, los valores atípicos fueron a partir de 75 segundos y el rango abarca de 0 a 153 segundos.

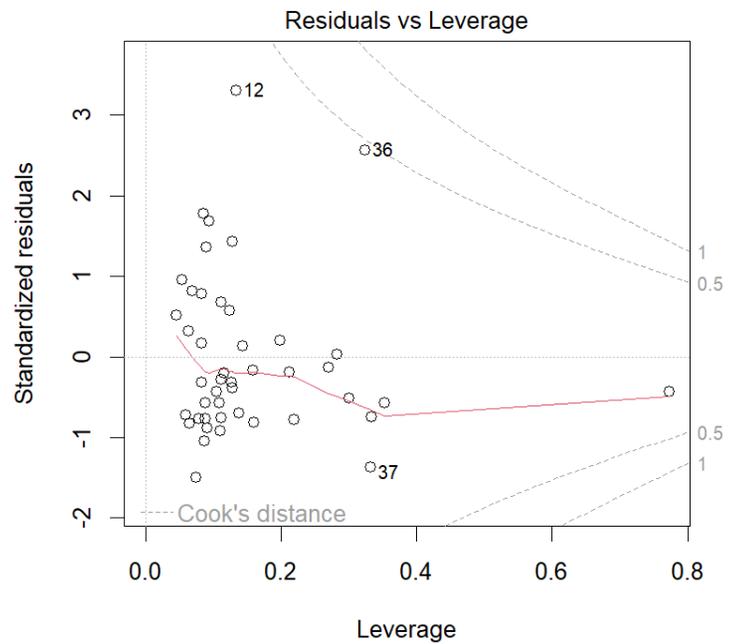
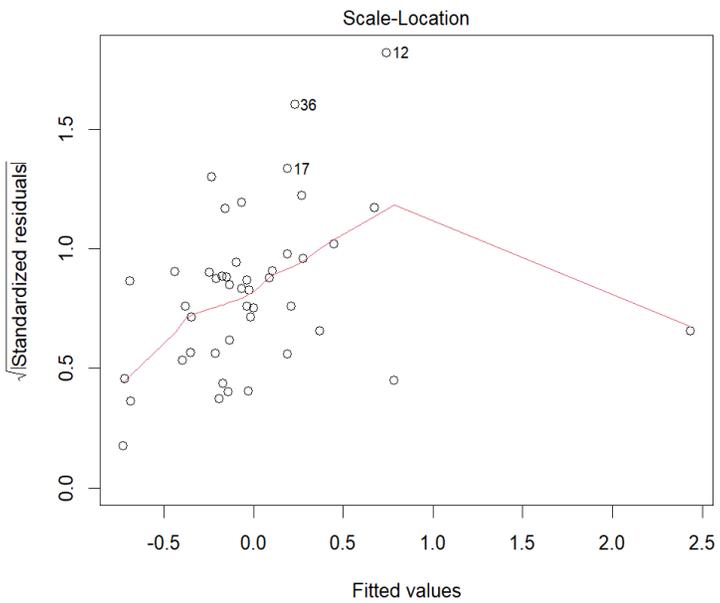
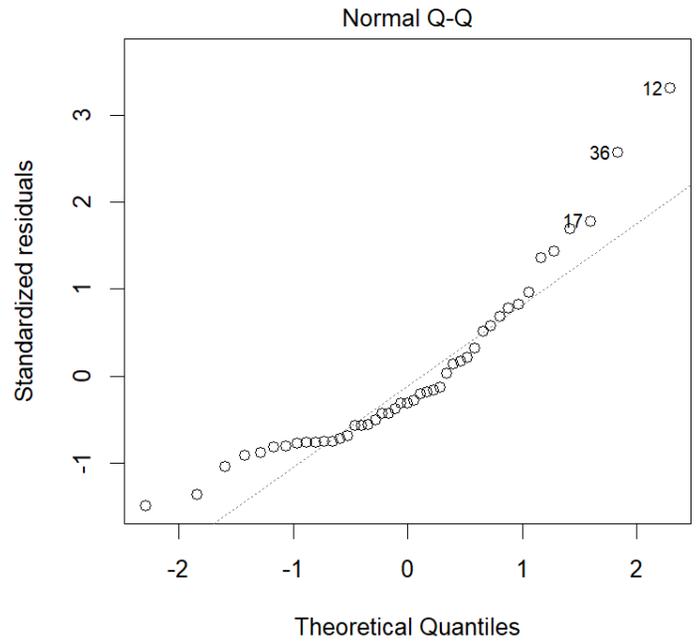
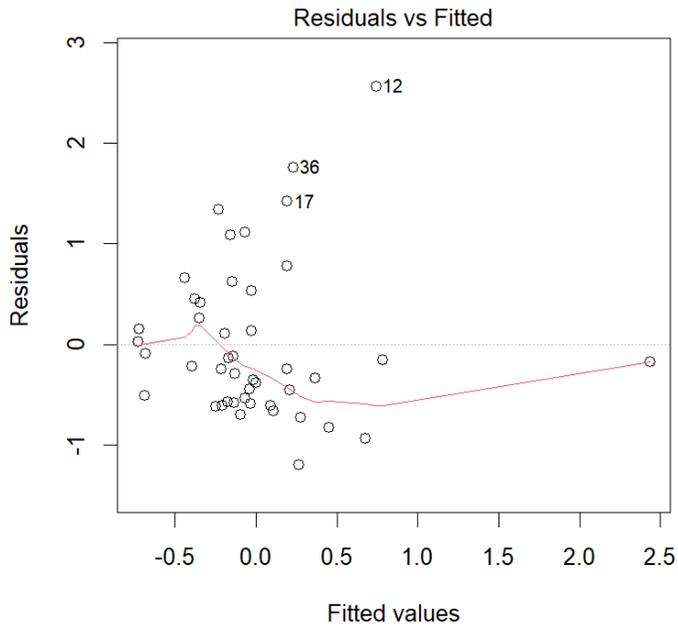
## 10.6 Evaluación de distribución de los residuos del modelo lineal PC1



