



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

POSGRADO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

**GENOTOXICIDAD EN EL GORRIÓN CHAPULINERO  
(*Ammodramus savannarum*) Y EN EL GORRIÓN DE BAIRD  
(*Centronyx bairdii*) EN CUCHILLAS DE LA ZARCA,  
DURANGO**

**TESIS**

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO  
AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS**

**PRESENTA:**

LIC. AMARA SAHAD JIMÉNEZ CHÁVEZ.

**DIRECTOR:**

M.C. GONZALO HERNÁNDEZ IBARRA

**CODIRECTOR:**

DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA



**APROBADA**



Bermejillo, Durango a 04 de marzo del 2022



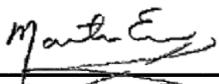
Genotoxicidad en el gorrion chapulinero (*Ammodramus savannarum*) y en el gorrion de Baird (*Centronyx bairdii*) en Cuchillas de la Zarca, Durango

Tesis realizada por **Amara Sahad Jiménez Chávez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS**

  
**DIRECTOR:** \_\_\_\_\_  
M.C. Gonzalo Hernández Ibarra

  
**CODIRECTOR:** \_\_\_\_\_  
Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula

  
**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
Dr. Martín Emilio Pereda Solís

  
**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
Dr. Ricardo Trejo Calzada

  
**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
Dr. César Alberto Meza Herrera

## CONTENIDO

Resumen .....	xi
Abstract.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
2.1 El pastizal del Desierto Chihuahuense y su priorización en la región de Cuchillas de la Zarca. ....	18
2.2 Especies de estudio .....	19
2.2.1 Descripción del gorrión chapulinero ( <i>A. savannarum</i> ) .....	19
2.2.2 Descripción del gorrión de Baird ( <i>C. bairdii</i> ) .....	20
2.3 Distribución y migración .....	22
2.4 Reproducción .....	22
2.5 Hábitat .....	23
2.6 Cantos .....	24
2.7 Dieta .....	24
2.7.1 Gorrión chapulinero ( <i>A. savannarum</i> ) .....	24
2.7.2 Gorrión de Baird ( <i>C. bairdii</i> ).....	24
2.8 Toxicología .....	25
2.9 Ecotoxicología.....	26

2.10 Agentes genotóxicos ambientales .....	27
2.11 Efecto de los genotóxicos .....	30
2.12 Principales compuestos xenobióticos .....	30
2.13 Bioindicadores y biomonitores .....	31
2.14 Los gorriones como bioindicadores.....	32
2.15 Bioacumulación y distribución trófica .....	32
2.16 Prueba de micronúcleos (MN) y prolongaciones nucleares .....	33
2.17 Índice H/L como indicador del estado de salud.....	34
2.18 Sistema inmune de las aves.....	34
2.18.1 Linfocitos .....	36
2.18.2 Heterófilos .....	37
2.18.3 Eosinófilos .....	37
2.18.4 Basófilos .....	38
2.18.5 Monocitos .....	38
CAPITULO III. BIOMARCADORES HEMÁTICOS EN DOS ESPECIES DE AVES DE PASTIZAL.....	53
ANEXO I. CRONOGRAMA.....	72
ANEXO II. MATERIAL Y EQUIPO.....	73

**Lista de cuadros**

Capitulo II

Cuadro 1. Células que conforman el sistema inmune de las aves ..... 31

Capitulo III

Cuadro 1. Valores de referencia del diferencial leucocitario (%) en algunas especies de aves .....57

## Lista de figuras

### Capítulo II

Figura 1. Vista lateral del gorrión chapulinero adulto (*Ammodramus savannarum*) en Cuchillas de la Zarca, Dgo .....18

Figura 2. Vista lateral del gorrión de Baird adulto (*Centronyx bairdii*) en Cuchillas de la Zarca, Dgo .....19

### Capítulo III

Figura 1. Localización del área de estudio en Cuchillas de la Zarca, Durango, México .....52

## Lista de Abreviaturas

ADN	Ácido desoxirribonucleico
AC	Aberraciones cromosómicas
APCP	Áreas prioritarias de conservación de pastizales
ARN	Ácido ribonucleico
COP	Contaminantes orgánico persistentes
DDE	Diclorodifenildicloroetileno
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
EMN	Eritrocitos micronucleados
EPC	Eritrocitos policromáticos
EPCMN	Eritrocitos policromáticos con micronúcleos
EPCPN	Eritrocitos policromáticos con prolongaciones nucleares
EPN	Eritrocitos con prolongaciones nucleares
H/L	Heterófilo/linfocito
ICC	Índice de Condición Corporal
LD50	Dosis letal media
MN	Micronúcleos
NOAEL	Nivel de efectos adversos no observados
P-gp	Glicoproteína P
PMH	Proporciones de machos y hembras
RNA	Neuronales artificiales
RPCP	Región Prioritaria para la Conservación de Pastizales

## **Dedicatorias**

A mis padres Flor y Javier por apoyarme incondicionalmente en mis decisiones y a través de mis viajes.

A mis hermanos Wendy y Javier por ser excepcionales y motivarme a seguir.

A todas las personas que estuvieron a través de esta etapa y elaboración del trabajo.

## **Agradecimientos**

Agradezco infinitamente a mi Comité Asesor, al Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula, al M.C. Gonzalo Hernández Ibarra, al Dr. Martin Emilio Pereda Solís, Dr. Ricardo Trejo Calzada y al Dr. Cesar Alberto Meza Herrera por sus consejos, paciencia y apoyo brindados durante el desarrollo del proyecto de investigación y culminación de la tesis.

Del mismo modo agradezco al Dr. José Hugo Martínez Guerrero, al Dr. Daniel Sierra Franco, al Dr. Genaro Olmos Oropeza, al M.C. Fernando Flores y al M.C. Manuel Armando Salazar Borunda por su ayuda durante la fase de campo y a la M.C. Martha Cecilia Mariñez Quintanilla por la capacitación en laboratorio haciendo más amena la estadía.

Esta tesis fue posible gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) por darme la oportunidad de cumplir esta meta, así como a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) por el apoyo brindado para la realización de las estancias y los trabajos de laboratorio.

Finalmente agradezco a mi familia que sin su apoyo nada es posible.

## DATOS BIBLIOGRÁFICOS



### Datos personales

**Nombre:** Amara Sahad Jiménez Chávez

**Fecha de nacimiento:** 30 de agosto de 1993

**Lugar de nacimiento:** Santiago de Querétaro, Querétaro.

**CURP:** JICA930830MQTMHM08

**Profesión:** Licenciada en Biología

### Desarrollo académico

**Bachillerato:** Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicio No. 16

**Licenciatura:** Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Bahía de Banderas, Nayarit.

## Resumen

Las poblaciones de aves de pastizal han disminuido significativamente. El objetivo de este estudio fue conocer el estado de salud y posible exposición a contaminantes ambientales (genotóxicos) en muestras sanguíneas periférica del gorrión Chapulinero (*Ammodramus savannarum*) y el gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) durante su estancia invernal (noviembre, 2020) en Cuchillas de la Zarca. Cuchillas de la Zarca se ubica muy próximo a la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental, entre los estados de Chihuahua y Durango, México. Para evaluar el estado de salud de estas dos especies de pastizal se capturaron 34 ejemplares de gorrión chapulinero (*Ammodramus savannarum*) y 23 especies de gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*). El estado de salud se evaluó mediante la relación heterófilo/ linfocito, diferencial leucocitario y frecuencia basal en eritrocitos micronucleados (EMN), eritrocitos con prolongaciones nucleares (EPN) y eritrocitos policromáticos (EPC) en muestras de sangre periférica de ambas especies. La frecuencia basal de los EMN ( $10.7 \pm 6.1$ ), EPN ( $27.7 \pm 12$ ) y EPC ( $97.3 \pm 27.6$ ) de *A. savannarum* fue similar ( $\alpha= 0.05$ ) a la frecuencia basal de los EMN ( $8.4 \pm 8.6$ ), EPN ( $22.2 \pm 10.6$ ) y EPC ( $103.2 \pm 21.5$ ) de *C. bairdii*. Los valores del diferencial leucocitario para ambas especies se ubicaron dentro del rango normal, siendo los linfocitos los más abundantes. Los índices heterófilo/linfocito (0.5 y 0.7, respectivamente) coinciden con lo reportado para otras especies de vida libre y bajo cautiverio. Este estudio, sobre el estado de salud del gorrión chapulinero (*A. savannarum*) y gorrión de Baird (*C. bairdii*), es el primero que se realiza en sus áreas de distribución. Los resultados de esta investigación pueden deberse a diversos factores que influyen en la frecuencia y conteo en las células hematológicas. Algunos de esos factores pueden ser estrés, relacionados a contaminantes ambientales, sobrevivencia a eventos de depredación, alimentación, enfermedades, así como a la variación entre edades y sexo de las especies de gorrión. La información generada en este estudio podrá ser utilizada para entender mejor las amenazas que estas especies invernantes enfrentan durante su migración y estancia en Cuchillas de la Zarca, así como con fines de conservación de estas aves de pastizal.

**Palabras clave:** aves de pastizal, contaminantes, Cuchillas de la Zarca.

---

Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas  
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Amara Sahad Jiménez Chávez

Director de Tesis: Gonzalo Hernández Ibarra

## Abstract

Grassland bird populations have declined significantly. The objective of this study was to know the health status and possible exposure to environmental pollutants (genotoxic) in peripheral blood samples of the Grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum*) and the Baird's sparrow (*Centronyx bairdii*) during their winter stay (november, 2020) in Cuchillas de la Zarca. Cuchillas de la Zarca is located very close to the eastern slope of the Sierra Madre Occidental, between the states of Chihuahua and Durango, Mexico. To assess the health status of these two grassland species, 34 grasshopper sparrows (*Ammodramus savannarum*) and 23 species of Baird's sparrow (*Centronyx bairdii*) were captured. Health status was assessed using the heterophile / lymphocyte ratio, leukocyte differential, and baseline frequency in micronuclear erythrocytes (EMN), erythrocytes with nuclear extensions (EPN), and polychromatic erythrocytes (EPC) in peripheral blood samples of both species. The basal frequency of the EMN ( $10.7 \pm 6.1$ ), EPN ( $27.7 \pm 12$ ) and EPC ( $97.3 \pm 27.6$ ) of *A. savannarum* was similar ( $\alpha = 0.05$ ) to the basal frequency of the MND ( $8.4 \pm 8.6$ ), EPN ( $22.2 \pm 10.6$ ) and EPC ( $103.2 \pm 21.5$ ) of *C. bairdii*. The leukocyte differential values for both species were within the normal range, with lymphocytes being the most abundant. The heterophile / lymphocyte indices (0.5 and 0.7, respectively) coincide with that reported for other free-living and captive species. This study, on the health status of the Grasshopper Sparrow (*A. savannarum*) and Baird's Sparrow (*C. bairdii*), is the first to be carried out in their ranges. The results of this investigation may be due to various factors that influence the frequency and count in hematological cells. Some of these factors can be stress, related to environmental pollutants, survival to predation events, feeding, diseases, as well as the variation between ages and sex of the sparrow species. The information generated in this study can be used to better understand the threats that these wintering species face during their migration and stay in Cuchillas de la Zarca, as well as for the conservation of these grassland birds.

**Keywords:** grassland birds, pollutants, Cuchillas de la Zarca.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las aves constituyen un componente fundamental de los ecosistemas (Ortiz-Pulido et al., 2016). Éstas se distribuyen en ambientes ecológicos terrestres y acuáticos (Navarro-Sigüenza et al., 2014). En la actualidad, existen aproximadamente 10,500 especies (Navarro-Sigüenza et al., 2014).

Las aves son sensibles a la contaminación ambiental y se utilizan como monitores ambientales. La ausencia o disminución de la presencia de las aves indica el incumplimiento ecológico o desequilibrio del medio (Egwumah & Egwumah, 2017). Aunque las aves son importantes ecológica y económicamente, este grupo faunístico enfrenta amenazas diversas como la pérdida de su hábitat, exposición a contaminantes y a una extracción excesiva de sus individuos (Ortiz-Pulido, 2018).

En México existen entre 1,123 y 1,150 especies de aves (Navarro-Sigüenza et al., 2014), de las cuales destacan las aves de pastizal con 22 especies (Manzano-Fischer et al., 1999). Actualmente, las aves de pastizal enfrentan problemas de sobre pastoreo, extracción con fines comerciales, de fragmentación de sus hábitats y de cambio climático (Macías-Duarte et al., 2009; Stanton et al., 2018).

Los pastizales conforman alrededor del 40% del territorio mexicano y en las últimas décadas han sufrido gran deterioro (Yáñez-Chávez et al., 2018). Asimismo, se estima que los pastizales del norte de México han disminuido en un 12.8% debido a su mal manejo (Rodríguez-Maturino et al., 2017). Esta disminución ha afectado las poblaciones del gorrión chapulinero (*Ammodramus savannarum*) y el gorrión de baird (*Centronyx bairdii*), especies que han presentado un declive significativo (Arroyo-Arroyo et al., 2019; Sauer & Link, 2011) con tasas de incremento poblacional negativas, -2.5% y -2.0% anual, respectivamente (Martínez et al., 2011; Rosenberg et al., 2019). Ninguna de las dos especies se encuentren listadas en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010).

Los estudios realizados sobre estas dos especies han versado sobre su reproducción (Arroyo-Arroyo et al., 2019), distribución y abundancia de *A. bairdii* (Martínez et al., 2011), sobre el uso de hábitat y migración del gorrión chapulinero y el gorrión de baird (Macías-Duarte et al., 2009), de su biología (Montes-Aldaba et al., 2018), sobre sus hábitos alimenticios (Rodríguez-Maturino et al., 2017) y cantos de ambas especies de gorriones (Kaufman 2017a; 2017b).

En México, Martínez-Quintanilla et al. (2016) estudiaron los contaminantes ambientales en el ganso nevado (*Chen caerulescens*) por medio de la relación heterófilo / linfocito y la prueba de micronúcleos, pero no se ha determinado la presencia de genotóxicos ambientales en aves de pastizal. Los genotóxicos ambientales son agentes contaminantes que se clasifican como físicos, químicos o biológicos, los cuales no causan daños físicos inmediatos, pero sí genéticos dado que éstos modifican el ADN (Cuenca & Ramírez, 2004). Los daños genéticos son hereditarios y causan carcinogénesis (Sanz-Serrano et al., 2020). Los genotóxicos ambientales provocan afectaciones celulares (Arango, 2012) y su presencia en los organismos se determina a través del análisis de micronúcleos, técnica que cuantifica el número de células anormales en muestras sanguíneas (relación de heterófilo/ linfocito) (Olmastroni et al., 2019; Zúñiga-González et al., 2000).

El daño por contaminantes ambientales es una de las causas de la disminución de las poblaciones de aves de pastizal (Martínez-Haro et al., 2017; Martínez-Quintanilla et al., 2017). Los contaminantes de alta persistencia afectan a los organismos vivos y se requiere generar conocimiento sobre especies biomonitoras en diferentes áreas geográficas (Rutkowska et al., 2018). Por ello, el objetivo de este estudio fue conocer el estado de salud y posible exposición a contaminantes (genotóxicos) en muestras sanguíneas periféricas del gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) y chapulinero (*Ammodramus savannarum*) durante su estancia invernal en Cuchillas de la Zarca mediante el conteo de micronúcleos, prolongaciones nucleares, diferencial leucocitario y relación heterófilo/linfocito (H/L). Cuchillas de la Zarca es una región prioritaria para la

conservación de las especies que se ubica en el norte de Durango y colinda con el límite sur de Chihuahua, la cual durante el otoño e invierno recibe un sin número de especies de aves de pastizal invernantes (Arriaga et al., 2000). La información a generarse en este estudio podrá ser utilizada para entender mejor las amenazas que los gorriones de Baird (*Centronyx bairdii*) y chapulinero (*Ammodramus savannarum*) enfrentan durante su migración y estancia en Cuchillas de la Zarca.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Caracterizar el estado de salud y posible exposición a contaminantes ambientales (genotóxicos) por el gorrión chapulinero y el gorrión de Baird durante su estancia invernal en Cuchillas de la Zarca mediante conteo de micronúcleos, prolongaciones nucleares, diferencial leucocitario y relación heterófilo/ linfocito.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

1.- Cuantificar la frecuencia de micronúcleos espontáneos, prolongaciones nucleares, diferencial leucocitario y relación heterófilo/ linfocito (H/L) en muestras sanguíneas periféricas de *C. bairdii* y *A. savannarum*.

2.- Determinar si las aves presentan condiciones de estrés, enfermedades u otros factores asociados a contaminantes ambientales a través de su evaluación física externa y nivel inmunológico.

## 1.2 HIPÓTESIS

El gorrión chapulinero (*A. savannarum*) y gorrión de baird (*C. bairdii*) que invernan en Cuchillas de la Zarca (Durango y Chihuahua) no presentan evidencias de alguna exposición a genotóxicos ambientales y su estado de salud es satisfactorio.

