

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



“Análisis preliminar para determinar la presencia de plomo en las plumas de las poblaciones de *Psittacara strenuus* que habitan en Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador”

Trabajo De Graduación Presentado Por:

VALERIA ANDREA LÓPEZ PAREDES	LP16005
GABRIELA MARÍA RUDAMAS PALACIOS	RP14060

Para Optar al Grado de:

Licenciada en Biología

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2025.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



“Análisis preliminar para determinar la presencia de plomo en las plumas de las poblaciones de *Psittacara strenuus* que habitan en Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador”

Trabajo De Graduación Presentado Por:

VALERIA ANDREA LÓPEZ PAREDES

LP16005

GABRIELA MARÍA RUDAMAS PALACIOS

RP14060

Para Optar al Grado de:

Licenciada en Biología

Docente asesor:

LIC. JAIRO GALILEO MARROQUIN ELIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



“Análisis preliminar para determinar la presencia de plomo en las plumas de las poblaciones de *Psittacara strenuus* que habitan en Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador”

Trabajo De Graduación Presentado Por:

VALERIA ANDREA LÓPEZ PAREDES	LP16005
GABRIELA MARÍA RUDAMAS PALACIOS	RP14060

Para Optar al Grado de:

Licenciada en Biología

TRIBUNAL CALIFICADOR:

Jurado interno:

LIC. JAIRO GALILEO MARROQUIN ELIAS
M. SC. MIGUEL ANGEL MORENO MENDOZA
LIC. ROBERTO ANTONIO NAVARRO LINARES

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2025

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

VICERRECTORA ACADÉMICA

DRA. EVELYN BEATRIZ FARFÁN MATA

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FISCAL

LIC. CARLOS AMÍLCAR SERRANO RIVERA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANA

M.Sc. ÁNGELA GUDELIA PORTILLO DE PÉREZ

VICEDECANO

DR. NERYS FUNES TORRES

SECRETARIO

LIC. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA APARICIO

DIRECTOR DE LA ESCUELA DE BIOLOGÍA

M.Sc. MIGUEL ÁNGEL MORENO MENDOZA

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2025

DEDICATORIA

A la vida, por darme todas estas experiencias, por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, por darme las cualidades y habilidades útiles para desarrollarme, porque a pesar de los altos y bajos sé que la vida me tiene preparada muchas cosas.

A mi papi, un hombre que siempre fue un pilar fuerte para hacerme recorrer este camino de la vida, mi confidente que siempre tuvo paciencia desde enseñarme a dibujar un 2 hasta hacerme dibujos de cuchitos y que ahora me ayudó hasta dar este paso.

A mi mami, la mujer más valiosa de la vida, que ha sido fuente de inspiración para mi persona, una mujer fuerte, valiente y resiliente, a la cual le agradezco que me presionara y me impulsara en mi carrera profesional.

A mi abue, mi viejis, la señora que nos puso en San Salvador, sin su valentía y fortaleza las siguientes generaciones no fuéramos lo somos.

A mi hermanito, Kevin, por soportarme y siempre darme ánimos, por también ser fuente de fortaleza para mí.

A mi tío German, que ha sido una segunda figura paterna, que admiro y que siempre me impulsó a seguir.

A mis bendis, Nucita y Cani que han sido mi soporte emocional durante toda la carrera.

A mis amigos de la carrera, mis colegas, con los que vivimos muchas aventuras y experiencias.

A mis amigas más cercanas Ana, Alba, Eunice y Ruth, las cuales siempre estuvieron dándome su apoyo incondicional.

A mi versión de niña, porque si esa Valeria niña, soñadora no hubiese querido ser bióloga nada de estuviera pasando, si esa niña no tuviera ese amor, cariño y curiosidad por la naturaleza no sería posible esta investigación.

Valeria López

A mis padres, con todo mi amor y gratitud, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de estos años de esfuerzo constante. Su respaldo económico, pero sobre todo emocional, ha sido el pilar que me sostuvo en los momentos más difíciles, cuando dudaba si podría culminar esta etapa. Gracias por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía.

A mis amigos y amigas, por estar siempre presentes, atentos a mi proceso, y por brindarme su apoyo emocional sin condiciones. Su compañía y palabras de aliento han sido un refugio invaluable en este camino.

A Valeria López, mi compañera de tesis, cuyo compromiso, dedicación y talento fueron esenciales para el desarrollo de esta investigación. Desde el inicio, su disposición y habilidades complementaron las mías, haciendo que este recorrido fuera mucho más llevadero, especialmente en los momentos en que me sentía perdida en la última fase de mis estudios. Su apoyo constante, tanto académico como emocional, me permitió superar obstáculos y avanzar con confianza. Más allá del trabajo compartido, valoro profundamente la amistad y el respeto mutuo que hemos cultivado.

Finalmente, a todas las personas que, con su generosidad y entrega, hicieron posible la realización de esta tesis. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro también es suyo.

Gabriela Rudamas

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos enormemente al Licenciado Jairo Marroquín, quien fungió como nuestro asesor, por su apoyo, orientación, ayuda y aportes a nuestra investigación, quien con mucha paciencia nos proporcionó su tiempo y dedicación, y hasta surgió una amistad.

Agradecemos al Dr. Diego Chicas, quien fue un gran apoyo en la parte de laboratorio, que sin él esto no hubiese sido posible, agradecemos por su tiempo, sus aportes y orientación en todo momento de la investigación.

Al Licenciado Ramiro Rodríguez quien nos asesoró en todo momento al analizar las muestras, además de sus aportes en la teoría de nuestro trabajo, agradecemos su tiempo.

Al Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) por apoyarnos en la parte de los análisis de las muestras, por su apoyo en que se pudo utilizar el equipo necesario.

Al Lic. Ricardo Ibarra que sin sus proyectos del pericón verde no hubiésemos tenido esta idea de investigación.

A la Universidad “José Simeón Cañas” que nos apoyaron dejándonos realizar nuestro estudio dentro del campus y se nos permitió dar este aporte.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. OBJETIVOS.....	4
III. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5
3.2 BIOLOGÍA DE LA ESPECIE.....	8
3.2.1 CLASE AVES.....	8
3.2.2. PLUMAS.....	10
3.2.3 ORDEN PSITTACIFORMES.....	10
3.2.3 FAMILIA PSITTACIDAE.....	11
3.2.4 Psittacara strenuus (Ridgway, 1915).....	12
3.2.5 ESTADO ACTUAL DE Psittacara strenuus.....	15
3.3 METALES PESADOS Y ECOTOXICOLOGÍA.....	16
3.3.1 PROPIEDADES DE LOS METALES PESADOS.....	16
3.3.2 PLOMO.....	16
3.3.4 ECOTOXICOLOGÍA.....	18
3.3.4.1 ECOTOXICOLOGÍA EN AVES.....	18
3.4 ESPECTROSCOPIA.....	20
3.4.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	21
3.4.2 MÉTODO DE ADICIÓN ESTÁNDAR.....	21
VI. METODOLOGÍA.....	26
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	26
4.2 METODOLOGÍA DE CAMPO.....	26
4.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO.....	28
4.3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	28
4.3.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	29
VII. RESULTADOS.....	31
VIII. DISCUSIÓN.....	33
IX. CONCLUSIONES.....	37
X. RECOMENDACIONES.....	38
XI. REFERENCIAS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	11
FIGURA 2.....	17
FIGURA 3.....	19
FIGURA 4.....	29
FIGURA 5.....	31
FIGURA 6.....	32
FIGURA 7.....	32
FIGURA 8.....	32
FIGURA 9.....	32
FIGURA 10.....	33
FIGURA 11.....	33
FIGURA 12.....	34
FIGURA 13.....	35
FIGURA 14.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	36
--------------	----

RESUMEN

Las aves urbanas pueden actuar como indicadores de la contaminación ambiental. Debido a esto, se realizó un estudio donde se evaluó la presencia de plomo en plumas de *Psittacara strenuus* en Antiguo Cuscatlán, La Libertad, para determinar si estas poblaciones presentan bioacumulación de dicho metal.

Se realizaron muestreos no invasivos entre noviembre 2023 y enero 2024 en el campus de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), cerca de los dormideros de la especie. Donde se colectaron plumas mudadas (primarias y de cola), donde posteriormente fueron lavadas, secadas, maceradas y digeridas con ácido nítrico. Seguidamente la determinación de plomo se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica de llama, utilizando la técnica analítica de adición patrón.

Los resultados mostraron una concentración promedio de 5.08 ppm de plomo, valor que supera el límite de no letalidad de 4 ppm (Tsipoura et al., 2011). Esto indica que los individuos estudiados están expuestos a niveles potencialmente tóxicos, y esto puede generar alteraciones neurológicas, digestivas, reproductivas, incluso la muerte.

Entre las posibles fuentes de contaminación se encuentran pinturas con plomo, emisiones industriales y posiblemente la gasolina. Estos hallazgos confirman que *Psittacara strenuus* no solo es una especie característica e importante, sino que también un bioindicador clave para los ecosistemas. Se recomienda ampliar el monitoreo a otras áreas urbanas y otras técnicas para identificar fuentes de contaminación para diseñar estrategias de mitigación.

I. INTRODUCCIÓN

El Salvador es un país con alta densidad poblacional, donde su mayor parte se concentra en la zona metropolitana de San Salvador, lo que ha ocasionado que durante muchos años la ciudad ha sido un foco de contaminación debido a diferentes factores como la industria. Sin embargo no se reporta información específica sobre contaminación directa en zona metropolitana en vertebrados con plomo. Ejemplo , en el país el fenómeno más importante y controversial fue en el año 2010, la emergencia por intoxicación por plomo en las comunidades del cantón Sitio del Niño, debido a un accidente de las baterías Record (Aquino y et. al., 2025). Esto ocasionó elevados niveles de contaminación por plomo en el ambiente del área y zonas aledañas, donde se encontraron altas concentraciones de dicho metal en el suelo y agua, que incluso era consumida por los pobladores, provocando así diferentes problemas de salud en los habitantes del cantón. (MARN 2010).

A pesar de esta catástrofe que sucedió no se han desarrollado estudios exhaustivos sobre los niveles de plomo a los que se encuentra expuesta la población salvadoreña en general, lo cual resulta preocupante, pues se conoce que este es un metal altamente tóxico no sólo para los seres humanos, sino para los diferentes componentes del ambiente, como las aves.

En esta investigación se pretendió analizar las poblaciones de *Psittacara strenuus* para determinar existencia de plomo acumulado en sus plumas y cuantificar los niveles de plomo encontrado, por medio de un análisis de espectroscopia de absorción atómica mediante horno de grafito, debido a que es la manera más eficaz debido a su alta sensibilidad, además que resulta ser una técnica menos invasiva con los organismos, en especial con esta especie que se encuentra amenazada.

Los resultados de dicho estudio, son de gran relevancia para determinar la calidad del ambiente metropolitano con respecto a los niveles de plomo y este estudio fue un precedente para estudiar otras especies que pueden ser indicadoras de contaminación de plomo como de otros metales pesados, ya que en nuestro país sólo se han desarrollado estos estudios en invertebrados acuáticos y componentes como el agua o el suelo.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Detectar preliminarmente la presencia de plomo en plumas de *Psittacara strenuus* recolectadas en el campus de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), en Antigua Cuscatlán, La Libertad, mediante espectroscopía de absorción atómica en llama.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar la concentración de plomo en las muestras de plumas de *Psittacara strenuus* mediante espectrometría de absorción atómica con llama.

Determinar la importancia del uso de plumas de *Psittacara strenuus* como bioindicador de contaminación ambiental por plomo en Universidad Centroamericana: “José Simeón Cañas”, Antigua Cuscatlán, La Libertad.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Son individuos vertebrados, de sangre caliente, que se desplazan caminando, saltando, también se mantienen sólo sobre las extremidades posteriores, mientras que las extremidades anteriores están modificadas como alas que, la cual es una de de las principales características únicas de estos individuos ya que son adaptaciones para volar, aunque no todas vuelan. Tienen el cuerpo recubierto de plumas y, las aves actuales, un pico córneo sin dientes. Su reproducción consta en poner huevos, los cuales son incubados para luego eclosionar , está especie es Ovípara. Las aves son los tetrápodos (animales de 4 extremidades) más diversos. (Ayuntamiento de Valverde, s.f)

Respecto a las aves y su afección por el plomo, existen diversas especies siendo fuertemente afectadas por la contaminación de este metal pesado, principalmente por la alta toxicidad que posee, estudios revelan que millones de individuos mueren a causa de dicha contaminación, tan solo en EE.UU. refleja más de tres millones muertes por año. La contaminación ocasionada por las actividades pesqueras, mineras, industriales y de caza, son las principales fuentes que afectan a las poblaciones de aves .(Bocanegra Olavarria D ,Cespedes Caceres C, Fernández Sánchez K, Galdo Lavado R, Ticuña Blas W, Iannacone J .2024). En la mayoría de casos las aves son contaminadas por inhalar y digerir el metal, está última es considerada como la causa principal debido a la dieta de las aves, ya que existen múltiples tipos de dietas por ejemplo: granívoras, carnívoras, geofagas, entre otras, uno de los aspectos más característicos del Plomo es que es bioacumlable y esto permite que se almacene por largo tiempo dentro del cuerpo que lo ingiere.(De Francisco et al., 2003)

Dado que el plomo puede transportarse fácilmente a través del aire, el agua y las redes tróficas, es fundamental evaluar su presencia en la zona metropolitana de San Salvador para comprender sus impactos en la salud humana (Elika, 2023). Además, la industrialización en esta región podría estar contribuyendo a un aumento en los niveles de plomo en el ambiente.