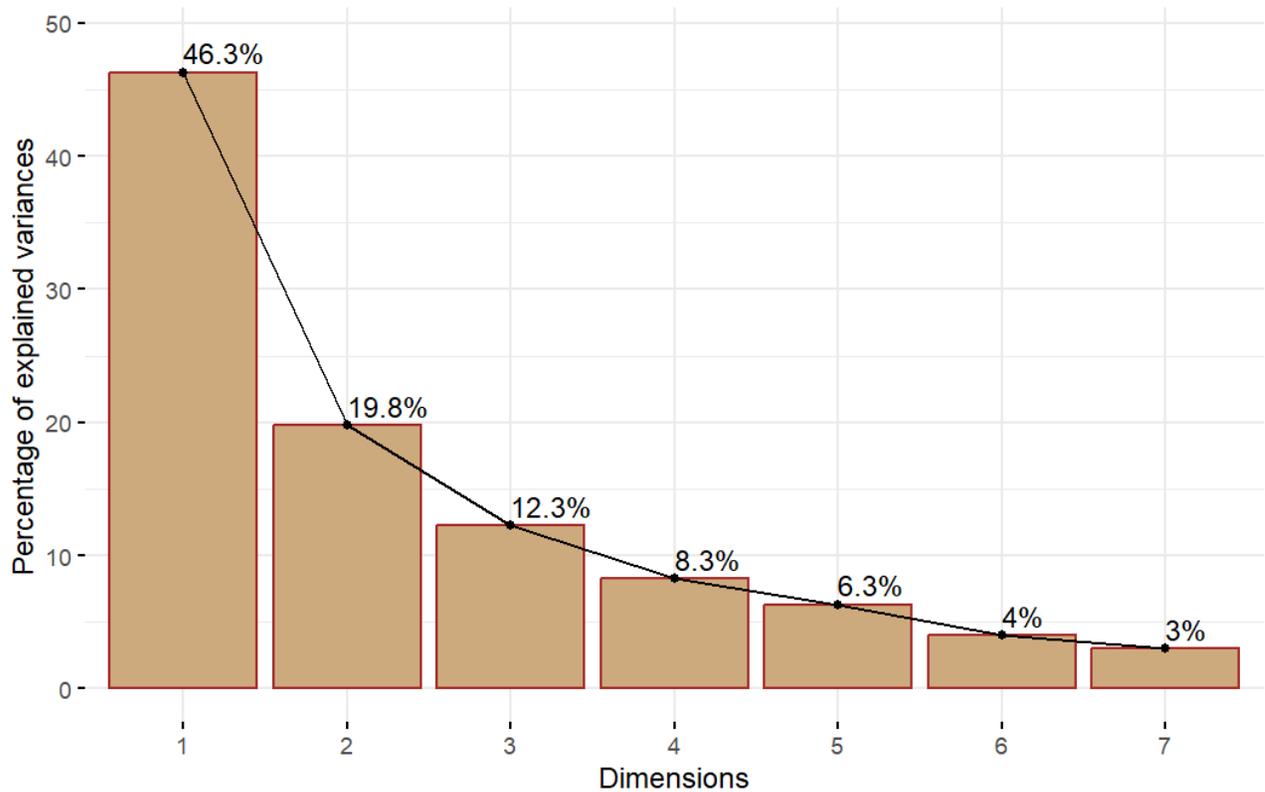
## Evaluación de distribución de los residuos del modelo lineal PC2