## Literatura citada

- Arango, S. (2012). Biomarcadores para la evaluación de riesgo en la salud humana. *Advances in Cancer Survivorship Management*, 30(1), 75:81. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0986-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0986-5_19)
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). Regiones Terrestres Prioritarias de México. *Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad.*, RTP-53, 261–263.
- Arroyo-Arroyo, S. I., Martínez-guerrero, J. H., Pereda-Solís, M. E., & Sierra-Franco, D. (2019). Primer registro reproductivo de gorrión chapulín en el norte de Durango , México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología Issn.:*, 20, 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.2.413>
- Baesse, C. Q., Tolentino, V. C. de M., Silva, A. M. da, Silva, A. de A., Ferreira, G. Â., Paniago, L. P. M., Nepomuceno, J. C., & Melo, C. de. (2015). Micronucleus as biomaker of genotoxicity in birds from Brazilian Cerrado. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.024>
- Bartuszevige, A. M., Capparella, A. P., Harper, R. G., Frick, J. A., Criley, B., Doty, K., & Erhart, E. (2002). Organochlorine pesticide contamination in grassland-nesting passerines that breed in North America. *Environmental Pollution*, 117(2), 225–232. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00272-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00272-X)
- Berlanga, H., Silva, H. G. de, Vargas-Canales, V. ., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. ., Ortega-Álvarez, R., & Calderón-Parra, R. (2019). Aves de México. Lista actualizada de especies y nombres comunes Actualización AOS, 2019 (Cuadro en PDF). *CONABIO*, 18. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- BirdLife-International. (2018). *Ammodramus savannarum.*, *The IUCN Red List of Threatened Species* 2018, e.T2272114.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22721144A132007482.en>

Bugarín, O. T., Carillo-Gómez, C. S., & Armijo-Gómez, A. J. (2019). Evaluación de genotóxicos ambientales mediante la prueba de micronúcleos en sangre periférica. In *Ecología y salud de la fauna silvestre* (Universidad, Issue September, pp. 4–154).

Bulgin, N. L., Gibbs, H. L., Vickery, P., & Baker, A. J. (2003). Ancestral polymorphisms in genetic markers obscure detection of evolutionarily distinct populations in the endangered Florida grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum floridanus*). *Molecular Ecology*, 12(4), 831–844. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2003.01774.x>

Castillo-Castañeda, P. C. (2017). *Relación de las defensas antioxidantes con la presencia de xenobióticos en leche materna*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., México.

CEC, & TNC. (2005). North American Central grasslands priority conservation areas: technical report and documentation. In Eds. J.W. Karl and J. Hoth. *Commission for Environmental Cooperation and The Nature Conservancy*. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2568-north-american-grassland-priority-conservation-areas-en.pdf>

Clark, P., Boardman, W., & Raidal, S. (2009). *Atlas of Clinical Avian Hematology* (Wiley-Blackwell (ed.)).

Cleary, M. (2019). Toxicology of Reptiles. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

CONABIO. (2000a). *Distribución*. Distribución y Habitat de *A. savannarum*. <https://colombia.inaturalist.org/taxa/10139-Ammodramus-savannarum>.

CONABIO. (2000b). *Gorrión chapulín*. Distribución y Habitat de *Centronyx bairdii*.

- Crettaz-Minaglia, M., Sedan, D., & Giannuzzi, L. (2017). Bioacumulacion y biomagnificacion de cianotoxinas en organismos acuaticos de agua dulce. *Cianobacterias Como Determinantes Ambientales de La Salud*, 8, 171–186. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72653/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72653/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cuenca, P., & Ramírez, V. (2004). Mutagénesis ambiental y el uso de biomarcadores para predecir el riesgo de cáncer. *Revista de Biología Topical*, 52(3), 585–590. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442004000300020](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442004000300020)
- Davis, A. K., Maney, D. L., & Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. *Functional Ecology*, 22(5), 760–772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>
- Della Costa, N. S., Navarro, J. L., Bernad, L., Marín, R. H., & Martella, M. B. (2016). Corticosterona materna en huevos y comportamiento de estrés en pichones de ñandú. *Revista Argentina de Ciencias Del Comportamiento (RACC)*, 8(2), 32–33. <https://doi.org/ISSN 1852-4206>
- Demina, I., Tsvey, A., Babushkina, O., & Bojarinova, J. (2019). Time-keeping programme can explain seasonal dynamics of leukocyte profile in a migrant bird. *Journal of Avian Biology*, 50(7), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jav.02117>
- Díaz, E. A., Narváez-Solarte, W., & Giraldo, J. A. (2016). Alteraciones hematológicas y zootécnicas del pollo de engorde bajo estrés calórico. *Información Tecnológica*, 27(3), 221–230. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300021>
- Dimiceli, J. K. (2006). *Winter diet, seed preferences and foraging behavior of Henslow's Sparrows (Ammodramus henslowii) in southeastern Louisiana.*
- Egwumah, F. A., & Egwumah, P. O. (2017). Paramount Roles of Wild Birds as

Bioindicators of Contamination. *International International Journal of Avian & Wildlife Biology*, 2(6), 41. <https://doi.org/10.15406/ijawb.2017.02.00041>

Gálvez-Martínez, C. F., Ramírez-Benavides, G. F., & Osorio, J. H. (2009). THE CLINIC LABORATORY IN HEMATOLOGY OF EXOTIC BIRDS. *Biosalud*, 8, 178–188.

Gálvez, C., Ramírez, G., & Osorio, J. (2009). El laboratorio clínico en hematología de aves exóticas. *Biosalud*, 8(1), 178–188. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-95502009000100020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502009000100020)

García-Fernández, A. J. (2014). Ecotoxicology, Avian. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 2, 289–294. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00496-6>

García Hernández, J., Leyva Morales, J. B., Martínez Rodríguez, I. E., Hernández Ochoa, M. I., Aldana Madrid, M. L., Rojas García, A. E., Betancourt Lozano, M., Perez Herrera, N. E., & Perera Rios, J. H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(Special Issue 1), 29–60. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.03>

García, O. M., Antonio, M., Mendez, A., Pérez Gutiérrez, R. A., Maria, R., Ortiz Najera, C., Claudia, Y., & Castillo, S. (2015). Analisis De Las Celulas Sanguineas De Aves Y Reptiles Por Microscopia De Luz. *Centro de Investigaciones Biológicas de La UAEM*, 1, 1:3.

González-Acevedo, A., García-Salas, J. A., Gosálvez, J., Fernández, J. L., Dávila-Rodríguez, M. I., Cerda-Flores, R. M., Méndez-López, L. F., & Cortés-Gutiérrez, E. I. (2016). Evaluation of environmental genotoxicity by comet assay in *Columba livia*. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 26(1), 61–66. <https://doi.org/10.3109/15376516.2015.1114059>

Herkert, J. R., Vickery, P. D., & Kroodsma, D. E. (2020). Henslow's Sparrow (*Centronyx*

- henslowii). In *Birds of the World* (P. G. Rodewald, Editor) (pp. 1–20). <https://doi.org/https://doi.org/10.2173/bow.henspa.01>
- Hussain, R., Mahmood, F., Khan, M. Z., Khan, A., & Muhammad, F. (2011). Pathological and genotoxic effects of atrazine in male Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Ecotoxicology*, *20*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0515-y>
- IUCN. (2020). *Centronix bairdii*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org>
- Jackson, A. K., Evers, D. C., Adams, E. M., Cristol, D. A., Eagles-Smith, C., Edmonds, S. T., Gray, C. E., Hoskins, B., Lane, O. P., Sauer, A., & Tear, T. (2015). Songbirds as sentinels of mercury in terrestrial habitats of eastern North America. *Ecotoxicology*, *24*(2), 453–467. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1394-4>
- Jobin, B., Labrecque, S., Grenier, M., & Falardeau, G. (2008). Object-based classification as an alternative approach to the traditional pixel-based classification to identify potential habitat of the Grasshopper Sparrow. *Environmental Management*, *41*(1), 20–31. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9031-0>
- Jones, S. L., Dieni, J. S., & Gouse, P. J. (2010). Reproductive Biology of a Grassland Songbird Community in Northcentral Montana. *BioOne Journal of Field Ornithology*, *122*(3), 455–464.
- Kaufman, K. (2017a). Baird's Sparrow (*Centronyx bairdii*). *Audubon Guide to North American Birds*. <https://www.audubon.org/field-guide/bird/bairds-sparrow>
- Kaufman, K. (2017b). *Grasshopper Sparrow (Ammodramus savannarum)*. <https://www.audubon.org/field-guide/bird/grasshopper-sparrow>
- Köhler, H. R., & Triebkorn, R. (2013). Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? *Science*, *341*(6147), 759–765. <https://doi.org/10.1126/science.1237591>

- Korshikov, I. I., Belonozhko, Y. A., & Lapteva, E. V. (2019). The Use of a Micronucleus Test in *Pinus pallasiana* D. Don and *Picea abies* (L.) Karst. for the Assessment of Technogenic Pollution's Influence. *Cytology and Genetics*, 53(2), 106–112. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020051>
- Lloyd, J., Mannan, R., Destefano, S., & Kirkpatrick, C. (1998). The Effects of Mesquites Invasion on a Southeastern Arizona Grassland Bird Community. *The Wilson Bulletin*, 110(3)(January 5, 2021), 403–408. <http://www.jstor.org/stable/4163966>
- Macías-Duarte, A., Montoya, A. B., Méndez-González, C. E., Rodríguez-Salazar, J. R., Hunt, W. G., & Krannitz, P. G. (2009). Factors Influencing Habitat Use by Migratory Grassland Birds in the State of Chihuahua, Mexico. *The Auk*, 126(4), 896–905. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.08251>
- Malarkey, D. E., Hoenerhoff, M., & Maronpot, R. R. (2013). Carcinogenesis: Mechanisms and Manifestations. In *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology* (pp. 107–146). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00005-4>
- Manzano-Fischer, P., List, R., & Ceballos, G. (1999). Grassland bird in prairie-dog towns in Northwestern Chihuahua, México. *Studies in Avian Biology*, 19, 263–271. [https://www.researchgate.net/profile/Dan\\_Brauning/publication/262082794\\_Ecology\\_and\\_Conservation\\_of\\_Grassland\\_Birds\\_of\\_the\\_Western\\_Hemisphere\\_by\\_Peter\\_D\\_Vickery\\_James\\_R\\_Herkert/links/5c784e5b92851c69504929b8/Ecology-and-Conservation-of-Grassland-Birds-of-](https://www.researchgate.net/profile/Dan_Brauning/publication/262082794_Ecology_and_Conservation_of_Grassland_Birds_of_the_Western_Hemisphere_by_Peter_D_Vickery_James_R_Herkert/links/5c784e5b92851c69504929b8/Ecology-and-Conservation-of-Grassland-Birds-of-)
- Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (2003). *Bioindicators and biomonitoring, principles, concepts and Applications. Trace metals and other contaminants in the environment* (Elsevier (ed.); 6th ed.). [https://www.researchgate.net/publication/313718613\\_Bioindicators\\_and\\_Biomonitoring\\_Principles\\_Concepts\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/313718613_Bioindicators_and_Biomonitoring_Principles_Concepts_and_Applications)
- Martinez-Haro, M., Balderas-Plata, M., Pereda-Solis, M., Arellano-Aguilar, O.,

- Hernandez-Millan, C., Mundo-Hernandez, V., & Torres-Bugarin, O. (2017). Anthropogenic Influence on Blood Biomarkers of Stress and Genotoxicity of the Burrowing Owl (*Athene Cunicularia*). *Journal of Biodiversity & Endangered Species*, 05(03), 3–6. <https://doi.org/10.4172/2332-2543.1000196>
- Martínez, J. H., Wehenkel, C., Emilio, M., Solís, P., Levandoski, G., Rivas, J. C., Díaz, R., & Ciro, J. (2011). Abundancia y distribución invernal de *Ammodramus bairdii*, en la región de Cuchillas de la Zarca , México . *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 12(1), 9:14.
- Martínez Quintanilla, M. C., Torres Bugarín, O., Martínez Guerrero, J. H., Delgado León, T. G., Salas Pacheco, J. M., & Pereda Solís, M. E. (2017). Relación heterófilo/linfocito, frecuencia espontánea de eritrocitos micronucleados y prolongaciones nucleares en el ganso nevado (*Chen caerulescens*): Una propuesta como posible biomonitor de estrés y genotóxicos ambientales. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 18(1), 102–111. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2017.18.1.268>
- Maxwell, M. H., & Robertson, G. W. (1998). The avian heterophil leucocyte: a review. *World's Poultry Science Journal*, 54(2), 155–178. <https://doi.org/10.1079/wps19980012>
- Montes-Aldaba, A., Martínez-Guerrero, J., López-Serrano, P., & Pereda-Solís, M. (2018). Descripción del hábitat invernal de aves de pastizal con sensores remotos y estimación visual Description of the winter habitat of grassland birds with remote sensors and visual estimation INTRODUCCIÓN Durante las últimas décadas , en Norteamérica las ave. *Abanico Veterinario*, 8(3), 106–117.
- Moriarty, F. (1988). Ecotoxicology. *Human & Experimental Toxicology*, 1, 7:437. <https://doi.org/10.1177/096032718800700510>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T.,

- Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 476–495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Newman, M. C. (2015). Fundamentals of Ecotoxicology - The Science of Pollution. In *CRC Press/Taylor & Francis*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- NIH. (2014). *Immune Cells*. National Institute of Allergy and Infectious Diseases. <https://www.niaid.nih.gov/research/immune-cells>
- Olmastroni, S., Pompeo, G., Jha, A. N., Mori, E., Vannuccini, M. L., Fattorini, N., Ademollo, N., & Corsi, I. (2019). Erythrocytes nuclear abnormalities and leukocyte profile of the immune system of Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) breeding at Edmonson Point, Ross Sea, Antarctica. *Polar Biology*, 42(7), 1343–1352. <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02522-3>
- Ortiz-Pulido, R. (2018). ¿Qué especies de aves están en riesgo en México? *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 19(2), 237–272. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2018.19.2.348>
- Ortiz-Pulido, R., Alcántara-Carbajal, J. L., De la Cueva, H., Martínez-Gómez, J., Escalante Pliego, P., De la Parra-Martínez, S. M., Feria Arroyo, T. P., & Albert, S. (2016). Conservación de aves en México, una instantánea de 2015. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 17(2), 234–238. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2016.17.2.252>
- Páez-Osuna, F., & Osuna-Martínez, C. (2011). Biomonitoring of coastal pollution with reference to the situation in the Mexican coasts: A review on the utilization of organisms [Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: Una revisión sobre los organismos utilizados]. *Hidrobiológica*, 21(3), 229–238. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84869158712&partnerID=40&md5=cb82a4ba1db91439efeb121444c61678>

- Panjabi, A., & Beyer, L. (2010). Desert grassland bird conservation: is low winter survival driving population declines ? Phase I. *Report Phase I., Brighton*, 10.
- Pereda-Solís, M. E., García-Fernández, F., Sierra-Francisco, D., Martínez-Guerrero, J. H., Ruvalcaba-Ortega, I., & Hennegan-Strasser, E. (2020). Diferenciación del sexo del gorrión de baird (*Centronyx bairdii*) por medio de redes neuronales artificiales y datos morfo-métricos. *Agrociencias*, 54, En prensa.
- Residente, E., Torres-bugarín, O., Zavala-cerna, M. G., Macriz-romero, N., Flores-garcía, A., & Ramos-ibarra, M. L. (2013). Procedimientos Basicos De La Prueba De Micronucleos Y Anormalidades Nucleares En Celulas Exfoliadas De Mucosa Oral. *El Residente*, 8(1), 4–11.
- Rodríguez-Maturino, J. A., Martínez-Guerrero, J. H., Chairez-Hernández, I., Pereda-Solis, M. ., & Pinedo-Álvarez, A. (2017). Variables del hábitat de pastizal asociadas a la densidad de aves granívoras en Malpaís, Durango, México. *Agroproductividad*, 10(5), 3–9.
- Roldán-Reyes, E. (2016). Introducción a la toxicología. In *Introducción a la toxicología* (Universida). <https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/cbiologicas/libros/Toxico-ago18.pdf>
- Rosenberg, K. V., Dokter, A. M., Blancher, P. J., Sauer, J. R., Smith, A. C., Smith, P. A., Stanton, J. C., Panjabi, A., Helft, L., Parr, M., & Marra, P. P. (2019). Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), 120–124. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1313>
- Royo, M., Melgoza, A., Santos, J., Carrillo, R., Jurado, P., Gutiérrez, R., & Echavarría, F. (2005). La salud de los pastizales medianos en los estados de Chihuahua y Zacatecas. *II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales*.
- Ruth, J. M. (2008). Distribution and abundance of breeding Arizona Grasshopper Sparrow

(*Ammodramus savannarum ammolegus*) in the southwestern United States: Past, present, and future. *Studies in Avian Biology*, 37, 113–124.