El uso de aves como biomonitores de metales pesados ha demostrado ser eficaz en diversos ecosistemas, incluidas zonas urbanas altamente contaminadas y áreas protegidas. Estos estudios permiten evaluar la calidad ambiental y detectar la presencia de metales pesados con posibles impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana

(Buelvas-Soto, Marrugo-Madrid & Marrugo-Negrete, 2021; Olalla-Kerstupp et al., 2020; Seco Pon et al., 2011). El biomonitorio en aves puede realizarse mediante el análisis de diversas muestras, como sangre, tejidos hepáticos, óseos, renales, pulmonares, cerebrales, musculares, de bazo y corazón. Sin embargo, también existen métodos menos invasivos, como el análisis de huevos, heces, egagrópias y plumas. Las plumas presentan ventajas significativas, ya que reflejan los niveles de metales pesados presentes en la sangre durante su crecimiento y permiten estudios a largo plazo sin afectar a los individuos (Estrada-Guerrero & Soler-Tovar, 2014).



Figura 1. Pareja de *Psittacara strenuus* encontrada en la Universidad Centroamericana: “José Simeón Cañas” fotografiada por Valeria López (2025).

La exposición y absorción de plomo en *Psittacara strenuus* podría representar una amenaza adicional para su supervivencia. Se ha documentado que el plomo en aves puede causar malformaciones, problemas cardíacos e intoxicaciones letales, contribuyendo a la disminución de sus poblaciones y aumentando su riesgo de extinción (Rodríguez-Ramos et al., 2009).

En este contexto, la especie *Psittacara strenuus* podría desempeñar un papel clave en este tipo de investigaciones. Esta ave, que habita en la zona metropolitana de San Salvador y realiza migraciones locales en busca de alimento y refugio, podría estar expuesta al plomo presente en el aire, agua, suelo y alimentos. Además, se encuentra en estado de amenaza debido a la caza, el tráfico ilegal de sus crías y la reducción de su hábitat causada por la urbanización, industrialización y el cambio de uso del suelo para actividades agrícolas y ganaderas (MARN, 2018).

El estudio ecotoxicológico en aves ha cobrado relevancia a nivel mundial. Un hecho histórico que impulsó el desarrollo de la ecotoxicología como disciplina ocurrió en las décadas de 1950 y 1960, cuando el uso indiscriminado del DDT causó un incremento en la mortalidad de aves. Como resultado, se hizo evidente la necesidad de una ciencia que estudie los efectos de los contaminantes en los ecosistemas (Planes & Fuchs, 2015). En la actualidad, se han realizado numerosos estudios sobre la presencia de plomo y otros metales pesados en aves, especialmente en humedales donde las especies acuáticas son vulnerables al consumo de perdigones de plomo. Sin embargo, también se han desarrollado investigaciones en aves urbanas, expuestas a contaminantes provenientes de desechos industriales, emisiones vehiculares y aguas residuales (Martínez-Haro, 2010; Mateo, 2011; Olalla-Kerstupp et al., 2020; Valladares-Faundez, Cáceres & Valdés, 2020; Guzmán-Velasco et al., 2021).

Para el análisis de metales pesados en plumas, se han desarrollado diversos métodos y protocolos. Se pueden utilizar plumas recolectadas directamente de los individuos o aquellas caídas en nidos y en el campo. La cantidad de muestra requerida oscila entre 10 mg y 200 mg, incluyendo tanto el raquis como las barbas, lo que permite obtener resultados confiables (Muñoz García et al., 2016).

Desde 2003, se han reportado casos de intoxicación por plomo en habitantes del cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico, La Libertad, ubicado a 25 km de San Salvador. (MARN 2010).

Estas intoxicaciones fueron causadas por el manejo inadecuado de los desechos producidos por una fábrica de baterías para automóviles y su posterior abandono. Los residuos, con altos niveles de plomo, se filtraron en el suelo y contaminaron el agua subterránea consumida por los pobladores (MINSAL, 2010).

La zona metropolitana de San Salvador ha registrado niveles elevados de contaminación en aire, agua y suelo (MARN, 2023; Alvarado, 2017). Este fenómeno se debe a diversas

actividades antrópicas, entre ellas la alta densidad poblacional y el manejo inadecuado de desechos sólidos y residuos líquidos, lo que ha resultado en la presencia de metales pesados en el entorno.

Estudios realizados por Huang y Mayer (2019), en sangre completa heparinizada de aves, una concentración de plomo de 20 mcg/dL (0,2 ppm) sugiere intoxicación por plomo, y una concentración de 50 mcg/dL (0,5 ppm), junto con signos clínicos, es diagnóstica. 1,3,4 Hay máquinas para análisis de plomo en el punto de atención disponibles por aproximadamente \$3300. Los niveles séricos/plasmáticos de zinc pueden variar de 2,5 a 29 ppm. Niveles séricos/plasmáticos de zinc tan bajos como 2,5 ppm pueden causar signos clínicos; 200 mcg/dL (2,0 ppm) sugieren intoxicación, y niveles de 4,0 ppm son aún más sugestivo.

Fonseca (2018) realizó un estudio en *Athene canicularia*, analizando plumas colectadas en el suelo cerca de madrigueras y empleando la técnica de ICP para la determinación de metales pesados. Estas metodologías han demostrado ser herramientas valiosas en el estudio de contaminantes ambientales y su impacto en la fauna silvestre.

3.2 BIOLOGÍA DE LA ESPECIE

3.2.1 CLASE AVES

Las aves son un grupo clasificado en la clase Sauropsida endotermos filogenéticamente cercano a los reptiles, específicamente más a los reptiles extintos llamados Dinosaurios. Son organismos que se caracterizan por tener extremidades anteriores modificadas como alas y otras adaptaciones para la capacidad de volar, aunque algunas especies no lo hacen. Según Guzmán (2020) las aves se clasifican en la clase Sauropsida, debido a que presentan características como escamas córneas, cráneo diápsido, anillo esclerótico compuesto y la estructura del oído llamada columela. Además estas pertenecen a la Superclase Dinosauria, ya que presentan plumas y estructuras de las cinturas escapular y pélvica, poseen la cubierta de plumas y presencia de escamas córneas, presentan sacos aéreos.. Se encuentran dentro del orden Saurischia, por la posición de los huesos de la pelvis. Y al suborden Theropoda, por ser bípedos y tener entre dos y tres dedos en las extremidades anteriores, mientras que en las extremidades posteriores poseen cuatro dedos, tres dirigidos hacia adelante y uno hacia atrás (conocido como hallux).

Son vertebrados de respiración pulmonar, homeotermos, caracterizados por estar cubiertos de plumas, ser ovíparos, con cráneo provisto de un solo cóndilo occipital. Sus miembros anteriores fueron transformados en alas. Sin embargo, todas las aves caminan sobre dos

patas posteriores, que suelen tener cuatro, tres o dos dedos, donde cada dedo presenta largas uñas. (Juvier 2003).

Las aves son animales vertebrados donde la anatomía posee estructuras que facilitan el vuelo; el esqueleto es una de ellas el cual presenta características de ser compacto y ligero, con huesos huecos, que ayudan a que el ave disminuya su peso. Otra adaptación es su sistema respiratorio, el cual presenta varios sacos aéreos que le ayudan a optimizar la asimilación de oxígeno. Las plumas son otra adaptación, tal vez la más evidente que se asocia al vuelo, esta característica es propia del grupo de las aves. Estas son estructuras epidérmicas, derivadas de la piel constituidas por queratina. (Buencuerpo-Arcas y et. al. 2016; Maruri-Aguilar, García-Valdés y Pineda-López 2013)

Las plumas son formaciones córneas, inertes, muy ligeras, formadas por un eje tubular (el cañón) sobre el cual se disponen filamentos imbricados de queratina formando una lámina (bandera), dividida en una gran variedad de elementos. Está formada por cuatro partes principales, donde el raquis sirve de eje central y en los márgenes crece el vexilo, mientras que las bárbulas son una lámina que forman una red de pequeñas uñas entrelazadas; y las barbas son láminas rectas, perpendiculares al raquis. (Maruri-Aguilar, García-Valdés y Pineda-López 2013)

Se presentan diferentes tipos de plumas y cada una presenta una función específica. Las cobertoras son el revestimiento de todo el cuerpo, cubren y delimitan el cuerpo del ave; las remeras dan la forma a alas; las rectrices forman el abanico de la cola, las semiplumas mantienen el calor corporal; el plumón sirve como sistema aislante; las filoplumas son sensitivas al movimiento de las cobertoras; y las cerdas son las protectoras frente al polvo y agua. Las aves presentan tres tipos de plumajes diferentes a lo largo de su ciclo de vida, al nacer presentan plumones, luego un plumaje juvenil, finalizando con un plumaje adulto. Aunque estas son estructuras que se mudan periódicamente entre una o dos veces al año, dependiendo de la especie. (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez 2014)

Las aves se representan en dos grupos dependiendo de la forma de sus mandíbulas, las paleognatas y neognatas. Las paleognatas son las aves llamadas ratites, pertenecientes al orden Tinamiformes y Struthioniformes, las cuales carecen de quilla en el esternón y poseen alas reducidas. Ambos órdenes cuentan con un paladar primitivo. Mientras que las neognatas, son las aves con paladar derivado, cuyo vómer no se articula con pterigoides. Comprende la mayoría de los órdenes de aves carenadas (aves con quilla), y estas se dividen en dos grupos las galloanserae y las neoaves. (Buencuerpo-Arcas y et.al. 2016)

Las aves son indispensables de gran importancia ecosistémica debido a que presentan diversos servicios ambientales como indicadores de calidad ambiental, debido a ser un grupo con una amplia diversidad ecológica, taxonómica y distribución. (Maruri-Aguilar, García-Valdés y Pineda-López 2013; Parra-Ochoa 2014).

Las aves presentan los 28 órdenes siguientes: Estrucioniforme (avestruz), Reiformes (ñandúes), Casuariformes (Emus y casuarios), Apterigiformes (kivis), Tinamiformes (tinamúes), Esfeniciformes (pingüinos), Gaviformes (colimbos), Podicipediformes (somormujos), Procellariiformes (albatros, pardelas, y petreles), Pelecaniformes (pelícanos y parientes), Ciconiiformes (garzas, cigüeñas, flamencos y parientes), Anseriformes (aves acuáticas), Falconiformes (buitres, halcones, águilas y cernícalos), Galliformes (aves de caza), Gruiformes (grullas, rascones, y parientes), Charadriiformes (aves costeras, gaviotas y parientes), Pteroclidiformes (gangas), Columbiformes (palomas), Psittaciformes (loros), Cuculiformes (cuclillos, hoatzines, y turacos), Strigiformes (búhos), Caprimulgiformes (chotacabras y parientes), Apodiformes (vencejos y colibríes), Trogoniformes (trogones), Coliformes (pájaros ratón), Coraciformes (alciones, carracas, y parientes), Piciformes (tucanes, carpinteros, y parientes) y Paseriformes (pájaros). (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez 2014)

A pesar de que sean de gran importancia, las aves enfrentan problemas que están amenazando sus poblaciones, los cuales pueden afectar de forma directa o indirecta. Los directos influyen sobre los individuos de las especies y los problemas indirectos son actividades que no están específicamente orientadas hacia la especie, sin embargo causan severas consecuencias en la supervivencia. Algunas problemáticas directas son la cacería y colecta, el tráfico ilegal, introducción de depredadores exóticos, construcciones. Mientras que las problemáticas indirectas son la alteración y destrucción de hábitats, fragmentación de hábitats, contaminación ambiental global. (Maruri-Aguilar, García-Valdés y Pineda-López 2013)

3.2.2. PLUMAS

3.2.3 ORDEN PSITTACIFORMES

Los Psittaciformes conforman un orden de aproximadamente 372 especies que se dividen en 81 géneros clasificadas en tres familias, que son Psittacidae, Cakatuidae y Strigopidae, clasificados así debido a su distribución, tamaño y características de plumaje, además de ser uno de los órdenes más grandes y característicos de aves existentes. (Brooke y Birkhead 1991, UICN 2023).

Este orden se encuentra confirmado por los loros, donde presenta ciertas características particulares como, pico robusto, estrecho, de bordes cortantes y con el extremo ganchudo; mandíbula superior móvil sobre el hueso frontal del cráneo; pico con cera blanda, a menudo

con plumas. Además presenta dos dedos delante y dos detrás, el dedo posterior externo no reversible; posee un plumaje brillante, verde, azul, amarillo o rojo (Storer y et. al. 2003).

Tienden a ser monógamos, con vínculos fuertes que se mantienen incluso fuera de la época de reproducción. Los psittacíformes realizan un cortejo realizando sonidos y movimientos definidos como la contracción de la pupila, para la atracción de las hembras. De igual manera, las parejas se dedican al mutuo acicalamiento para mantener los lazos (Silva 1993).

Generalmente, sus nidos se realizan en cavidades cerradas y oscuras como paredones. Sus huevos son blancos y los polluelos al nacer permanecen varias semanas en los nidos debido a que tienen poco desarrollo de crecimiento. Son aves arborícolas sociables, normalmente andan en parejas o agrupadas en numerosas bandadas que pueden ser de tres individuos o inclusive más de 100. (Forshaw 1989)

Actualmente dicho orden presenta una distribución natural tropical y subtropical, donde alcanza zonas subtropicales del hemisferio norte y el hemisferio sur.

