



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO EN  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**PERFIL MINERAL Y METALES POTENCIALMENTE TÓXICOS EN  
HÍGADO DE VENADO COLA BLANCA (*Odocoileus virginianus texanus*  
Mearns, 1898) EN MONCLOVA, COAHUILA, MÉXICO**

**RICARDO BETANZOS RAMÍREZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México  
Junio, 2022

---



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe Ricardo Betanzos Ramírez, alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del (la) Profesor(a) Dr. Genaro Olmos Oropeza, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Perfil mineral y metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns, 1898) en Monclova, Coahuila, México y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El (la) Consejero (a) o Director (a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 01 de junio de 2022.

Firma

Vo. Bo. Profesor(a) Consejero(a) o Director(a) de Tesis

La presente tesis, titulada: **Perfil mineral y metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns, 1898) en Monclova, Coahuila, México**, realizada por el alumno **Ricardo Betanzos Ramírez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO:  
(Director de Tesis)**



DR. GENARO OLMOS OROPEZA

**CO-DIRECTOR**



DR. MIGUEL MELLADO BOSQUE

**ASESOR:**



DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

**ASESOR:**



Ph.D. ALFONSO ORTEGA SANTOS

**ASESOR:**



DR. JORGE PALACIO NÚÑEZ

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí  
Junio, 2022

**PERFIL MINERAL Y METALES POTENCIALMENTE TÓXICOS EN HÍGADO DE  
VENADO COLA BLANCA (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns, 1898) EN  
MONCLOVA, COAHUILA, MÉXICO**

**Ricardo Betanzos Ramírez, MC**

**Colegio de Postgraduados, 2022**

**RESUMEN GENERAL**

El seguimiento y evaluación de minerales en órganos específicos puede proporcionar información valiosa sobre la condición de salud de las poblaciones de ungulados silvestres, la contaminación del hábitat y sobre su exposición a éstos. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de minerales en el hígado, como indicadores de excesos/intoxicaciones en venado cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México. Se recolectaron muestras de hígado del lóbulo derecho de hembras adultas (n=46), machos adultos (n=27), hembras juveniles (n=21) y machos juveniles (n=26) de venado cola blanca (VCB). El Ca y Mg se determinó por espectrofotometría de absorción atómica. El P se determinó en un espectrofotómetro UV/VIS. El Na y K se determinaron por fotometría de llama. Cabe señalar que los microminerales (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo y Cr), azufre y los metales potencialmente tóxicos (Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb) se determinaron en una submuestra de siete hembras adultas, seis machos adultos, cinco hembras y cuatro machos juveniles. Los análisis se realizaron en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente cuádruplo (ICP-MS). Se encontró que la concentración de Ca y Mg fue superior a lo considerado como típico sin llegar a niveles tóxicos; las concentraciones de P, Na y K fueron inferiores a las consideradas como típicas para animales sanos. El análisis bifactorial mostró que existen asociaciones significativas con una intensidad moderada entre el peso de los venados con el Fe y Mo en el hígado. La concentración de metales pesados en el hígado de VCB fue por debajo de los límites de toxicidad, aunque se encontró un macho juvenil (7.6 mg kg<sup>-1</sup> ppm Al) y una hembra adulta (8.127 mg kg<sup>-1</sup> Al) con niveles excesivos de Al. Asimismo, se encontró diferencia (P<0.05) entre grupos de venados para el Hg, donde las concentraciones mayores fueron más altas en machos que hembras y en adultos que en juveniles, por lo que existe una posible contaminación por este metal pesado en la zona de estudio que pudiera traer consecuencias para los venados en el futuro. Las concentraciones de P, Na, K y Zn fueron consideradas como deficientes para VCB. Además, se detectó contaminación por Al. Estos

resultados podrían servir de bases para programas de suplementación de minerales en VCB y de referencia en programas de monitoreo de contaminación ambiental en el norte de México.

**Palabras clave: venado cola blanca, hábitat, manejo, minerales.**

**LIVER MINERAL CONCENTRATIONS IN WHITE-TAILED DEER (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns, 1898) IN MONCLOVA, COAHUILA, MEXICO**

**Ricardo Betanzos Ramírez, MC**  
**Colegio de Postgraduados, 2022**

**ABSTRACT**

The tracing and evaluation of minerals in specific organs can provide valuable information about the health status of wild ungulate populations, the contamination of habitats and their exposure to them. Therefore, the objective of this research was to determine the concentration of minerals in the liver, as indicators of excesses/intoxications in white-tailed deer at the UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, Mexico. Liver samples were collected from the right lobe of adult female (n=46), adult male (n=27), juvenile female (n=21), and juvenile male (n=26) white-tailed deer (VCB). Ca and Mg were determined by atomic absorption spectrophotometry. P was determined in a UV/VIS spectrophotometer. Na and K were determined by flame photometry. It should be noted that micro minerals (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo, Cr and S) and potentially toxic metals (Al, As, Cd, Hg, Ni and Pb) were determined in a subsample of seven adult females, six adult males, five females and four juvenile males. Analyzes were performed on a quadruple inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). It was found that the concentration of Ca and Mg in the liver of white-tailed deer from UMA Rancho San Juan was higher than considered as typical without reaching toxic levels; the concentrations of P, Na and K were lower than those considered typical for healthy animals. The bifactorial analysis showed that there are significant associations with a moderate intensity between the weight of the deer with the Fe and Mo in the liver. The concentration of heavy metals in the liver of white-tailed deer presented levels below the toxicity limits, although it was found a juvenile male (7.6 mg kg<sup>-1</sup> ppm Al) and an adult female (8.127 mg kg<sup>-1</sup> Al) with excessive levels of Al. Also, a difference (P<0.05) of Hg was detected among groups of deer, where the highest concentrations were in males than females and in adults than in juveniles, therefore there is a possible contamination due to this heavy metal in the study area that could have consequences for the deer in the future. These results could establish the fundamentals to future investigations with purposes of management and improvement of the habitat from the nutritional point of view for this area of Mexico.

**Keywords: white tailed deer, habitat, management, minerals.**

## **DEDICATORIA**

*A mi madre Marcelina, por su apoyo incondicional.*

*A mi familia por su amor y aliento en cada momento de mi vida.*

*A Aleidi por su comprensión y cariño.*

## AGRADECIMIENTOS

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada durante la realización de mis estudios de posgrado.*

*Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus San Luis Potosí, por la hospitalidad y el apoyo durante el transcurso de mis estudios de maestría.*

*A los integrantes de mi Consejo Particular, Dr. Genaro Olmos Oropeza, Dr. Miguel Mellado Bosque, Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula, Ph.D. Alfonso Ortega Santos y Dr. Jorge Palacio Núñez, por su apoyo y aportes a lo largo de la presente investigación.*

*Al Dr. Víctor Manuel Ruiz Vera, ex Director del Campus San Luis Potosí y a la Dra. Brenda I. Trejo Téllez, Responsable de las Funciones de Directora del Campus San Luis Potosí, por el apoyo en la realización de este proyecto de investigación.*

*Al Lic. Miguel Ángel Espinosa Pérez†, ex Subdirector Administrativo del Campus San Luis Potosí por el apoyo en trámite de viáticos y vehículo.*

*Al Lic. Gerardo Benavides Pape, dueño de la UMA Rancho San Juan por las facilidades para la realización de este trabajo de investigación.*

*Al Dr. Eloy Alejandro Cavazos por facilitar el ingreso a la UMA Rancho San Juan y por ayudar en la captura de venados y recolecta de muestras.*

*Al M.V.Z. Roberto Noriega Valdez y al personal de apoyo de la UMA Rancho Noche Buena, por su hospitalidad y disposición para el desarrollo del proyecto de investigación inicial.*

*A todos los profesores y el personal de apoyo del Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus San Luis Potosí por las facilidades, conocimientos y apoyo a lo largo de estos dos años.*

*A mis amigos que hicieron de mi estancia en el Campus San Luis Potosí una grata experiencia.*

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
LITERATURA CITADA .....	3
<b>CAPÍTULO 1. MINERALES DE INTERÉS NUTRICIONAL PARA EL VENADO COLA BLANCA EN COAHUILA, MÉXICO</b> .....	4
1.1. RESUMEN.....	4
1.2. ABSTRACT .....	5
1.3. INTRODUCCIÓN .....	6
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
1.4.1. Descripción del área de estudio .....	6
1.4.2. Captura de ejemplares y recolecta de muestras de hígados de venado cola blanca..	8
1.4.3. Determinación de macrominerales (Ca, P, Na, K y Mg) en hígado de venado cola blanca	10
1.4.4. Determinación de microminerales (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo y Cr) y azufre en hígado de VCB	11
1.4.5. Análisis estadístico e interpretación de resultados.....	11
1.5. RESULTADOS .....	12
1.5.1. Macrominerales en hígado de venado cola blanca .....	12
1.5.2. Microminerales y azufre en hígado de venado cola blanca .....	17
1.6. DISCUSIÓN.....	21
1.7. CONCLUSIONES .....	25
1.8. LITERATURA CITADA.....	26
<b>CAPÍTULO 2. METALES POTENCIALMENTE TÓXICOS EN HÍGADO DE VENADO COLA BLANCA EN COAHUILA, MÉXICO</b> .....	31
2.1. RESUMEN.....	31

2.2. ABSTRACT .....	32
2.3. INTRODUCCIÓN .....	33
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
2.4.1. Descripción del área de estudio .....	34
2.4.2. Captura de ejemplares y recolecta de muestras de hígado de venado cola blanca .....	36
2.4.3. Determinación de metales potencialmente tóxicos (Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb) en hígado de venado cola blanca.....	38
2.4.4. Análisis estadístico e interpretación de resultados .....	38
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
2.5.1 Metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca .....	39
2.7. CONCLUSIONES .....	45
2.8. LITERATURA CITADA.....	46
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto de la edad y el género sobre la concentración (media $\pm$ SD) de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México comparado con los valores de referencia disponibles.....	13
Cuadro 2. Análisis de varianza utilizando la prueba de Kruskal-Wallis y $X^2$ para la comparación de medias de macroelementos en venados de diferente categoría con base a edad y género.....	13
Cuadro 3. Análisis de verosimilitud utilizando la prueba de $X^2$ donde se compararon las concentraciones de Ca, P, Na, K y Mg en hígados de machos, hembras, adultos y juveniles de venado cola blanca de Monclova, Coahuila. ....	14
Cuadro 4. Concentración (media $\pm$ EEM), con base en los valores mínimo y máximo de los microminerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México comparado con literatura. ....	18
Cuadro 5. Matriz de correlación entre los microminerales con base en el peso (kg) del venado cola blanca. A partir del coeficiente de correlación de Pearson, bajo un $\alpha = 0.05$ .....	21
Cuadro 6. Concentración (media $\pm$ EEM), y valores mínimo y máximo de los metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México, comparado con valores de referencia disponibles.....	40
Cuadro 7. Concentración de Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en hígado de venado cola blanca de acuerdo con la edad y género en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.....	44
Cuadro 8. Matriz de correlación entre los metales potencialmente tóxicos y el peso del venado cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. En el mapa superior izquierdo se muestra el estado de Coahuila dentro de la República Mexicana, en el mapa inferior izquierdo muestra el municipio de Monclova donde se ubica el área de estudio. ....	7
Figura 2. Mapa con los tipos de vegetación dominante en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México. ....	8
Figura 3. Red de caída e inmovilización de venados cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México.....	9
Figura 4. Muestras de hígado de venado cola blanca almacenadas para su transporte y subsecuente análisis de minerales en el laboratorio. ....	10
Figura 5. Gráfico de ACC para el efecto de la edad sobre la concentración de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila. ....	15
Figura 6. Gráfico de ACC para el efecto de género sobre la concentración de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila. ....	16
Figura 7. Gráfico de AFo para género y edad en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.....	17
Figura 8. Gráfico de AFo para el efecto de género y edad sobre la concentración de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila. ....	17
Figura 9. Comparación de la concentración (media $\pm$ EEM de los microminerales por cada grupo de venado cola blanca, donde HA: hembras adultas, HJ: hembras juveniles, MA: machos adultos y MJ: machos juveniles. Los contrastes se basaron en la prueba post-hoc de Tukey, bajo un $\alpha = 0.05$ .....	21
Figura 10. En el mapa superior izquierdo se muestra el estado de Coahuila en la República Mexicana. En el mapa inferior izquierdo se muestra el municipio de Monclova donde se ubica el área de estudio.....	35
Figura 11. Mapa de los tipos de vegetación dominantes en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México. ....	35
Figura 12. Red de caída e inmovilización de venados cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México.....	37

Figura 13. Muestras de hígado de venado cola blanca almacenadas para su transporte y subsecuente análisis de minerales en el laboratorio..... 37

Figura 14. Concentración (media  $\pm$ EEM) de metales potencialmente tóxicos por grupo de venado cola blanca, donde HA: hembras adultas, HJ: hembras juveniles, MA: machos adultos y MJ: machos juveniles. Los contrastes se basaron en la prueba post-hoc de Tukey, bajo un  $\alpha = 0.05$ . 42

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El valor económico de la fauna silvestre en el norte de México, principalmente el del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns, 1898), ha cobrado importancia debido a su valor como trofeo en la cacería deportiva desde los años noventa. Por lo anterior, los propietarios de los ranchos ganaderos se vieron en la necesidad de buscar alternativas de manejo para el venado cola blanca y la producción forrajera para el ganado productor de carne, que continúa representando un componente importante de ingresos económicos de los ranchos en esta región (Ortega *et al.*, 2013). Recientemente, los ganaderos han diversificado sus actividades hacia el aprovechamiento de la fauna silvestre, en la modalidad de Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) extensivas, ya que se ha demostrado que esto es más rentable que la ganadería convencional (CONAFOR, 2009).