Rutkowska, M., Płotka-Wasyłka, J., Lubinska-Szczygeł, M., Różańska, A., Możejko-Ciesielska, J., & Namieśnik, J. (2018). Birds' feathers – Suitable samples for determination of environmental pollutants. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 109, 97–115. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.09.022>

Sánchez-Valle, M. ., & Hernández-Navarro, F. (2004). *Protocolo diagnóstico de la monocitosis y monocitopenia*. [https://doi.org/10.1016/s0211-3449\(04\)70210-6](https://doi.org/10.1016/s0211-3449(04)70210-6)

Sanz-Serrano, J., López de Cerain, A., Garayoa, R., Azqueta, A., & Vettorazzi, A. (2020). Genotoxicity evaluation of fried meat: A comprehensive review. *Food and Chemical Toxicology*, 136, 110943. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110943>

Sauer, J. R., & Link, W. A. (2011). Analysis of the North American Breeding Bird Survey Using Hierarchical Models. *The Auk*, 128(1), 87–98. <https://doi.org/10.1525/auk.2010.09220>

Scheuhammer, A. M. (1987). The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in birds: A review. *Environmental Pollution*, 46(4), 263–295. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(87\)90173-4](https://doi.org/10.1016/0269-7491(87)90173-4)

SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. *Diario Oficial*, 9(1). <https://doi.org/10.1558/jsrnc.v4il.24>

Stanton, R. L., Morrissey, C. A., & Clark, R. G. (2018). Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254(May 2017), 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.028>

Taylor, N. T., Davis, K. M., Abad, H., McClung, M. R., & Moran, M. D. (2017). Ecosystem services of the Big Bend region of the Chihuahuan Desert. *Revista de Entornos*

Áridos, 27, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.017>

Téllez-Isaías, A., Tejeda-Perea, G., & Galindo-Maldonado, F. (1997). Técnica de medición de estrés en aves. In *Veterinaria México* (Vol. 28, pp. 345–351). <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.02.051>

Theodorakis, C. W. (2001). Integration of Genotoxic and Population Genetic Endpoints. *Ecotoxicology.*, 1, 245–256.

Thonnard-Neumann, E. (1961). The influence of hormones on the basophilic leukocytes. *Acta Haematologica*, 25(4), 261. <https://doi.org/10.1159/000206541>

Titulaer, M., Melgoza-Castillo, A., Panjabi, A. O., Sanchez-Flores, A., Martínez-Guerrero, J. H., Macías-Duarte, A., & Fernandez, J. A. (2017). Molecular analysis of stomach contents reveals important grass seeds in the winter diet of Baird's and Grasshopper sparrows, two declining grassland bird species. *PLoS ONE*, 12(12), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189695>

Torres-Bugarín, O., Carillo-Gómez, C. S., & Armijo-Gómez, J. A. (2019). Evaluación de genotóxicos ambientales mediante la prueba de micronúcleos en sangre periférica. In *Ecología y salud de la fauna silvestre* (Issue Universidad Juárez del Estado de Durango, pp. 59–89).

Valdéz, S. (2010). Avaliação da exposição a agrotóxicos em aves silvestres de vida livre. *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.*, 429-439. [https://books.google.com.mx/books?id=943ai6ePVzoC&pg=PA429&lpg=PA429&dq=Avaliação+da+exposição+a+agrotóxicos+em+aves+silvestres+de+vida+livre&source=bl&ots=ajCQHymyQ-&sig=ACfU3U104NXv2XS-QTH0y46qK0zPSxtJ9g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjy66\\_r4ruAhXEI60KHQMucg-oQ6](https://books.google.com.mx/books?id=943ai6ePVzoC&pg=PA429&lpg=PA429&dq=Avaliação+da+exposição+a+agrotóxicos+em+aves+silvestres+de+vida+livre&source=bl&ots=ajCQHymyQ-&sig=ACfU3U104NXv2XS-QTH0y46qK0zPSxtJ9g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjy66_r4ruAhXEI60KHQMucg-oQ6)

- Valencia-Quintana, R., Sánchez Alarcón, J., Gómez-Arroyo, S., Cortés Eslava, J., Waliszewski, S. M., Fernández, S., & Villalobos-Pietrini, R. (2013). GENOTOXICIDAD DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS VEGETALES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 133–157.
- Walker, C. H. (1993). Acute Toxicity of Tedisamil, a New Potassium Channel Blocking Drug. *Pharmacology & Toxicology*, 73(5), 257–261. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0773.1993.tb00581.x>
- Wiggins, D. . (2006). Baird's Sparrow (*Ammodramus bairdii*): a technical conservation assessment. *USDA Forest Service, Rocky Mountain Region*. Available. [https://www.researchgate.net/publication/281860948\\_Baird's\\_Sparrow\\_Ammodramus\\_bairdii\\_A\\_Technical\\_Conservation\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/281860948_Baird's_Sparrow_Ammodramus_bairdii_A_Technical_Conservation_Assessment)
- Williams, G. M. (1980). Classification of Genotoxic and Epigenetic Hepatocarcinogens Using Liver Culture Assays. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 349(1), 273–282. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1980.tb29532.x>
- Yáñez-Chávez, L. G., Pedroza-Sandoval, A., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., & Trejo-Calzada, R. (2018). Management Practices and Bioproductivity in Grassland of Dry Areas. In *Grasses as Food and Feed* (p. 49:66). <https://doi.org/10.5772/intechopen.79411>
- Yang, Y., Zhang, W., Wang, S., Zhang, H., & Zhang, Y. (2020). Response of male reproductive function to environmental heavy metal pollution in a free-living passerine bird, *Passer montanus*. *Science of the Total Environment*, 747, 141402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141402>
- Zalacain, M., Sierrasesúmaga, L., & Patiño, A. (2005). El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 28(2), 227–236. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272005000300007>

Zúñiga-González, G., Torres-Bugarín, O., Luna-Aguirre, J., González-Rodríguez, A., Zamora-Perez, A., Gómez-Meda, B. C., Ventura-Aguilar, A. J., Ramos-Ibarra, M. L., Ramos-Mora, A., Ortiz, G. G., & Gallegos-Arreola, M. P. (2000). Spontaneous micronuclei in peripheral blood erythrocytes from 54 animal species (mammals, reptiles and birds): Part two. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 467(1), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(00\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(00)00021-8)

## CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 El pastizal del Desierto Chihuahuense y su priorización en la región de Cuchillas de la Zarca.

Los pastizales de Norte América se extienden hacia el Desierto Chihuahuense distribuyéndose en Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí en México (Taylor et al., 2017). Los pastizales en México, cubren aproximadamente el 40% de su superficie, sustentan una parte significativa de su avifauna (Yáñez-Chávez et al., 2018) y soportan procesos ecológicos. Los pastizales tienen un endemismo alto y sustentan una diversidad alta de plantas y animales (CEC & TNC, 2005; Manzano-Fischer et al., 1999).

Debido a que la actividad económica principal en el Norte del país es la ganadería extensiva, los efectos del pastoreo sobre la ecología en los pastizales del desierto Chihuahuense son negativos, como la pérdida de hábitat para la fauna silvestre, pérdida en la biodiversidad de pastos y vegetación provocando la sucesión a matorrales (Lloyd et al., 1998).

De acuerdo a la Comisión para la Cooperación Ambiental donde participa Canadá, Estados Unidos y México, de las 55 áreas prioritarias de conservación de pastizales (APCP), Cuchillas de la Zarca es una de las ocho áreas que se ubican en México.

En Cuchillas de la Zarca existe una diversidad de aves alta, criterio fundamental para decretar acciones para la conservación y priorización del área (Berlanga et al., 2019). Dos ejemplos lo constituyen el gorrión de Baird (*C. bairdii*) y el gorrión chapulinero (*A. savannarum*), los cuales invernan en la región y sus poblaciones y nivel de conservación depende de acciones multinacionales.

## 2.2 Especies de estudio

### 2.2.1 Descripción del gorrión chapulinero (*A. savannarum*)

Taxonomía (BirdLife-International, 2018)

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Aves

Orden: Passeriformes

Familia: Emberezidae

Género. *Ammodramus*

Especie: *Ammodramus savannarum* (Gmelin, 1789)

*A. savannarum* es una especie migratoria que incluye cuatro subespecies, las cuales se diferencian en el plumaje (Bulgin et al., 2003); *A. s. pratensis* es una subespecie oriental, *A. s. ammoregus* se distribuye en el suroeste de Norte América, *A. s. perpallidus* se distribuye mayormente en el occidente de los Estados Unidos, mientras que *A. s. floridanus* es la única subespecie no migratoria endémica de Florida (Bulgin et al., 2003; Ruth, 2008).

*A. savannarum* se encuentra ampliamente distribuida por el continente Americano, alcanzando sus límites al norte de Canadá donde presenta una preferencia por suelos cubiertos por pastos y henos (Jobin et al., 2008). Esta especie, durante su migración a México, se establece en áreas con características similares a las de sus sitios de origen (Montes-Aldaba et al., 2018).

El gorrión chapulinero es de tamaño pequeño, posee una cabeza plana y cola corta. Esta especie posee una franja clara en la corona, tiene una mancha amarilla sobre la lista ocular y se distingue de otras especies por la tonalidad del pecho color ante uniforme, mientras que la espalda esta rayada en tonos café al igual que las alas (Kaufman, 2017b). La distribución del gorrión chapulinero se extiende desde Canadá hasta el sur de México, donde se establece en pastizales altos y de baja presencia arbustiva (Arroyo-Arroyo et al., 2019; CONABIO, 2000a; Ruth, 2008).



**Figura 1.** Vista lateral del gorrión chapulinero adulto (*Ammodramus savannarum*) en Cuchillas de la Zarca, Dgo.

### 2.2.2 Descripción del gorrión de Baird (*C. bairdii*)

Taxonómica (IUCN, 2020)

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Aves

Orden: Passeriformes

Familia: Emberizidae

Género. *Centronyx*

Especie: *Centronyx bairdii* (Audubon, 1844)

Los gorriones de Baird son aves de tamaño medio y cola corta, el gorrión de bairdii se distingue por poseer un plumaje claro, su pecho es de color crema y tiene franjas oscuras en su parte superior. La espalda es de color café ocre estriado con franjas más oscuras; la cabeza es de color amarillo con franjas oscuras de color café y una franja céntrica de color café ocre en la corona y un anillo ocular de color crema (Pereda-Solís et al., 2020; Titulaer et al., 2017). Esta especie prefiere sitios donde abundan pastos altos y arbustos bajos.



**Figura 2.** Vista lateral del gorrión de Baird adulto (*Centronyx bairdii*) en Cuchillas de la Zarca, Dgo.

Las dos especies de gorriones bajo estudio se identifican en la Familia Emberizidae, ambas presentan un declive poblacional significativo (Arroyo-Arroyo et al., 2019; Sauer & Link, 2011); ya que se ha reportado una tasa de incremento poblacional anual de -2.5%

y el -2.0%, respectivamente (Martínez et al., 2011; Rosenberg et al., 2019). Es muy probable que las causas de dicha reducción sea su exposición a contaminantes ambientales (Páez-Osuna & Osuna-Martínez, 2011).

Los gorriones *Ammodramus savannarum* y *Centronyx bairdii* son de tamaño muy pequeño, aproximadamente de 11 a 13 centímetros de longitud; ambas especies presentan hábitos entomófagos y granívoros, su plumaje varía conforme la estación del año (Rodríguez-Maturino et al., 2017); sin embargo, durante la época reproductiva, en los adultos, se pueden distinguir colores parduscos (blanco, gris y negro) en el dorso y una coloración antracina en el pecho, su abdomen es de color claro y presentan una cola corta y delgada (Montes-Aldaba et al., 2018; Rodríguez-Maturino et al., 2017).

### **2.3 Distribución y migración**

Las aves bajo estudio tienen una distribución amplia, ésta se extiende desde las llanuras de América del Norte y sur de Canadá. En México, durante la temporada de migración e invierno, la distribución de *C. bairdii* se restringe a los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila. En contraste la distribución de *A. savannarum* es más amplia, ya que se extiende desde Norte América hasta Centro América; sin embargo, durante la temporada reproductiva e invernal, ambas especies comparten sitios (CONABIO, 2000a, 2000b).

### **2.4 Reproducción**

*Centronyx bairdii* (gorrión de baird) y *Ammodramus savannarum* (gorrión chapulinero), para su reproducción y pasar la temporada invernal, migran desde Canadá y Estados Unidos al norte de México (Rosenberg et al., 2019), específicamente a Chihuahua y Durango (Macías-Duarte et al., 2017), respectivamente. Ambos estados constituyen una zona prioritaria para la conservación de pastizales en donde existe una correlación importante entre las características del hábitat y la supervivencia de las dos especies de

gorriones (Arroyo-Arroyo et al., 2019; CEC & TNC, 2005). La temporada reproductiva de ambas especies ocurre durante agosto-septiembre (Arroyo-Arroyo et al., 2019).

En México, son pocos los estudios relacionados con su reproducción pues esta depende de la temporada de lluvias, al igual que depende del efecto nieve, el cual describe que a mayor precipitación fluvial, la temporada de cría en latitudes más altas se presenta más “temprano”, mientras que en regiones meridionales se retrasa la temporada reproductiva y de crianza (Jones et al., 2010), a pesar de ello se cuenta con el estudio de Arroyo-Arroyo et al. (2019) donde establece el primer registro de la época reproductiva en verano (junio/agosto) por medio de vocalización de machos reproductivos en Cuchillas de la Zarca (Arroyo-Arroyo et al., 2019).

## **2.5 Hábitat**

Tanto el gorrión chapulinero (*A. savannarum*) como el gorrión de Baird (*C. bairdii*) comparten preferencias de cobertura de vegetación de arbusto y hierbas, mientras que de pasto y suelo desnudo *A. savannarum* tiende a preferir sitios de mayor cobertura y pastos mucho más altos que los preferidos por *C. bairdii* (Dimiceli, 2006), las cuales son necesarias para llegar a una óptima reproducción y para su estancia invernal (Macías-Duarte et al., 2009).

Estas condiciones de hábitat las ofrece Cuchillas de la Zarca la cual está catalogada como Región Prioritaria para la Conservación de Pastizales (RPCP) por la CONABIO, sin embargo; los pastizales y la temporada de lluvias se encuentra relacionada dado a la disponibilidad de agua para que los pastos crezcan (Macías-Duarte et al., 2009).

## 2.6 Cantos

Los gorriones se identifican fácilmente por su canto. El canto del gorrión chapulinero (*A. savannarum*) es agudo y sus vocalizaciones durante la mayor parte del año son pronunciadas. Durante la temporada reproductiva los machos emiten un zumbido muy similar a la estridulación de los insectos (CONABIO, 2000b, 2000a) y éste varía entre subespecies (Arroyo-Arroyo et al., 2019; Kaufman, 2017b).

El canto del gorrión de Baird (*C. bairdii*) se escucha como una vibración continua; sin embargo, este sonido se puede identificar mejor en los machos que se encuentran cerca de los nidos durante la temporada de cría, ya que se describe como una vibración acústica y diferente a la que producen otras especies de gorriones (Kaufman, 2017a).

## 2.7 Dieta

### 2.7.1 Gorrión chapulinero (*A. savannarum*)

Esta especie se alimenta de ortópteros (50%), coleópteros (20%) y materia vegetal (19%) (Herkert et al., 2020). Presenta también hábitos alimenticios granívoros y en el invierno consume granos (Rodríguez-Maturino et al., 2017) de *Muhlenbergia expansa*, *Eupatorium leucolepis*, *Dichantherium angustifolium*, *Panicum anceps*, *Ctenium aromaticum*, *Rhynchospora gracilentia*, *Rhynchospora plumosa* y *Schizachyrium scoparium* (Dimiceli, 2006)

### 2.7.2 Gorrión de Baird (*C. bairdii*)

Esta especie se alimenta principalmente de insectos y semillas, aunque su dieta varía conforme la temporada. Durante el verano se alimenta principalmente de insectos, como saltamontes (Orthoptera), orugas y polillas (Lepidoptera), escarabajos (Coleoptera) y

chicharras (Homoptera). En el invierno, esta especie cambia a una dieta a base de semillas de malezas y hierbas principalmente e incluye semillas de gramíneas como Phleum, Aristida, Fescua, Ambrosia y sorgo (*Amaranthus* spp) (Kaufman, 2017a; Wiggins, 2006).

## **2.8 Toxicología**

La toxicología es la ciencia encargada de estudiar el efecto de los agentes químicos sobre los organismos (García-Hernández et al., 2018; Moriarty, 1988).

Un toxico es todo agente químico que genera en los organismos daños adversos de manera directa o indirecta tras tener una exposición intermitente o continua. Muchos de estos compuestos son exógenos al metabolismo por lo que se les denomina xenobióticos (Crettaz-Minaglia et al., 2017; Roldán-Reyes, 2016).

La toxicidad de los agentes puede ser catalogada como dosis letal media o LD<sub>50</sub> (por sus siglas en ingles), en la cual la mitad de la población afectada muere, mientras que la otra mitad sobrevive sin daños (esto según datos expresados en laboratorio), o puede ser catalogada como toxicidad subcrónica, la cual se focaliza únicamente en los daños a órganos o toxicidad crónica para estimar el nivel de efectos adversos no observados (NOAEL en sus siglas en inglés) (Roldán-Reyes, 2016).