Según estudios de Forshaw (1989), los psittacíformes se originaron probablemente en el sector asiático de Gondwana, desde allí emigraron a las selvas tropicales y subtropicales.

Este grupo de aves tiene un gran impacto social pues por años se han mantenido como mascotas y muchas forman parte de las diversas culturas en todo el mundo. Según Tully (2020) son uno de los grupos de aves más comunes en cautiverio.

Actualmente, debido a problemáticas como la destrucción de hábitats y comercio ilegal, han llevado a que muchas de estas especies están catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES)

3.2.3 FAMILIA PSITTACIDAE

La familia Psittacidae, es una de las familias que pertenecen al orden de Psittacíformes, se distribuye principalmente en el Neotrópico, sin embargo existen especies que habitan en el continente africano. Esta familia se encuentra conformada por más de 374 especies distribuidas en 74 géneros (Christidis y Boles 2008)

Habitan en grandes colonias, generalmente, por lo que se consideran especies sociables, donde puede conformar parvadas de hasta miles de individuos, además estas aves suelen ser monógamas y forman parejas de por vida. Poseen un comportamiento donde fijan lugares específicos para su alimentación, así como sus dormideros comunales. (Alberto 2011).

Estas especies generalmente anidan en colonias en cuevas excavadas de riscos o termiteros, sin embargo muchos utilizan ciertas estructuras de edificios para anidar.

De igual manera, el grupo de los psitácidos se encuentra mencionado en el Apéndice II del CITES, una de las razones de esto ha sido la explotación para el comercio de mascotas que sufren. Todos los años gran cantidad de pichones de loros son robados de sus nidos (Stiles y Skutch 2007), lo cual revela una situación alarmante para este grupo. Se considera que esta es la razón del declive poblacional y la extinción de muchas especies de la familia Psittacidae. (Ferrer-Sanchez, Abasolo-Pacheco, Plasencia-Vazquez y Ruiz 2017).

3.2.4 *Psittacara strenuus* (Ridgway, 1915).

Psittacara strenuus (Ridgway, 1915) con nombre en inglés de Pacific Parakeet, conocido comúnmente en El Salvador como "pericón verde" o "perico", pertenece al orden Psittaciforme, familia Psittacidae; la cual es una especie con un tamaño aproximadamente de 33 cm y un peso promedio de 250 gramos, presenta una coloración en su plumaje con un verde casi uniforme, ligeramente más pálido y amarillento en la parte inferior. Las plumas coberteras inferiores presentan un color verde oliva oscuro, mientras que la parte inferior de las plumas de vuelo y cola es de color verde oliva amarillento. Se observa el anillo perioftálmico es blanco, redondeado y amplio, mientras que su iris es de color rojo naranja. Posee un pico grande poco robusto de color beige y ambas mandíbulas finalizan con manchas negras en las puntas. Esta especie no presenta un dimorfismo sexual aparente o visible. Su distribución se encuentra por la vertiente del Pacífico del Norte de Centroamérica, desde el sur de México hasta Nicaragua (Vallely y Dyer 2018). Esta especie posee además un amplio rango altitudinal ya que se han encontrado en zonas montañosas en México de 2600 metros de altura, pero en nuestro país se observan en zonas más bajas inclusive a zonas al nivel del mar. Según es un ave que se encuentra principalmente en las áridas tierras bajas de la vertiente del Pacífico, su hábitat está constituido por el bosque caducifolio, semicaducifolio, siempre verdes y bosque de galería, bosque pantanoso del Pacífico, matorral tropical árido, claros, formaciones de borde y de pino-encino de tierras altas; tierras bajas hasta 2600 metros. Sin embargo, actualmente se observan adaptándose a zonas urbanizadas. Es un ave que realiza movimientos locales en respuesta a la disponibilidad de alimento y la actividad reproductora, sin embargo no existe una investigación formal sobre eso (Collar y et.al. 2020; Gómez-Garza 2017)



Figura 2. Mapa de distribución de *Psittacara strenuus* desde México hasta Nicaragua. (Tomada de Ebird, 2025)

Se alimenta de semillas de mimosa, frutas y maíz, por estos últimos a veces se considera una plaga de los cultivos. Su alimentación está basada principalmente en larvas de insectos, lombrices, babosas, pequeñas arañas, a veces incluso lagartijas, además de frutas. Forrajea bastante en el suelo, donde mueve las hojas o ramas para encontrar su alimento (Palacio 2013).

Como la mayoría de los periquitos, sus llamados se componen de notas chirriantes agudas y llamadas ásperas fuertes alborotos estridentes y ruidosos, en general con una calidad de sonido agudo y penetrante. Emite sonidos similares a *P. holochlorus*.

Anteriormente se había clasificado como subespecie de Green Parakeet (*Psittacara holochlorus*), misma que es una de las especies más similares, ya que presentan diferencias morfológicas pequeñas entre ellas. Sin embargo, las pruebas moleculares apoyan el reconocimiento de *P. strenuus* como especie completa (Collar y et. al. 2020).

Se observan bandadas de hasta 200 individuos o más, volando típicamente más alto y con batidos de alas notablemente más lentos que las especies de periquitos simpátricos. La anidación es anual, en la época lluviosa, donde incuban a los huevos en cavidades de árboles, en huecos que ellos excavan en tierra blanda de paredones, incluso en estructuras

antrópicas que poseen huecos, donde puedan refugiarse y proteger a sus crías. Normalmente ponen de 3 a 5 huevos (Wermundsen 1998; Macaw Mountain 2023)

Como todas las aves consta de un pico complejo de continuo crecimiento y evolución que se desgasta de forma natural al realizar diferentes actividades como comer, jugar, trepar y defenderse. Sin embargo, los individuos de *Psittacara strenuus* realizan una actividad de picotear superficies rocosas o paredones ya sea de construcciones antrópicas o paredes por formaciones naturales.

En El Salvador, se distribuye en la mayor parte del territorio, pero principalmente en zonas bajas, en bosques semidecuidos, bosque ripario y selva mediana subcaducifolia y subperennifolia, no obstante también se le puede observar en las áreas de cultivo, principalmente de granos. Actualmente, se pueden observar en las ciudades, como el Área Metropolitana de San Salvador, y estos ocupan los suburbios de La Sultana, Antiguo Cuscatlan. (Cantú-Guzmán y Sánchez-Saldaña 2018). Herrera y et. al. (2006) realizaron un monitoreo en esta zona y pudieron observar que llegaban a diferentes puntos de los suburbios, y alcanzaron a contar hasta casi 5000 individuos que pernoctaban principalmente en los árboles perennifolios. De igual manera Ibarra (2018) en la Universidad Centroamericana: “José Simeón Cañas”, siempre en los suburbios de La Sultana, logró contabilizar un promedio de 4,437 individuos que llegan a este sitio a dormir. Además observó que las especies arbóreas más visitadas son “laurel de la india” (*Ficus benjamina*), “maquilishuat” (*Tabebuia rosea*) y “eucalipto” (*Eucalyptus globulus*).

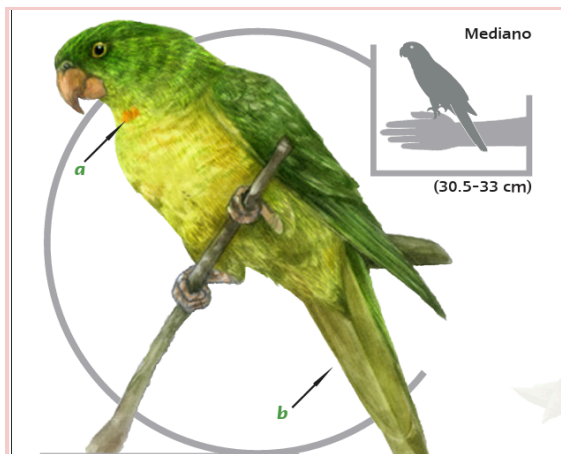


Figura 3. Imagen de *Psittacara strenuus* con el tamaño (Tomada de: Cantú - Sanchez , 2018)

3.2.5 ESTADO ACTUAL DE *Psittacara strenuus*.

Los psittaciformes son el orden de las aves silvestres que más sufren de explotación, ya que su comercio inició desde tiempos inmemorables. Muchas especies están clasificados en la Lista Roja con categorías de especies amenazadas o casi amenazadas, mientras que un gran número se encuentra en peligro crítico de extinción.

Actualmente, *Psittacara strenuus*, se encuentra en estado amenazado según el Listado oficial de especies de vida silvestre amenazadas o en peligro de extinción del MARN (2023), sin embargo, según el CITES (2017), se encuentra en categoría del Apéndice II y en la Lista roja de la UICN (2018) se encuentra categorizado en estado de amenaza.

Las dos principales causas de la disminución de sus poblaciones y de la mayoría de psitácidos son la pérdida de hábitat para área de alimentación y reproducción; mientras que la otra es la cacería para consumo y el comercio ilegal de individuos vivos. En esta última práctica las personas capturan a los individuos de diferentes maneras como saqueos de nidos para obtener sus polluelos o la utilización de trampas de pegamento para su captura. Se estima que de 100 individuos extraídos del nido, muere por lo menos el 75% debido a las malas condiciones en que son tratados y transportados los pericos, por falta de alimento o por diferentes enfermedades que les son transmitidas debido a las pésimas condiciones en que se mantienen. Esta práctica tiene un fuerte valor lucrativo, ya que se estima que en los Estados Unidos un individuo puede venderse por aproximadamente \$250 dólares. (Hernández, Escalante y González 2023).

En El Salvador, el comercio de dicha especie está completamente prohibido, aunque de forma clandestina se realiza dicho comercio y ocasionalmente se decomisan estos especímenes que se comercializan dentro del territorio salvadoreño, así como también en el extranjero. (Diario La Página 2022; Diario El Mundo 2022).

Sin embargo diferentes ONG, instituciones gubernamentales y no gubernamentales, han realizado esfuerzos para la protección de esta especie, por ejemplo en el 2016 se declaró el municipio de Antiguo Cuscatlán como Municipio de Protección de la Fauna Silvestre en especial al Pericón Verde (*Psittacara strenuus*), debido a que se encuentra en este lugar uno de los dormideros más grandes de la zona metropolitana, específicamente en las instalaciones de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA) y sus alrededores. (Martínez-Rodríguez y Villegas-Peña 2024)

3.3 METALES PESADOS Y ECOTOXICOLOGÍA

3.3.1 PROPIEDADES DE LOS METALES PESADOS

Los metales pesados son elementos naturales con un elevado peso atómico y una densidad al menos cinco veces mayor que la del agua. Sus múltiples aplicaciones industriales, domésticas, agrícolas, médicas y tecnológicas han propiciado su amplia distribución en el medio ambiente, generando preocupación por sus posibles efectos en la salud humana y el entorno. Su toxicidad depende de diversos factores, como la dosis, la vía de exposición y la especie química, así como la edad, el sexo, la genética y el estado nutricional de las personas expuestas. Debido a su alta toxicidad, el arsénico, el cadmio, el cromo, el plomo y el mercurio se encuentran entre los metales prioritarios de importancia para la salud pública . (Tchounwou et al., 2012)

La toxicidad por metales pesados depende de factores como la dosis, ruta de exposición, así como la edad, género, genética y estado nutricional de los individuos (Fonseca 2018).

Szymczyk & Zalewski (2003) reportan que el cadmio es absorbido a través del sistema digestivo y respiratorio , formando complejos con las proteínas que facilitan su transporte y almacenamiento en órganos como el hígado, riñones y en menores cantidades, en páncreas, hueso e intestino. El cadmio provoca efectos negativos como retraso en el crecimiento, descenso de la producción de huevos, adelgazamiento de la cáscara del huevo y alteraciones comportamentales (Pérez et al. 2005).

De acuerdo a Poppenga (1999), la intoxicación por mercurio también puede causar ataxia, debilidad en las extremidades, incapacidad de volar o caminar, párpados caídos, baja actividad física e hiporreactividad. También puede estimular la producción de huevos sin cáscara (Beasley 1999).

3.3.2 PLOMO

El plomo es un elemento natural que forma parte del grupo 14 (IV A) de la tabla periódica. Su símbolo es Pb, con número atómico de 82 y masa atómica de 207.2 g/cm³, con estado de oxidación de 2+ y 4+. Tiene características como elasticidad y se funde a temperaturas de 327.4° C, además hierve a una temperatura de 1725° C. El plomo posee cuatro isótopos diferentes: ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb y ²⁰⁸Pb. Es resistente al ácido sulfúrico y clorhídrico, pero se disuelve con el ácido nítrico.(Medrano 2021).

El plomo es un metal pesado, que se encuentra en la corteza terrestre de un color gris-azulado, combinado con otros elementos. Este metal es utilizado ampliamente en la industria desde años atrás, debido a sus propiedades de anticorrosión por lo que produce que los objetos que contienen este elemento puedan perdurar por más tiempo. Algunas de las industrias que se reconoce el uso del plomo en la producción de proyectiles, municiones, baterías, pesas, cañerías, cables, soldaduras, aleaciones, cerámica, vidrios, pigmentos, láminas e incluso en raras ocasiones hasta en algunos países añaden plomo en la gasolina, por lo cual, se le considera un metal altamente dañino desde un punto de vista toxicológico. (OMS., 2022). El plomo se puede presentar de forma natural en la actividad volcánica, degradación de rocas e incendios forestales. En la corteza terrestre se promedia que existe 0.00002% de plomo, así como también se puede encontrar en forma de galena (PbS), carbonato de plomo (PbCO₃) y anglesita (PbSO₄)

Puede presentarse de forma orgánica e inorgánica. De manera inorgánica se puede encontrar en las pinturas, tierra, polvo y diferentes productos de manufactura, mientras que de manera orgánica se puede presentar en ciertas gasolinas que contienen plomo tetraetilo. Actualmente, este metal pesado se encuentra sobre todo en las baterías de los automóviles, baterías de uso industrial y de uso doméstico, y en armas. Sin embargo, otro riesgo que va en crecimiento, es la existencia de plomo en las baterías de computadoras, de las cuales no existe un manejo de este tipo de desechos.