En los agostaderos áridos y semiáridos, la dieta disponible para rumiantes silvestres y domésticos con frecuencia no es suficiente para satisfacer sus requerimientos minerales (Haenlein & Ramírez, 2007; Hejzmanová *et al.*, 2016). Sin embargo, el estado nutricional y el contenido de metales pesados en el hígado de venado cola blanca en nuestro país no está definido.

Las principales investigaciones sobre minerales en la nutrición se han centrado en animales de la granja y de laboratorio (Singh *et al.*, 2012; Arthington & Ranches, 2021) y la información referida a animales silvestres es limitada (Zimmerman *et al.*, 2008; Valdez & Ortega, 2014). En México, pese a que hay pocas publicaciones sobre diagnóstico de macro y microminerales limitantes en ungulados silvestres, en las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) del noreste de México, hay un uso indiscriminado de suplementos minerales.

Además, la demanda cinegética exige trofeos con la mejor masa corporal y el mejor desarrollo de astas o cornamentas, para obtener mejores ingresos económicos (Jones *et al.*, 2010). Debido a la escasa información sobre el contenido de minerales de fauna silvestre, es necesario realizar estudios puntuales para áreas geográficas específicas.

Por ello, el objetivo general de esta investigación fue determinar el perfil mineral y metales potencialmente tóxicos de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns, 1898) como indicadores de deficiencias, toxicidades e interacciones en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México. Los resultados de esta investigación serán de utilidad para conocer

los posibles desbalances de minerales en venado cola blanca y con ello plantear el uso de suplementos minerales acordes con las necesidades nutricionales para contribuir a mejorar las variables reproductivas y productivas de las poblaciones de venado cola blanca en Monclova, Coahuila.

## LITERATURA CITADA

- Arthington, J. D. & Ranches, J. (2021). Trace mineral nutrition of grazing beef cattle. *Animals*, 11(10), 2767. <https://doi.org/10.3390/ani11102767>
- Comisión Nacional Forestal, CONAFOR. (2009). *Manual técnico para beneficiarios: Manejo de vida silvestre*. Distrito Federal, México.
- Haenlein, G. F. W. & Ramírez, R. G. (2007). Potential mineral deficiencies on arid rangelands for small ruminants with special reference to Mexico. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.018>
- Hejcmanová, P., Pokorná, P., Hejcman, M. & Pavlů, V. (2016). Phosphorus limitation relates to diet selection of sheep and goats on dry calcareous grassland. *Applied vegetation science*, 19(1), 101-110. <https://doi.org/10.1111/avsc.12196>
- Jones, P. D., Strickland, B. K., Demarais, S., Rude, B. J. & Edwards, S. L. (2010). Soils and forage quality as predictors of white-tailed deer *Odocoileus virginianus* morphometrics. *Wildlife Biology Journal*, 16 (4), 430-439. <https://doi.org/10.2981/10-041>
- Ortega, J.A., Melgoza, A., Ibarra Flores, F.A., González Valenzuela, E.A., Martín Rivera, M.H., Ávila Curiel, J.M., Ayala Álvarez, F., Pinedo, C. & Rivero, O. (2013). Exotic grasses and wildlife in northern Mexico. *Wildlife Society Bulletin*, 37:537-545. <https://doi.org/10.1002/wsb.325>
- Singh, M., Kumar, D. & Singh, G. (2012). Natural minerals and cancer. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(4), 158-165. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2012.2513>
- Valdez, R. & Ortega, J. (2014). *Ecología y manejo de fauna silvestre en México*. Biblioteca Básica de Agricultura, Editorial del Colegio de Postgraduados. México.
- Zimmerman, T. J., Jenks, J. A., Leslie Jr, D. M. & Neiger, R. D. (2008). Hepatic minerals of white-tailed and mule deer in the southern Black Hills, South Dakota. *Journal of Wildlife Diseases*, 44(2), 341-350. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-44.2.341>

# CAPÍTULO 1. MINERALES DE INTERÉS NUTRICIONAL PARA EL VENADO COLA BLANCA EN COAHUILA, MÉXICO

## 1.1. RESUMEN

En zonas áridas, el aporte de minerales por las plantas a los ungulados silvestres es variable en tiempo y espacio. El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de concentración de macrominerales (Ca, P, Na, K, Mg y S) y microminerales (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo y Cr) en el hígado de venado cola blanca como indicadores de excesos/intoxicaciones en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México. Se recolectaron muestras de hígado del lóbulo derecho de hembras adultas (n=46), machos adultos (n=27), hembras juveniles (n=21) y machos juveniles (n=26) de venado cola blanca (VCB). El Ca y Mg se determinó por espectrofotometría de absorción atómica. El P se determinó en un espectrofotómetro UV/VIS. El Na y K se determinaron por fometría de llama. Cabe señalar que los microminerales (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo y Cr) se analizaron en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente cuádruplo (ICP-MS). Las concentraciones de Ca y Mg en el hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan fueron superiores a las consideradas como típicas sin llegar a niveles tóxicos. Por otro lado, las concentraciones de P, Na y K fueron inferiores a las consideradas como típicas para animales sanos. Estos elementos podrían estar limitando el potencial productivo y reproductivo de los venados. Por su parte las concentraciones altas de Ca y Mg en el hígado de los venados posiblemente afectaron negativamente el metabolismo y los requerimientos de P. Además, la concentración de Zn fue inferior a la concentración considerada adecuada en animales sanos. El análisis bifactorial mostró que existen asociaciones significativas con una intensidad moderada entre el peso de los venados con el Fe y Mo en el hígado. Por ello, es importante señalar que las tendencias de los minerales reportados en la presente investigación son los primeros reportes a nivel de análisis de hígado para *O. virginianus texanus* en esta región particular de México. Estos valores podrían sentar las bases para futuras investigaciones con fines de manejo y mejoramiento del hábitat desde el punto de vista nutricional.

**Palabras clave: hábitat, nutrición, fauna silvestre.**

## 1.2. ABSTRACT

In arid zones, the supply of minerals by plants to wild ungulates is variable in time and space. The objective of this research was to determine the concentration level of macrominerals (Ca, P, Na, K, Mg and S) and microminerals (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo and Cr) in the liver, as indicators of excesses/intoxications in white-tailed deer at the UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, Mexico. Liver samples were collected from the right lobe of adult female (n=46), adult male (n=27), juvenile female (n=21), and juvenile male (n=26) white-tailed deer (VCB). Ca and Mg were determined by atomic absorption spectrophotometry. P was determined in a UV/VIS spectrophotometer. Na and K were determined by flame photometry. It should be noted that the micro minerals (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo, Cr) and sulfur were analyzed in a quadruple inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). Ca and Mg concentrations in white-tailed deer's liver from the UMA Rancho San Juan were higher than those considered normal without reaching toxic levels. On the other hand, liver P, Na and K concentrations were lower than those considered normal for healthy deer; these elements could be limiting the productive and reproductive potential of well-fed deer. On the other hand, the high liver Ca and Mg concentrations in deer possibly negatively affected the metabolism and the requirements of P. In addition, the concentration of Zn was lower than the concentration considered adequate in healthy animals. The bifactorial analysis showed that there are significant associations with a moderate intensity between the weight of the deer with the Fe and Mo in the liver. Therefore, it is important to point out that the trends of the minerals reported in this investigation are the first reports at the level of liver analysis for *O. virginianus texanus* in this particular region of Mexico. These data could establish the fundamentals for future investigations with purposes of management and improvement of the habitat from the nutritional approach.

**Keywords: habitat, nutrition, wildlife.**

### **1.3. INTRODUCCIÓN**

El venado cola blanca texano, al igual que otras especies de fauna silvestre, son consideradas las de mayor valor económico en el noroeste de México. Sus poblaciones pueden estar afectadas por deficiencias o excesos de macro y microelementos (McKinney *et al.*, 2006), los cuales son esenciales para que los animales lleven a cabo sus funciones fisiológicas vitales en forma adecuada (McDowell, 2003).

En zonas áridas, el aporte de minerales por las plantas a los ungulados silvestres es variable en tiempo y espacio, ya que su contenido depende del suelo, de la especie vegetal, de su estado de madurez y del clima (Alvarado *et al.*, 2013). Los desbalances de macro y microminerales en suelo y forraje pueden causar problemas productivos, reproductivos, respuesta inmunológica pobre y baja supervivencia (Wilson & Grace, 2001; McDowell & Arthington, 2005; Chihuailaf *et al.*, 2014).

En ungulados silvestres las deficiencias de microminerales se asocian a la presencia de enfermedades y pobre desempeño reproductivo (Wolfe *et al.*, 2010). Por esta razón, la determinación y evaluación de las concentraciones de estos minerales en los tejidos, es importante para diagnosticar las condiciones de salud de sus poblaciones (Wolfe *et al.*, 2010).

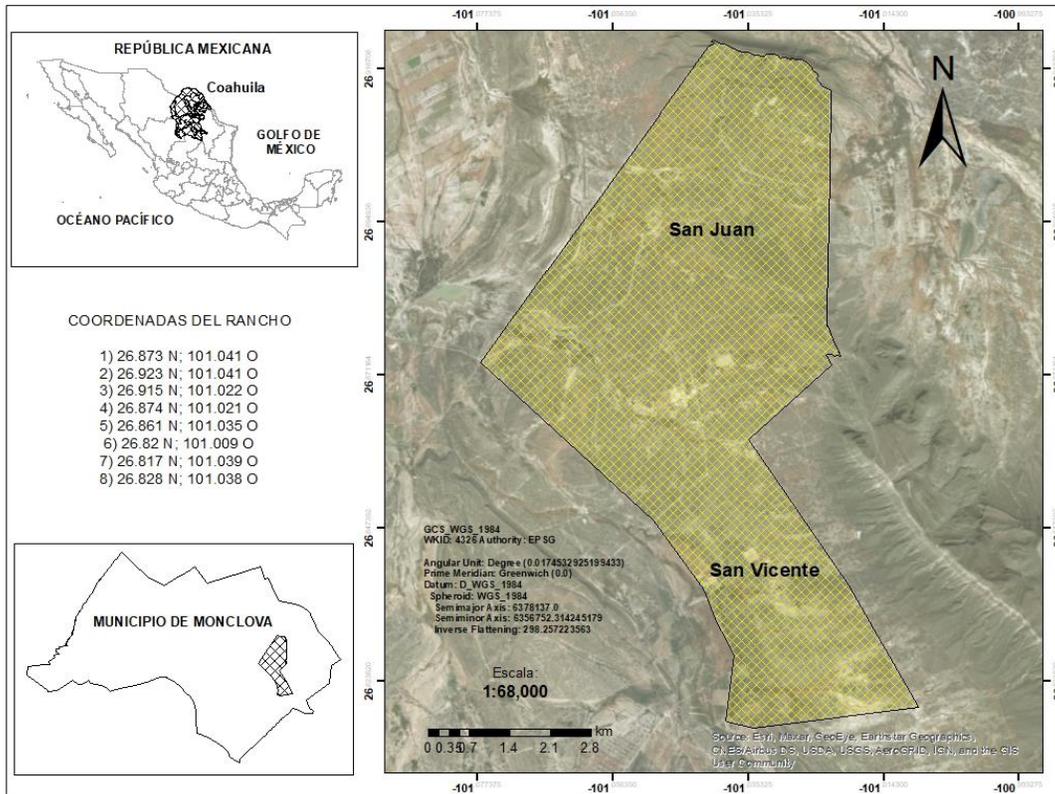
El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de concentración de macrominerales (Ca, P, Na, K, Mg y S) y microminerales (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo y Cr) en el hígado de venado cola blanca como indicadores de excesos/intoxicaciones en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México. La hipótesis es que al menos un mineral de las muestras de hígado recolectadas presenta niveles excesivos para venados de acuerdo a las referencias disponibles.