Las aves son un grupo especializado y aunque comparte algunas similitudes con los mamíferos, su susceptibilidad a los agentes tóxicos es mayor debido a que asimilan y acumulan pesticidas (Walker, 1993).

Las aves poseen un mecanismo de defensa menor que el de los mamíferos; por ello, son más vulnerables a los agentes tóxicos y sus procesos de desintoxicación metabólico ya que el proceso de desintoxicación en las aves se realiza en el hígado y riñones, estos no realizan dicho proceso de manera eficiente debido al tamaño de los órganos. Por estas

razones, ocurre una acumulación de agentes tóxicos cuya eliminación se dificulta aunado a que ingresan a la sangre desde el intestino a través de la vía renal (Walker, 1993).

La exposición prolongada de las aves a metales presentes en el ambiente, está relacionada a intoxicación, disminuir su actividad reproductiva, ocasionar cambios en el comportamiento y causar susceptibilidad a enfermedades y estrés (Yang et al., 2020). Algunos de los metales más importantes desde el punto de vista ambiental y toxicológico son el mercurio, cadmio, plomo y aluminio, el cual tiene un efecto sobre la reproducción en los paseriformes (Scheuhammer, 1987).

En este sentido, las enzimas ayudan a la desintoxicación, en el caso de las aves que poseen bajos niveles de la enzima esterasa "A" y la monooxigenasa microsomal hepática las cuales ayudan a la asimilación de agentes genotóxicos explican la vulnerabilidad a los organofosforados, haciendo a las aves susceptibles a enfermedades y daños a nivel celular (Walker, 1993)

## **2.9 Ecotoxicología**

La ecotoxicología es la ciencia encargada del estudio de los contaminantes ambientales y sus efectos sobre los ecosistemas. En específico, la toxicología aviar se enfoca al estudio de los contaminantes en las poblaciones de aves y su medio. La ecotoxicología se establece como una ciencia debido a la necesidad de conocer los efectos de los contaminantes utilizados durante la Segunda Guerra Mundial sobre la vida silvestre. Ésta tomó auge a finales del siglo XIX debido al declive de las aves acuáticas por consumir plomo generándose la rama de ecotoxicología aviar (García-Fernández, 2014).

Los plaguicidas utilizados en la agricultura afectan a la vida silvestre, incluyendo a las aves (Moriarty, 1988). A partir de 1940 los estudios relacionados con los efectos del Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) sobre la vida silvestre y en específico en las aves se incrementaron (García-Fernández, 2014; Sanz-Serrano et al., 2020). Sin embargo; fue

hasta 1969 cuando se definió de forma más clara el objetivo de la ecotoxicología como rama de la toxicología que tiene por objetivo estudiar los efectos de los contaminantes en el ambiente a nivel bioquímico y ecológico de las poblaciones (García-Fernández, 2014; Moriarty, 1988).

Algunos trastornos como la neurotoxicidad y enfermedades endocrinas están relacionadas a los efectos causados por plaguicidas y pesticidas en las poblaciones de aves, al igual que los niveles superiores en productos con LD<sub>50</sub> ya que la mortalidad aguda podría estar relacionada a la exposición crónica por absorción oral con la inhibición de la acetilcolina esterasa por parte de organoclorados, organofosfatos y carbamatos (Köhler & Triebkorn, 2013).

La ecotoxicología genética puede incluir efectos somáticos lo que incluye los cambios estructurales o deterioros al ADN o efectos genéticos de la población como son los cambios en la diversidad genética o frecuencias de los genes (Theodorakis, 2001), algunos de estos agentes genotóxicos más allá de tener efectos genéticos, se llegan a expresar de manera adversa afectando funciones metabólicas en las aves tales como la termorregulación, patrones de alimentación e ingesta de agua, así como de comportamiento innato y adquirido lo que influye en la disminución en la tasa de apareamiento y puesta de huevos, afectando a la población de aves, de tal forma que las afecciones alcanza las funciones ecosistémicas e interviene en el decremento de la heterogeneidad del hábitat (Köhler & Triebkorn, 2013).

## **2.10 Agentes genotóxicos ambientales**

Los contaminantes ambientales se clasifican como físicos y biológicos. Los físicos pueden alterar la calidad del medio como la temperatura y los biológicos los constituyen los desechos orgánicos o químicos (Cuenca & Ramírez, 2004) como los genotóxicos, los cuales se clasifican en independientes y dependientes de activación. La activación o

expresión puede ocasionar efectos en el organismo a nivel celular o en niveles más generales como carcinogénesis o malformaciones físicas externas (Williams, 1980).

Algunos agentes genotóxicos se adquieren en el alimento y pueden afectar el éxito reproductivo y la supervivencia de las especies (Baesse et al., 2015; Bartuszevige et al., 2002). También se adquieren por absorción como los residuos de plaguicidas metabólicos (Valdéz, 2010) y gases afectando la salud de las aves.

El término genotóxico fue introducido por Ehrenberg durante 1973, el refiere al efecto tóxico en células germinales como somáticas que pueden afectar la integridad del material genético heredable (Torres-Bugarín et al., 2019). Si el efecto sobre la célula se transcribe, la expresión génica se afectaría en términos biológicos a nivel celular y morfológico (Malarkey et al., 2013). Los genotóxicos, son agentes químicos, físicos o biológicos que modifican el material genético heredable durante la duplicación celular, resultando en eventos mutagénicos o carcinogénicos (Roldán-Reyes, 2016) y comprometen la integridad genética y cromosómica (Bugarín et al., 2019). Su presencia se evalúa por medio del conteo de micronúcleos; las ventajas de esta técnica son: la cantidad de sangre en las muestras es reducida, el muestreo es rápido lo que reduce el estrés en los ejemplares y puede ser utilizada en condiciones ambientales diversas (Olmastroni et al., 2019).

Al respecto, Kursá & Bezrukov (2008) evaluaron el estado de salud de la Skua polar del sur (*Catharacta maccormicki*) por medio de frecuencias de micronúcleos y diferenciales de glóbulos blancos. Estos resultados sientan las bases para las aves antárticas y el estado de sus hábitats.

Nazareth Souto et al. (2018) en Brasil evaluaron a 82 especies de las familias Columbidae, Cuculidae, Galbulidae, Icteridae, Mimidae, Passerellidae, Passeridae, Thamnophilidae, Thraupidae, Turdidae, Tyrannidae y los efectos de la contaminación ambiental con pruebas de micronúcleos. Ellos evaluaron la contaminación de aves por pesticidas en granjas de café al sureste de Brasil y Martínez-Haro et al. (2017) estimaron

la influencia antropogénica en búhos madrigeros (*Athene cunicularia*) utilizando marcadores micronucleados.

En Durango, México, Martínez-Quintanilla et al. (2016) evaluaron el grado de estrés y de contaminantes mediante la prueba de MN y la relación H/L del ganso nevado (*Chen caerulescens*), ellos reportaron niveles de genotóxicos y de estrés bajos.

Los plaguicidas con mayor capacidad genotóxica para la flora y fauna silvestres son los organofosforados, carbamatos, piretroides y triazinas. De los plaguicidas resaltan los herbicidas, insecticidas y fungicidas los cuales afectan la genética de los organismos ocasionando cambios estructurales sobre los cromosomas o aberraciones cromosómicas (AC), irregularidades en la distribución cromosómica y alteraciones durante la reproducción celular (tanto mitosis como meiosis), esterilidad y letalidad embrionaria, así como mutaciones en tejidos somáticos y células germinales expresados morfológicamente y en la descendencia (Malarkey et al., 2013; Roldán-Reyes, 2016; Valencia-Quintana et al., 2013).

Roldán-Reyes (2016) reporta tres clases de genotóxicos: 1) genotóxicos aneugénicos, 2) genotóxicos Clastógenos y 3) genotóxicos xenofóbicos. Los genotóxicos aneugénicos causan aneuploidías ocasionados por agentes químicos moleculares; dichas alteraciones producidas por los plaguicidas en sistemas vegetales resaltan los efectos aneugénicos tales como daños al uso acromático que se refleja como C-mitosis (Valencia-Quintana et al., 2013).

Los genotóxicos clastógenos se encuentran en metales como el cadmio, el cual es de los más tóxicos en los sistemas biológicos por su capacidad de distribución en agua potable, aire atmosférico e incluso en los alimentos. Los genotóxicos xenobióticos interactúan con el ADN en una pequeña escala, aunque el resultado final puede ser solo tóxico.

## **2.11 Efecto de los genotóxicos**

Algunos contaminantes químicos catalogados como genotóxicos se dispersan a través del aire, suelo y agua (García-Hernández et al., 2018). Los agroquímicos han creado en los ecosistemas riesgos para la sobrevivencia en la biodiversidad de las especies (Bugarín et al., 2019). Muchos de estos productos causan mutación carcinógena solos o después de la activación metabólica, pero algunos mutágenos no causan carcinógenos y algunos carcinógenos no son mutagénicos (Malarkey et al., 2013), pero si dañan las células gaméticas que se transmitirán a la progenie manifestándose con desordenes genéticos. Cuando el mutágeno daña células somáticas se transmite de forma clonar ocasionando manifestaciones oncológicas (Torres-Bugarín et al., 2019).

La genotoxicidad en los organismos ocasiona efectos patológicos y conductuales relacionados a una disminución en su alimentación, pérdida de peso corporal, desnutrición y deshidratación. Otras afecciones son la disminución de eritrocitos, hemoglobina y hematocritos; otras alteraciones se refieren a fallas en el control hipotalámico de la pituitaria ovárica, en el crecimiento de neoplásicos como linfomas, cáncer testicular y linfohematopoyéticos. Todos estos daños se asocian a herbicidas con atriazinas (Hussain et al., 2011).

## **2.12 Principales compuestos xenobióticos**

Los xenobióticos son sustancias que, sin formar parte de los componentes, interaccionan constantemente con los organismos y su medio, son compuestos de origen químico y natural que no pertenecen al organismo pero que pueden incorporarse a las rutas metabólicas (Roldán-Reyes, 2016). Los xenobióticos se clasifican de acuerdo a su naturaleza (naturales o artificiales químicos), uso (las áreas de mayor empleo son en la agricultura y el sector salud), tiempo de vida (permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes) o por su composición química (organofosforados,

organoclorados carbamatos, tiocarbamatos, piretroides, derivados bupiridilos, derivados del ácido fenoxiacético, derivados cloronitrofenólicos, derivados de triazinas y compuestos inorgánicos). Algunos efectos de los pesticidas en el ambiente es la biomarcación de los organismos, afectaciones en los receptores que actúan en el metabolismo, disminución en la producción y síntesis de hormonas (Castillo-Castañeda, 2017).

En las células la primera línea de defensa contra los agentes xenobióticos se da durante el proceso de inhibición bioquímica, la cual consiste en la expulsión de dichos agentes por medio de la glicoproteína P asociada a la membrana (P-gp) (Newman, 2015), sin embargo, esta defensa se ve afectada cuando la células se ven sobre pasadas por la cantidad de agente causando daños adversos en ella y en mayor escala en el organismo.

### **2.13 Bioindicadores y biomonitores**

El efecto de los genotóxicos en los organismos se estudia a través de organismos “centinelas” o biomonitores, los cuales son sensibles a los cambios en la calidad del medio en que se desarrollan (González-Acevedo et al., 2016). El impacto de los contaminantes en los ecosistemas por medio de la vida silvestre se le denomina biomonitoreo. Los organismos utilizados se les conoce como bioindicadores, los cuales deberán tener características propias como su fácil identificación taxonómica, distribución definida, características ecológicas conocidas, abundancia numérica, idoneidad para experimentos en laboratorio, poseer sensibilidad a factores ambientales estresantes y tener capacidad de cuantificación y estandarización alta (Markert et al., 2003).

Asimismo, los organismos centinelas son especies representativas de un ecosistema, estos organismos se clasifican según su acción (indicadores sensitivos e indicadores acumulativos) y origen (bioindicadores pasivos y activos) (Martinez-Haro et al., 2017). Las aves a través de la alimentación, pueden acumular diversos contaminantes

xenobióticos; por ello, son utilizados frecuentemente como biomonitores (Rutkowska et al., 2018).

#### **2.14 Los gorriones como bioindicadores**

Las aves silvestres se utilizan como indicadores de la contaminación ambiental (Egwumah & Egwumah, 2017). Por ejemplo, la presencia de gorriones es un indicador de pastizales maduros y puede medir el nivel de deforestación o destrucción del hábitat (Rutkowska et al., 2018).

En el caso del gorrión chapulinero (*A. savannarum*) y el gorrión de Baird (*C. bairdii*) son especies que acumulan contaminantes genotóxicos debido a su migración y a su sensibilidad a cambios ambientales (Markert et al., 2003). Estos contaminantes generan marcas biológicas (biomarcación) en las células y se clasifican en tres categorías: 1) biomarcación de susceptibilidad, 2) exposición o 3) efecto; algunas ocasiones estas marcas pueden presentarse juntas, por ejemplo, marcas de exposición y efecto (Arango, 2012; Martínez-Quintanilla et al., 2017).

#### **2.15 Bioacumulación y distribución trófica**

Se emplea el término bioacumulación cuando los niveles de contaminación del medio ambiente han pasado a los tejidos de organismos y estos presentan niveles más elevados a los tolerables, entendiéndose que estos organismos presentan una bioacumulación de contaminantes concentrados; mientras que la biomagnificación, refiere a la obtención e incremento de toxinas por medio de la cadena trófica y la movilización de las mismas toxinas hacia los niveles superiores de la cadena alimenticia, llegando a los consumidores tope y en algunos casos, el hombre (Crettaz-Minaglia et al., 2017).

Se han realizado estudios de bioacumulación de toxinas en gorriones, donde se menciona la bioacumulación del mercurio como uno de los elementos tóxicos más frecuentes, teniendo como resultado la disminuyendo el rendimiento del vuelo, alteración la calidad y frecuencia del canto y reducción del éxito reproductivo, posteriormente durante la biomagnificación a través de la cadena trófica en los depredadores se presentan efectos como alteración endocrina e inmunológicas (Cleary, 2019; Jackson et al., 2015).

### **2.16 Prueba de micronúcleos (MN) y prolongaciones nucleares**

La prueba de micronúcleos se considera una técnica de evaluación de los efectos clastogénicos y aneugénicos por parte de contaminantes ambientales (Baesse et al., 2015). La prueba consiste en identificar y cuantificar el daño generado en el material genético de las células a partir de la presencia de núcleos fragmentados (MN) o prolongaciones nucleares (Torres-Bugarín et al., 2019).

Los micronúcleos son fragmentos o cromosomas completos sin centrómeros que no están incorporados al núcleo de las células replicadas también llamadas células hijas, en el caso de los fragmentos estos se forman durante la transición de división celular durante la mitosis (Torres-Bugarín et al., 2019), mientras que las prolongaciones se identifican como filamentos propios del núcleo que se forman como extensiones durante la transcripción celular.

La técnica de conteo de MN fue propuesta por Countryman y Heddle en 1876, con la finalidad de evaluar el daño cromosómico en humanos, posterior a ello se empleó en la evaluación de genotoxicidad en 1985 por Fenech y Morley en un primer intento por frenar la citocinesis (Zalacain et al., 2005), actualmente esta prueba es considerada un examen práctico, de baja tecnología y costos, por lo que lo hace accesible para cualquier estudio, es factible en la evaluación de la inestabilidad genómica producida por la exposición a

contaminantes genotóxicos en aves (González-Acevedo et al., 2016; Korshikov et al., 2019; Martínez-Quintanilla et al., 2017; Residente et al., 2013).

### **2.17 Índice H/L como indicador del estado de salud**

La relación Heterófilo /Linfocito (H/L) determina el estado de salud (Téllez-Isaías et al., 1997), es el principal indicador de estrés en las aves, de modo que tener un conteo elevado indican niveles altos de glucocorticoides, enfermedades nutricionales e infecciones bacterianas (Maxwell & Robertson, 1998). Los niveles de H/L en sangre están relacionados al estrés. El estrés en las aves es causado por diversos factores tales como la temperatura ambiental, en algunos casos el calor con temperaturas superiores a 30.4°C, otro factor asociado es la segregación del organismo de la parvada a causa de un desorden social como por ejemplo la presencia de un depredador. También la alimentación es clave para mantener un nivel estable de corticoides ya que un cambio hormonal altera la composición hematológica de este modo la falta de alimento es un promotor de estrés y altera la relación en los niveles H/L (Téllez-Isaías et al., 1997).

El uso de este método trae varias ventajas, sin embargo; una de las desventajas es el aumento en los niveles de corticosterona en plasma después de la captura y su manipulación ya que se ha probado que esta aumenta de manera rápida en fauna silvestre (Davis et al., 2008).

### **2.18 Sistema inmune de las aves**

El sistema inmune de las aves se conforma por cinco tipos de glóbulos blancos (linfocitos, heterófilos, eosinófilos, basófilos y monocitos), cada uno con una función y características específicas (ver Cuadro 1.) (Demina et al., 2019).

**Cuadro 1.** Células que conforman el sistema inmune de las aves (Elaboración propia con información de (Gálvez et al., 2009).