El plomo es uno de los metales de los que se produce mayor emisión de trazas a la atmósfera, ya que suman un total de 7,5·10⁸ Kg al año con una tasa de descarga de 332·10⁶ Kg al año. (Domènech y Peral, 2006)

Es un metal muy tóxico que se extendió su uso de forma acelerada desde los años de 1920 a la década de 1980, ya que se utilizaba en juguetes, latas, hasta en maquillaje, lo que provocó que muchos ecosistemas y poblaciones se intoxicaran o acumularan en su cuerpo este metal. Además, se ha registrado evidencia que causa envenenamiento en las aves, debido a la ingestión. (Carriquiriborde, 2021)

Sin embargo la cantidad de plomo se ha reducido en los últimos años, debido a los daños a la salud y a los ecosistemas. Algunos de los problemas eran debido a la ingestión o inhalación de plomo. El plomo tiene varios efectos en la salud humana como aumento de presión arterial, anemia y menor desempeño en pruebas que miden el funcionamiento nervioso. El plomo puede dañar seriamente, los riñones, el cerebro, producir abortos espontáneos y finalmente la muerte (Fonseca, 2018)

Además hay estudios que mencionan que la absorción de este metal puede provocar retraso en el desarrollo mental e intelectual en niños, mientras que en los adultos puede provocar problemas de hipertensión y enfermedades cardiovasculares. (Agency for toxic substances and disease control, 2011)

3.3.4 ECOTOXICOLOGÍA

La ecotoxicología, definida por el toxicólogo francés René Truhaut en 1969, es la rama de la toxicología que estudia los efectos tóxicos y perjudiciales de los contaminantes, tanto sintéticos como naturales, sobre los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas, considerando su interacción dentro de un contexto integral.

Anteriormente, se solía confundir el término ecotoxicología con toxicología ambiental, sin embargo, esta última es utilizada para la investigación de las dosis de tóxicos en el ambiente, pero que no posean un efecto, además que también que ve principalmente a la contaminación originada por el ser humano, por lo que se considera una ciencia de bioseguridad principalmente. Mientras que la ecotoxicología tiene como objetivo investigar sobre la contaminación de los ecosistemas. (Capó Martí, 2003).

Para realizar monitoreos de ecotoxicología es necesario el empleo de bioindicadores, es decir organismos que por sus características ecológicas son capaces de acumular contaminantes traza, y uno de las ventajas de la utilización de organismos es que muchas veces se evidencia de manera más rápida a que sí se hiciera la monitorización en factores abióticos. En otras palabras, el empleo de estos animales permite detectar la presencia de metales pesados mucho antes que si se utilizaran muestras no vivas para el monitoreo. (Pérez et al., 2005).

Un bioindicador es un organismo que por características se puede establecer de manera cuantitativa y cualitativa el estado del ambiente o determinar factores estresores en el mismo. (Franzel, 2003).

3.3.4.1 ECOTOXICOLOGÍA EN AVES

Las aves han sido objeto de muestreo en estudio de ecotoxicología por múltiples ventajas, como su amplitud en diferentes ecosistemas y su visibilidad en los ambiente, o su acumulación de diferentes trazas de componentes en plumas, tejidos, entre otros. Además que es un grupo de especies que debido a su capacidad de vuelo, tiene mayor contacto con diferentes sitios donde descansa, se alimenta o se transporta, los cuales pueden estar muchas veces expuestos a diferentes contaminantes. Las aves se utilizan como centinelas de calidad de ambientes en general; se han utilizado como objeto de estudio de diferentes tipos de ambientes en muchos países y regiones, lo que ha ayudado a determinar la calidad del ecosistema en que se encuentra. (Zaccagnini, 2006)

Diferentes estudios sobre ecotoxicología en aves han determinado que la exposición al plomo, pueden ocasionar diferentes efectos subletales, como una evidente reducción de peso y condición corporal, disminución de la fertilidad y capacidad reproductiva, problemas

motores en el vuelo, principalmente; e inclusive, esta exposición produce cambios en el comportamiento de las aves. (Guitart y et.al., 1999).

Fonseca (2018) menciona que las aves se reportan frecuentemente como bioindicadoras y metales pesados, ya que presentan ciertas características que son fáciles de identificar; debido a que pueden estar en diferentes posiciones de la cadena trófica; además que su muestreo de tejidos es fácil y brinda técnicas no invasivas. Además finaliza con que es una herramienta eficaz en el monitoreo de metales pesados.

Con la biomagnificación, los metales pesados acaban llegando a los animales carnívoros y omnívoros (los consumidores secundarios, terciarios, etc.). Y las aves no son una excepción. Un estudio llevado a cabo en 2013 con varias especies de aves paseriformes en las inmediaciones de una planta metalúrgica de Finlandia encontró que varios metales pesados, como el cobre, níquel o plomo, redujeron los niveles de sus defensas antioxidantes. Sin embargo, no todas las especies examinadas respondieron igual. Los metales pesados, en efecto, afectaron a los antioxidantes de las aves, pero cada especie respondió elevando un componente diferente de dicho sistema antioxidante. Los antioxidantes sirven para combatir los oxidantes (de ahí su nombre), y los oxidantes provocan la oxidación de nuestras biomoléculas. Esta oxidación de proteínas, grasas o incluso de ADN, tiene numerosos efectos negativos en la salud, reproducción (ya que la oxidación puede inactivar o matar a los espermatozoides) o envejecimiento, ya que la oxidación acelera la senescencia. Por lo tanto, aquellas aves que habitan ecosistemas cercanos a fuentes de contaminación por metales pesados, serán más proclives a sufrir oxidación y su sistema antioxidante se verá afectado. (Garrido Bautista, 2020)

Burger (2013) menciona que el uso de plumas como bioindicadoras, son importantes y muy útiles ya que éstas pueden aislar los metales que provienen del torrente sanguíneo y en ellas se refleja la concentración de metales de los tejidos internos del ave. Se reporta que existe una correlación entre niveles de metales en plumas respecto a la dieta del ave. La pluma es muy útil, debido a que posterior de su formación, el suministro de sangre se atrofia y la pluma queda aislada del cuerpo, por lo que no puede existir una futura acumulación de elementos tóxicos. Se pueden utilizar plumas de vuelo, como plumas corporales, sin embargo la elección no ha sido estandarizada (Fonseca 2018)

El plomo es un metal pesado que a lo largo de los años se ha estudiado, y se ha observado que tiene grandes efectos negativos en la salud de las aves, especialmente en los psitácidos, rapaces y aves acuáticas. El plomo queda depositado en el ventrículo, en contacto con el ácido gástrico. Este metal es insoluble, sin embargo un pequeño porcentaje se disuelve y se absorbe desde el sistema gastrointestinal. Esto permite la distribución a los tejidos blandos como el hígado, riñón, músculos y cerebro, no obstante el 85-90% de plomo se almacena en el esqueleto. (Martorell 2009)

En los Psittaciformes, se observa que los signos clínicos más frecuentes relacionados a la intoxicación por plomo, son problemas neurológicos (como ataxia), anemia no regenerativa y síntomas gastrointestinales y renales como por ejemplo, diarrea y hematuria. Además de provocar la letargia, depresión, debilidad, caída de alas, paresia, ceguera, movimientos en círculo, temblores de la cabeza, convulsiones, pérdida de peso, regurgitación, compactación o estasis del alimento en el buche, hemoglobinuria, hematuria, anemia, poliuria, polidipsia y edema subcutáneo en cabeza y cuello. (Caulin 2016; Tully 2020).

Según Tully (2020), el plomo debe presentarse en concentraciones menores a 0.2 ppm en peso húmedo (como la sangre) y menores a 2 ppm en el hígado y los riñones. Las concentraciones mayores a 6 ppm en otros tejidos indican intoxicación por plomo, mientras si las concentraciones son más bajas, indican exposición al plomo, la cual puede o no presentarse con signos clínicos. Según Vizuite et. al. (2018) y Tshipoura et al. (2008, 2011), las concentraciones de plomo mayores 4 ppm encontradas en plumas indican efectos negativos en las aves.

3.4 ESPECTROSCOPIA

La espectroscopía o espectrometría, se encarga de estudiar las interacciones entre la energía radiante y la materia. Hace referencia a la observación y al estudio del espectro, y se basa en la interacción de la energía radiante con la materia. Esta interacción es tan específica que nos permite identificar el tipo y la cantidad de materia que interactuó. El término espectroscopia significa observación y el estudio del espectro o registro que se tiene de una especie tal como una molécula, ión o átomo, cuando estas especies son excitadas por alguna fuente de energía que sea apropiada para el caso. (Medrano 2021, Facultad de Ciencias Químicas 2011)

La espectroscopia sirve para identificar y medir constituyentes (elementales, orgánicos e inorgánicos) en diversas y variadas muestras, desde aquellas en fase estática; como contaminantes en agua o en la composición de diversas aleaciones, hasta aquellas en fase dinámica como velocidades de difusión de fármacos o actividad metabólica en el cuerpo.

Es la herramienta más utilizada en investigación, análisis, control y diagnóstico en muchos ámbitos relacionados con la física, la química, biología y las ciencias médicas. Nuevas tecnologías surgen constantemente gracias a los avances en el diseño de fuentes de radiación y detectores, así como dispositivos y sistemas electrónicos más compactos, rápidos y eficientes.

Es un área amplia con muchas subdisciplinas, que pueden clasificarse en diferentes tipos, según el material a analizar. Entre estas técnicas se encuentra espectroscopia de emisión atómica, la cual puede ser de tres tipos MP-AES, Fluorescencia por Rayos X y la ICP-OES. (Medrano 2021)

3.4.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

La espectroscopía de absorción atómica (AAS, por sus siglas en inglés) es una técnica altamente sensible y específica, utilizada ampliamente para la determinación de metales pesados como el plomo (Pb), debido a que las líneas de absorción atómica son extremadamente estrechas (0,002–0,005 nm) y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento (Skoog et al., 2001). En particular, la técnica de absorción atómica por atomización en llama (FAAS) permite detectar concentraciones en el orden de partes por millón (ppm), lo que la hace especialmente útil en la industria cosmética para realizar análisis cualitativos y cuantitativos de metales que podrían causar reacciones adversas en los consumidores o afectar la estabilidad de los productos (Oyedeji et al., 2011; Chauhan et al., 2010). La instrumentación básica de AAS incluye una fuente de radiación monocromática, un atomizador, un monocromador, un detector y un procesador de señal, permitiendo que el haz de luz atraviese la muestra atomizada, se seleccione la longitud de onda deseada y se registre la radiación absorbida (AA.VV., 2007).

3.4.2 MÉTODO DE ADICIÓN ESTÁNDAR.

Una muestra es una porción representativa de una materia, que se emplea con el propósito de separar, identificar y determinar los componentes presentes en dicha materia. Dentro de esta muestra, el analito es la especie química de interés cuya concentración se desea determinar. Por su parte, la matriz se refiere al conjunto de componentes acompañantes del analito, tales como disolventes y otras sustancias presentes en la muestra. En este contexto, el blanco matriz se define como una muestra que posee la misma matriz que la muestra problema, pero sin contener el analito de interés (Martínez Guifarro, 2022).

El método de adición estándar se emplea para determinar la concentración de un analito en una disolución, siendo una técnica sencilla y eficaz cuyo objetivo principal es eliminar o minimizar la influencia de interferencias en el resultado final, utilizando recursos limitados. Este método consiste en la adición de cantidades conocidas y crecientes del analito a la muestra que se desea analizar. A partir de las lecturas instrumentales obtenidas, se

construye una recta de adiciones estándar, la cual permite extrapolar y determinar la concentración del analito en la muestra original (Martínez Guifarro, 2022).

Este procedimiento resulta especialmente útil cuando es difícil o incluso imposible reproducir la matriz de una muestra o disponer de un blanco que esté completamente libre de impurezas. En tales situaciones, el método de adición estándar permite realizar análisis precisos al compensar los efectos de la matriz sobre la señal analítica (Martínez Guifarro, 2022).

Para obtener una curva de calibración confiable, es fundamental realizar una medición precisa del blanco, ya que la presencia de otras especies químicas puede interferir con la respuesta analítica. Además, la curva de calibración debe mostrar una relación lineal entre la concentración del analito y la respuesta del instrumento dentro de la matriz de la muestra (Skoog et al., 2015).

Esta metodología se aplica comúnmente en investigaciones ambientales, estudios biológicos y procesos de control de calidad industrial. Su utilidad se debe a que permite calcular la concentración desconocida de un analito mediante la ecuación de calibración obtenida a partir de las respuestas de un sensor frente a una serie de soluciones estándar. Es especialmente adecuada para el análisis de muestras complejas, como suelos, minerales o fluidos biológicos (por ejemplo, sangre completa), en las que los componentes de la matriz pueden influir en la señal analítica, ya sea por exceso o por defecto. En estos casos, el método es particularmente útil cuando no es posible corregir un blanco distinto de cero (Skoog et al., 2015).