### **1.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1.4.1. Descripción del área de estudio**

El estudio se realizó en la UMA-Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México (coordenadas anexas en Figura 1) y cuya elevación promedio es de 587 m. Esta UMA se dedica a actividades cinegéticas, siendo el principal trofeo el venado cola blanca texano que puede llegar a cotizarse hasta en \$80,000.00 pesos mexicanos (SEMA, 2020). El área usada para este estudio fue de una

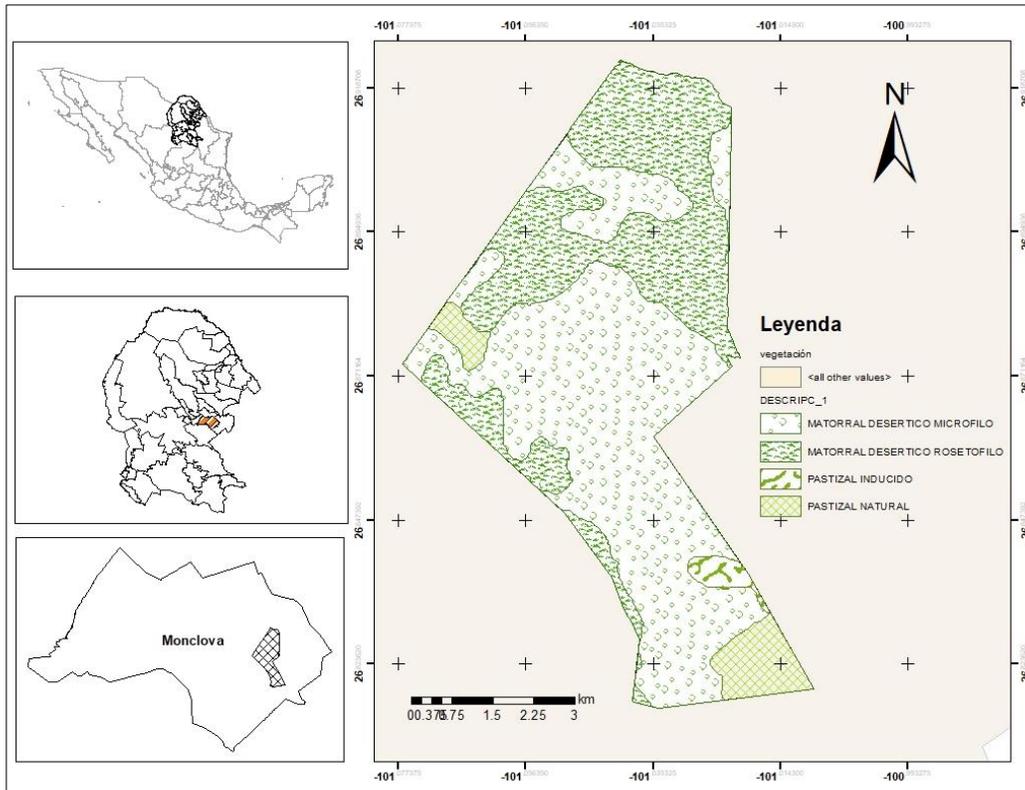
extensión de 3,470 hectáreas dividida en dos exclusiones: 1) San Juan con 2,340 ha y 2) San Vicente con 1,030 ha (Figura 1). El área de estudio tiene un clima BS1hw (García, 2004) con temperatura media anual de 21.6 ° C y una precipitación media anual de 310 mm (SMN, 2020).



**Figura 1.** En el mapa superior izquierdo se muestra el estado de Coahuila dentro de la República Mexicana, en el mapa inferior izquierdo muestra el municipio de Monclova donde se ubica el área de estudio.

La vegetación está dominada por matorral micrófilo desértico, seguido por matorral rosetófilo, matorral halófilo y matorral gipsófilo (Figura 2). Asimismo, en puntos dispersos se encuentra el matorral submontano y algunas especies de zacates (Villarreal & Valdés, 1992). La fauna característica del área de estudio es propia de las zonas áridas del Desierto Chihuahuense destacando: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), venado bura (*Odocoileus hemionus*), coyote (*Canis latrans*), gato montés (*Lynx rufus*), mapache (*Procyon lotor*), pecarí de collar (*Pecarí tajacu*), puma (*Puma concolor*) y aves rapaces como aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*), halcón mexicano (*Falco mexicanus*), gavilán palomero (*Accipiter cooperi*), caracara quebrantahuesos (*Caracara cheri*), carpintero de frente dorada (*Melanerpes aurifrons*) y

correcaminos norteño (*Geococcyx californianus*) además de una gran variedad de passeriformes (CONABIO, 2017; Ovalle, 2019).



**Figura 2.** Mapa con los tipos de vegetación dominante en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.

#### 1.4.2. Captura de ejemplares y recolecta de muestras de hígados de venado cola blanca

En la UMA Rancho San Juan en primavera y verano de 2019 se capturaron ejemplares de venado cola blanca (VCB) mediante red de caída (Figura 3). Para ello, una vez colocada, se cebó con maíz debajo de ésta durante aproximadamente tres semanas y se monitoreó la entrada de venados a comer bajo la red. Una vez que se observó un buen número de venados bajo la red, se accionó el mecanismo de caída de la red, desde un punto remoto, atrapando los venados. Un equipo de seis personas procedió a cubrir los ojos de los venados con un antifaz, se inmovilizaron, se liberaron de la red (Figura 3) y se trasladaron en vehículo hasta el rastro. Los venados se sacrificaron mediante la técnica de sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres por insensibilización con pistola de perno cautivo (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-033-ZOO-

2010). Además, algunos venados se cazaron con arma de fuego en sitios de observación establecidos cerca de los comederos. Considerando la dentadura y el desgaste de ésta, los venados capturados se clasificaron en machos y hembras adultos y juveniles, respectivamente. De cada venado se tomó una muestra de hígado de aproximadamente 250 g del lóbulo derecho (Fick *et al.*, 1976). Las muestras se depositaron en recipientes estériles e inmediatamente se congelaron hasta su análisis en el laboratorio (Figura 4). El aprovechamiento extractivo de venado cola blanca de la UMA con Clave de Registro: DGVVS-CR- EX3133-COA lo autorizó la Dirección Forestal y Vida Silvestre de la Secretaría del Medio Ambiente de Coahuila con el oficio No. SMA-VS-01/0111-19.



**Figura 3.** Red de caída e inmovilización de venados cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México.



**Figura 4.** Muestras de hígado de venado cola blanca almacenadas para su transporte y subsecuente análisis de minerales en el laboratorio.

#### **1.4.3. Determinación de macrominerales (Ca, P, Na, K y Mg) en hígado de venado cola blanca**

El análisis se inició descongelando las muestras de hígado de VCB a temperatura ambiente, se pesaron aproximadamente 0.5 g de muestras en base húmeda (BH) y se colocaron en vasos de precipitados de 10 mL. La digestión se realizó agregando 1 mL de ácido nítrico a la muestra, posteriormente se precalentó a 90 °C 30 min en una parrilla (Corning PC-4200). Finalmente, la digestión se completó en un horno de microondas modelo Microwave WX-6000, a 200 °C, con presión máxima de 40 atm y un tiempo de 20 min. Las muestras una vez digeridas, se aforaron en un matraz de 50 mL con agua tridestilada. La determinación de Ca y Mg en hígado se realizó por espectrofotometría de absorción atómica de llama (Fick *et al.*, 1976). El P se determinó por colorimetría en un espectrofotómetro UV/VIS utilizando una longitud de onda de 825 nm (Fick *et al.*, 1976). El Na y K se determinaron por fotometría en un fotómetro de llama Corning 410 y 410C (Collins *et al.*, 1952). Las muestras de hígado fueron analizadas por duplicado y los resultados se expresaron en mg kg<sup>-1</sup> BH.

#### **1.4.4. Determinación de microminerales (Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo y Cr) y azufre en hígado de VCB**

Los microminerales y el azufre se determinaron en una submuestra de siete hembras adultas, seis machos adultos, cinco hembras juveniles y cuatro machos juveniles de VCB. Los análisis se realizaron en la Facultad de Toxicología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente cuádruplo (ICP-MS) marca Thermo Fisher, Modelo X Series 2. Se utilizó de 0.5 a 1 g de tejido húmedo para realizar una digestión ácida con 5 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) al 50% y 1 mL de peróxido de hidrógeno ultrapuro (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) concentrado, las muestras se dejaron pre-digerir durante 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente, la digestión se realizó en un horno de microondas (Mars 6 CEM, vasos Greenchem, 200 °C, 800 psi; 15 min, 1800 w). El gas acarreador fue el argón grado cromatográfico. La calibración del equipo se realizó mediante estándares de referencia acuosos multielementales certificados, marca HPS<sup>®</sup> de 10 mg L<sup>-1</sup>, utilizando una curva de calibración de 0.1 mg L<sup>-1</sup> aumentando progresivamente hasta 100 mg L<sup>-1</sup>, además de un estándar interno de 10 partes por billón (ppb) de Indio y Tulio. También, se utilizaron muestras control de concentraciones conocidas para verificar que la medición se realizó correctamente, para incrementar la sensibilidad y para detectar cantidades bajas, se utilizó agua desionizada y ácidos destilados para su cuantificación. Las muestras de hígado se analizaron por triplicado y los valores se expresaron como mg kg<sup>-1</sup> BH.

#### **1.4.5. Análisis estadístico e interpretación de resultados**

Las muestras de venados se clasificaron en cuatro grupos: 1) hembras adultas, 2) machos adultos, 3) hembras juveniles y 4) machos juveniles. Para cada grupo se determinó la media y error estándar (EEM) de cada mineral y se compararon con los valores considerados como típicos para ovejas domésticas y ungulados silvestres reportados por Puls (1988), Zimmerman *et al.* (2008) y Manent *et al.* (2014).

En los macrominerales, con la finalidad de determinar posibles diferencias en las concentraciones de minerales entre hembras y machos adultos y juveniles (*O.v.t.*), se utilizó un análisis de varianza (ANOVA); probando previamente los supuestos de normalidad (Shaphiro-Wilk) y homogeneidad de las varianzas (Barttlet); dichos supuestos no se cumplieron, por lo que se utilizó la prueba no

paramétrica de Kruskal-Wallis. Para identificar las posibles diferencias (en caso de haberlas) se llevaron a cabo comparaciones ortogonales. Para determinar si la proporción registrada de Ca, P, Na, K y Mg es la que potencialmente se puede encontrar en el hígado de *O. virginianus texanus* (*O.v.t*) se utilizó una prueba de  $X^2$  para tablas independientes. Dichos análisis se llevaron a cabo con el software JMP. Para determinar la posible asociación entre Ca, P, Na, K y Mg (x) y edades género (y) se realizó un análisis de correspondencias canónicas (ACC) usando el software Statistica v. 7. (StatSoft. Inc., 2004) y XLSTAT. Finalmente, con el objetivo de conocer cuál de los elementos es el más representativo, se realizó un análisis de frecuencia AFo (Curts, 93), modificado para la presente investigación. También se realizó un análisis de correlación múltiple, bajo un  $\alpha \leq 0.05$  con el software Statistica v. 7. (StatSoft. Inc., 2004).