Célula	Función	Características
Linfocitos	Encargadas de elaborar anticuerpos, destruir células tumorales y regular la respuesta inmunitaria.	Núcleo normalmente redondo y central, con cromatina condensada. Alto radio núcleo/citoplasma (escaso citoplasma). Citoplasma basófilo. Se diferencian tres poblaciones celulares (medianos, pequeños y grandes)
Heterófilos	Anticuerpos encargados de regular las actividades antimicrobianas.	Gránulos alargados o redondeados y en algunos casos eosinófilos. Citoplasma incoloro.
Eosinófilos	La función del eosinófilo aviar es poco clara; sin embargo, regulan la respuesta a agentes infecciosos y de alergia.	Gránulos redondos, eosinófilos y refráctiles. Citoplasma azulado, meramente granulado. Las rapaces sanas poseen un número elevado de eosinófilos.
Basófilos	La función exacta de los basófilos se desconoce ya que tienen la capacidad de liberar mediadores para detectar patógenos y repara heridas.	Célula de pequeño tamaño con gránulos denotados intensamente.
Monocitos	Su principal función es realizar la fagocitosis celular.	Forma irregular. Núcleo redondo, bilobulado, normalmente excéntrico; citoplasma azul-gris, finamente granulado o vacuolado.

Dentro de los estudios hematológicos relacionados al sistema inmune se evalúan tres tipos de células; los glóbulos rojos o eritrocitos, los trombocitos o plaquetas y los glóbulos

blancos o leucocitos, estos últimos son células que reflejan el estado inmunitario tanto de los componentes innatos como adquiridos de las aves (Gálvez et al., 2009).

En los gorriones los estudios hematológicos orientados a la investigación con genotoxicidad son escasos (García et al., 2015). Algunos estudios realizados referentes al conteo leucocitario han mostrado resultados que denotan enfermedades, sin embargo, Gálvez y colaboradores (2009) advierten no fiarse de los niveles del sistema inmune en neonatos hasta juveniles de 6 meses, ya que existe amplia variabilidad en el conteo, posterior a esta edad la variabilidad en los niveles puede denotar desordenes degenerativos o neoplásicos.

#### 2.18.1 Linfocitos

Los linfocitos son células del sistema inmune, las cuales proporcionan inmunidad tanto celular (linfocitos T) como humoral (linfocitos B) (Demina et al., 2019). Se caracterizan por poseer un citoplasma abundante con un solo núcleo y no contiene gránulos en su citoplasma.

Las aves paseriformes son linfocíticas y al presentar una elevación en el rango (20-50%) se puede interpretar como linfocitosis absoluta, la cual ocurre como resultado de leucemia linfocítica en niveles altos y cambios morfológicos, de igual forma ocurre ante la presencia de infecciones bacterianas y virales.

La linfopenia o linfocitopenia es la disminución de linfocitos presentes y tiene como resultado inmunosupresión, mientras que la elevación de estas causa linfocitosis, la cual puede deberse en su generalidad a infecciones (Demina et al., 2019), en el caso de ser relativa aunada a heterofilia se presenta cuando el ejemplar tiene infecciones virales severas o agudas (Gálvez et al., 2009).

### 2.18.2 Heterófilos

Los heterófilos son granulocitos presentes en el sistema inmune de las aves, estos son los primeros agentes contra infecciones bacterianas, virales y parasitarias (Martínez-Quintanilla et al., 2017).

El aumento en el conteo sanguíneo de estas células es denominado como heterofilia, la cual corresponde a la respuesta del sistema inmune inespecífico a una infección o daño tisular (Demina et al., 2019), mientras que la heterofilia por estrés es el resultado del aumento de corticoesteroides o excitación de las aves al igual que los procesos inflamatorios e infecciosos agudos (Gálvez et al., 2009)

### 2.18.3 Eosinófilos

Se diferencia de los heterófilos por su forma redondeada, núcleo claro con moteado obscuro y presencia de gránulos en el citoplasma, la presencia de estas células es relativamente baja (del 0 al 2%) (Gálvez et al., 2009)..

Un conteo con alta frecuencia de eosinófilos denota infecciones parasitarias tales como giardiasis, ascaridiasis, y cestodiasis, en cuanto a las alergias puede presentarse bajo condiciones de dermatitis o hipersensibilidad respiratoria o daño a tejidos por cambios en la histopatología, sin embargo, estos padecimientos no siempre se encuentran asociados a una eosinofilia periférica (Gálvez et al., 2009).

La presencia de eosinófilos en sangre periférica es rara, sin embargo; se tiene reportado que el decremento o eosinopenia se da en aves de corral bajo estrés calórico debido a que estas células participan en la fase inicial para contrarrestar la respuesta al estrés agudo (Díaz et al., 2016).

#### 2.18.4 Basófilos

Los basófilos son células leucocíticas de baja frecuencia (0 a 5%) en la sangre periférica, su presencia se asocia a estados inflamatorios (Gálvez et al., 2009).

Su morfología se distingue por poseer gránulos rojizos en el citoplasma con el núcleo agrandado y granular en tonos oscuros, aunque su función exacta no se encuentra documentada; los basófilos incrementan las respuestas de memoria de anticuerpos, estos generan proteínas como las inmunoglobulinas (Ig) tal como la IgE e histaminas en respuesta a cargas parasitarias, alergias y procesos inflamatorios respectivamente (NIH, 2014).

La presencia elevada de los basófilos o basofilia en las aves está relacionada a infecciones respiratorias, mientras niveles bajos (basopenia) en aves no se encuentra documentada (Gálvez et al., 2009), sin embargo; se produce como respuesta a reacciones de hipersensibilidad aguda, infecciones y tirotoxicosis (Thonnard-Neumann, 1961), esta última puede tener efectos sobre la regulación de las hormonas T3 y T4 (Malarkey et al., 2013) las cuales influyen sobre el plumaje de las aves y vulnerabilidad desencadenada a patógenos.

#### 2.18.5 Monocitos

Los monocitos poseen un citoplasma más abundante que las células anteriores y en ocasiones con presencia de vacuolas citoplasmáticas, posee un sólo núcleo y no contiene gránulos en su citoplasma.

Se considera un nivel promedio entre el 0 y 3%, sin embargo niveles superiores a este rango se considera como monocitosis relativa o absoluta, es causada por infecciones crónicas tales como clamidia, micobacterias, fúngicas y granulomatosas, cuando está acompañada de una basofilia da como resultado clamidiasis; cuando la infección es a

causa de *Aspergillus spp* o *Mycobacterium spp* puede no tener cambio en el rango de monocitos presentes dentro del diferencial (Gálvez et al., 2009).

La monocitopenia no está documentada en aves debido a la baja frecuencia de monocitos que se considera normal (Gálvez et al., 2009), no obstante, se presenta en mamíferos y está relacionada a enfermedades hematológicas tal como la leucemia, infecciones agudas y autoinmunes, anemia aplásica (Sánchez-Valle & Hernández-Navarro, 2004), esta deficiencia también puede estar ligada a los glucocorticoides, ya que en las aves da respuesta como mediador al estrés e influye en el comportamiento para la puesta de huevos (Della Costa et al., 2016).

## Literatura citada

- Arango, S. (2012). Biomarcadores para la evaluación de riesgo en la salud humana. *Advances in Cancer Survivorship Management*, 30(1), 75:81. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0986-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0986-5_19)
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). Regiones Terrestres Prioritarias de México. *Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad., RTP-53*, 261–263.
- Arroyo-Arroyo, S. I., Martínez-guerrero, J. H., Pereda-Solís, M. E., & Sierra-Franco, D. (2019). Primer registro reproductivo de gorrión chapulín en el norte de Durango , México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología Issn.:*, 20, 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.2.413>
- Baesse, C. Q., Tolentino, V. C. de M., Silva, A. M. da, Silva, A. de A., Ferreira, G. Â., Paniago, L. P. M., Nepomuceno, J. C., & Melo, C. de. (2015). Micronucleus as biomaker of genotoxicity in birds from Brazilian Cerrado. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.024>
- Bartuszevige, A. M., Capparella, A. P., Harper, R. G., Frick, J. A., Criley, B., Doty, K., & Erhart, E. (2002). Organochlorine pesticide contamination in grassland-nesting passerines that breed in North America. *Environmental Pollution*, 117(2), 225–232. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00272-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00272-X)
- Berlanga, H., Silva, H. G. de, Vargas-Canales, V. ., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. ., Ortega-Álvarez, R., & Calderón-Parra, R. (2019). Aves de México. Lista actualizada de especies y nombres comunes Actualización AOS, 2019 (Cuadro en PDF). *CONABIO*, 18. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- BirdLife-International. (2018). *Ammodramus savannarum.*, *The IUCN Red List of Threatened Species 2018*, e.T2272114.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22721144A132007482.en>

Bugarín, O. T., Carillo-Gómez, C. S., & Armijo-Gómez, A. J. (2019). Evaluación de genotóxicos ambientales mediante la prueba de micronúcleos en sangre periférica. In *Ecología y salud de la fauna silvestre* (Universidad, Issue September, pp. 4–154).

Bulgin, N. L., Gibbs, H. L., Vickery, P., & Baker, A. J. (2003). Ancestral polymorphisms in genetic markers obscure detection of evolutionarily distinct populations in the endangered Florida grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum floridanus*). *Molecular Ecology*, 12(4), 831–844. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2003.01774.x>

Castillo-Castañeda, P. C. (2017). *Relación de las defensas antioxidantes con la presencia de xenobióticos en leche materna*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., México.

CEC, & TNC. (2005). North American Central grasslands priority conservation areas: technical report and documentation. In Eds. J.W. Karl and J. Hoth. *Commission for Environmental Cooperation and The Nature Conservancy*. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2568-north-american-grassland-priority-conservation-areas-en.pdf>

Clark, P., Boardman, W., & Raidal, S. (2009). *Atlas of Clinical Avian Hematology* (Wiley-Blackwell (ed.)).

Cleary, M. (2019). Toxicology of Reptiles. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

CONABIO. (2000a). *Distribución*. Distribución y Habitat de *A. savannarum*. <https://colombia.inaturalist.org/taxa/10139-Ammodramus-savannarum>

CONABIO. (2000b). *Gorrión chapulín*. Distribución y Habitat de *Centronyx bairdii*.

- Crettaz-Minaglia, M., Sedan, D., & Giannuzzi, L. (2017). Bioacumulacion y biomagnificacion de cianotoxinas en organismos acuaticos de agua dulce. *Cianobacterias Como Determinantes Ambientales de La Salud*, 8, 171–186. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72653/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72653/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cuenca, P., & Ramírez, V. (2004). Mutagénesis ambiental y el uso de biomarcadores para predecir el riesgo de cáncer. *Revista de Biología Topical*, 52(3), 585–590. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442004000300020](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442004000300020)
- Davis, A. K., Maney, D. L., & Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. *Functional Ecology*, 22(5), 760–772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>
- Della Costa, N. S., Navarro, J. L., Bernad, L., Marín, R. H., & Martella, M. B. (2016). Corticosterona materna en huevos y comportamiento de estrés en pichones de ñandú. *Revista Argentina de Ciencias Del Comportamiento (RACC)*, 8(2), 32–33. <https://doi.org/ISSN 1852-4206>
- Demina, I., Tsvey, A., Babushkina, O., & Bojarinova, J. (2019). Time-keeping programme can explain seasonal dynamics of leukocyte profile in a migrant bird. *Journal of Avian Biology*, 50(7), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jav.02117>
- Díaz, E. A., Narváez-Solarte, W., & Giraldo, J. A. (2016). Alteraciones hematológicas y zootécnicas del pollo de engorde bajo estrés calórico. *Información Tecnológica*, 27(3), 221–230. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300021>
- Dimiceli, J. K. (2006). *Winter diet, seed preferences and foraging behavior of Henslow's Sparrows (Ammodramus henslowii) in southeastern Louisiana.*
- Egwumah, F. A., & Egwumah, P. O. (2017). Paramount Roles of Wild Birds as

Bioindicators of Contamination. *International International Journal of Avian & Wildlife Biology*, 2(6), 41. <https://doi.org/10.15406/ijawb.2017.02.00041>

Gálvez-Martínez, C. F., Ramírez-Benavides, G. F., & Osorio, J. H. (2009). THE CLINIC LABORATORY IN HEMATOLOGY OF EXOTIC BIRDS. *Biosalud*, 8, 178–188.

Gálvez, C., Ramírez, G., & Osorio, J. (2009). El laboratorio clínico en hematología de aves exóticas. *Biosalud*, 8(1), 178–188. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-95502009000100020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502009000100020)

García-Fernández, A. J. (2014). Ecotoxicology, Avian. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 2, 289–294. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00496-6>

García Hernández, J., Leyva Morales, J. B., Martínez Rodríguez, I. E., Hernández Ochoa, M. I., Aldana Madrid, M. L., Rojas García, A. E., Betancourt Lozano, M., Perez Herrera, N. E., & Perera Rios, J. H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(Special Issue 1), 29–60. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.03>

García, O. M., Antonio, M., Mendez, A., Pérez Gutiérrez, R. A., Maria, R., Ortiz Najera, C., Claudia, Y., & Castillo, S. (2015). Analisis De Las Celulas Sanguineas De Aves Y Reptiles Por Microscopia De Luz. *Centro de Investigaciones Biológicas de La UAEM*, 1, 1:3.

González-Acevedo, A., García-Salas, J. A., Gosálvez, J., Fernández, J. L., Dávila-Rodríguez, M. I., Cerda-Flores, R. M., Méndez-López, L. F., & Cortés-Gutiérrez, E. I. (2016). Evaluation of environmental genotoxicity by comet assay in *Columba livia*. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 26(1), 61–66. <https://doi.org/10.3109/15376516.2015.1114059>

Herkert, J. R., Vickery, P. D., & Kroodsma, D. E. (2020). Henslow's Sparrow (*Centronyx*

- henslowii). In *Birds of the World* (P. G. Rodewald, Editor) (pp. 1–20). <https://doi.org/https://doi.org/10.2173/bow.henspa.01>
- Hussain, R., Mahmood, F., Khan, M. Z., Khan, A., & Muhammad, F. (2011). Pathological and genotoxic effects of atrazine in male Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Ecotoxicology*, *20*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0515-y>
- IUCN. (2020). *Centronix bairdii*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org>
- Jackson, A. K., Evers, D. C., Adams, E. M., Cristol, D. A., Eagles-Smith, C., Edmonds, S. T., Gray, C. E., Hoskins, B., Lane, O. P., Sauer, A., & Tear, T. (2015). Songbirds as sentinels of mercury in terrestrial habitats of eastern North America. *Ecotoxicology*, *24*(2), 453–467. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1394-4>
- Jobin, B., Labrecque, S., Grenier, M., & Falardeau, G. (2008). Object-based classification as an alternative approach to the traditional pixel-based classification to identify potential habitat of the Grasshopper Sparrow. *Environmental Management*, *41*(1), 20–31. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9031-0>
- Jones, S. L., Dieni, J. S., & Gouse, P. J. (2010). Reproductive Biology of a Grassland Songbird Community in Northcentral Montana. *BioOne Journal of Field Ornithology*, *122*(3), 455–464.
- Kaufman, K. (2017a). Baird's Sparrow (*Centronyx bairdii*). *Audubon Guide to North American Birds*. <https://www.audubon.org/field-guide/bird/bairds-sparrow>
- Kaufman, K. (2017b). *Grasshopper Sparrow (Ammodramus savannarum)*. <https://www.audubon.org/field-guide/bird/grasshopper-sparrow>
- Köhler, H. R., & Triebkorn, R. (2013). Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? *Science*, *341*(6147), 759–765. <https://doi.org/10.1126/science.1237591>

- Korshikov, I. I., Belonozhko, Y. A., & Lapteva, E. V. (2019). The Use of a Micronucleus Test in *Pinus pallasiana* D. Don and *Picea abies* (L.) Karst. for the Assessment of Technogenic Pollution's Influence. *Cytology and Genetics*, 53(2), 106–112. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020051>
- Lloyd, J., Mannan, R., Destefano, S., & Kirkpatrick, C. (1998). The Effects of Mesquites Invasion on a Southeastern Arizona Grassland Bird Community. *The Wilson Bulletin*, 110(3)(January 5, 2021), 403–408. <http://www.jstor.org/stable/4163966>
- Macías-Duarte, A., Montoya, A. B., Méndez-González, C. E., Rodríguez-Salazar, J. R., Hunt, W. G., & Krannitz, P. G. (2009). Factors Influencing Habitat Use by Migratory Grassland Birds in the State of Chihuahua, Mexico. *The Auk*, 126(4), 896–905. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.08251>
- Malarkey, D. E., Hoenerhoff, M., & Maronpot, R. R. (2013). Carcinogenesis: Mechanisms and Manifestations. In *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology* (pp. 107–146). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00005-4>
- Manzano-Fischer, P., List, R., & Ceballos, G. (1999). Grassland bird in prairie-dog towns in Northwestern Chihuahua, México. *Studies in Avian Biology*, 19, 263–271. [https://www.researchgate.net/profile/Dan\\_Brauning/publication/262082794\\_Ecology\\_and\\_Conservation\\_of\\_Grassland\\_Birds\\_of\\_the\\_Western\\_Hemisphere\\_by\\_Peter\\_D\\_Vickery\\_James\\_R\\_Herkert/links/5c784e5b92851c69504929b8/Ecology-and-Conservation-of-Grassland-Birds-of-](https://www.researchgate.net/profile/Dan_Brauning/publication/262082794_Ecology_and_Conservation_of_Grassland_Birds_of_the_Western_Hemisphere_by_Peter_D_Vickery_James_R_Herkert/links/5c784e5b92851c69504929b8/Ecology-and-Conservation-of-Grassland-Birds-of-)
- Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (2003). *Bioindicators and biomonitoring, principles, concepts and Applications. Trace metals and other contaminants in the environment* (Elsevier (ed.); 6th ed.). [https://www.researchgate.net/publication/313718613\\_Bioindicators\\_and\\_Biomonitoring\\_Principles\\_Concepts\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/313718613_Bioindicators_and_Biomonitoring_Principles_Concepts_and_Applications)
- Martinez-Haro, M., Balderas-Plata, M., Pereda-Solis, M., Arellano-Aguilar, O.,