En términos operativos, el método de adición estándar consiste en agregar un volumen fijo de la muestra a una serie de soluciones estándar, diluyéndolas hasta un volumen final constante. Posteriormente, se mide la señal generada por cada una de estas soluciones, así como la señal de una muestra preparada de igual forma pero sin adición del estándar. Dado que las interferencias de la matriz afectan todas las soluciones de manera similar, este enfoque permite compensar su influencia y obtener una cuantificación precisa del analito (Skoog et al., 2015).

Una curva de calibración representa la respuesta de un método analítico o señal detectada, sobre muestras patrón o estándar con concentraciones conocidas de analito. En el intervalo de la respuesta lineal del método analítico se obtiene una recta de calibrado a partir del procedimiento siguiente:

Preparación de soluciones de prueba. Se preparan una serie de soluciones de prueba, con volúmenes iguales de la muestra (V_x) con una concentración desconocida (C_x). Se le añaden cantidades crecientes de estándares de analito (V_s) con una concentración conocida (C_s) a cada solución de prueba, a excepción de la solución control, que contiene la muestra y el disolvente.

Esto permite que se puedan observar los cambios de la respuesta del sensor con cada adición, lo cual es esencial para distinguir la señal del analito de las sustancias que interfieren en la matriz de la muestra

Medición de la respuesta del instrumento. Luego de la preparación de las muestras, el instrumento procede a medir la respuesta del sensor (S) para cada solución de prueba. Seguidamente, genera una serie de valores de respuesta correspondientes a las concentraciones crecientes del analito. Los datos recopilados se representan en una gráfica o curva de calibración, donde:

- El eje "x" representa el volumen añadido del analito estándar (V_s).
- El eje "y" representa la respuesta del sensor (S) a cada solución.

El gráfico forma una curva de calibración lineal, que muestra cómo la señal aumenta a medida que se agrega más analito.

Cálculo de la concentración desconocida. Se realiza un análisis de regresión lineal sobre los datos trazados, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$S = mV_s + b \text{ [Equation1]}$$

El procedimiento se basa en la suposición de que la respuesta del instrumento se reduciría a cero si no hubiera analito presente. Esta suposición ayuda a determinar la concentración original de analito en la muestra. Además, al extrapolar la curva de calibración hasta el punto donde la respuesta llega a cero, los científicos identifican el volumen equivalente del estándar necesario para compensar el analito presente en la muestra.

La concentración de analito desconocido C_x se puede determinar utilizando la ecuación:

$$c_x = \frac{bc_s}{mV_x}$$

dónde:

- ❖ C_x es la concentración del analito en la muestra.
- ❖ C_s es la concentración conocida del estándar.

Ventajas del método de adición estándar.

En comparación con el método de calibración externa tradicional, el procedimiento de adición estándar presenta diversas ventajas, especialmente en el análisis de muestras con matrices complejas o poco definidas.

Una de las principales fortalezas de esta técnica es su capacidad para compensar los efectos de la matriz. Al incorporar cantidades conocidas del analito directamente en la muestra, se reducen las discrepancias provocadas por la presencia de sustancias interferentes o componentes desconocidos, mejorando así la exactitud de los resultados. (González s.f.)

Asimismo, el método de adición estándar mejora la precisión analítica en muestras con composición variable o compleja, como ocurre frecuentemente en fluidos biológicos, muestras ambientales o soluciones industriales. En estos casos, donde replicar con exactitud la matriz puede resultar difícil o incluso inviable, esta metodología ofrece una solución eficaz.

Otra ventaja significativa es que no requiere que los estándares y las muestras compartan exactamente la misma matriz o disolvente, a diferencia de los métodos de calibración convencional. Esta flexibilidad simplifica la preparación de soluciones estándar, sin comprometer la confiabilidad de los resultados.

Además, al realizar todas las mediciones utilizando la misma muestra original, se logra reducir la variabilidad asociada a la manipulación de diferentes alícuotas o a posibles fluctuaciones del instrumento durante el análisis, favoreciendo así una mayor repetibilidad de los datos (AlpHa Measurement Solutions, 2023).

No obstante, esta técnica también presenta ciertas limitaciones. Requiere la realización de múltiples mediciones, lo que conlleva un mayor consumo de reactivos y un incremento en el tiempo experimental. A su vez, cuando se busca alcanzar altos niveles de precisión, es indispensable un pipeteo exacto y un control riguroso de los volúmenes añadidos, a fin de minimizar errores derivados de las adiciones de estándar (AlpHa Measurement Solutions, 2023).

VI. METODOLOGÍA

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El sitio de muestreo se desarrolló en el recinto de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, que se encuentra ubicada sobre el bulevar Los Próceres, Antiguo Cuscatlán, en el departamento de La Libertad, con coordenadas 13°40'56"N y 89°14'12"O.

El campus tiene una área de 148,351.20 m², donde se distribuyen diferentes áreas verdes, donde se pueden apreciar árboles de *Ficus benjamina* y *Tabebuia rosea* que son ideales como dormitorio de muchas bandadas de *Psittacara strenuus*, que llegan diariamente, luego de sus migraciones locales. (UCA 2022; Ibarra 2019).

Se realizó un recorrido en todo el recinto, en busca de plumas, sin embargo se identificaron los puntos de mayor afluencia de pericos.

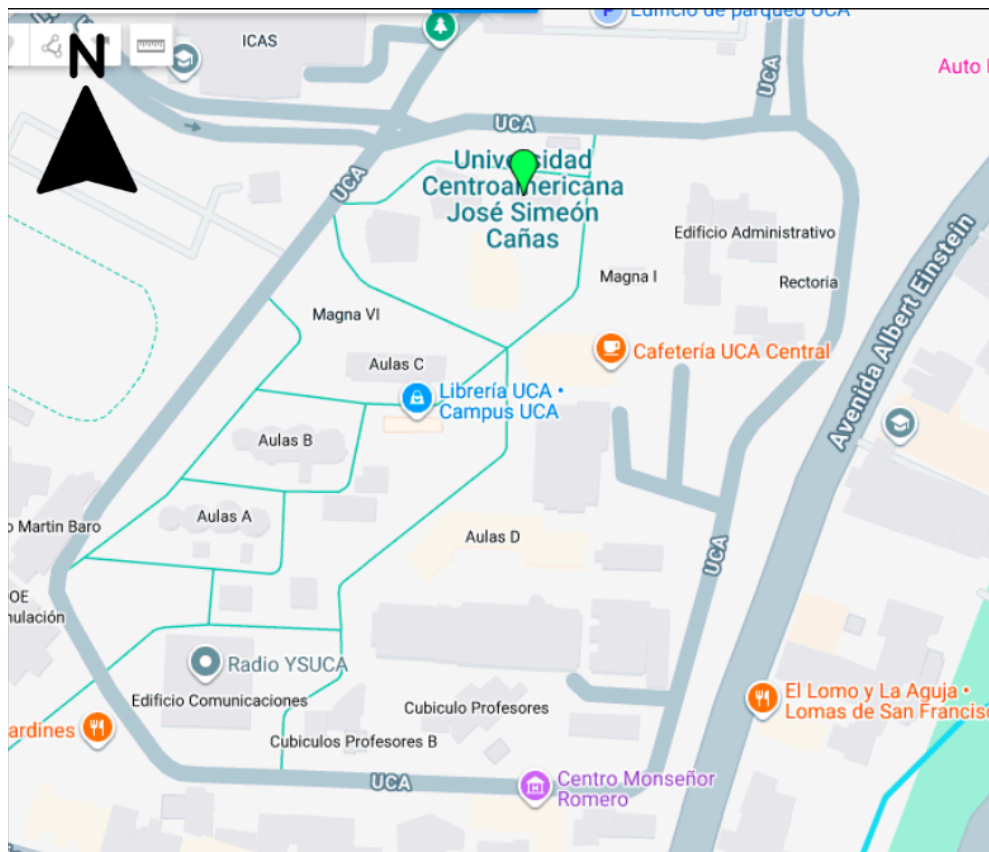


Figura 5. Mapa de la ubicación de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”.

4.2 METODOLOGÍA DE CAMPO.

Se realizaron tres muestreos por la metodología de búsqueda intensiva, entre los meses de noviembre, diciembre del 2023 y enero del 2024 una en cada mes en un rango desde 6:00 a

9:00 AM. Se desarrolló por un método no invasivo, donde se colectaron plumas mudadas que se encontraban cerca de los árboles que son utilizados como dormitorios. (Gímenez Lozano 2017)



Figura 6. Búsqueda de plumas dentro del recinto universitario. Foto tomada por un estudiante de la UCA (2025).



Figura 7. Búsqueda de plumas por parte de Gabriela Rudamas. Foto tomada por Valeria López (2025).



Figura 8. Colecta de plumas dentro del recinto universitario. Foto tomada por un estudiante de la UCA (2025).



Figura 9. Limpieza de plumas. Foto tomada por Gabriela Rudamas (2025).

Sólo se tomaron plumas primarias y de la cola, ya que son las sugeridas por la literatura. (Muñoz García y et. al. 2016; Espin y et. al. 2015)

Cada pluma fue desinfectada con alcohol, para evitar contaminación de otros factores como el polvo, heces u otro tipo de suciedad, se secaron y se colocaron en bolsas Ziploc. Posteriormente se etiquetaron con la fecha..

4.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO.

4.3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se lavaron con agua desionizada para evitar que tuvieran alguna suciedad de heces u otro tipo de contaminante, luego se secaron en un lugar cerrado.

Para la determinación del plomo, se escogió el método de calibración de adición de estándar o adición patrón, sobre las muestras digeridas de las plumas.

El método se describe a continuación:

1. Todas las plumas recolectadas se mezclaron y se procesaron como una sola muestra. Luego se cortaron en trozos muy pequeños para facilitar su maceración con mortero y pistilo. Una vez trituradas, se pesó la muestra total obtenida y, a partir de ella, se separaron cuatro porciones de 0.25 gramos cada una, las cuales se colocaron en beakers individuales para continuar con el proceso de digestión.
2. El proceso de digestión fue llevado a cabo con HNO₃ concentrado de la marca Reactivo Baker ACS. Se adicionaron 5 mL de ácido nítrico a cada estándar, dejándolas en reposo por 15 horas. Al día siguiente la mezcla se calentó por 3 horas, y luego se procedió a su filtración.
3. La filtración se realizó con filtros de membrana de teflón PTFE de 0.45µm, para evitar cualquier contaminante.
4. Para la preparación de la dilución de plomo utilizada en el análisis, se elaboró una disolución madre a partir del patrón comercial llamado ICP multi-element standar solution IV de la marca Merck KGaA, diluyendo 500 µL de la solución patrón de plomo en 10 mL de agua desionizada.
5. A partir de la disolución madre de plomo, se prepararon las soluciones que se utilizaron como soluciones estándares en la investigación. Para ello, a cada tubo o muestra se le añadió una cantidad exacta de la disolución madre y luego se completó el volumen hasta 10 mL. De esta forma se obtuvieron cuatro soluciones con diferentes concentraciones: 0 µg/mL, 2 µg/mL, 5 µg/mL y 10 µg/mL. Estas concentraciones se usaron como niveles de referencia, es decir, como los estándares necesarios para construir la curva de calibración y comparar los resultados de las muestras analizadas.



Figura 10. Toma de datos del peso de las muestras. Fotografía tomada por Gabriela Rudamas (2025).



Figura 11. Macerado de las muestras. Fotografía tomada por Valeria López (2025).

6. Se escogió este procedimiento debido a que no se conoce la concentración inicial de las muestras, se combina con la solución estandarizada que serían los mililitros de Pb.

7. Finalmente se colocaron directamente al tubo de lectura.

4.3.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS

La lectura de las muestras se desarrolló en el laboratorio del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares de la Universidad de El Salvador, donde el equipo se sometió a una verificación del lineamiento de la antorcha utilizando el Background Equivalent Concentration.

Se encendió el espectrofotómetro Thermo Scientific iCE 3300 marca Agilent 5110 y se esperó a que se estabilizara la temperatura para realizar la inyección de las muestras.

Se colocó cada una de las muestras en la manguera de inyección para su lectura.

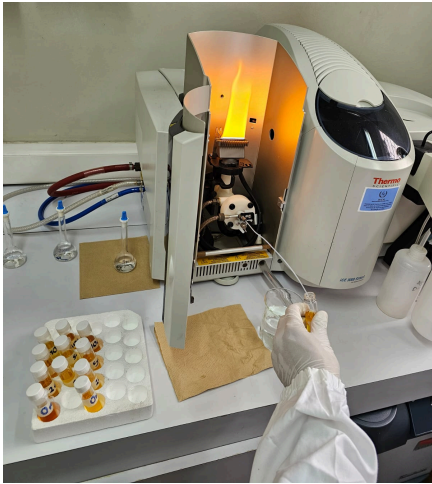


Figura 12. Fotografía del espectrofotómetro **Thermo Scientific iCE 3300** que se utilizó para el análisis de las muestras.