Por otra parte, en los microminerales con la finalidad de determinar posibles diferencias en las concentraciones de minerales entre hembras y machos adultos y juveniles (*O. v. t.*), se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial; probando previamente los supuestos de normalidad (Shaphiro-Wilk) y homogeneidad de las varianzas (Barttlet); dichos supuestos no se cumplieron y se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. También se realizó un análisis de correlación múltiple, bajo un  $\alpha \leq 0.05$ . Dichos análisis se llevaron a cabo en el software Statistica v. 7. (StatSoft. Inc., 2004).

## 1.5. RESULTADOS

### 1.5.1. Macrominerales en hígado de venado cola blanca

Se capturaron y muestrearon 46 hembras adultas y se consideraron las de un parto o más; 21 hembras juveniles que aún no habían gestado; 27 machos adultos se consideraron a partir de los 2.5 años; 26 juveniles de hasta 1.5 años de edad. Las concentraciones de Ca, P, Na, K y Mg en hígado de venado cola blanca hembras, machos, adultos y juveniles se muestran en el Cuadro 1. No existieron diferencias significativas entre las variables comparadas en cada uno de ellos (Cuadro 2); bajo la hipótesis:  $H_0: B_1=B_2$  vs.  $H_a: B_1 \neq B_2$  con un  $\alpha = 0.05$ . La excepción fue el Ca cuya concentración en hígado fue mayor ( $p < 0.05$ ) en venados adultos ( $0.36 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en juveniles ( $0.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Cabe destacar que las concentraciones promedio de Ca en los machos juveniles fue baja ( $195 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en comparación con las hembras juveniles, machos y hembras adultas. Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ). La desviación estándar elevada de este mineral se puede atribuir a que los animales fueron recolectados durante un periodo

de tiempo largo y es probable que las condiciones de hábitat y la dieta seleccionada por los venados cambiaran, además del estado fisiológico de los venados y ello se reflejó en los contenidos de Ca en los tejidos.

**Cuadro 1.** Efecto de la edad y el género sobre la concentración (media  $\pm$  SD) de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México comparado con los valores de referencia disponibles.

	Ca	P	Na	K	Mg
	mg kg <sup>-1</sup> en base húmeda (BH)				
<b>Hembras adultas (n=46)</b>	0.34 $\pm$ 0.25	4.59 $\pm$ 0.84	1.53 $\pm$ 0.09	3.31 $\pm$ 0.50	0.48 $\pm$ 0.12
<b>Machos adultos (n=27)</b>	0.39 $\pm$ 0.27	4.51 $\pm$ 1.44	1.57 $\pm$ 0.17	3.40 $\pm$ 0.54	0.48 $\pm$ 0.08
<b>Hembras Juveniles (n=21)</b>	0.30 $\pm$ 0.25	4.75 $\pm$ 0.72	1.56 $\pm$ 0.10	3.43 $\pm$ 0.59	0.48 $\pm$ 0.10
<b>Machos Juveniles (n=26)</b>	0.20 $\pm$ 0.15	4.94 $\pm$ 0.70	1.55 $\pm$ 0.11	3.45 $\pm$ 0.48	0.47 $\pm$ 0.08
Zimmerman <i>et al.</i> 2008, ppm, BH (Venado cola blanca)	49.70	3994.76	900.82	2514.76	185.67
Manent <i>et al.</i> 2014, ppm, BS (Gamuzza Pirenaica)	231	11,929	3,144	9,325	613
Puls, 1988*	38-80 mg/kg BH	7-14 mg/kg BS	2.0 mg/kg BS	8.9-9.3 mg/kg BS	118-200 mg/kg BH

\* Valores típicos de referencia para ovejas; BS=Base seca, BH=Base húmeda.

**Cuadro 2.** Análisis de varianza utilizando la prueba de Kruskal-Wallis y X<sup>2</sup> para la comparación de medias de macroelementos en venados de diferente categoría con base a edad y género.

	Valor de P, X <sup>2</sup>	gl	P > X <sup>2</sup>
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a Ca</b>	0.3071	1	0.5794
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a Ca</b>	2.8581	1	0.0909
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a K</b>	0.7555	1	0.3848
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a K</b>	0.0294	1	0.864
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a Mg</b>	0.3465	1	0.5561
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a Mg</b>	0.1742	1	0.6764
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a Na</b>	0.4979	1	0.4804

<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a Na</b>	0.2713	1	0.6024
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto P</b>	0.6037	1	0.4372
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a P</b>	1.0549	1	0.3044

gl = Grados de libertad;  $X^2$  = Ji cuadrada

### Prueba de $X^2$

Algunos de los resultados de  $X^2$  para los datos analizados sugirieron que las proporciones de individuos registrados no difirieron ( $P > 0.05$ ); en contraste, otros evidencian que los valores obtenidos fueron menores a los obtenidos en tablas para la distribución de  $X^2$ , (Cuadro 3) bajo la hipótesis:

$H_0$ : Los valores observados son diferentes a los observados en tablas para las variables de interés.

$H_1$ : Los valores observados son iguales a los observados en tablas, para las variables de interés.

**Cuadro 3.** Análisis de verosimilitud utilizando la prueba de  $X^2$  donde se compararon las concentraciones de Ca, P, Na, K y Mg en hígados de machos, hembras, adultos y juveniles de venado cola blanca de Monclova, Coahuila.

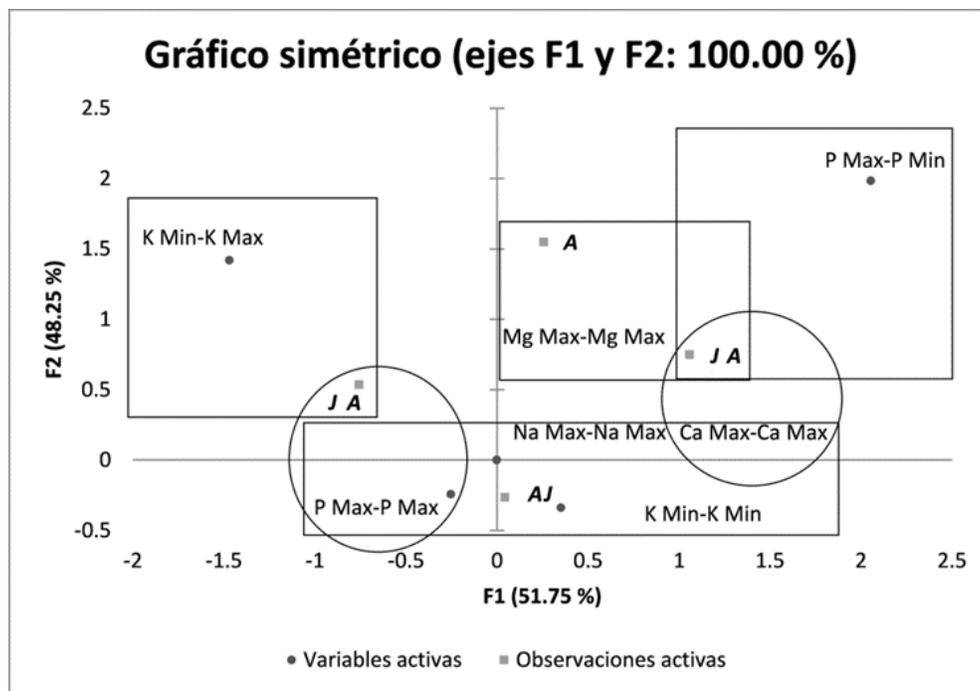
$X^2$	gl	Razón de verosimilitud		$X^2$
		$X^2$	Prob > $X^2$	
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a Ca</b>	70	93.4	0.032*	90.5
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a Ca</b>	43	64.6	0.018*	59.3
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a K</b>	56	69.6	0.105	67.5
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a K</b>	59	75.9	0.069	67.5
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a Mg</b>	54	69.2	0.080	67.5

<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a Mg</b>	57	77.2	.039*	67.5
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a de Na</b>	13	23.1	0.040*	22.4
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a Na</b>	12	9.8	0.632	21.0
<b>Hembras adultas vs. machos con respecto a P</b>	72	96.2	0.030*	90.5
<b>Hembras juveniles vs. machos con respecto a P</b>	72	87.6	0.102	90.5

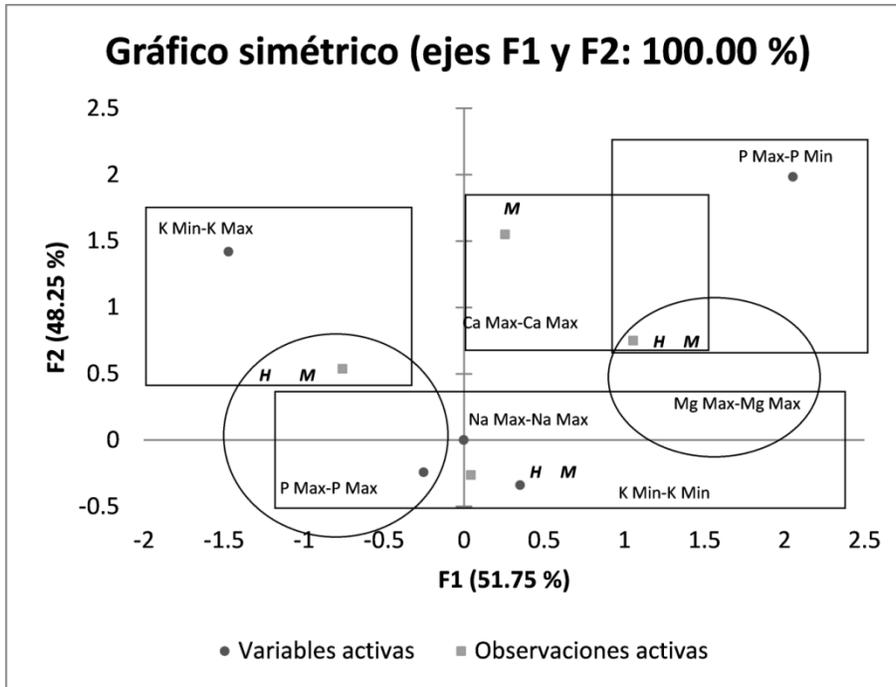
gl = Grados de libertad;  $X^2$  = Ji cuadrado

Análisis de correspondencias canónicas (ACC).

Con el análisis de correspondencias canónicas para edad y género con respecto a la concentración de macrominerales, se conformaron 6 grupos con inercia del 100% (Figura 5 y 6).



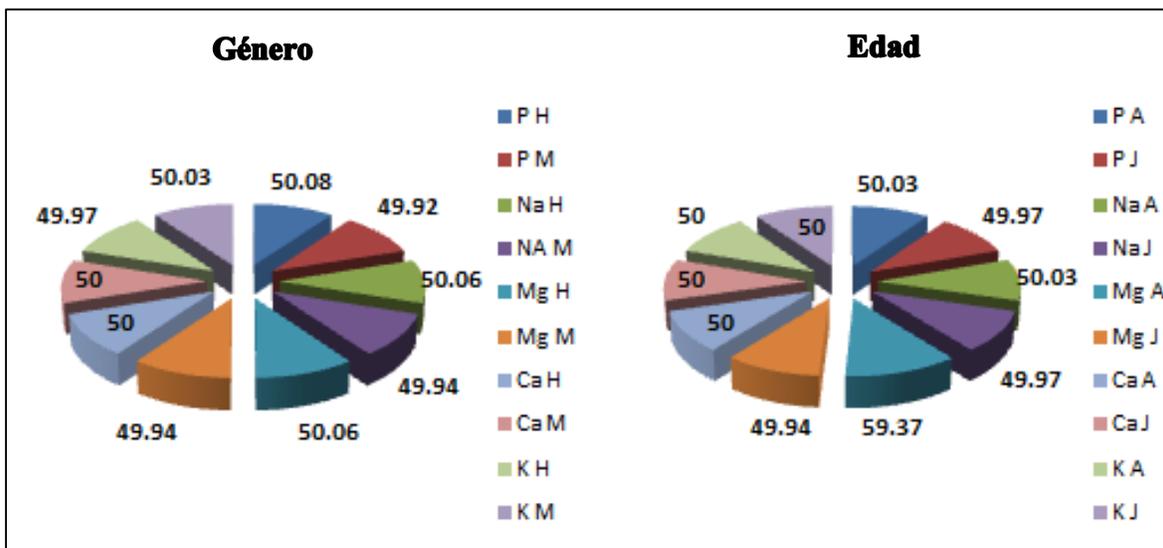
**Figura 5.** Gráfico de ACC para el efecto de la edad sobre la concentración de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.