- Hernandez-Millan, C., Mundo-Hernandez, V., & Torres-Bugarin, O. (2017). Anthropogenic Influence on Blood Biomarkers of Stress and Genotoxicity of the Burrowing Owl (*Athene Cunicularia*). *Journal of Biodiversity & Endangered Species*, 05(03), 3–6. <https://doi.org/10.4172/2332-2543.1000196>
- Martínez, J. H., Wehenkel, C., Emilio, M., Solís, P., Levandoski, G., Rivas, J. C., Díaz, R., & Ciro, J. (2011). Abundancia y distribución invernal de *Ammodramus bairdii*, en la región de Cuchillas de la Zarca, México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 12(1), 9:14.
- Martínez Quintanilla, M. C., Torres Bugarín, O., Martínez Guerrero, J. H., Delgado León, T. G., Salas Pacheco, J. M., & Pereda Solís, M. E. (2017). Relación heterófilo/linfocito, frecuencia espontánea de eritrocitos micronucleados y prolongaciones nucleares en el ganso nevado (*Chen caerulescens*): Una propuesta como posible biomonitor de estrés y genotóxicos ambientales. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 18(1), 102–111. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2017.18.1.268>
- Maxwell, M. H., & Robertson, G. W. (1998). The avian heterophil leucocyte: a review. *World's Poultry Science Journal*, 54(2), 155–178. <https://doi.org/10.1079/wps19980012>
- Montes-Aldaba, A., Martínez-Guerrero, J., López-Serrano, P., & Pereda-Solís, M. (2018). Descripción del hábitat invernal de aves de pastizal con sensores remotos y estimación visual Description of the winter habitat of grassland birds with remote sensors and visual estimation INTRODUCCIÓN Durante las últimas décadas, en Norteamérica las ave. *Abanico Veterinario*, 8(3), 106–117.
- Moriarty, F. (1988). Ecotoxicology. *Human & Experimental Toxicology*, 1, 7:437. <https://doi.org/10.1177/096032718800700510>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T.,

- Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 476–495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Newman, M. C. (2015). Fundamentals of Ecotoxicology - The Science of Pollution. In *CRC Press/Taylor & Francis*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- NIH. (2014). *Immune Cells*. National Institute of Allergy and Infectious Diseases. <https://www.niaid.nih.gov/research/immune-cells>
- Olmastroni, S., Pompeo, G., Jha, A. N., Mori, E., Vannuccini, M. L., Fattorini, N., Ademollo, N., & Corsi, I. (2019). Erythrocytes nuclear abnormalities and leukocyte profile of the immune system of Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) breeding at Edmonson Point, Ross Sea, Antarctica. *Polar Biology*, 42(7), 1343–1352. <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02522-3>
- Ortiz-Pulido, R. (2018). ¿Qué especies de aves están en riesgo en México? *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 19(2), 237–272. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2018.19.2.348>
- Ortiz-Pulido, R., Alcántara-Carbajal, J. L., De la Cueva, H., Martínez-Gómez, J., Escalante Pliego, P., De la Parra-Martínez, S. M., Feria Arroyo, T. P., & Albert, S. (2016). Conservación de aves en México, una instantánea de 2015. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 17(2), 234–238. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2016.17.2.252>
- Páez-Osuna, F., & Osuna-Martínez, C. (2011). Biomonitoring of coastal pollution with reference to the situation in the Mexican coasts: A review on the utilization of organisms [Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: Una revisión sobre los organismos utilizados]. *Hidrobiológica*, 21(3), 229–238. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84869158712&partnerID=40&md5=cb82a4ba1db91439efeb121444c61678>

- Panjabi, A., & Beyer, L. (2010). Desert grassland bird conservation: is low winter survival driving population declines ? Phase I. *Report Phase I., Brighton*, 10.
- Pereda-Solís, M. E., García-Fernández, F., Sierra-Francisco, D., Martínez-Guerrero, J. H., Ruvalcaba-Ortega, I., & Hennegan-Strasser, E. (2020). Diferenciación del sexo del gorrión de baird (*Centronyx bairdii*) por medio de redes neuronales artificiales y datos morfo-métricos. *Agrociencias*, 54, En prensa.
- Residente, E., Torres-bugarín, O., Zavala-cerna, M. G., Macriz-romero, N., Flores-garcía, A., & Ramos-ibarra, M. L. (2013). Procedimientos Basicos De La Prueba De Micronucleos Y Anormalidades Nucleares En Celulas Exfoliadas De Mucosa Oral. *El Residente*, 8(1), 4–11.
- Rodríguez-Maturino, J. A., Martínez-Guerrero, J. H., Chairez-Hernández, I., Pereda-Solis, M. ., & Pinedo-Álvarez, A. (2017). Variables del hábitat de pastizal asociadas a la densidad de aves granívoras en Malpaís, Durango, México. *Agroproductividad*, 10(5), 3–9.
- Roldán-Reyes, E. (2016). Introducción a la toxicología. In *Introducción a la toxicología* (Universida). <https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/cbiologicas/libros/Toxico-ago18.pdf>
- Rosenberg, K. V., Dokter, A. M., Blancher, P. J., Sauer, J. R., Smith, A. C., Smith, P. A., Stanton, J. C., Panjabi, A., Helft, L., Parr, M., & Marra, P. P. (2019). Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), 120–124. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1313>
- Royo, M., Melgoza, A., Santos, J., Carrillo, R., Jurado, P., Gutiérrez, R., & Echavarría, F. (2005). La salud de los pastizales medianos en los estados de Chihuahua y Zacatecas. *II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales*.
- Ruth, J. M. (2008). Distribution and abundance of breeding Arizona Grasshopper Sparrow

(*Ammodramus savannarum ammoregus*) in the southwestern United States: Past, present, and future. *Studies in Avian Biology*, 37, 113–124.

Rutkowska, M., Płotka-Wasyłka, J., Lubinska-Szczygeł, M., Róžańska, A., Możejko-Ciesielska, J., & Namieśnik, J. (2018). Birds' feathers – Suitable samples for determination of environmental pollutants. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 109, 97–115. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.09.022>

Sánchez-Valle, M. ., & Hernández-Navarro, F. (2004). *Protocolo diagnóstico de la monocitosis y monocitopenia*. [https://doi.org/10.1016/s0211-3449\(04\)70210-6](https://doi.org/10.1016/s0211-3449(04)70210-6)

Sanz-Serrano, J., López de Cerain, A., Garayoa, R., Azqueta, A., & Vettorazzi, A. (2020). Genotoxicity evaluation of fried meat: A comprehensive review. *Food and Chemical Toxicology*, 136, 110943. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110943>

Sauer, J. R., & Link, W. A. (2011). Analysis of the North American Breeding Bird Survey Using Hierarchical Models. *The Auk*, 128(1), 87–98. <https://doi.org/10.1525/auk.2010.09220>

Scheuhammer, A. M. (1987). The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in birds: A review. *Environmental Pollution*, 46(4), 263–295. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(87\)90173-4](https://doi.org/10.1016/0269-7491(87)90173-4)

SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. *Diario Oficial*, 9(1). <https://doi.org/10.1558/jsrnc.v4il.24>

Stanton, R. L., Morrissey, C. A., & Clark, R. G. (2018). Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254(May 2017), 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.028>

Taylor, N. T., Davis, K. M., Abad, H., McClung, M. R., & Moran, M. D. (2017). Ecosystem services of the Big Bend region of the Chihuahuan Desert. *Revista de Entornos*

Áridos, 27, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.017>

Téllez-Isaías, A., Tejeda-Perea, G., & Galindo-Maldonado, F. (1997). Técnica de medición de estrés en aves. In *Veterinaria México* (Vol. 28, pp. 345–351). <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.02.051>

Theodorakis, C. W. (2001). Integration of Genotoxic and Population Genetic Endpoints. *Ecotoxicology.*, 1, 245–256.

Thonnard-Neumann, E. (1961). The influence of hormones on the basophilic leukocytes. *Acta Haematologica*, 25(4), 261. <https://doi.org/10.1159/000206541>

Titulaer, M., Melgoza-Castillo, A., Panjabi, A. O., Sanchez-Flores, A., Martínez-Guerrero, J. H., Macías-Duarte, A., & Fernandez, J. A. (2017). Molecular analysis of stomach contents reveals important grass seeds in the winter diet of Baird's and Grasshopper sparrows, two declining grassland bird species. *PLoS ONE*, 12(12), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189695>

Torres-Bugarín, O., Carillo-Gómez, C. S., & Armijo-Gómez, J. A. (2019). Evaluación de genotóxicos ambientales mediante la prueba de micronúcleos en sangre periférica. In *Ecología y salud de la fauna silvestre* (Issue Universidad Juárez del Estado de Durango, pp. 59–89).

Valdéz, S. (2010). Avaliação da exposição a agrotóxicos em aves silvestres de vida livre. *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.*, 429-439. [https://books.google.com.mx/books?id=943ai6ePVzoC&pg=PA429&lpg=PA429&dq=Avaliação+da+exposição+a+agrotóxicos+em+aves+silvestres+de+vida+livre&source=bl&ots=ajCQHymyQ-&sig=ACfU3U104NXv2XS-QTH0y46qK0zPSxtJ9g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjy66\\_r4ruAhXEI60KHQMucg-oQ6](https://books.google.com.mx/books?id=943ai6ePVzoC&pg=PA429&lpg=PA429&dq=Avaliação+da+exposição+a+agrotóxicos+em+aves+silvestres+de+vida+livre&source=bl&ots=ajCQHymyQ-&sig=ACfU3U104NXv2XS-QTH0y46qK0zPSxtJ9g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjy66_r4ruAhXEI60KHQMucg-oQ6)

- Valencia-Quintana, R., Sánchez Alarcón, J., Gómez-Arroyo, S., Cortés Eslava, J., Waliszewski, S. M., Fernández, S., & Villalobos-Pietrini, R. (2013). GENOTOXICIDAD DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS VEGETALES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 133–157.
- Walker, C. H. (1993). Acute Toxicity of Tedisamil, a New Potassium Channel Blocking Drug. *Pharmacology & Toxicology*, 73(5), 257–261. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0773.1993.tb00581.x>
- Wiggins, D. . (2006). Baird's Sparrow (*Ammodramus bairdii*): a technical conservation assessment. *USDA Forest Service, Rocky Mountain Region*. Available. [https://www.researchgate.net/publication/281860948\\_Baird's\\_Sparrow\\_Ammodramus\\_bairdii\\_A\\_Technical\\_Conservation\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/281860948_Baird's_Sparrow_Ammodramus_bairdii_A_Technical_Conservation_Assessment)
- Williams, G. M. (1980). Classification of Genotoxic and Epigenetic Hepatocarcinogens Using Liver Culture Assays. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 349(1), 273–282. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1980.tb29532.x>
- Yáñez-Chávez, L. G., Pedroza-Sandoval, A., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., & Trejo-Calzada, R. (2018). Management Practices and Bioproductivity in Grassland of Dry Areas. In *Grasses as Food and Feed* (p. 49:66). <https://doi.org/10.5772/intechopen.79411>
- Yang, Y., Zhang, W., Wang, S., Zhang, H., & Zhang, Y. (2020). Response of male reproductive function to environmental heavy metal pollution in a free-living passerine bird, *Passer montanus*. *Science of the Total Environment*, 747, 141402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141402>
- Zalacain, M., Sierrasesúmaga, L., & Patiño, A. (2005). El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 28(2), 227–236. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272005000300007>

Zúñiga-González, G., Torres-Bugarín, O., Luna-Aguirre, J., González-Rodríguez, A., Zamora-Perez, A., Gómez-Meda, B. C., Ventura-Aguilar, A. J., Ramos-Ibarra, M. L., Ramos-Mora, A., Ortiz, G. G., & Gallegos-Arreola, M. P. (2000). Spontaneous micronuclei in peripheral blood erythrocytes from 54 animal species (mammals, reptiles and birds): Part two. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 467(1), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(00\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(00)00021-8)

## **CAPITULO III. BIOMARCADORES HEMÁTICOS EN DOS ESPECIES DE AVES DE PASTIZAL**

### **HEMATIC BIOMARKERS IN TWO SPECIES OF GRASSLAND BIRDS**

Amara Sahad Jiménez Chávez<sup>1</sup>, Martin Emilio Pereda Solís<sup>2\*</sup>, Luis Antonio Tarango Arámbula<sup>3</sup>, Gonzalo Hernández Ibarra<sup>1</sup>

1 Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; Km 40 Ctra. Gómez Palacio, Dgo. - Cd. Juárez, Chih.; C.P. 35230. Bermejillo, Mapimí, Dgo., México. [ajimenezc@chapingo.uruza.edu.mx](mailto:ajimenezc@chapingo.uruza.edu.mx); [ghernandez@chapingo.mx](mailto:ghernandez@chapingo.mx)

2 Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ctra. Durango - Mezquital, km 11.5. 34000. Durango, Dgo. México. [mepereda@ujed.mx](mailto:mepereda@ujed.mx)

3 Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, 78600 Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. [ltarango@colpos.mx](mailto:ltarango@colpos.mx)

\*Autor de correspondencia: [mepereda@ujed.mx](mailto:mepereda@ujed.mx)

### **RESUMEN**

Las poblaciones de aves de pastizal han disminuido significativamente debido a los contaminantes ambientales, evaluar su estado de salud mediante indicadores biológicos es una forma de prevenir el decremento poblacional. El objetivo de la contribución es examinar el uso de biomarcadores hemáticos (eritrocitos micronucleados; EMN, eritrocitos con prolongaciones nucleares; EPN, recuento leucocitario y relación H/L) y posible exposición a genotóxicos en el gorrión chapulinero (*Ammodramus savannarum*)

y el gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) durante la temporada invernal de 2020 en Cuchillas de la Zarca, Durango.

Se colectaron 57 ejemplares (34 *A. savannarum* y 23 *C. bairdii*); la frecuencia basal de ambas especies no presenta disparidad, al igual que los resultados obtenidos puede significar que no se han expuesto a compuestos genotóxicos. Del diferencial leucocitario se obtuvieron rangos normales para ambas especies siendo los linfocitos los más abundantes para ambas especies. Los índices heterófilo/linfocito (0.5 y 0.7 respectivamente) coinciden a lo reportado para otras especies, sin embargo, cabe mencionar que los valores de estos biomarcadores hemáticos son altamente variables cuando se trata de establecer comparación con otras especies de aves.

**Palabras clave:** *Ammodramus savannarum*, *Centronyx bairdii*, prueba de micronúcleos, relación heterófilo/linfocito, análisis leucocitario.

## ABSTRACT

Grassland bird populations have decreased significantly due to environmental pollutants, evaluating their health status through biological indicators is a way to prevent population decline. The aim of the contribution is to examine the use of hematic biomarkers (micronucleated erythrocytes; EMN, erythrocytes with nuclear extensions; EPN, leukocyte count and H/L ratio) and possible exposure to genotoxic agents in the grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum*) and the sparrow of Baird (*Centronyx bairdii*) during the 2020 winter season in Cuchillas de la Zarca, Durango.

Were collected 57 specimens (34 *A. savannarum* and 23 *C. bairdii*); the basal frequency of both species does not present disparity, as the results obtained may mean that they have not been exposed to genotoxic compounds. From the leukocyte differential, normal ranges were obtained for both species, lymphocytes being the most abundant for both species. The heterophile / lymphocyte indices (0.5 and 0.7 respectively) coincide with

those reported for other species, however, it should be mentioned that the values of these hematic biomarkers are highly variable when it comes to establishing comparisons with other species of birds.

**Key words:** *Ammodramus savannarum*, *Centronyx bairdii*, micronucleus test, heterophile / lymphocyte ratio, leukocyte analysis.

## INTRODUCCIÓN

Diversas actividades antropogénicas como la agricultura, la industria y el urbanismo son fuentes importantes de contaminación; ya sea del aire, agua o suelo donde la acumulación de sustancias contaminantes repercute en los diferentes niveles de la organización ecológica, que incluso pueden pasar de un nivel a otro llegando a afectar a las poblaciones humanas (Connell et al., 1999).