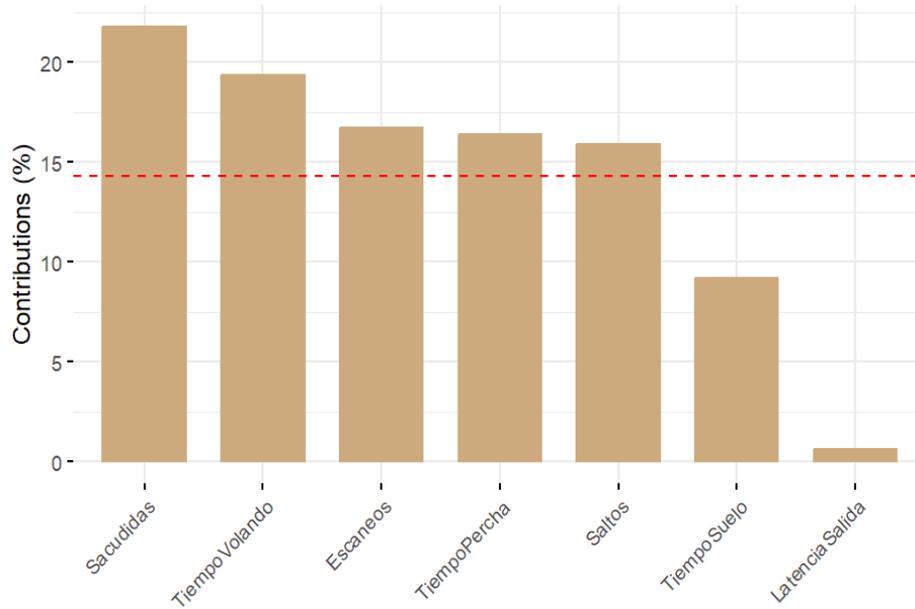
## valuación de distribución de los residuos del modelo lineal PC3



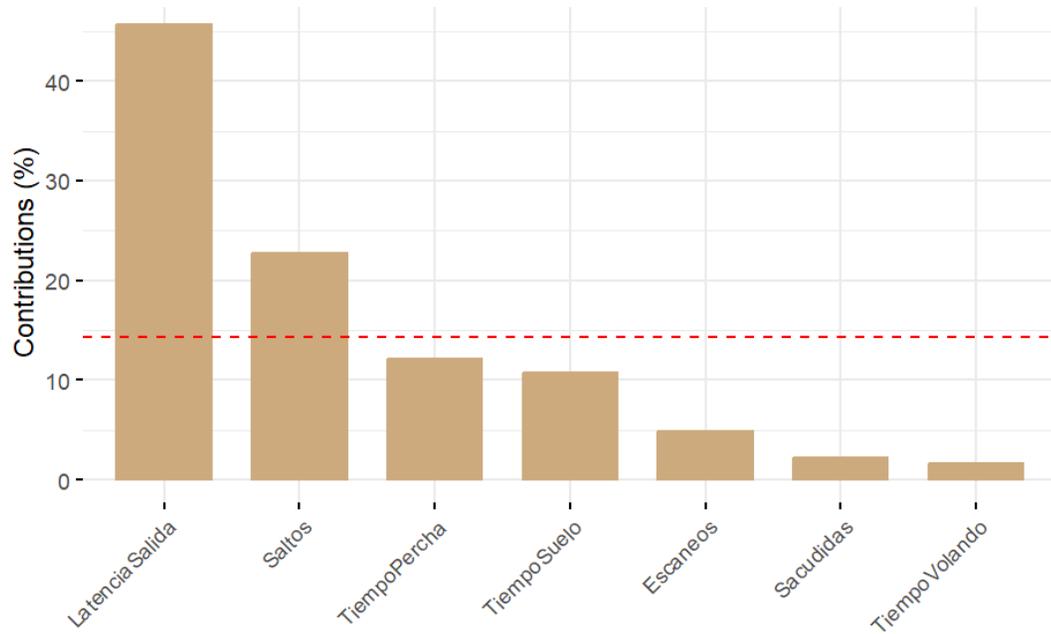
## 10.7 Porcentaje de varianza total explicada en cada componente