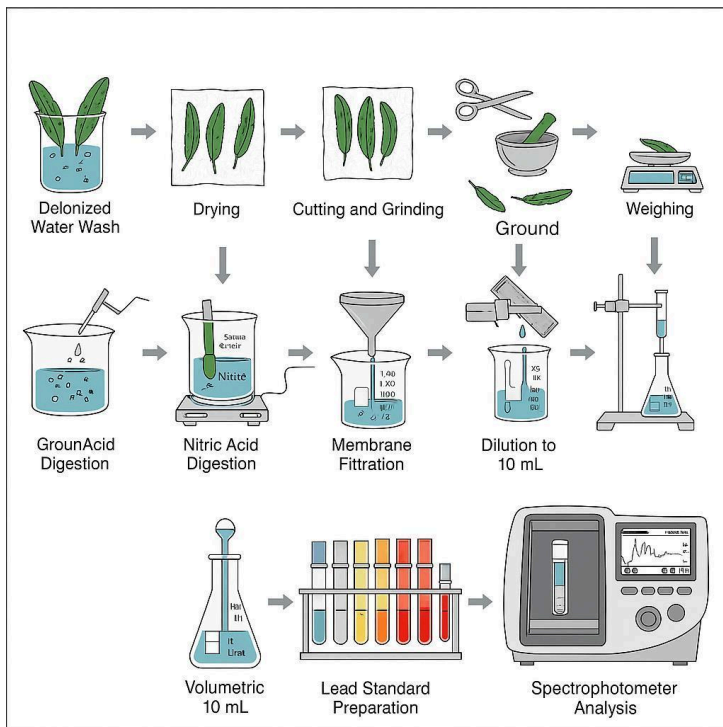


Figura 13. Diagrama de flujo que explica la marcha utilizada en la metodología de laboratorio de la investigación. Imagen realizada con inteligencia artificial (Google IA, 2024)

VII. RESULTADOS

La tabla 1 presenta la relación entre la concentración de plomo y la absorbancia medida. Se observa que a mayor concentración de plomo, mayor absorbancia, lo cual confirma una relación lineal directa entre ambas variables. Este comportamiento es típico en la curva de calibración utilizada para cuantificar plomo en las muestras de plumas de perico.

Tabla 1. Datos de absorbancia y concentración de las muestras.

Disoluciones de la muestra	Concentración ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbancia
Blanco	0.0	0.0053
Disolución 1	0.2	0.0109
Disolución 2	0.5	0.01605
Disolución 3	1.0	0.02971667

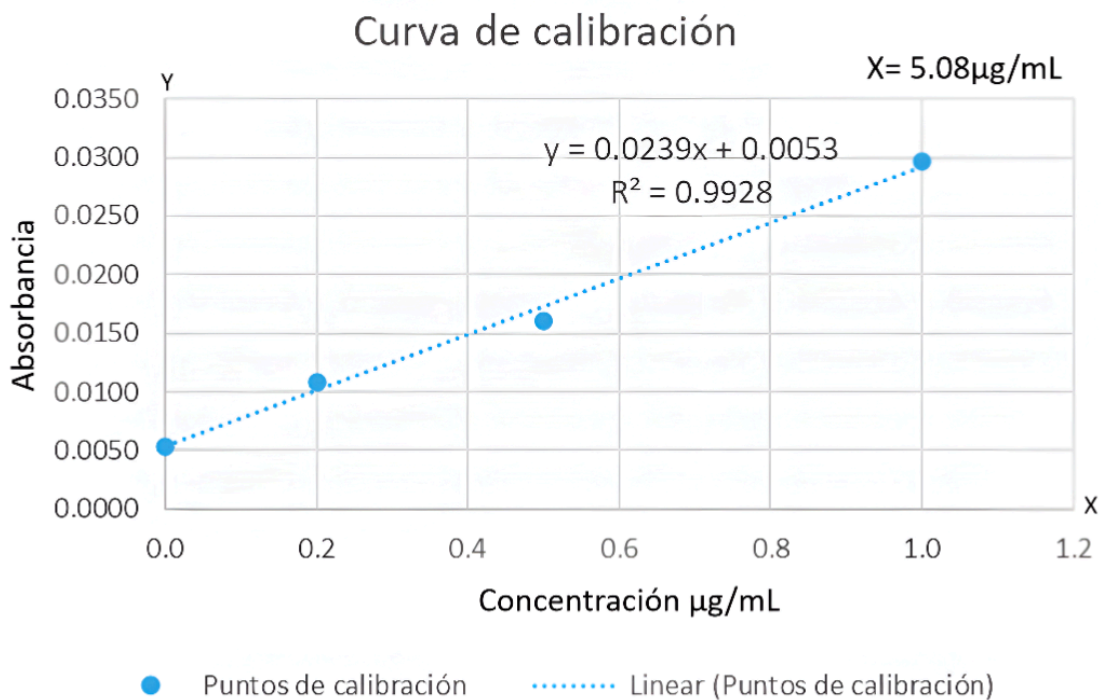


Figura 14. Curva de calibración. Se observan los datos obtenidos de absorbancia en la gráfica, la cual por medio de la fórmula de la pendiente nos revela el dato de x, el cual es igual a 5.08 ppm.

En el gráfico, la absorbancia (eje Y) aumenta de manera proporcional a la concentración de plomo (eje X).

La ecuación de la recta obtenida es: $y=0.0239x+0.0053$

A partir de la ecuación de la curva de calibración, se determinó que la muestra de plumas de perico presentó una concentración de 5.08 $\mu\text{g/mL}$ o ppm de plomo (Pb).

Este valor se obtuvo interpolando la absorbancia de la muestra en la ecuación de la recta, sustituyendo el valor de absorbancia medido para calcular la concentración correspondiente.

VIII. DISCUSIÓN

La concentración de plomo detectada en las plumas de los individuos muestreados fue de 5.08 ppm, un valor que supera el umbral de 4 ppm propuesto como límite seguro por Tshipoura et al. (2011). Según estos autores, concentraciones superiores a este nivel pueden provocar alteraciones en el comportamiento, así como daños neurológicos, digestivos y renales, afectaciones en el sistema circulatorio e, incluso, mortalidad. Estos hallazgos coinciden con estudios recientes que consideran que niveles de plomo en plumas por encima de 4 ppm representan un riesgo significativo de toxicidad (Zuria et al., 2024; Abduljaleel et al., 2012).

Aunque en el presente estudio no se observaron anomalías físicas evidentes en individuos de *Psittacara strenuus*. La literatura señala que las intoxicaciones por plomo en aves pueden manifestarse con una amplia gama de signos clínicos, tales como letargia, depresión, debilidad, caída de alas, paresia, ataxia, ceguera, movimientos en círculo, temblores cefálicos, convulsiones, entre otros (Martorell, 2009; Caulín Martínez, 2016.). La ausencia de manifestaciones externas no descarta la posibilidad de intoxicación subclínica, lo que subraya la necesidad de realizar estudios complementarios con análisis de laboratorio para confirmar la presencia y el grado de intoxicación.

En varios países se han reportado altos niveles de plomo asociados al uso de perdigones para la cacería en ecosistemas como humedales y bosques (Giménez Lozano, 2017). No obstante, en El Salvador esta práctica no es tan común, lo que sugiere que la contaminación por plomo en el país podría deberse principalmente a otras fuentes ambientales. Una de las grandes fuentes de contaminación por plomo que existió en el país, fue el uso de gasolina con plomo añadido entre la década de 1920 a 1990. (Asamblea Legislativa, 1995)

En este estudio no fue posible identificar directamente la fuente específica de contaminación. Sin embargo, Tshipoura (2011) indica que, en grandes áreas urbanas, las posibles fuentes incluyen restos de pintura con plomo, pesticidas, gasolina con plomo y diversas emisiones industriales, muchas de las cuales están presentes en el área metropolitana de San Salvador. Complementariamente, Buelvas-Soto y Marrugo-Negrete (2020) reportaron que las principales fuentes de contaminación en sus investigaciones fueron actividades mineras y agrícolas, particularmente el uso de agroquímicos, prácticas frecuentes en las zonas periféricas de la ciudad.

Estos antecedentes sugieren que la contaminación por plomo en el área de estudio podría originarse a partir de una combinación de fuentes urbanas, industriales y productivas cercanas al área urbana. Este panorama destaca la necesidad de realizar estudios focalizados que permitan identificar y cuantificar con precisión las diferentes fuentes de contaminación presentes.

Una de las posibles fuentes de contaminación por plomo en El Salvador, identificada a partir de la revisión bibliográfica, es la gasolina. Aunque en el discurso oficial se promueve la idea de que los combustibles en el país son completamente libres de plomo, la normativa vigente refleja una realidad distinta. Según la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (1995), en su artículo 100, establece que a partir de 1996 se prohíbe la circulación de vehículos que utilicen gasolina con más de 0.013 gramos de plomo por litro como aditivo. Esto significa que, si bien se redujo drásticamente la concentración en comparación con décadas anteriores, no existe una eliminación absoluta del metal en los combustibles, sino un rango “aceptado” por la legislación.

La presencia en la gasolina de hasta 0.013 g/L revela que todavía se liberan pequeñas cantidades de plomo al ambiente, sobre todo por la quema de gasolina en los vehículos, aunque por sí solos no afectan pero se pueden bioacumular, como Alarcón-Chavarría (2018) evidenció que a pesar que sean pequeñas cantidades pueden afectar la salud humana. Sumado a ello, se tiene registro que el parque vehicular de El Salvador es de más de 1.9 millones de vehículos, de los cuales un tercio se concentra en el departamento de San Salvador, lo cual implica un impacto bastante grande a la salud ambiental y humana, debido a la gran cantidad de emisiones de toxinas que se liberan

Este residuo tiene su origen en que, durante muchos años, se añadieron compuestos de plomo como el tetraetilo para mejorar el rendimiento del combustible y evitar que el motor detonara antes de tiempo (Ritchie, 2024). La ley aún permite ese mínimo de plomo, lo cual podría deberse a limitaciones en el proceso de refinación, márgenes de tolerancia industrial o condiciones del comercio internacional de combustibles.

Sin embargo, desde el punto de vista biológico y ambiental, este margen legal no significa que no exista riesgo. Con el tiempo, esta acumulación puede llegar a los animales, provocando la bioacumulación en la fauna silvestre. Lo controversial es que, mientras se habla oficialmente de “gasolina sin plomo”, en realidad la ley permite un nivel mínimo de este metal, lo que podría convertirse en una fuente importante de exposición crónica para aves y otros organismos.

Hasta la fecha, en El Salvador no se han registrado hallazgos documentados sobre la bioacumulación de plomo en psitácidos. En el país, los estudios relacionados con este metal pesado se han enfocado principalmente en cuestiones ambientales como suelo, aire y agua (Gómez-Escoto, R. y Orellana, M. 2025; Castillo-Rosales, B. et al. 2024; Henríquez-Ortíz, R. 2013), sin embargo también existen estudios en plantas y algunos invertebrados marinos (Anaya-Rodríguez, K. Solano-Rodríguez, J., 2016; Laínez-Molina, C. 2019).

Esta ausencia de información resalta la importancia de abordar este tipo de estudios, ya que el análisis de la bioacumulación en fauna local constituye un indicador clave para evaluar la calidad del ambiente y comprender mejor las posibles fuentes de contaminación dentro de los ecosistemas urbanos.

No obstante, existen numerosas investigaciones en otros países, principalmente en aves rapaces, marinas y acuáticas, que evidencian la relevancia de este grupo faunístico como monitores de contaminación ambiental o bioindicadores. Esta importancia radica en que las aves ocupan un amplio rango dentro de los niveles tróficos y las cadenas alimenticias, presentan una amplia distribución geográfica, poseen una longevidad considerable y muestran una alta sensibilidad a las alteraciones en el ambiente (Parra-Ochoa, 2014).

Pérez et al. (2005) aplicaron un método de recolección de plumas a partir de aves muertas, mientras que en el presente estudio se empleó la metodología utilizada por González et al. (2018) y Sun et al. (2020), quienes colectaron plumas mudadas en lugares aleatorios, con el fin de evitar la interferencia directa con las aves. En este trabajo, la recolección se realizó en los dormitorios hasta completar un total de 2.5 g de plumas, conformando una única muestra y no un número específico de plumas. Esta decisión se fundamentó en que el peso varía entre plumas, por lo que establecer un peso total permite obtener una muestra más representativa. Además, siguiendo la propuesta de Sun et al. (2020), las plumas recolectadas correspondieron a un conjunto mezclado en cuanto a edad, sexo, individuo, hábitos alimenticios y otros factores.

Para la presente investigación se optó por el análisis de plumas debido a que diversos autores han empleado otros tejidos como sangre, hígado u órganos específicos (Pérez López et al., 2005). La selección de este biomarcador se sustentó en criterios éticos, al permitir la obtención de muestras sin sacrificar a las aves, así como en su practicidad, dado que las plumas se mudan periódicamente y su recolección es sencilla (Pandiyani et al., 2020). Durante su fase de crecimiento, las plumas se mantienen vascularizadas y en contacto directo con el torrente sanguíneo, lo que posibilita la incorporación de metales como el plomo en la matriz de queratina, convirtiéndose en un depósito estable de

contaminantes y reflejando la carga de exposición acumulada durante su formación (Garrido Bautista, 2020).

Una de las posibles formas en que este metal entra al cuerpo de los individuos de *Psittacara strenuus* podría ser por medio de su dieta, la cual es meramente de frutas, debido a que diferentes estudios muestran que el plomo puede ser bioacumulado por medio de la absorción y adsorción de las raíces, donde por medio del xilema y floema son transportados a sus hojas, flores y frutos (Callo-Choquevilca, 2022; Solís-Mendoza et al. 2012).

Si bien algunos estudios recomiendan no utilizar el raquis y procesar únicamente las barbas, en esta investigación se empleó la pluma completa, siguiendo el criterio metodológico de Sun et al. (2020) y González et al. (2018).