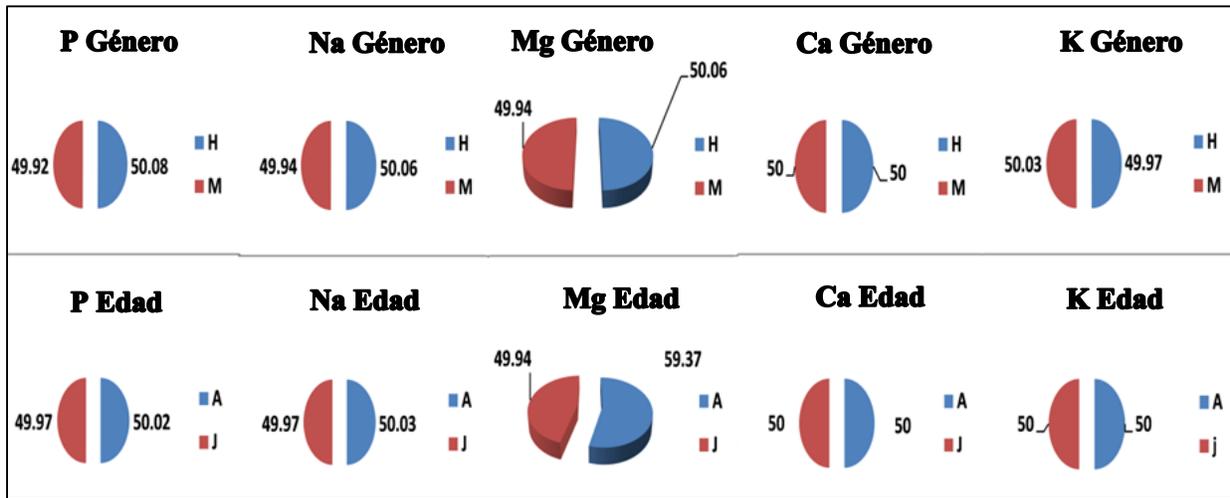
**Figura 6.** Gráfico de ACC para el efecto de género sobre la concentración de macrominerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.

Análisis de Frecuencia (AFo).

Los resultados del análisis de frecuencia muestran gráficamente la concentración porcentual de los minerales en los VCB de manera general y en cada una de las variables de interés (Figura 7 y 8).



**Figura 7.** Análisis de frecuencia de la concentración macrominerales en hígado de VCB por género y edad en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.



**Figura 8.** Análisis de frecuencia de la concentración macrominerales en hígado de VCB por género y edad en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.

### 1.5.2. Microminerales y azufre en hígado de venado cola blanca

Las concentraciones de Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo, Cr y S en hígado de VCB hembras, machos, adultos y juveniles se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Concentración (media  $\pm$ EEM), con base en los valores mínimo y máximo de los microminerales en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México comparado con literatura.

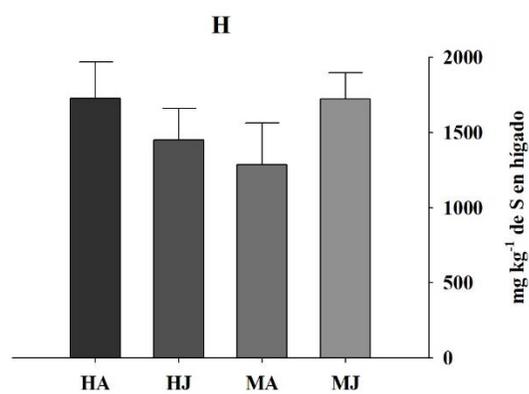
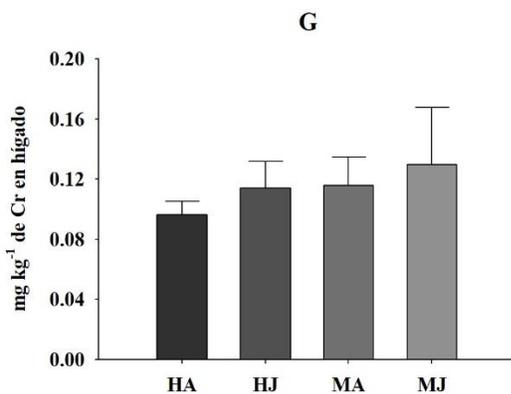
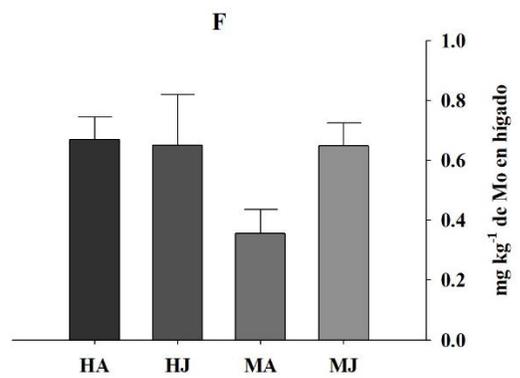
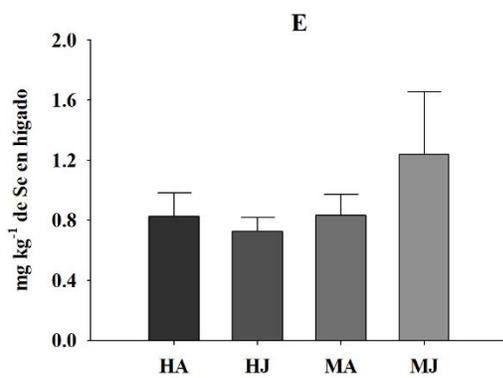
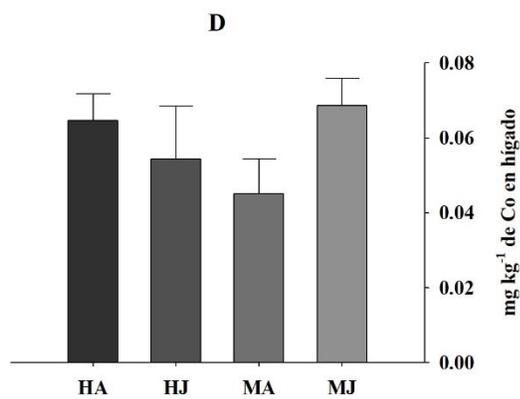
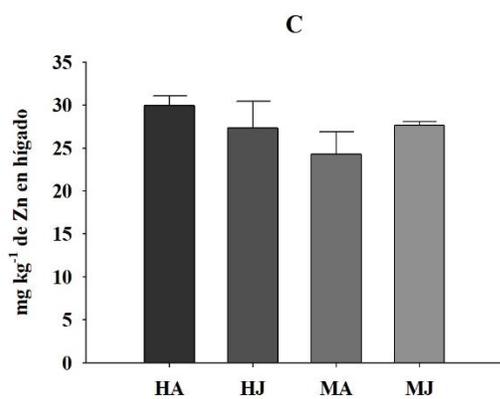
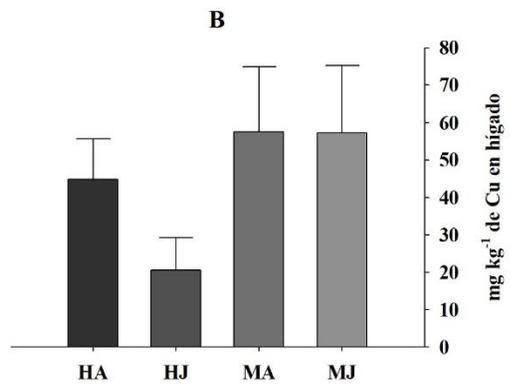
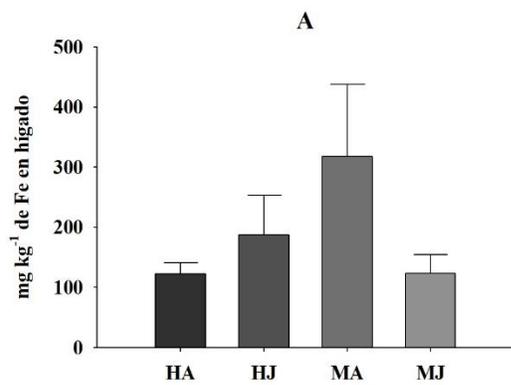
	Peso	Fe	Cu	Zn	Co	Se	Mo	Cr	S
	kg	mg kg <sup>-1</sup> en base húmeda (BH)							
<b>HA (n=7)</b>	86.27 $\pm$ 5.702	122.78 $\pm$ 18.67	44.76 $\pm$ 0.10.91	29.98 $\pm$ 1.13	0.065 $\pm$ 0.007	0.83 $\pm$ 0.15	0.07 $\pm$ 0.07	0.096 $\pm$ 0.009	1728.42 $\pm$ 241.76
Min-Max	69.0-109.0	52.97-204.06	<b>2.75</b> -73.63	27.32-35.52	0.028-0.090	0.49- <b>1.69</b>	<b>0.43</b> -0.92	0.068-0.135	1117.85-2763.7
<b>HJ (n=6)</b>	55.0 $\pm$ 6.173	318.17 $\pm$ 119.67	57.53 $\pm$ 17.40	24.285 $\pm$ 2.631	0.045 $\pm$ 0.009	0.83 $\pm$ 0.14	0.36 $\pm$ 0.08	0.116 $\pm$ 0.019	1286.53 $\pm$ 277.71
Min-Max	93.0-162.0	125.74- <b>904.35</b>	<b>0.62</b> - <b>117.64</b>	<b>16.59</b> -35.13	<b>0.009</b> -0.070	0.39-1.22	<b>0.08</b> -0.60	0.055-0.199	379.21-2117.68
<b>MA (n=5)</b>	135.0 $\pm$ 9.522	187.48 $\pm$ 65.47	20.59 $\pm$ 8.64	27.36 $\pm$ 3.10	0.054 $\pm$ 0.014	0.73 $\pm$ 0.09	0.65 $\pm$ 0.17	0.114 $\pm$ 0.018	1449.46 $\pm$ 208.75
Min-Max	44.0-79.0	96.37- <b>445.32</b>	<b>0.63</b> -45.53	<b>20.71</b> -35.58	<b>0.003</b> -0.086	0.47-0.98	<b>0.04</b> -0.97	0.060-0.165	810.69-1999.37
<b>MJ (n=4)</b>	81.50 $\pm$ 8.665	123.63 $\pm$ 30.24	57.17 $\pm$ 17.95	27.66 $\pm$ 0.45	0.069 $\pm$ 0.007	1.24 $\pm$ 0.41	0.65 $\pm$ 0.08	0.130 $\pm$ 0.038	1721.99 $\pm$ 175.71
Min-Max	58.0-99.0	74.10-211.34	<b>3.47</b> -78.22	<b>26.37</b> -28.43	0.059-0.090	0.63- <b>2.42</b>	<b>0.44</b> -0.79	0.055-0.234	1204.53-1986.1
(Zimmerman <i>et al.</i> 2008)*	-	161.35	62.11	37.39	0.09	0.81	0.79	0.1	2505.24
(Manent <i>et al.</i> 2014) <sup>‡</sup>	-	284	58	104	-	-	1.7	-	7098
(Puls, 1988) <sup>‡</sup>	-	30-300	25-100	30-75	0.020-0.085	0.25-1.5	1.5-6.0 ppm <sup>BS</sup>	0.04-3.8	-

EEM= Error estándar de la media

HA: hembra adulta; MA: macho adulto; HJ: hembra juvenil; MJ: macho juvenil; BH: base húmeda; BS: base seca. \*Concentración en base húmeda encontrada en venado cola blanca en Dakota del Sur, EEUU. <sup>‡</sup>Concentración en base seca (BS) encontrada en Gamuza Pirenaica en España. <sup>‡</sup>Concentración en base húmeda de microminerales en el hígado de ovejas domésticas considerada como adecuada. Los valores en negritas nos indican que están por debajo de los valores considerados como adecuados según Puls (1988); mientras que los valores en color azul nos indican valores superiores a los considerados como típicos de acuerdo al autor antes mencionado.