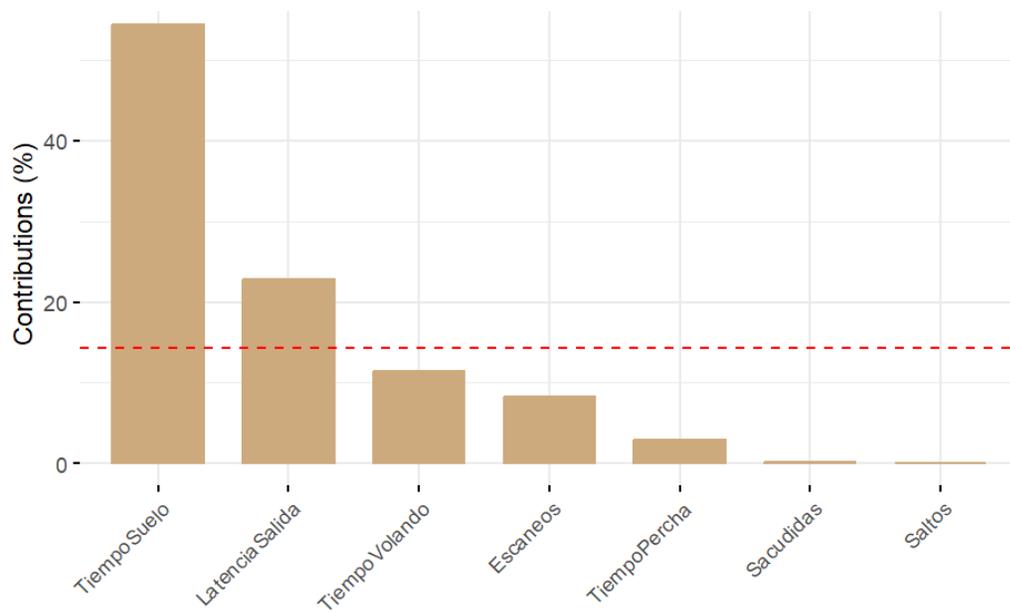
*Porcentaje de varianza total por cada componente (eigenvalores)*



*Contribución de cada carga de variables en PC1*



**Contribución de cada carga de variables en PC2**



**Contribución de cada carga de variables en PC3**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD  
DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Licenciatura en Biología

Programa Educativo de Calidad *Acreditado* por el CACEB 2018-2023

Cuernavaca, Morelos a 3 de febrero de 2023

**DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE**  
**DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E.**

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo de la Facultad de Ciencias Biológicas: **CRISTINA GUADALUPE ORGANISTA NAVA**, con el título del trabajo: **Influencia de la Cercanía a Desechos Mineros en la Conducta Exploratoria en *Turdus rufopalliatu*s en Huautla, Morelos**, bajo la codirección de la Dra. María Marcela Osorio Beristain y la Dra. Lynna Marie Kiere, realizado en Centro de Investigaciones de Biodiversidad y Conservación (CIByC) para obtener el grado académico en la Licenciatura en Biología.

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación por Tesis como lo marca el artículo 6° del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

**A T E N T A M E N T E**  
***Por una humanidad culta***

**JURADO REVISOR**

**FIRMA**

PRESIDENTE: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA

\_\_\_\_\_

SECRETARIO: DRA. ELSAH ARCE URIBE

\_\_\_\_\_

VOCAL: DRA. MARÍA MARCELA OSORIO BERISTAIN

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: M. EN C. CARMEN LORENA OROZCO LUGO

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: DRA. BIBIANA CAROLINA MONTOYA LOAIZA