La técnica analítica empleada fue adición patrón (o adición estándar), la cual resulta especialmente adecuada para el análisis de muestras ambientales en las que no es posible contar con un blanco de valor cero. En este caso, no se disponía de plumas que se supiera con certeza que estuvieran libres de plomo, por lo que se optó por esta metodología. En la curva de calibración obtenida, el valor de R^2 fue de 0.9928, lo que indica un excelente ajuste lineal y confirma la confiabilidad de la medición.

En esta investigación no se aplicaron pruebas estadísticas debido a la naturaleza cualitativa del estudio, cuyo propósito principal fue determinar la presencia o ausencia de plomo en las muestras analizadas. El dato obtenido mediante la técnica de adición patrón resultó suficiente para cumplir con este objetivo, sin requerir un análisis estadístico adicional.

IX. CONCLUSIONES

Se confirmó la presencia de plomo en las plumas de *Psittacara strenuus* con una concentración de 5.08 µg/mL. Este hallazgo evidencia la exposición ambiental al plomo en aves silvestres urbanas.

La investigación concluye que se ha confirmado la presencia de plomo en las plumas de los pericos (*Psittacara strenuus*) analizados en el área metropolitana. Este hallazgo constituye una evidencia preliminar de que estas aves están expuestas a la contaminación ambiental por plomo.

La detección de plomo en estas aves refuerza su utilidad como bioindicadores de contaminación en entornos urbanos. Su sensibilidad a los contaminantes y su interacción constante con el medio ambiente las convierte en especies centinelas para evaluar la calidad ecológica de las ciudades.

La presencia de residuos antropogénicos en zonas urbanas, como pinturas con plomo y escombros, gasolina, desechos de baterías, etc., se ha considerado como una amenaza silenciosa para la fauna silvestre. En el caso de *Psittacara strenuus*, su hábito natural de explorar con el pico los elementos del entorno facilita la ingestión de partículas contaminadas, aumentando su vulnerabilidad frente a la intoxicación por plomo.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda profundizar y ampliar la investigación sobre la presencia de plomo en *Psittacara strenuus* mediante la incorporación de un mayor número de muestras y la comparación entre diferentes sitios y periodos de tiempo. Asimismo, sería valioso incluir otras especies presentes en la zona, así como analizar posibles fuentes alimenticias y ambientales que puedan influir en la acumulación de este metal pesado. También se sugiere evaluar parámetros adicionales, como la calidad del aire y otros indicadores ambientales, con el fin de comprender de manera más integral las posibles vías de exposición.

Se considera necesario investigar más a fondo la relevancia de estos hallazgos en relación con la salud humana y los ecosistemas urbanos, para generar un conocimiento más amplio y sólido que contribuya a futuras estrategias de monitoreo y mitigación.

Se deberían implementar programas de monitoreo continuo en diferentes zonas urbanas y periurbanas de El Salvador, utilizando las plumas de *Psittacara strenuus* como herramienta de evaluación de la contaminación por plomo, dada su efectividad como bioindicador.

Se sugiere implementar estrategias de mitigación de la contaminación por plomo con el objetivo de preservar la integridad ecológica de *Psittacara strenuus*. La exposición prolongada a este metal puede afectar funciones fisiológicas, reproductivas y comportamentales, lo que eventualmente podría conducir a una disminución progresiva de la población. Por ello, resulta fundamental adoptar acciones que reduzcan y controlen las fuentes de exposición en las áreas donde la especie se desarrolla.

Se propone fortalecer la divulgación científica y la educación ambiental sobre los riesgos asociados al plomo, por medio de campañas informativas dirigidas a la población. Los hallazgos de investigaciones como esta pueden servir como base para sensibilizar a la comunidad acerca de los efectos del plomo en el ambiente y en la salud pública, promoviendo prácticas más responsables y una mayor participación ciudadana en la protección del entorno.

XI. REFERENCIAS

Alarcón-Chavarría, C. (2018). Contaminación con plomo en los expendedores de gasolina del distrito de Ayacucho, 2017. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Recuperado de: <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0dc2f31c-a391-4013-b8f1-1bc19027e9d2/content>

Alvarado, J. C. (2017). Calidad del aire. Ministerio de Salud. Recuperado de: <https://usam.salud.gov.sv/index.php/component/content/article/716>

Anaya-Rodríguez, K., Solano-Rodríguez, J. (2016). Determinación de metales pesados (plomo y arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc) en hojas de *Crotalaria longirostrata* (chipilin) por el método de absorción atómica. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://repositorio.ues.edu.sv/items/79bcc84b-2200-478d-bb13-8c353b164975>

Aquino, N., Países, J y Rojas, K. (2025). Rostro entre el plomo: Los efectos de Baterías Record en Sitio del Niño. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/2652a9bd-383e-40b8-afde-d1dad6bf0052/content>

Asamblea Legislativa de El Salvador. (2012). Ley especial transitoria para la remediación de la contaminación por plomo en el Cantón Sitio del Niño, jurisdicción de San Juan Opico, departamento de La Libertad. Recuperado de: <https://www.jurisprudencia.gob.sv/DocumentosBoveda/D/2/2010-2019/2012/11/9B53F.PDF>

Aziz, B., Zubair, M., Irshad, N., Ahmad, K. S., Mahmood, M., Tahir, M. M., Shah, K. H., & Shaheen, A. (2021). Biomonitoring of toxic metals in feathers of birds from North-Eastern Pakistan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *106*. Recuperado de: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8049892/>

Barraza, J. E. (2000). Determinación de metodología óptima para la biomonitorización de metales pesados en sedimentos y biota del río Lempa. PROARCA/CAPAS. Recuperado de: https://www.academia.edu/50142875/Determinaci%C3%B3n_de_metodolog%C3%ADa_%C3%B3ptima_para_la_biomonitorizaci%C3%B3n_de_metales_pesados_en_sedimentos_y_biota_del_r%C3%ADo_Lempa

Bard (Google IA). (2024). Esquema de los pasos para el análisis de plomo en muestras de plumas, con plumas verdes y frascos coloreados. [Imagen generada con IA]. Obtenido de la interacción con el usuario en la plataforma.

Buelvas-Soto, J., Marrugo-Madrid, S., & Marrugo-Negrete, J. (2021). Bioacumulación de mercurio y plomo en el pato *Dendrocygna autumnalis* en la subregión de la Mojana, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, *21*(1). Recuperado de: <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/e2337/3736>

Buencuerpo-Arcas, V., García-Moreno, A., Gutiérrez-Castaño, E., Outerelo-Domínguez, R., Pérez-González, S., Pérez-Tris, J., Pérez-Zaballos, J., Ramírez-García, A., & Ruiz-Piña, E. (2016). Prácticas de zoología: Estudio y diversidad de los vertebrados Aves. Reduca. Recuperado de: <http://bba.bioucm.es/cont/docs/629.pdf>

Burger, J. (1993). Metals in avian feathers: Bioindicators of environmental pollution. *Reviews of Environmental Toxicology*, *5*, 203–311.

Callo-Choquevilca, Y. (2022). Bioacumulación de metales pesados: plomo, cadmio y cromo en plantas medicinales recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular en la ciudad del Cusco. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de: https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19897/Callo_Choquevilca_Yo_landa.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Cantú-Guzmán, J. C., y Sánchez-Saldaña, M. E. (2018). Guía de identificación de psitácidos mexicanos. Recuperado de: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10258.89283>

Capó Martí, M. A. (2003). La ecotoxicología, una ciencia de hoy. *Revista Medicina Balear*, *18*(3). Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/32993419.pdf>

Castañeda de Ábrego, V. (2006). Desarrollo de la tecnología de “Fitorremediación” para mejorar la calidad del aire en el Área Metropolitana San Salvador (AMPSS). Universidad Dr. José Matías Delgado. Recuperado de: <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/LIBROS/D/ADCD0000036.pdf>

Castillo-Rosales, B., Segovia-López, L., Pocasangre, C., Flores, O. y Arévalo-Navas F. (2024). Estudio de calidad del aire presente en el área metropolitana y su estado respecto a los índices centroamericanos en el contorno de la Universidad de El Salvador. *Revista Minerva*. Recuperado de: [10.5377/revminerva.v7i3.18911](https://doi.org/10.5377/revminerva.v7i3.18911)

Collar, N., Kirwan, G. M., Sharpe, C. J., Boesman, P. F. D., & Greeney, H. F. (2020). Pacific Parakeet. *Birds of the World*. Recuperado de: <https://birdsoftheworld.org/bow/species/pacpar1/cur/introduction>

Corzo Expósito, I., & Velásquez Hernández, M. (2014). El plomo y sus efectos en la salud. *Acta Médica del Centro*, *8*(3). Recuperado de: <https://revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/article/view/164>

De Francisco, N., Ruiz Troya, J. D., & Agüera, E. I. (2003). Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. *Avian Pathology*, 32(1), 3-13.

Diario El Mundo. (2022). Decomisan pericos y catalnicas que iban a ser vendidas en el poblado de Santa Ana. Recuperado de: <https://diario.elmundo.sv/nacionales/decomisan-pericos-y-catalnicas-que-iban-a-ser-vendidas-en-poblado-de-santa-ana>

Diario La Página. (2022). Medio Ambiente custodia 106 pericos, 14 loras y 1 mono capuchino, decomisados por la PNC. Recuperado de: <https://lapagina.com.sv/nacionales/medio-ambiente-custodia-106-pericos-14-loras-y-1-mono-capuchino-decomisados-por-la-pnc/>

Díaz-Zamora, R. (2017). Ventajas y desventajas del análisis por ICP-MS de metales pesados en muestras biológicas. Boletín Institucional del Instituto Nacional de Salud. Recuperado de: <https://boletin.ins.gob.pe/wp-content/uploads/2017/A%C3%B1o23N7-8/6Articulo.pdf>

Domènech, X., & Peral, J. (2006). Química ambiental de sistemas terrestres. Reverté. Recuperado de: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429193183_A39672163/preview-9788429193183_A39672163.pdf

Estrada-Guerrero, D. M., & Soler-Tovar, D. (2014). Las aves como bioindicadores de contaminación por metales pesados en humedales. Ornitología Colombiana, *14*. Recuperado de: <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/wp-content/uploads/2014/12/MS1222.pdf>

Fonseca, L. M. (2018). El tecolote llanero (*Athene cunicularia*) como especie indicadora de contaminación por metales pesados en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/2075/1/El%20tecolote%20llanero%20%28Athene%20cunicularia%29.pdf>

Forshaw, J. M. (1989). Parrots of the world (3rd ed.). Landsdowne Editions.

Fundación Zoológica de El Salvador (FUNZEL). (2019). Conservación de pericos y loras (Psitácidos). Recuperado de: <https://funzel.org.sv/index.php/es/conservacion-de-pericos-y-loras>

Garrido Bautista, J. (2020). La contaminación por metales pesados también llega a las aves. El Pulgar del Panda. Recuperado de: <https://www.elpulgardelpanda.com/la-contaminacion-por-metales-pesados-tambien-llega-a-las-aves/>

Gimenez Lozano, L. (2017). Evaluación no invasiva mediante plumas de la exposición al plomo y su relación con hormonas de estrés en quebrantahuesos de Los Alpes. Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2017/hdl_2072_304795/TFM_lgimenezlozano.pdf

Gómez-Escoto, R., Orellana M. (2025). Determinación de contaminación por metales pesados en muestras de agua superficial y de profundidad del Lago de Ilopango, El Salvador. Revista Minerva. Recuperado de: <https://camjol.info/index.php/revminerva/article/view/20843>

González. (s. f.). Standard Addition Method. Chemistry LibreTexts. Recuperado de: [https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Worksheets/Worksheets%3A_Analytical_Chemistry_II/Calibration_Methods_\(Gonzalez\)/02_Standard_Addition_Method](https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Worksheets/Worksheets%3A_Analytical_Chemistry_II/Calibration_Methods_(Gonzalez)/02_Standard_Addition_Method)

Google IA. (2024). Bard. Esquema de los pasos para el análisis de plomo en muestras de plumas, con plumas verdes y frascos coloreados. [Imagen generada con IA]. Obtenido de la interacción con el usuario en la plataforma.

Guitart, R., Mañosa, S., Thomas, V. G., & Mateo, R. (1999). Perdigones y peso de plomo: Ecotoxicología y efectos para la fauna. *Revista de Toxicología*, *16*. Recuperado de: <http://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/2020/12/revtox.16.1.1999.pdf>

Guzmán, R. A. (2020). La clase Aves, una reconsideración de su posición taxonómica en base a morfología y genética. *Sagasteguiana*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/355574434>

Guzmán-Velasco, A., Ramírez-Cruz, J. I., Ruiz-Ayma, G., Rodríguez-Sánchez, I. P., Garza-Ocaña, L., Treviño-Alvarado, V. M., González-Rojas, J. I., & Olalla-Kerstupp, A. (2021). Great-tailed Grackles (*Quiscalus mexicanus*) as biomonitors of atmospheric heavy metal pollution in urban areas of Monterrey, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/351424376_Great-tailed_Grackles_Quiscalus_mexicanus_as_Biomonitor_of_Atmospheric_Heavy_Metal_Pollution_in_Urban_Areas_of_Monterrey_Mexico

Henríquez-Ortiz, R. (2013). Determinación de contaminación por metales pesados en suelos de la zona rural del bajo Lempa por medio de Fluorescencia de Rayos X. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://repositorio.ues.edu.sv/items/e166ad64-e04d-4b36-9ec4-1f25f14fe2a5>

Hernández, K. M., Escalante, B. P., & González, C. (2023). Tráfico ilegal de psitácidos en México. *Revista Ciencia*, *74*(1). Recuperado de: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74_1/PDF/09_74_1_1327.pdf

Herrera, N., Ibarra-Portillo, R., Vega-Durán, I., & Pérez-García, I. (2006). Monitoreo de la población del perico verde centroamericano (*Aratinga strenua*) en Antiguo Cuscatlán, El Salvador. *Boletín de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación*, *10*(2). Recuperado de: <https://www.academia.edu/15522458/>

Huang, J., & Mayer, J. (2019, enero-febrero). Toxicidad del plomo y el zinc en las aves. <https://todaysveterinarypractice.com/exotic-medicine/lead-and-zinc-toxicity-in-birds/>

Ibarra-Portillo, R. (2018). Informe final de monitoreo de pericón verde (*Psittacara strenuus*) en Antiguo Cuscatlán, La Libertad. Fundación Zoológica de El Salvador.