Las aves de pastizal son sensibles a la contaminación y son útiles en el monitoreo ambiental (Macías-Duarte et al., 2009; Stanton et al., 2018), este grupo de aves presenta una grave disminución de sus poblaciones (el 74% de las especies), Rosenberg y colaboradores (2019) estiman una pérdida de más del 53% de sus poblaciones originales. Particularmente existen dos especies de gorriones cuyas poblaciones presentan un fuerte declive, el gorrión chapulín (*Ammodramus savannarum*) y el gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) (Sauer et al., 2017). Por esta razón monitorear contaminantes en aves de pastizal, aporta elementos adicionales para evaluar su posible efecto en la dinámica de sus poblaciones e incluso con sus patrones de distribución.

Para evaluar la presencia y el daño de los contaminantes ambientales es necesario utilizar técnicas o biomarcadores que puedan brindar información oportuna sobre el daño

ocurrido en los organismos expuestos de forma aguda o crónica a agentes nocivos (Torres-Bugarín et al., 2019).

Un biomarcador o marcador biológico es una alteración inducida xenobióticamente en componentes o procesos celulares o bioquímicos, estructurales o funcionales que se pueden medir en un sistema biológico, también se definen como señales fisiológicas que reflejan la exposición a una sustancia química o un grupo de agentes químicos (Gil y Pla, 2001).

Los biomarcadores más utilizados en la biomonitorización de ecosistemas son dos: de *exposición* y de *efecto*. Un biomarcador de *exposición* permite estimar la concentración acumulada de sustancias contaminantes o sus metabolitos en tejidos o incluso en el organismo entero, mediante el análisis químico de fluidos corporales o excretas, tales como sangre, orina, y el aire que se exhala (Gil y Pla, 2001). Un biomarcador de *efecto* es una alteración medible (bioquímica, estructural, funcional, de comportamiento, etc.) en un organismo que puede asociarse con una enfermedad o deterioro de la salud (Gil y Pla, 2001).

La técnica para la determinación de eritrocitos micronucleados (EMN) y con prolongaciones nucleares (EPN) en sangre periférica es uno de los biomarcadores de efecto más versátil y más utilizado debido a su efectividad, relativa sencillez, la rapidez en la obtención de resultados y por el bajo costo. Esta prueba es altamente informativa, ya que, al observar dichas estructuras en el citoplasma de las células analizadas, se corrobora que se perdió material genético, evento altamente relacionado con procesos carcinogénicos (Torres-Bugarín et al., 2019).

Las células leucocitarias (heterófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos) así como la relación de heterófilos y linfocitos (H/L) son biomarcadores que con frecuencia se utilizan para evaluar la condición inmunológica y la salud de las aves cuando se

someten a factores estresantes como la exposición a contaminantes como metales y compuestos organoclorados (Grasman y Scanlon, 1995).

En correspondencia a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue explorar el uso de biomarcadores hemáticos (eritrocitos policromáticos EPC, EMN, EPN, recuento leucocitario y relación H/L) en dos especies de gorriones de pastizal (*Ammodramus savannarum* y *Centronyx bairdii*) y determinar si estos valores constituyen evidencia de exposición a sustancias contaminantes.

## **MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se desarrolló en la localidad de Canutillo en la región conocida como Cuchillas de la Zarca, Durango; ubicada entre las coordenadas geográficas extremas 25° 20' 00" y 27° 00' 00" de latitud Norte y 105° 50' 00" y 104° 25' 00" de longitud Oeste, en el norte de Durango, el área de estudio colinda con el límite sur de Chihuahua y corresponde a parte del Desierto Chihuahuense. Cuchillas de la Zarca es una región prioritaria para la conservación de Pastizales (APCP), la cual durante el otoño e invierno recibe un gran número de aves invernantes (Arriaga et al., 2000).

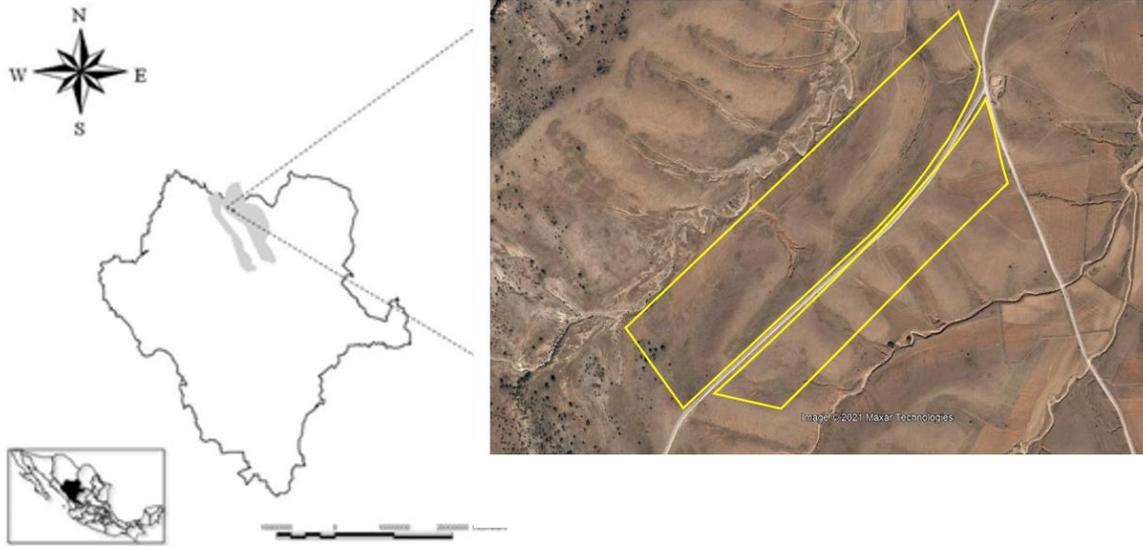


Figura 1. Localización del área de estudio en Cuchillas de la Zarca, Durango, México.

Figure 1. Location of the study area in Cuchillas de la Zarca, Durango, México

### **Descripción de los organismos**

El gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) se reproduce en el sur de Canadá y norte de los Estados Unidos, inverna en Arizona, Nuevo México y Texas y en México en los estados de Chihuahua, Sonora, Durango y Coahuila. El gorrión chapulín (*Ammodramus savannarum*) se reproduce desde el sur de Canadá hasta el norte de México, inverna en México y en la parte oeste de Centro América. Estas dos especies de aves pertenecen a la familia *Emberizidae*. Son aves granívoras y poseen un pico con una forma distintiva (Sierra-Franco et al., 2019). Ambas especies presentan un preocupante decremento poblacional que se estima de -2.1% para el gorrión de Baird y -2.5% para el gorrión chapulín (Sauer et al., 2017).

### **Método de captura**

La colecta de aves se realizó durante la tercera semana de noviembre de 2020, para lo anterior se utilizaron dos redes de niebla de 12 metros de largo y 2.60 metros de alto, fabricadas de polyester negro modelo KTX de Avian Research Supplies, AFO, de 36 mm de malla y la ayuda de nueve personas para usar el método de arreo de las aves hacia la red (Panjabi & Beyer, 2010) con el permiso de colecta científica de SEMARNAT SGPA/DGVS/05450/20.

A cada individuo capturado se extrajo una muestra de sangre (0.75  $\mu$ L aproximadamente equivalente a una o dos gotas) mediante punción de la vena braquial/ulnar con una jeringa de insulina U-100 con aguja (sin espacio muerto) 1 mL 29GX 13 mm. Para cada ejemplar colectado se realizaron dos frotis sanguíneos utilizando un portaobjetos previamente limpio, desengrasado y codificado, dejando secar al aire libre. Posteriormente los frotis fueron trasladados al Laboratorio de Apoyo al Diagnóstico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango donde las fueron fijados en etanol al 80% durante 10 minutos y posteriormente se tiñeron. Los frotis sanguíneos fueron teñidos con hemocolorante rápido (Diff-Quik = DQ) durante 30 segundos en cada una de las tres soluciones, posteriormente fueron lavadas las muestras con agua destilada y los secamos al aire libre. Para la tinción de anaranjado de acridina (AC) se preparó 1 litro de buffer dividido en dos cajas coplin, la primera con AC y la segunda únicamente con el buffer, dejando teñir 10 minutos en la primera caja y enjuagando en la segunda caja coplin por 10 minutos y dejando secar los frotis (Torres-Bugarín et al., 2014).

Para el conteo diferencial leucocitario y posteriormente obtener el índice H/L se contabilizaron 100 leucocitos por organismo con el microscopio 100x (VanGuard modelo 1400 Fli series), para los frotis teñidos con AC se utilizó el mismo microscopio (100x) haciendo uso de la lámpara para fluorescencia. Por cada tinción se cuantificaron 10,000 eritrocitos totales (ET) en los que se identificaron la frecuencia de eritrocitos micronucleados (EMN), eritrocitos con prolongaciones nucleares (EPN) y eritrocitos policromáticos (EPC) (Clark, 2015).

## **Análisis estadístico**

Para cada variable de estudio (frecuencia de EMN, EPN, EPC, porcentajes de cada uno de los grupos leucocitarios y la relación H/L) se calculó el promedio y desviación estándar, así como los supuestos de normalidad, posteriormente se realizaron comparaciones entre especies (Tukey  $\alpha=0.05$ ). Los datos de las variables de estudio fueron organizados en una hoja electrónica (Microsoft Excel®) y para el análisis estadístico se usó el programa Minitab® 18.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Durante la semana de muestreo en Cuchillas de la Zarca, Durango, México, colectamos 57 ejemplares, de los cuales 34 corresponden a *Ammodramus savannarum* y 23 a *Centronyx bairdii*.

### **Frecuencia de EPC, EMN, EPN**

Para la especie *A. savannarum* la frecuencia de EPC (1000 ET) fue de  $97.3 \pm 27.6$ . Las frecuencias basales (10 000 ET) de EMN fue de  $10.7 \pm 6.1$  y EPN  $27.7 \pm 12$ . Para *C. bairdii* EPC (1000 ET)  $103.2 \pm 21.1$ . Las frecuencias (10 000 ET) de EMN y EPN fueron  $8.4 \pm 8.6$  y  $22.2 \pm 10.6$ . No observamos EPC con micronúcleos ni con prolongaciones nucleares en los frotis sanguíneos de ambas especies.

Los eritrocitos de las aves tienen un periodo de vida de 20 a 45 días, los EPC son eritrocitos jóvenes que han sido liberados a la circulación de manera temprana, y por lo tanto se observan más grandes comparados con los eritrocitos maduros (Clark et al., 2009). Con la tinción de naranja de acridina, los EPC se tiñen de color rojo, lo que facilita su identificación cuando se pretende contarlos en pruebas de períodos cortos de exposición (Hayashi, 1990). Adicionalmente Martínez Quintanilla y colaboradores (2017) sugieren que en aves con EPC mayores a 100/1000 ET se puede usar como biomarcador la frecuencia de EPC con micronúcleos cuando se sospecha de exposición a

contaminantes genotóxicos en periodos cortos (alrededor de 24 horas), por lo anterior la ausencia de anormalidades en los EPC de las aves de nuestro estudio indican que no han sido expuestas a compuestos genotóxicos.

Los micronúcleos se identificaron como masas similares al núcleo, pero de menor tamaño, completamente separados de este, pero dentro del citoplasma del eritrocito. Cuando se observa un número de 6 o más EMN/10,000 ET se considera que el bazo no tiene un estricto control sobre estas células y, por lo tanto, al exponerse a sustancias genotóxicas, el número de EMN se incrementará (Torres et al., 2019). Cuando se observa lo anterior se reconoce que estas especies son susceptibles a daño genotóxico y pueden ser propuestas como biomonitores mediante el uso de la prueba de micronúcleos (Zúñiga-González et al., 2001).

Las prolongaciones nucleares (PN) son estructuras similares a los micronúcleos (MN) en la forma y tamaño, que, a diferencia de los MN, están vinculados con el núcleo principal de la célula por un hilo o hebra de cromatina (Fenech y Crott, 2002). La formación de EPN está relacionada al origen de los EMN por lo que ambas mediciones pueden ser utilizadas como biomarcadores de exposición a sustancias genotóxicas (Serrano-García, 2001). Es difícil establecer comparaciones de los EPN observados en las aves de nuestro estudio (*A. savannarum* 27.7/10,000 ET y *C. bairdii* 22.2/10,000 ET) con otras especies debido a que el valor de este biomarcador es altamente variable, por ejemplo en el ganso nevado (*Anser caerulescens*) Martínez-Quintanilla (2014) reportó 249.2/10,000 ET, para el perico frente amarilla (*Aratinga canicularis*) se observaron 91.7/10,000 ET (Gómez-Meda, 2006) y en el págalo antártico (*Stercorarius maccormicki*) 0.71/10,000 ET (Kursa y Bezrukov, 2007).

### **Diferencial leucocitario y relación Heterófilo /Linfocito (H/L)**

Al comparar los valores promedio de cada tipo de leucocitos, se observó que ambas especies incluidas en este estudio presentan valores similares ( $p > 0.5$ ). En el análisis de los frotis sanguíneos de estas aves los linfocitos fueron los leucocitos más abundantes,

para *A. savannarum* ( $48\% \pm 21.2$ ) y para *C. bairdii* ( $45.8\% \pm 19.8$ ). Campbell (2014), destaca que algunas especies paseriformes son linfocíticas, posiblemente debido a su naturaleza migratoria, lo que significa que someten su sistema inmunológico a múltiples factores como cambios climáticos y un gasto energético mayor, por lo que generan una respuesta adaptativa para producir una mayor cantidad de linfocitos. Norris y Evans (2000) coinciden al mencionar que las aves desarrollan actividades energéticamente exigentes durante la migración, ya que tienen que afrontar muchos retos durante los meses de invierno, incluida la competencia por los recursos y, en algunos casos, el establecimiento y defensa de territorios la energía disponible puede variar según la calidad y disponibilidad de alimentos, competencia por recursos, depredación, clima y exposición a nuevos patógenos en sitios de descanso o lugar de migración (Carbó-Ramírez & Zuria, 2015; De León-Mata et al., 2020). En un sentido opuesto la linfopenia es la disminución de linfocitos presentes y tiene como resultado inmunosupresión, la cual puede deberse en su generalidad a infecciones (Demina et al., 2019), en el caso de ser relativa aunada a heterofilia se presenta cuando el ejemplar tiene infecciones virales severas o agudas (Gálvez-Martínez et al., 2009).

Los heterófilos son granulocitos presentes en el sistema inmune de las aves, estos son los primeros agentes contra infecciones bacterianas, virales y parasitarias (Martínez-Quintanilla et al., 2017). Para *A. savannarum* se observaron  $23.5\% \pm 13.6$  y para *C. bairdii*  $32.9\% \pm 16.41$ , ambos valores en el rango observado para otras especies de aves (Cuadro 1). El aumento en el conteo sanguíneo de estas células es denominado como heterofilia, la cual corresponde a la respuesta del sistema inmune inespecífico a una infección o daño tisular (Demina et al., 2019), mientras que la heterofilia por estrés es el resultado del aumento de corticoesteroides o excitación de las aves al igual que los procesos inflamatorios e infecciosos agudos (Gálvez et al., 2009)

**Cuadro 1.** Valores de referencia del diferencial leucocitario (%) en algunas especies de aves.

**Table 1.** Reference values of the differential of leukocytes (%) in some species of birds.

<b>Especie</b>	<b>Heterófil</b>	<b>Linfocit</b>	<b>Monocit</b>	<b>Eosinófil</b>	<b>Basófil</b>	<b>Referencia</b>
	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	
<i>Psittacus erithacus</i>	45-75	20-50	0-3	0-2	0-5	(Gálvez et al., 2009)
Cacatúas ( <i>Cacatua spp.</i> )	45-75	20-50	0-4	0-2	0-5	(Gálvez et al., 2009)
Guacamayos ( <i>Ara spp.</i> )	28-95	2-72	1-15	1-5	2-5	(Gálvez et al., 2009)
Canarios ( <i>Serinus spp</i> )	20-50	40-75	0-1	0-1	0-5	(Gálvez et al., 2009)
Periquitos ( <i>Melopsittacus spp</i> )	45-70	40-75	0-1	0-1	0-5	(Gálvez et al., 2009)
<i>Nymphicus hollandicus</i>	40-70	25-55	0-2	0-2	0-6	(Osofsky et al., 2005)
<i>Amazona leucocephala</i>	23-65	34-68	0-3	0-0	0-2	(Piñeiro et al., 2009)
<i>Athene cunicularia</i>	36	40	1	22	1	(Cavalli et al., 2018)
<i>Spizella pallida</i>	8.2	52.5	9.3	0.2	24.6	(Carbó-Ramírez & Zuria, 2015)
<i>Spizella passerina</i>	10.30	43.30	12.80	0.30	33.40	(Carbó-Ramírez & Zuria, 2015)
<i>Spizella atrogulari</i>	20.60	37.50	12.90	1.00	28.50	(Carbó-Ramírez & Zuria, 2015)
<i>Ammodramus savannarum</i>	4-58	16-86	2-46	0-22	0-16	Este estudio
<i>Centronyx bairdii</i>	28-73	45-85	21-38	2-8	0-10	Este estudio

Los monocitos presentaron un citoplasma más abundante que las células anteriores y en ocasiones con presencia de vacuolas citoplasmáticas, posee un sólo núcleo y no contiene gránulos en su citoplasma. Los valores observados para *A. savannarum* fueron de  $21.8\% \pm 11.5$  y para *C. bairdii*  $16.5\% \pm 12.1$ . Parece ser que los valores de estas células es ampliamente variable en especies de aves aparentemente sanas (Cuadro 1), sin embargo niveles superiores se pueden considerar como monocitosis relativa o absoluta, posiblemente causada por infecciones crónicas tales como clamidia, micobacterias y fúngicas (Gálvez et al., 2009).