ANOVA bifactorial.

Los resultados del Anova bifactorial obtenidos de las concentraciones de los microminerales y los cuatro grupos de *O. virginianus texanus*, en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila se muestran en el Figura 9.



**Figura 9.** Comparación de la concentración (media  $\pm$ EEM) de los microminerales por cada grupo de venado cola blanca, donde HA: hembras adultas, HJ: hembras juveniles, MA: machos adultos y MJ: machos juveniles. Los contrastes se basaron en la prueba post-hoc de Tukey, bajo un  $\alpha = 0.05$ .

Análisis de correlación.

Los resultados del análisis de correlación para microminerales, con base en el peso del VCB (Cuadro 5), muestran que existieron asociaciones moderadas pero significativas entre el peso de los venados con Fe y Mo.

**Cuadro 5.** Matriz de correlación entre los microminerales con base en el peso (kg) del venado cola blanca. A partir del coeficiente de correlación de Pearson, bajo un  $\alpha = 0.05$ .

	<b>Peso</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Co</b>	<b>Se</b>	<b>Mo</b>	<b>Cr</b>	<b>S</b>
<b>Peso</b>	1.00	<b>0.43*</b>	0.15	-0.03	-0.34	-0.03	<b>-0.47*</b>	-0.09	-0.08
<b>Fe</b>		1.00	-0.35	0.03	<b>-0.76*</b>	-0.17	<b>-0.70*</b>	-0.16	0.08
<b>Cu</b>			1.00	-0.26	<b>0.44*</b>	<b>0.50*</b>	0.25	0.29	0.06
<b>Zn</b>				1.00	0.21	-0.07	0.28	0.12	<b>0.44*</b>
<b>Co</b>					1.00	0.19	<b>0.82*</b>	0.34	0.10
<b>Se</b>						1.00	0.21	0.16	-0.33
<b>Mo</b>							1.00	0.13	0.10
<b>Cr</b>								1.00	-0.08
<b>S</b>									1.00

\*Los valores en negritas determinan una asociación significativa ( $P < 0.05$ ).

## 1.6. DISCUSIÓN

El diagnóstico de deficiencias, toxicidades e interacciones de minerales en VCB se obtiene a partir de la concentración de éstos en el agua, suelo y plantas que consumen; también a partir de las concentraciones de minerales en sangre, hueso e hígado y la presencia de signos clínicos de deficiencias o excesos de minerales en el animal (NRC, 2007). Las concentraciones de Ca en hígado de VCB fueron superiores a los valores típicos, y en el caso de hembras y machos adultos casi cinco veces superiores al rango superior normal en ovejas (Puls, 1988) y muy superiores a los valores reportados por otros autores (Zimmerman *et al.*, 2008; Sleeman *et al.*, 2010). Las concentraciones altas de Ca en hígado pudieron estar asociadas a un consumo de leguminosas

mayor (NRC, 2007) y cactáceas que generalmente contienen concentraciones de oxalatos de calcio elevados (Tovar-Puente *et al.*, 2007; Heffelfinger, 2018). En animales, la intoxicación por Ca se caracteriza por una hipercalcemia y calcificación de los tejidos blandos (McDowell, 2003). Sin embargo, en venados en vida libre la intoxicación por Ca es muy baja, ya que la dieta de los cérvidos a través del año incluye concentraciones menores al 2% de este mineral (Ramírez *et al.*, 1996; NRC, 2007). En este trabajo, cuando las muestras de hígados se recolectaron, no se identificaron signos clínicos de intoxicación por Ca. Sin embargo, en las gamuzas pirenaicas enfermas se encontraron 276 mg kg<sup>-1</sup> de Ca (Manent *et al.*, 2014).

El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento, reproducción y producción de los animales y el segundo más abundante después del Ca (NRC, 2007); sin embargo, los suelos en su mayoría y algunas plantas forrajeras del norte de México son deficientes en fósforo, particularmente en la época seca, y éstas no satisfacen los requerimientos de los rumiantes bajo pastoreo (Armienta, 1995; Ramírez *et al.*, 1996). Las concentraciones promedio, de 4.7 mg kg<sup>-1</sup> en los hígados de VCB, son 46% inferiores a las consideradas como típicas en el hígado de ovejas (Puls, 1988), pero superiores a las encontradas en otros VCB (Zimmerman *et al.* 2008). Cabe señalar que los valores no se pueden comparar ya que unos están expresados en base seca y otros en base húmeda. Los contenidos bajos de fósforo posiblemente se debieron a que los venados consumieron una dieta baja en fósforo, lo que posiblemente podría afectar las variables productivas y reproductivas de los venados (NRC, 2007) en la UMA Rancho San Juan. Sin embargo, se tiene la hipótesis de que los venados enfrentan una deficiencia crónica de minerales en la dieta, que almacenan y movilizan calcio y fósforo del hueso para satisfacer los requerimientos para el desarrollo de astas, producción de leche, entre otros (Ramírez *et al.*, 1996) y que reducen las excreciones en heces y orina (Bravo *et al.*, 2003; Dove & Charmley, 2004). Finalmente, las concentraciones de fósforo menores en hígado de los venados podrían estar negativamente relacionadas con las concentraciones de Ca y Mg mayores en el hígado del VCB (Puls, 1988).

Las deficiencias de Na en rumiantes son comunes en todo el mundo (McDowell & Arthington, 2005), debido a que la mayoría de los forrajes tienen concentraciones de Na bajas (Barboza *et al.*, 2009), excepto algunos arbustos de zonas áridas como el *Atriplex* spp. (NRC, 2007). Las concentraciones de Na en los hígados de los VCB fueron 25% inferiores a las consideradas como típicas en el hígado de ovejas (Puls, 1988) y 60% superiores a las registradas para VCB en Dakota

del Sur en EEUU (Zimmerman *et al.*, 2008). La concentración de Na mayor en los hígados de venados de Monclova, Coahuila en comparación con los de Dakota del Sur, se podría deber a diferencias en el clima, vegetación y agua. Al respecto, algunas fuentes de agua para consumo de la fauna silvestre en las zonas áridas de México tienen concentraciones de NaCl altas (Barboza *et al.*, 2009); además, en estas regiones los suelos y algunas plantas suelen ser fuentes importantes de Na (Barboza *et al.*, 2009). Por el contrario, en los lugares lluviosos, las deficiencias de Na tienden a incrementarse, ya que el agua de lluvia lixivía las sales del suelo (NRC, 2007; Barboza *et al.*, 2009). Las concentraciones de Na bajas en los hígados de los venados también pudieron estar relacionadas con un consumo de arbustos alto que contienen taninos condensados que reducen la absorción y retención del Na (Barnes, 1988).

Las concentraciones de K en los hígados de venado cola blanca fueron aproximadamente 50% inferiores a las consideradas como típicas en ovejas (Puls, 1988) y 30% superiores a los VCB en Dakota del Sur en EEUU (Zimmerman *et al.*, 2008). Los requerimientos de K del VCB son aún desconocidos (Barnes *et al.*, 1990). Sin embargo, deficiencias se han asociado al consumo de plantas que crecen en suelos con concentraciones bajas de K (NRC, 2007). Por el contrario, las concentraciones de Mg fueron más de 50% superiores al nivel máximo considerado como adecuado para ovejas (Puls, 1988; Zimmerman *et al.*, 2008) y 23% inferiores a los encontrados en gamuzas pirenaicas sanas (Manent *et al.* 2014). Finalmente, se ha considerado que la comparación de los rangos de minerales obtenidos para animales de granja debe ser considerada únicamente como indicadores generales a los registrados en la fauna silvestre (Robbins, 1993).

La concentración promedio de Fe en hígado de VCB estuvo dentro de los valores de referencia normales en animales sanos (Puls, 1988) y similares a los reportados por otros autores (Zimmerman *et al.*, 2008; Manent *et al.*, 2014). Sin embargo, en hembras juveniles (904.3 mg kg<sup>-1</sup>) y machos adultos (445.32 mg kg<sup>-1</sup>) los valores máximos fueron mayores al rango superior considerado como normal en animales sanos. Las concentraciones altas de Fe en hígado se asocian a una actividad física alta, enfermedades determinadas genéticamente y a cambios estacionales en la dieta (Clauss & Paglia, 2012; Olais *et al.*, 2011). La concentración promedio de Cu también estuvo dentro de los valores normales para animales sanos (25-100 ppm) excepto para machos adultos (20.59 mg kg<sup>-1</sup>). Cabe destacar que la concentración de Cu en hígado estuvo más próxima al límite inferior (Puls, 1998) y fue inferior a la reportada por otros autores para VCB (Zimmerman

*et al.*, 2008; Manent *et al.*, 2014). La deficiencia de Cu en cérvidos se asocia a la enfermedad de ataxia enzoótica que causa parálisis lenta y progresiva en las extremidades del animal (Soler & Cseh, 2007), anemia, pérdida de apetito, daño a los órganos internos, deformidades óseas, cambios en el pelaje, fibrosis miocárdica y diarrea crónica (Vengust *et al.*, 2015). La deficiencia de cobre se asocia a la ingesta baja de Cu y a concentraciones altas de molibdeno, hierro, azufre y zinc en la dieta (Vengust *et al.*, 2015). Los VCB con 16,7 mg kg<sup>-1</sup> base húmeda de Cu en el hígado presentaban cuernos atrofiados y retorcidos (King *et al.*, 1984). Además, en alces una concentración Cu < 5 mg kg<sup>-1</sup> base húmeda en el hígado indica una deficiencia grave (Frank, 1998).

El Zn desempeña un papel estructural y funcional en más de 300 metaloenzimas y los principales síntomas de deficiencia son: inapetencia (falta de deseo de comer), crecimiento bajo y fallos en la función reproductiva del macho (McCall *et al.*, 2000). La concentración promedio de Zn en hígado de VCB fue inferior a la considerada como normal en animales sanos (Puls, 1998) y a la reportada para VCB y venado bura de otras regiones (Zimmerman *et al.*, 2008; Manent *et al.*, 2014; Roug *et al.*, 2015). La concentración de Zn baja en hígado de VCB registrada en la presente investigación pudo estar asociada a la concentración alta de Fe, Ca y Cd, ya que tienen un efecto negativo en la absorción de Zn (Lonnerdal, 2000). La concentración de Co, Se, Mo, Cr y S están dentro de los valores normales para animales sanos (Puls, 1988) y similar a lo reportado en VCB (Zimmerman *et al.*, 2008; Pollock & Roger, 2007). Cabe destacar que deficiencias de Se en VCB han sido recurrentes en otras regiones y se recomienda la suplementación de este elemento (Grace & Wilson, 2002; Coggins, 2006).

Cienfuegos-Rivas *et al.* (2008), en su estudio sobre variabilidad morfológica de las astas del VCB en el noreste de México, concluyeron que si se pretende obtener venados “trofeo” tipo 10, se requiere un control poblacional adecuado, genético, nutricional y de mejoramiento de hábitat. El medio ambiente tiene un efecto potencial en el suministro de minerales, dando como resultado una serie de patrones complejos de actividad a los cuales los individuos se adaptan de manera diurna y estacional, lo cual puede ser variar entre individuos, edades, géneros, estado fisiológico, entre otros (Gallina & Bello-Gutiérrez, 2014). Manent *et al.* (2014) realizaron un estudio sobre niveles de minerales en la gamuza pirenaica (*Rupicapra pyrenaica*), resaltando intervalos de referencia de minerales hepáticos en dicha especie. Finalmente, cabe mencionar que éstos son los primeros registros de macrominerales en el hígado de *O. virginianus texanus* para la región de Monclova,

Coahuila, México; este diagnóstico puede ser de utilidad para elaborar programas de suplementación de minerales acordes a las necesidades particulares de la región, y así suministrar los elementos deficitarios y evitar incluir en las premezclas los minerales que se encontraron en exceso en los hígados de los venados cola blanca estudiados.