IUCN. 2018. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-2. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org/species/62296899/132190435>

Jiménez, M. A., Grijalva, A. M., & Ponce, H. X. (2020). Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Revista RECIMUNDO*. Recuperado de: [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.4-12](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12)

Julivert, M. A. (2003). *Las aves* (2ª ed.). Parramón Paidotribo.

Laínez-Molina, C. (2019). Determinación de metales pesados en sedimentos de manglar del hábitat de *Anadara tuberculosa* (concha peluda) en Barra de Santiago Departamento Ahuachapán El Salvador. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://repositorio.ues.edu.sv/items/f7641154-8fc8-4e8e-b991-2d34a0d28020>

Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. (1995). Diario Oficial de El Salvador. Recuperado de: <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/80316727-E428-4308-ADC1-054A496B8455.pdf>

López, C. E., & Azucena, C. E. (2006). Niveles de arsénico, mercurio y plomo en sedimento y tejido blando de *Anadara spp.* en el Estero de Jaltepeque, departamento de La Paz, El Salvador. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8741/1/19200597.pdf>

López, F. A., & Quijada, M. G. (2016). Determinación de concentraciones de metales pesados en sangre de hembras anidantes de tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*) en la Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9521/1/13101605.pdf>

Macaw Mountain. (s. f.). Perico del Pacífico. Recuperado de: <https://www.macawmountain.org/es/card/perico-del-pacifico/>

Mañay, N., Clavijo, G., & Díaz, L. (2009). Capítulo 5: Absorción atómica con horno de grafito. En *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de As en agua y suelos*. CYTED. Recuperado de: <http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/02ba23e6cc083af03bfc55ac63a98a0c.pdf>

Martínez Guifarro, M. R. (2022). Efecto matriz en medidas analíticas: Método de las adiciones estándar. Universitat Politècnica de València. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/182774>

Martínez-Haro, M. (2010). Contaminación por perdigones de plomo en humedales y evaluación de los aportes de grit como medida para reducir el plumbismo en aves acuáticas. Universidad de Castilla-La Mancha. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=88647>

Martínez-Pérez, D. M. (2019). Determinación de plomo en *Lycopersicon esculentum* (tomate) por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20143/1/16103757.pdf>

Martínez-Rodríguez, N. J., & Villegas-Peña, B. M. (2024). Consultoría empresarial para la Fundación Zoológica de El Salvador (FUNZEL), San Salvador. Universidad de El Salvador. Recuperado de: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/df3b9e73-46d0-47b4-a50c-5d76286c8670/content>

Martorell, J. (2009). Intoxicaciones en aves Clínica Veterinaria de Pequeños Animales, *29*(3), 172–178. Recuperado de: <https://ddd.uab.cat/pub/clivetpeqani/11307064v29n3/11307064v29n3p172.pdf>

Maruri-Aguilar, B., García-Valdés, A. I., & Pineda-López, R. (2013). Las aves del jardín botánico regional de Cadereyta: Una presencia interpretada. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Recuperado de: https://issuu.com/jbotanico-concyteq/docs/libro_las_aves_del_jardi_n_bota_nico_regional_d_e_cad

Mateo, R. (2011). Plumbismo: Un problema de conservación y salud pública. Aves y Naturaleza. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3660352>

Medrano, P. R. (2021). Estudio comparativo de la presencia de cadmio, plomo, arsénico y cromo por el método de ICP-EOS entre las leches comercializadas en Arequipa. Universidad Católica de Santa María. Recuperado de: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/64f84544-c448-419a-91f2-5906d3761226>

Merck KGaA. (s. f.). Espectroscopia atómica. Recuperado de: <https://www.sigmaaldrich.com/SV/es/applications/analytical-chemistry/atomic-spectroscopy>

Mikoni, N., Poppenga, R., Ackerman, J. T., Foley, J., Hazlehurst, J., Purdin, G., Aston, L., Hargrave, S., Jelks, K., & Tell, L. A. (2017). Trace element contamination in feather and tissue samples from Anna's hummingbirds. *Ecological Indicators*, *80*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.053>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2010). Decreto Ejecutivo N° 12. Gobierno de El Salvador. Recuperado de: <https://www.jurisprudencia.gob.sv/DocumentosBodega/D/2/2020-2029/2024/04/100AA2.PDF>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2023). Informe semanal de calidad del aire. Recuperado de: <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/monitoreo/calidad+del+aire/>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2023). Listado oficial de especies de vida silvestre amenazadas o en peligro de extinción. Recuperado de: <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/listado-oficial-de-especies-de-vida-silvestre-amenazadas-o-en-peligro-de-extincion/>

Ministerio de Salud Pública de El Salvador. (2010). Boletines de prensa 19082010 y 20082010. Unidad de Comunicaciones del MINSAL. Recuperado de: https://asp.salud.gob.sv/boletines_informativos.asp

Motas, M., Jerez, S., Esteban, M., Valera, F., Cuervo, J. J., & Barbosa, A. (2021). Mercury levels in feathers of penguins from the Antarctic Peninsula area: Geographical and inter-specific differences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(18), 9918. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ijerph18189918>.

Olalla-Kersstupp, A., González-Martínez, J. A., Yeveerino-Martínez, C. D., González-Rojas, J. I., Guzmán-Velasco, A., Ceyca, J. P., & Ruiz-Aymá, G. (2020). Monitoreo de niveles de plomo en Ciudad Universitaria (UANL), utilizando aves como bioindicadores. *Biología y Sociedad*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9108380>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Intoxicación por plomo y salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

Oyedeggi, O. O., Adebayo, A. O., & Olayinka, O. O. (2011). Determination of heavy metals in selected cosmetic products using atomic absorption spectrophotometer. *International Journal of Physical Sciences*, 6(4), 755–760.

Parra-Ochoa, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *CES Salud Pública*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4804774.pdf>

Pandiyan, J., Jagadheesan, R., Karthikeyan, G., Mahboob, S., Al-Ghanim, K., Al-Misned, F., Ahmed, Z., Krishnappa, K., Elumalai, K., & Govindarajan, M. (2020). Probing of heavy metals in the feathers of shorebirds of Central Asian Flyway wintering grounds. *Scientific Reports*, *10*. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-79029-z>

Pérez, M., Cid, D., Hernández, A., Oropesa, A., López, L., Fidalgo, & Soler. (2005). Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas afectadas por el accidente del Prestige en la costa de Galicia. *Revista de Toxicología*, *22*, 191–199.

Planes, E., & Fuchs, J. (2015). ¿Cuáles son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales? *Ciencia e Investigación*, *65*(2). <https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCel/tomo65-2/5-Planes-cei65-2-5.pdf>

Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos (PDDH). (2007). *Resolución, Referencia: LL-0050-05*. El Salvador. <https://www.pddh.gob.sv/portal/file/index.php?dwfile=MjAxNy8wOS9SZXNvbHVjaW9uLUJhdGVyaWFzLVJlY29yZC5wZGY=>

Ramírez, N. (2020). Alerta roja por incendio en exfábrica contaminada con plomo. ARPAS. <https://arpas.org.sv/2020/08/alerta-roja-por-incendio-en-exfabrica-contaminada-con-plomo/>

Ritchie, H. (2024). Every country has now banned the use of leaded gasoline in cars. *Our World in Data*.

<https://ourworldindata.org/data-insights/every-country-has-now-banned-the-use-of-leaded-gasoline-in-cars>

Rodriguez-Ramos, J., Gutierrez, V., Höfle, U., Mateo, R., Monsalve, L., Crespo, E., & Blanco, J. M. (2009). Lead in Griffon and Cinereous Vultures in central Spain: Correlations between clinical signs and blood lead levels. En R. T. Watson, M. Fuller, M. Pokras, & W. G. Hunt (Eds.), *Ingestion of spent lead ammunition: Implications for wildlife and humans* (pp. 235–236). Boise State University.

Rosa Mina, A. (2015). Informe de acciones realizadas por el Ministerio de Salud en el Cantón Sitio del Niño, San Juan Opico, por contaminación por plomo (agosto 2012–agosto 2015).

<https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/informe-de-acciones-realizadas-por-el-ministerio-de-salud-en-el-canton-sitio-del-nino-municipio-de-san-juan-opico-en-atencion-a-la-emergencia-ambiental-por-contaminacion-por-plomo-agosto-2010-2015/>

Sandoval, M. A. (2022). Metales pesados en el agua y en caracoles del género *Pomacea flagellata* del lago de Güija, Metapán, Santa Ana. *Ciencia, Humanidad y Cultura*, *1*(1). <https://revista.unasa.edu.sv/index.php/chc/article/view/12/21>

Seco Pon, J. P., Beltrame, O., Marcovecchio, J., Favero, M., & Gandini, P. (2011). Trace metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of Black-browed Albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf. *Marine Environmental Research*, *72*.

Segura-Beltrán, A. (2015). Implementación del método cuantitativo de absorción atómica para cromo y plomo con estándares trazables en muestras ambientales. Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/57488/Trabajo%20FINAL%20Tesis%20de%20grado.pdf?sequence=1>

Silva, T. (1993). *A monograph of Macaws and Conures*. Silvio Mattacchione & Co.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2001). *Principios de análisis instrumental* (5ª ed.). McGraw-Hill.

Skoog, D., West, D. M., Holler, J., & Crouch, S. (2015). *Fundamentos de química analítica* (9ª ed.). https://www.surcosistemas.com.ar/virtual/ebooks/QUIMICA_ANALITICA_Novena_edicion.pdf

Solís-Mendoza, F.; Sahagún-Castellanos J.; Villanueva-Verduzco, C.; Colinas-León, M. y García-Mateos M. (2012). Distribución de biomasa y acumulación de plomo en calabacita (*Cucurbita pepo* L.) cultivada en suelo contaminado. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(2), 197-205. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.12.102>

Storer, T. I., Usinger, R. L., Stebbins, R. C., & Nybakken, J. W. (2003). *Zoología general* (6ª ed.). Omega.

Sun, Y., Lu, Z., Xiao, K., Zeng, L., Wang, J., & Wing, G. (2020). Antarctic Adélie penguin feathers as bio-indicators of geographic and temporal variations in heavy metal concentrations in their habitats. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142974>

Tchounwou, P. B., Yedjou, G. C., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Experimental Supplement*, 101, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

Tsipoura, N., Burger, J., Feltes, R., Yacabucci, J., Mizrahi, D., Jeitner, C., & Gochfeld, M. (2008). *Metal concentrations in three species of passerine birds breeding in the Hackensack Meadowlands of New Jersey*. *Environmental Research*, 107, 218–228.

Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jeitner, C., Gochfeld, M., & Mizrahi, D. (2011). Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environmental Research*, *111*(6). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935111001423>

Tully, T. N. (2020). Psittaciformes. *Exotic Animal Laboratory Diagnosis*.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (2014). Aves. Hoja técnica de divulgación científica. <https://www.uacj.mx/ICB/UEB/documentos/6.%20AVES.%20PDF.pdf>

Universidad Pablo de Olavide. (2005). Práctica 1: Determinación de fosfatos en aguas por espectrofotometría. https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/TAQP1_0506.pdf

Valladares-Faundez, P., Cáceres, G., & Valdés, J. (2020). Contenido de plomo, cadmio y arsénico en tejidos biológicos de la paloma común (*Columba livia*) presentes en un área urbana previamente contaminada con residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *36*(2).

Vallely, A. C., & Dyer, D. (2018). *Birds of Central America: Belize, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, and Panama*. Princeton University Press.

Vizuite, J., Pérez-López, M., Míguez-Santiyán, M., Hernández-Moreno, D. (2018). Mercury (Hg), Lead (Pb), Cadmium (Cd), Selenium (Se) and Arsenic (As) in Liver, Kidney and Feathers of Gulls: A Review. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/328831619_Mercury_Hg_Lead_Pb_Cadmium_Cd_Selenium_Se_and_Arsenic_As_in_Liver_Kidney_and_Feathers_of_Gulls_A_Review_Continuation_of_Residue_Reviews

VV.AA. (2007). *Manual de espectroscopía atómica*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Wermundsen, T. (1998). Colony breeding of the Pacific Parakeet *Aratinga strenua* Ridgway 1915 in the Volcán Masaya National Park, Nicaragua. *Tropical Zoology*, *11*.

Zaccagnini, M. E. (2006). ¿Por qué monitoreo ecotoxicológico de diversidad de aves en sistemas productivos? En INTA Expone 2004 (Vol. 3, pp. 69–89). INTA.