Los eosinófilos se diferencian de los heterófilos por su forma redondeada, núcleo claro con moteado obscuro y presencia de gránulos en el citoplasma, la presencia de estas células es relativamente baja (del 0 al 2%) (Gálvez et al., 2009). Para las especies de nuestro estudio se observaron  $4.7\% \pm 5.8$  en el *A. savannarum* y  $2.3\% \pm 2.5$  en *C. bairdii* ambos valores son similares a los mostrados por otras especies de aves (Cuadro 1). Un conteo con alta frecuencia de eosinófilos denota infecciones parasitarias tales como giardiasis, ascaridiasis, y cestodiasis, en cuanto a las alergias puede presentarse bajo condiciones de dermatitis o hipersensibilidad respiratoria o daño a tejidos por cambios en la histopatología, sin embargo, estos padecimientos no siempre se encuentran asociados a una eosinofilia periférica (Gálvez et al., 2009). La presencia de eosinófilos en sangre periférica es rara, sin embargo; se tiene reportado que el decremento o eosinopenia se da en aves de corral bajo estrés calórico debido a que estas células participan en la fase inicial para contrarrestar la respuesta al estrés agudo (Díaz et al., 2016).

El conteo de células basófilas en sangre periférica es ampliamente variable entre las diferentes especies de aves (Cuadro 1), algunos autores reportan que son células leucocíticas de baja frecuencia (0 a 5%). (Gálvez et al., 2009). Para la especie *A. savannarum* observamos  $1.9\% \pm 3.5$  y para *C. bairdii*  $2.4\% \pm 3.6$ . Su morfología se distingue por poseer gránulos rojizos en el citoplasma con el núcleo agrandado y granular en tonos oscuros, aunque su función exacta no se encuentra documentada; los basófilos incrementan las respuestas de memoria de anticuerpos, estos generan proteínas como

las inmunoglobulinas (Ig) tal como la IgE e histaminas en respuesta a cargas parasitarias, alergias y procesos inflamatorios respectivamente (NIH, 2014). La presencia elevada de los basófilos o basofilia en las aves está relacionada a infecciones respiratorias, mientras niveles bajos (basopenia) en aves no se encuentra documentada (Gálvez et al., 2009), sin embargo; se produce como respuesta a reacciones de hipersensibilidad aguda, infecciones y tirotoxicosis (Thonnard-Neumann, 1961), esta última puede tener efectos sobre la regulación de las hormonas T3 y T4 (Malarkey et al., 2013) las cuales influyen sobre el plumaje de las aves y vulnerabilidad desencadenada a patógenos.

Como ya hemos mencionado, en las aves, el número y la proporción de células leucocitarias reflejan la salud de los individuos y por ende de la población en general, sin embargo, la proporción en los valores leucocitarios pueden diferir entre especies, de vida libre o cautiverio, sexo y edad, incluso entre aves residentes o migratorias (Campbell, 2007; Carbó-Ramírez & Zuria, 2015).

Los valores de la relación heterófilo/linfocito para *A. savannarum* (0.5) y *C. bairdii* (0.7) fueron similares a los descritos para otras especies de aves pequeñas tanto en cautiverio como silvestres (Baesse et al., 2015). Es importante considerar que la respuesta inmune puede ser medida a través de los valores leucocitarios y la relación heterófilo/linfocito, que se alteran cuando se produce la respuesta de defensa ante agentes extraños, por lo cual siempre es posible que un aumento o disminución de un tipo leucocitario en particular sea consecuencia de que las aves están implicadas en algún proceso infeccioso no determinado, o recuperándose de él (Demina et al., 2019).

## **CONCLUSIONES**

Se obtuvieron las frecuencias basales de biomarcadores hemáticos para gorriones de las especies *A. savannarum* y *C. bairdii* cuyas poblaciones están disminuyendo. La frecuencia observada de EPC y EMN sugiere la posibilidad de usar este tipo de células

como biomarcador cuando se sospecha de exposición a genotóxicos. En el análisis de los EPC de ambas especies no se observaron anomalías lo cual puede significar que estos organismos no se han expuesto a compuestos genotóxicos. Las frecuencias basales de EMN y EPN son similares a las reportadas en otras especies de aves aparentemente sanas. El conteo de células leucocitarias y la relación heterófilo/linfocito también presentó cierta correspondencia con los valores reportados en diferentes especies de aves, sin embargo, es importante reconocer que los valores de estos biomarcadores hemáticos son altamente variables cuando se trata de establecer comparación con otras especies de aves, debido a diversos aspectos biológicos como si se encuentran en vida libre o cautiverio, sexo y edad, incluso entre aves residentes o migratorias, por esta razón se recomienda ampliar este tipo de estudios para generar valores de referencia más robustos para estos biomarcadores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Martha C. Martínez Quintanilla por su ayuda en la capacitación de laboratorio, a Fernando Flores Morales, Manuel Armando Salazar Borunda, José Hugo Martínez Guerrero, Daniel Sierra Franco y Genaro Olmos Oropeza por el apoyo para la colecta de aves. Así como al financiamiento por parte de CONACYT.

## LITERATURA CITADA

- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). Regiones Terrestres Prioritarias de México. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad., RTP-53, 261–263.
- Baesse, C. Q., Tolentino, V. C. de M., Silva, A. M. da, Silva, A. de A., Ferreira, G. Â., Paniago, L. P. M., Nepomuceno, J. C., & Melo, C. de. (2015). Micronucleus as biomaker of genotoxicity in birds from Brazilian Cerrado. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.024>
- Campbell, T. (2014). Citología Hemática: Evaluación Del Frotis Sanguíneo. In *Zoológica* (1st ed., pp. 20–34).
- Campbell, T. W. (2007). Cap.9 HEMATOLOGY. In *Avian and Exotic animal hematology and cytology* (3rd editio).
- Clark, P., (2015) Assessment of avian erythrocytes that exhibit variant nuclear morphology. *Comp Clin Pathol* 24:485–490
- Connell D., Lam, B., Richardson, B. y Wu, R. 1999. Introduction to ecotoxicology. Blackwell Science Ltd. Oxford, E. U. pp 170.
- Carbó-Ramírez, P., & Zuria, I. (2015). Immune condition and blood parasites in three sparrow species with different migratory status in central Mexico. *Avian Biology Research*, 8(3), 167–174. <https://doi.org/10.3184/175815515X14371521830098>
- Clark, P., Boardman, W., & Raidal, S. (2009). Atlas of Clinica Avian Hematology (Wiley-BlackWell (ed.)) Singapore. 2009. Pp. 184.

- De León-Mata, D., Martínez-Guerrero, J. H., Pereda-Solís, M., Sierra Franco, D., Wehenkel, C., Rodríguez-Maturino, A., & Panjabi, A. O. (2020). Aves de pastizal invernando en México: relaciones de densidad y hábitat/Wintering grasslands birds in Mexico: density and habitat relationships. *Biotecnia*, 22(2), 163–170. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1258>
- Demina, I., Tsvey, A., Babushkina, O., & Bojarinova, J. (2019). Time-keeping programme can explain seasonal dynamics of leukocyte profile in a migrant bird. *Journal of Avian Biology*, 50(7), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jav.02117>
- Díaz, E. A., Narváez-Solarte, W., & Giraldo, J. A. (2016). Alteraciones hematológicas y zootécnicas del pollo de engorde bajo estrés calórico. *Información Tecnológica*, 27(3), 221–230. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300021>.
- Fenech M. y J.W. Crott. 2002. Micronuclei, nucleoplasmic bridges and nuclear buds induced in folic acid deficient human lymphocytes-evidence for breakage-fusion bridge cycles in the cytokinesis-block micronucleus assay. *Mutat Res*. 504:131-136.
- Gálvez-Martínez, C. F., Ramírez-Benavides, G. F., & Osorio, J. H. (2009). THE CLINIC LABORATORY IN HEMATOLOGY OF EXOTIC BIRDS. *Biosalud*, 8, 178–188.
- Grasman, K. A. y P. F. Scanlon. 1995. Effects of acute lead ingestion and diet on antibody and T-cell-mediated immunity in japanese quail. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 28 (2): 161-167.
- Gil F, Pla A. Biomarkers as biological indicators of xenobiotic exposure. *J Appl Toxicol*. 2001 Jul-Aug;21(4):245-55. doi: 10.1002/jat.769. PMID: 11481655.

- Gómez Meda B.C., A.L. Zamora-Pérez, J. Luna-Aguirre, A. González-Rodríguez, M.L. Ramos-Ibarra, O. Torres-Bugarín, C.M. Batista-González, G.M. Zúñiga-González. 2006. Nuclear abnormalities in erythrocytes of parrots (*Aratinga canicularis*) related to genotoxic damage. *Avian Pathology*. 35(3): 206-210.
- Hayashi, M., Morita, T., Kodama, Y., Sofuni, T., Ishidate, M. The micronuclei assay with mouse Peripheral blood reticulocytes using acridineorange-coated slides. *Mutat Res*. 1990. 245(4): pp. 245-249.
- Kursa M. y V. Bezrukov. 2007. Health status in an antarctic top predator: Micronuclei frequency and white blood cell differentials in the south polar skua (*Catharacta maccormicki*). *Polarforschung*. 77(1)1-5.
- Macías-Duarte, A., Montoya, A. B., Méndez-González, C. E., Rodríguez-Salazar, J. R., Hunt, W. G., & Krannitz, P. G. (2009). Factors Influencing Habitat Use by Migratory Grassland Birds in the State of Chihuahua, Mexico. Martínez Quintanilla, M. C., Torres Bugarín, O., Martínez Guerrero, J. H., Delgado León, T. G., Salas Pacheco, J. M., & Pereda Solís, M. E. (2017). Relación heterófilo/linfocito, frecuencia espontánea de eritrocitos micronucleados y prolongaciones nucleares en el ganso nevado (*Chen caerulescens*): Una propuesta como posible biomonitor de estrés y genotóxicos ambientales. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 18(1), 102–111. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2017.18.1.268>.
- Martínez Quintanilla M.C. 2014. índice de condición corporal, relación heterófilo linfocito, frecuencia de micronúcleos y prolongaciones nucleares en sangre del ganso nevado (*Chen caerulescens*) propuesto como biomonitor de genotóxicos ambientales. Tesis de licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. México

- Minitab 18, (2019). Methods and formulas for Principal Components Analysis. *The Auk*, 126(4), 896–905. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.08251>
- Malarkey, D. E., Hoenerhoff, M., & Maronpot, R. R. (2013). Carcinogenesis: Mechanisms and Manifestations. In Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology (pp. 107–146). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00005-4>
- Norris, K., & Evans, M. R. (2000). Ecological immunology: life history trade-offs and immune defense in birds. *Behavioral Ecology*, 11(1), 19-26.
- Panjabi, A., & Beyer, L. (2010). Desert grassland bird conservation: is low winter survival driving population declines ? Phase I. Report Phase I., Brighton, 10.
- Rosenberg, K. V., Dokter, A. M., Blancher, P. J., Sauer, J. R., Smith, A. C., Smith, P. A., Stanton, J. C., Panjabi, A., Helft, L., Parr, M., & Marra, P. P. (2019). Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), 120–124. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1313>
- Sauer, J. R., Niven, D. K., Hines, J. E., Ziolkowski, D. J., Pardieck, K. L., Fallon, J. E., & Link, W. A. (2017). The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966–2015. Version 2.07.2017. Laurel, MD: USGS.
- Serrano-García L. y R. Montero-Montoya. 2001. Micronuclei and chromatid buds are the result of related genotoxic events. *Environ Mol Mutagen*. 38:38-45.
- Stanton, R. L., Morrissey, C. A., & Clark, R. G. (2018). Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254(May 2017), 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.028>

- Thonnard-Neumann, E. (1961). The influence of hormones on the basophilic leukocytes. *Acta Haematologica*, 25(4), 261. <https://doi.org/10.1159/000206541>
- Torres-Bugarín, O., Carillo-Gómez, C. S., & Armijo-Gómez, J. A. (2019). Evaluación de genotóxicos ambientales mediante la prueba de micronúcleos en sangre periférica. In *Ecología y salud de la fauna silvestre* (Issue Universidad Juárez del Estado de Durango, pp. 59–89).
- Torres-Bugarín, O., Zavala-Cerna, MG, Nava, A., Flores-García, A. y Ramos-Ibarra, ML (2014). Usos potenciales, limitaciones y procedimientos básicos de micronúcleos y anomalías nucleares en células bucales. *Marcadores de enfermedades*, 2014..
- Queiroz-Baesse C. (2015). Aves comobiomonitoras da qualidade ambiental em fragmentos florestais do cerrado. Uberlandia, Brasil. Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil. Pp 1: 126.
- Zúñiga-González, G., Torres-Bugarín, O., Zamora-Perez, A., Gómez-Meda, B. C., Ramos Ibarra, M. L., Martínez-González, S., González-Rodríguez, A., Luna-Aguirre, J., Ramos-Mora, A., Ontiveros-Lira, D., & Gallegos-Arreola, M. P. (2001). Differences in the number of micronucleated erythrocytes among young and adult animals including humans - Spontaneous micronuclei in 43 species. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 494(1–2), 161–167. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(01\)00180-2](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(01)00180-2)

## CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS ANEXOS

### ANEXO I. CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	MES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Certificado de Idioma de inglés							X					
Elaboración de protocolo		X	X	X	X							
Actividad/curso materias	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Visitas preliminares a zona de muestreo						X						
Estancia académica en UJED							X		X			
Muestreos								X				
Procesamiento de las muestras									X	X	X	
Análisis de datos.										X	X	X
Búsqueda y lectura de bibliografía	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Reunión semestral de comité					X		X			X		X
Elaboración del documento tesis		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Preparación y envío de artículo especializado.										X	X	X
Revisión de borrador de tesis por el tutor principal											X	X
Solicitud de jurado de Examen de Grado (después de aprobar la Candidatura)												X
Entrega de documento final de tesis al jurado, revisado por tutor principal.												X
Preparación/presentación de Examen de Candidatura												
Trámites administrativos para examen de grado.												X
Obtención del grado												X

## ANEXO II. MATERIAL Y EQUIPO

Material	Unidades	Existencia	Uso
Microscopio óptico	1 pza	Disponible	Laboratorio
Microscopio fluorescente	1 pza	Falta	Laboratorio
Jeringas de insulina	100 pza	Falta	Campo
Capilares con EDTA	100 pza	Falta	Campo
Bolsa de algodón	2 pzas	Disponible	Campo
Alcohol	2 litros	disponible	Campo
Portaobjetos esmerilados		No hay, solo portaobjetos sencillos de los cuales se tiene 150	Campo
	280 pzas	pz	
Cubreobjetos	280 pzas	200	Laboratorio
Agua destilada (garrafón)	1 Pza	Disponible	Campo y Laboratorio
Potenciómetro	1 pza	Disponible	Laboratorio
Fosfato monobásico de sodio monohidratado		Disponible	Campo y Laboratorio
	25 gr		
Fosfato de sodio dibásico anhidro	7 gr	Disponible	Campo y Laboratorio
Acridina	3 gr	Falta	Campo y Laboratorio
Etanol al 80%	1 L	Disponible	Campo y Laboratorio
Solución Wright- Giemsa	1 L	Falta	Campo y Laboratorio
Aceite de inmersión	100 mL	Disponible	Laboratorio
Hielera	1 pza	Disponible	Campo
Marcador Marienfiel	1 pza	Falta	Campo
Caja Coplin	2 pzas	Falta	Campo y Laboratorio
Matraz (1L)	4 pzas	Disponible	Laboratorio
pipetas de 3 mL	4 pzas	Disponible	Campo y Laboratorio
Bascula gramera (para campo)	1 pza	Falta	Campo
Bascula de laboratorio	1 pza	Disponible	Laboratorio
Guantes de látex	2 cajas	Disponible	Campo y Laboratorio
Papel estraza	1 rollo	Falta	Campo y Laboratorio
Gradillas para transporte de porta objetos (capacidad de 100 pz)	3 pza	Falta	Campo y Laboratorio

Piseta capacidad de 1 L	2 pz	Disponible	Campo y Laboratorio
Parafilm	1 paq.	Disponible	Laboratorio

---