### **1.7. CONCLUSIONES**

Las concentraciones de Ca y Mg en hígado de venado cola blanca fueron superiores a las consideradas como típicas, pero sin llegar a niveles tóxicos.

Las concentraciones de P, Na, K, Zn y Cu en machos adultos fueron inferiores a las consideradas como típicas para animales sanos, estos elementos podrían estar limitando el potencial productivo y reproductivo de los venados en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.

Las concentraciones de Fe, Cu, Co, Se, Mo, Cr y S se consideran dentro del rango típico normal para animales sanos.

Las concentraciones altas de Ca y Mg en hígado del VCB posiblemente afectaron negativamente el metabolismo y los requerimientos de P.

Es imperativo señalar que las tendencias de los minerales reportados en la presente investigación es el primer reporte de análisis de minerales en hígado de *O. virginianus texanus* en esta región particular de México. Estos datos sientan las bases para futuras investigaciones con fines de manejo y mejoramiento del hábitat desde el punto de vista nutricional y para una conservación adecuada, de manejo y aprovechamiento cinegético sustentable de dicha especie.

## 1.8. LITERATURA CITADA

- Alvarado, M. D. S., González, R. H., González, R. R. G., Cantú, S. I., Gómez, M. M. V., Cotera, C. M., Jurado, Y. E., & Domínguez-Gómez, T. G. (2013). Trace elements in native shrubs consumed by white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in northeastern México. *Journal of Applied Animal Research*, 41(3), 277-284. <https://doi.org/10.1080/09712119.2013.782864>
- Armienta, T. G. T. (1995). *Perfil mineral del suelo, forraje y tejidos del ganado en agostaderos del Estado de Nuevo León*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Barboza, P. S., Parker, K. L., & Hume, I. D. (Eds.). (2009). Metabolic Constituents: Water, Minerals and Vitamins. En *Integrative Wildlife Nutrition* (pp. 157–206). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-87885-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-540-87885-8_9)
- Barnes, T. G., Varner, L. W., Blankenship, L. H., Fillinger, T. J., & Heineman, S. G. (1990). Macro and trace mineral content of selected south Texas deer forages. *Journal of Range Management*, 43(3), 220-223. <http://dx.doi.org/10.2307/3898677>
- Barnes, T.G. (1988). *Digestion dynamics in white-tailed deer*. Ph.D. Thesis, Texas A&M University, College Station.
- Bravo, D., Sauvant, D., Bogaert, C. & Meschy, F. (2003). III. Quantitative aspects of phosphorus excretion in ruminants. *Reproduction Nutrition Development*, 43(3), 285-300. <https://doi.org/10.1051/rnd:2003021>
- Chihuailaf, H. R., Stevenson, V. B., Saucedo, C., & Corti, P. (2014). Blood mineral concentrations in the endangered huemul deer (*Hippocamelus bisulcus*) from Chilean Patagonia. *Journal of Wildlife Diseases*, 50(1), 146-149. <https://doi.org/10.7589/2013-03-063>
- Cienfuegos-Rivas, E. G., Maldonado-García, A., Logan-López, K., REYNA, A. G., Martínez-González, J. C. & Zárate-Fortuna, P. (2008). Variabilidad morfológica de las astas de venado cola blanca texanus en el noreste de México. *Ciencia UAT*, 3(2), 64-67. Consultado en <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942914002.pdf>

- Clauss, M., & Paglia, D. E. (2012). Iron storage disorders in captive wild mammals: the comparative evidence. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 43(3s). <https://doi.org/10.1638/2011-0152.1>
- Coggins, V. L. (2006). Selenium supplementation, parasite treatment, and management of bighorn sheep at Lostine River, Oregon. In *Bienn Symp North Wild Sheep Goat Counc* (Vol. 15, pp. 98-106).
- Collins, F. D., Love, R. M. & Morton, R. A. (1952). Studies in rhodopsin. 4. Preparation of rhodopsin. *Biochemical Journal*, 51(3), 292.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2017). Matorral. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/Matorral.html> (Consulta: julio 2021).
- Dove, H. & Charmley, E. (2004). Relationships between phosphorus intake, plasma phosphorus and fecal and urinary phosphorus excretion in young sheep. *Science Access*, 1(1), 37-40.
- Fick, K. R., Miller, S. M., Funk, J. D., McDowell, L. R., & Houser, R. H. (1976). Methods of mineral analysis for plant and animal tissues [By flame atomic absorption spectrophotometry]. *AID Publication - U.S. Agency for International Development (USA)*, pn-aac-8731/2, 80 p.
- Frank, A. (1998). Mysterious' moose disease in Sweden. Similarities to copper deficiency and/or molybdenosis in cattle and sheep. Biochemical background of clinical signs and organ lesions. *Science of the Total Environment*, 209(1), 17-26.
- Gallina, S. & Bello Gutiérrez, J. (2014). Patrones de actividad del venado cola blanca en el noreste de México. *Therya*, 5(2), 423-436. <https://doi.org/10.12933/therya-14-200>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cálculo del límite entre los climas BSO y BSi o sea del máximo teórico de los climas BW*. 5a. Ed., pp. 63-73. México: Instituto de Geografía-UNAM.

- Grace, N. D. & Wilson, P. R. (2002). Trace element metabolism, dietary requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in deer. *New Zealand Veterinary Journal*, 50(6), 252-259. <https://doi.org/10.1080/00480169.2002.36321>
- Heffelfinger, J. (2018). *Deer of the Southwest: a complete guide to the natural history, biology, and management of southwestern mule deer and white*. Texas A&M University Press.
- King, K. A., Leleux J., & Mulhern B. M. (1984). Molybdenum and copper levels in white-tailed deer near uranium mines in Texas. *Journal of Wildlife Management*, 48:267–270. <https://doi.org/10.2307/3808486>
- Lonnerdal, B. (2000). Dietary factors influencing zinc absorption. *The Journal of Nutrition*, 130(5), 1378S-1383S.
- Manent, J., Cuenca, R., López-Olvera, J. R., Fernández-Sirera, L., Lavín, S. & Marco, I. (2014). Mineral levels in Pyrenean Chamois (*Rupicapra pyrenaica*). *Biological Trace Element Research*, 157(3), 218-223. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9894-x>
- McCall, K. A., Huang, C. C., & Fierke, C. A. (2000). Function and mechanism of zinc metalloenzymes. *The Journal of Nutrition*, 130(5), 1437S-1446S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1437S>
- McDowell, L. R. (2003). Chapter 2—Calcium and Phosphorus. En *Minerals in Animal and Human Nutrition (Second Edition)* (pp. 33–100). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51367-0.50005-2>
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. (2005). Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida. IFAS. USA. pp. 6-47.
- McKinney, T., Smith, T. W. & de Vos, J. C Jr. (2006). Evaluation of factors potentially influencing a desert bighorn sheep population. *Wildlife Monography*, 164:1–36.
- National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. *National Academic of Science*, Washington, DC. 347 p.

- Olias, P., Weiss, A. T. A., Gruber, A. D. & Klopfleisch, R. (2011). Iron storage disease in red deer (*Cervus elaphus elaphus*) is not associated with mutations in the HFE gene. *Journal of Comparative Pathology*, 145(2-3), 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2010.12.012>
- Ovalle, N. A. (2019). *Uso de agujas artificiales por el venado cola blanca (Odocoileus virginianus texanus Zimmermann) y fauna silvestre asociada en la UMA-Rancho San Juan, Coahuila, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.
- Pollock, B., & Roger, E. (2007). Trace elements status of moose and white-tailed deer in Nova Scotia. *Alces: A Journal Devoted to the Biology and Management of Moose*, 43, 61-77.
- Puls, R. (1988). *Mineral levels in animal health. Dignostic data*. Sherpa International. Clearbrook.
- Ramírez, R.G., Haenlein, G.F.W., Treviño, A., & Reyna, J. (1996). Nutrient and mineral profile of White-tailed deer (*Odocoileus virginianus, texanus*) diets in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 23, 7-16. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00895-4](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00895-4)
- Robbins, C. T. (1993). *Wildlife feeding and nutrition*. Academic, New York.
- Roug, A., Swift, P. K., Gerstenberg, G., Woods, L. W., Kreuder-Johnson, C., Torres, S. G., & Puschner, B. (2015). Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 27(3), 295-305. <https://doi.org/10.1177/1040638715577826>
- Secretaría de Medio Ambiente, Coahuila (SEMA). (2020). Registro Estatal de Trámites y Servicios. <https://www.tramitescoahuila.gob.mx/busqueda-secretarias.html?nombre=Secretar%C3%ADa%20de%20Medio%20Ambiente> (Consulta: junio 2021).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2020). Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica> (Consulta: junio 2020).

- Sleeman, J. M., Magura, K., Howell, J., Rohm, J. & Murphy, L. A. (2010). Hepatic mineral values of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) from Virginia. *Journal of Wildlife Diseases*, 46(2), 525-531. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-46.2.525>
- Soler, J. P., & Cseh, S. B. (2007). Ataxia enzoótica en ciervo rojo (*Cervus elaphus*) en Argentina. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 39(1), 73-76. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2007000100012>
- StatSoft, INC. (2004). STATISTICA (data analysis software system). *Version*, 7, 1984-2004. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Tovar-Puente, A., Pando-Moreno, M., González-Rodríguez, H., Scott-Morales, L. & Méndez-Gallegos, S. (2007). Densidad de cristales de oxalato de calcio en quince cultivares de nopal. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9, 91-98. Consultado en <https://jpacd.net/jpacd/article/view/267>
- Vengust, G., Svava, T., Gombac, M., & Zele, D. (2015). Enzootic ataxia associated with copper deficiency in a farmed red deer: a case report. *Veterinarni Medicina*, 60(9), 522-526.
- Villarreal, J. & Valdés, J. (1992). Vegetación de Coahuila, México. *Revista de Manejo de Pastizales*. 6(1,2): 9-18.
- Wilson, P. R., & Grace, N. D. (2001). A review of tissue reference values used to assess the trace element status of farmed red deer (*Cervus elaphus*). *New Zealand Veterinary Journal*, 49, 126-132. <https://doi.org/10.1080/00480169.2001.36219>
- Wolfe, L. L., Conner, M. M., Bedwell, C. L., Lukacs, P. M., & Miller, M.W. (2010). Select tissue mineral concentrations and chronic wasting disease status in mule deer from North-central Colorado. *Journal of Wildlife Diseases*, 46(3), 1029-1034. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-46.3.1029>
- Zimmerman, T. J., Jenks, J. A., Leslie Jr, D. M., & Neiger, R. D. (2008). Hepatic minerals of white-tailed and mule deer in the southern Black Hills, South Dakota. *Journal of Wildlife Diseases*, 44(2), 341-350. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-44.2.341>

## **CAPÍTULO 2. METALES POTENCIALMENTE TÓXICOS EN HÍGADO DE VENADO COLA BLANCA EN COAHUILA, MÉXICO**

### **2.1. RESUMEN**

La concentración alta de metales potencialmente tóxicos en hígado se relaciona con trastornos reproductivos, productivos y de salud de poblaciones de venados cola blanca (VCB). El objetivo fue determinar la concentración de metales potencialmente tóxicos (Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb) en hígado de VCB, como indicadores de excesos/intoxicaciones en VCB. Para ello, se recolectaron 21 muestras de hígado de siete hembras adultas, cinco hembras juveniles, seis machos adultos y cuatro juveniles de VCB. Las muestras se analizaron en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente a un cuádruplo (ICP-MS). La concentración de metales pesados Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb en hígados se sometió a un análisis de varianza en un arreglo experimental completamente al azar. Se consideró el efecto género (hembra o macho), edad (juvenil o adulto) y la interacción (Genero\*edad) y en la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Las concentraciones promedio peso húmedo de Al ( $3.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), As ( $0.057 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $0.080 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Hg ( $0.019 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $1.693 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Pb ( $0.024 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fueron inferiores a las consideradas como tóxicas. Sin embargo, un macho juvenil ( $7.639 \text{ mg kg}^{-1}$  Al) y una hembra adulta ( $8.127 \text{ mg kg}^{-1}$  Al), presentaron concentración en hígado de Al considerada como tóxica. La concentración de Cd ( $0.145$  y  $0.027 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Hg ( $0.021$  y  $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fue mayor ( $P < 0.05$ ) en los VCB adultos que en juveniles, respectivamente. La concentración de Hg fue mayor ( $P < 0.05$ ) en machos ( $0.021 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en hembras ( $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La concentración alta de Al en dos individuos representa un riesgo para la salud de la población de VCB. El As, Cd, Hg, Ni y Pb no representan riesgo para la salud de la población de VCB estudiada.