\_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

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

**BIBIANA CAROLINA MONTOYA LOAIZA | Fecha:2023-02-10 11:25:49 | Firmante**

k/UMHDly78rQbjdSale802dS6mRN5CCD/d6re++Th5yxfvqc9rqSKxl/33+8ihtDli8T9BaNbw0MTgAvJwP/3cDMMpZMsjGK5Ktro4WU+dkTSFy4/MnZgy74BF174CktPQQGnl7iRf0F+WRir937UaZ9uRVTKUybDzoi/iKXMJvQRzB6xTPLgQ7UWKJR65qKto9mbpk/R9JiHiSRDgMfB91hYxnE+h6oYdx0OMWJQhuU6EAg3PwrhrREX8FH1FKjX/AyCbB+zOU090aTUX4heDp+L9vaHvIKh+Wx51/FsJQONL6EOGJwcE690F2BUOai/nMOOVryI37gBHR6TS8Kg==

**MARIA MARCELA OSORIO BERISTAIN | Fecha:2023-02-10 11:46:39 | Firmante**

bxXN45XveajFCus+NH6Ey+ZINKDj5LxG3BDqHTpyfsJ0FMSprvNdt9+7cJlpw0Mh4k+syQ3xVALIZmOrqAYIYp25YDxCOCxGeqWwL9VEUrTBUQNj478o6x4QarFS3OI5nYh+4oeSXZITi2EIkld13PD066v9Z4ffmvsvPRMEa6FQbviH1+zyMyBQb9uMRC5W+CqI3wgKKG4VpnZw+uq1WrJvN7KdpUsE+D1w9XleGWPk2AjyurmhOhR449DcaAo1I3CAGRCYOyaJxGdxYjjAjG24G2uqLsu1XDu8aztr5/2Gz2j+erOTE7fsB4NCo4sK+USK/Z4VCS15eAsscR9Q==

**ELSAH ARCE URIBE | Fecha:2023-02-10 20:15:58 | Firmante**

tI9Dh3G3ANj/AHEh7/Yq9oKH/LvRH+hm3xkcEvq1d3SAkrdcGPeROWt0DGwSmvR6ch8Cpih/C12uWIULTiWnEOe1iWRn1QpbsNm8e4bRiXyl+trJvfdc2ej2GE/dOaesSeu.JpZce8FT1zsCx2d7UIz+5iBw8jrMuDwqqLn67hdxXeUPNTKZQXwIMT9zpkQsVli2l+Lm1xtPWU7rNHGMj6dolALJgIRLdwVc4k2Na3otYZaPOz/GLv54nKYyL5TjiiJbJi7LTHVI6OWZjd7fJ941I9I+PcFywuTbI445dTWvYmkk4AagxYT4xgYSI6GnU0bjSxejXLCUCq3oaCA==

**CARMEN LORENA OROZCO LUGO | Fecha:2023-02-17 13:39:58 | Firmante**

JSmiZC0Higbp7cBGInSS2SvBfV3GGDJo4seFnmLRjdgDuihGor7k94YATm8ISIEYF48noyUkFFNNm1e9MwtEE9krFqR5/f0K70Q14PIgkYEhbZ+7uHgLSMB+Udt5eb/Cd25xWw d89t4/TfSUYU6Yr/iBFB5UFwbJgoe0AnVW6YnXMGoddeTCRl3gsgJlCbfe6Alp9K/HsHPK3nWb3qBUhZOX/Z+bDKcZeXqM/XhWwehFsTcs2ZnZ0ZgW4icrrDg/O6s7vXKC0u27MQUb+PxzGfEhd5uh1QvE7g7AhkL4Ty2sjqa/g743ZnybpiPNrp1+m+Rs3uRzHGFgQKsa2Yy6A==

**CRISTINA MARTINEZ GARZA | Fecha:2023-02-20 18:25:14 | Firmante**

UGjAt61Ra2f6Vxjso0pA+OgcESB6xqEzGoLNANHNyE1TZq7J6iz+plvnrDuaLvx3REmjVb7TVL40YEu9inelywdJebk0JfC2Mnt5oflig56CaEQiFPxcVQArVVRTBm47mBc03m6lQGcLeCOUQ6i0G68grdl0vdw34NsGoPvufTTuJHCIC+V/YK8KRSEmzBBanYeY5Z5A9MK2dmpdhB431Dr2ySgAnKAX5F5Udm3j0Ej9gUP6iy4Kd5IEEb40KD3KpZM2ytYaWIR4RE3hkVcOsyAr0q3nQWeTVh5wcfikssNIIZX4/oEitD2vxPI3Qg/DzTaBo750VqmoJLG7nRYg==

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



QT8LS327e

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/DqGkObmK13joUyAweYANWoZacFANKLz>