**Palabras clave: venado cola blanca, metales pesados, aluminio, fauna silvestre.**

## 2.2. ABSTRACT

The high concentration of potentially toxic metals in the liver is related to reproductive, productive and health disorders of populations of white-tailed-deer (WTD). The objective of this research was to determine the concentration of potentially toxic metals (Al, As, Cd, Hg, Ni and Pb) in the liver the WTD. We collected 21 liver samples from seven adult females, five juvenile females, six adult males and four juveniles of WTD. Samples were analyzed on a quadruple inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). The concentration of heavy metals Al, As, Cd, Hg, Ni and Pb in livers was subjected to an analysis of variance in a completely randomized experimental arrangement. The gender effect (female or male), age (juvenile or adult) and the interaction (gender\*age) were considered and in the comparison of means the Tukey test was used ( $P < 0.05$ ). The average wet weight concentration of Al ( $3.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), As ( $0.057 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $0.080 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Hg ( $0.019 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $1.693 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and Pb ( $0.024 \text{ mg kg}^{-1}$ ) are lower than those considered toxic. However, a juvenile male ( $7,639 \text{ mg kg}^{-1}\text{Al}$ ) and an adult female ( $8,127 \text{ mg kg}^{-1}\text{Al}$ ), presented a liver concentration of Al considered toxic. The concentration of Cd ( $0.145$  and  $0.027 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and Hg ( $0.021$  and  $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ) was higher ( $P < 0.05$ ) in adult WTD than in juveniles, respectively. Likewise, the Hg concentration was higher ( $P < 0.05$ ) in males ( $0.021 \text{ mg kg}^{-1}$ ) than in females ( $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ). The high concentration of Al in two individuals represents a risk for the health of the WTD population. As, Cd, Hg, Ni and Pb do not pose a risk to the health of the WTD population.

**Keywords: white tailed deer, heavy metals, aluminum, wildlife.**

### 2.3. INTRODUCCIÓN

La heterogeneidad de hábitats en México es producto de una historia geológica y climática compleja, la cual permite una gran diversidad biológica (Espinosa *et al.*, 2008). Las zonas áridas y semiáridas de México cubren 1,030,000 km<sup>2</sup> que representan aproximadamente 51% del territorio nacional (INEGI, 2008). Para las regiones donde la precipitación anual es menor a 250 mm (40% del territorio nacional), los venados están más adaptados a ellas que los bovinos (Heffelfinger, 2018). Por ello, para aumentar la productividad y generar mayores ingresos económicos en estas regiones, se han buscado alternativas de manejo (Jiménez, 2006). En décadas recientes, los ganaderos han diversificado sus actividades hacia el aprovechamiento de la fauna silvestre, en la modalidad de Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) extensivas, ya que se ha demostrado que esto es más rentable que la ganadería convencional (CONAFOR, 2009).

Los factores principales que pueden inducir un exceso de minerales en rumiantes incluyen la contaminación ambiental por contaminantes en el suelo, las plantas, el agua o el aire, que a menudo se asocia con condiciones biogeoquímicas (Bakowska *et al.*, 2016). Los elementos tóxicos pueden acumularse en tejidos duros, como huesos, dientes (Demesko *et al.*, 2018; Demesko *et al.*, 2019), astas (Capelli *et al.*, 2020), en los órganos parenquimatosos como el hígado (Vengušt, 2004; Danielsson & Frank, 2009; Kasprzyk *et al.*, 2020) y en músculos (Długaszek *et al.*, 2013; Skibniewski *et al.*, 2015). Por ello, el seguimiento de la presencia de metales potencialmente tóxicos en órganos específicos, puede proporcionar información valiosa sobre la condición de salud de las poblaciones de ungulados, la contaminación de sus hábitats y sobre su exposición a estos contaminantes (Curi *et al.*, 2012; Bakowska *et al.*, 2016).

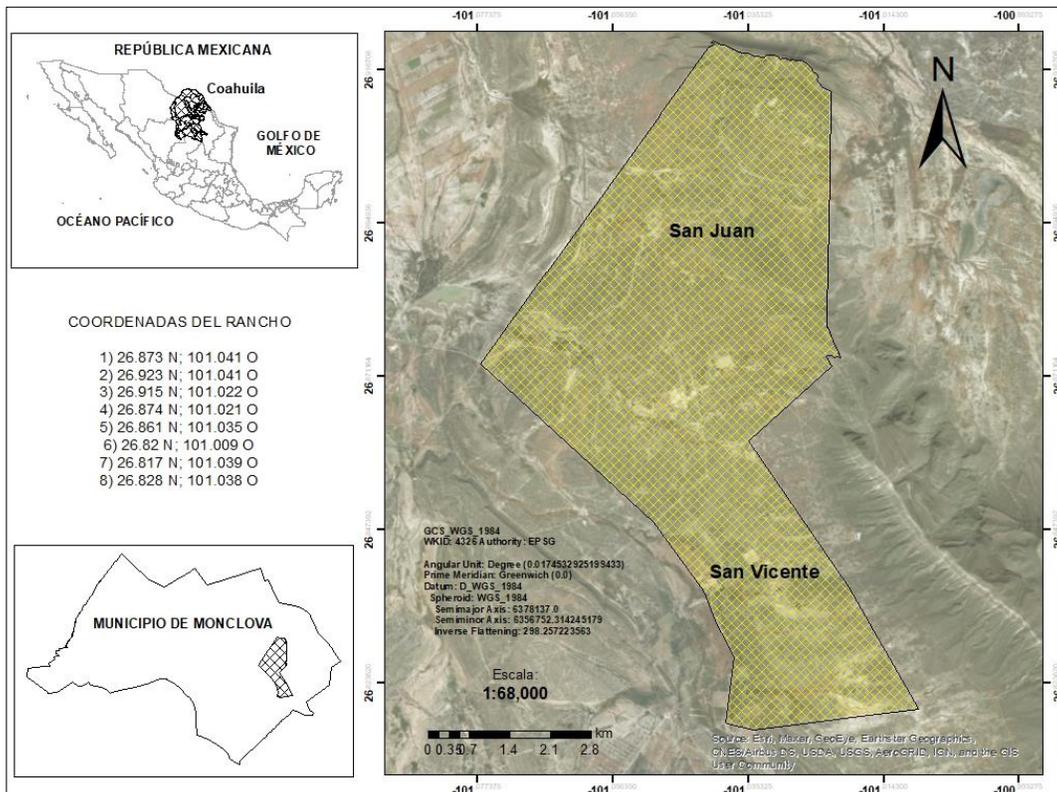
El cadmio se acumula principalmente en hígado y riñones, después de que la absorción alcanza los valores más altos. Por otro lado, el Pb se distribuye en todo el organismo de los mamíferos; el Pb también se acumula en el hígado y los riñones (Briffa *et al.*, 2020). Los efectos de las concentraciones altas de metales potencialmente tóxicos en animales varían según el elemento: a) el arsénico provoca parálisis, convulsiones, diarreas, pérdida de apetito; b) el cadmio causa anemia, abortos, crías con defectos, aumento de mortalidad; c) y el mercurio provoca ataxia, marcha anormal, debilidad muscular y temblores (Reis *et al.*, 2010).

Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de metales potencialmente tóxicos (Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb) en el hígado, como indicadores de excesos/intoxicaciones en venado cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México. La hipótesis fue que al menos un metal pesado de las muestras de hígado analizadas presentaba niveles excesivos de acuerdo con lo reportado por la literatura para venados.

## 2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

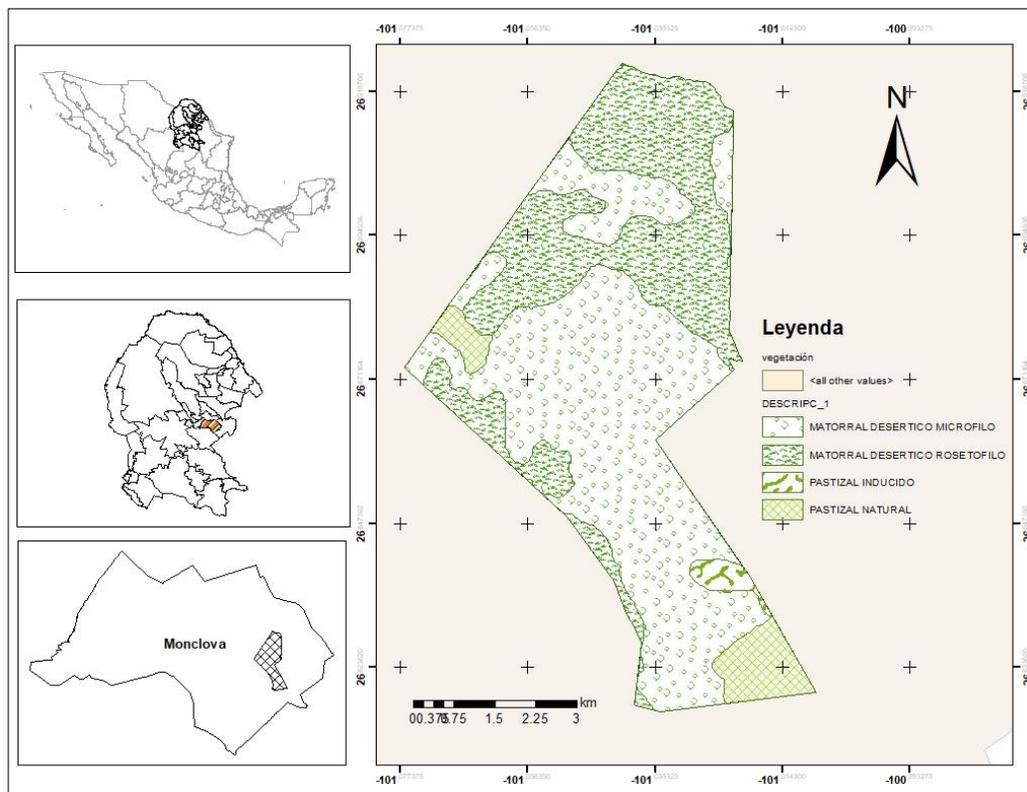
### 2.4.1. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la UMA-Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México (coordenadas anexas en Figura 10) y cuya elevación promedio es de 587 m. Esta UMA se dedica a actividades cinegéticas, siendo el principal “trofeo” el venado cola blanca texano que puede llegar a cotizarse hasta los \$80,000.00 pesos mexicanos (SEMA, 2020). El área usada para este estudio fue de 3,470 ha dividida en dos exclusiones: 1) San Juan con 2,340 ha y 2) San Vicente con 1,030 ha (Figura 10). El área de estudio tiene un clima BShw (García, 2004) con temperatura media anual de 21.6 °C y una precipitación media anual de 310 mm (SMN, 2020).



**Figura 10.** En el mapa superior izquierdo se muestra el estado de Coahuila en la República Mexicana. En el mapa inferior izquierdo se muestra el municipio de Monclova donde se ubica el área de estudio.

La vegetación está dominada por matorral micrófilo desértico, por matorral rosetófilo, matorral halófilo y matorral gipsófilo (Figura 11). Asimismo, en puntos dispersos existe el matorral submontano (Villarreal y Valdés, 1992). La fauna característica del área de estudio es propia de las zonas áridas del Desierto Chihuahuense, destacando: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), venado bura (*Odocoileus hemionus*), coyote (*Canis latrans*), gato montés (*Lynx rufus*), mapache (*Procyon lotor*), pecarí de collar (*Pecarí tajacu*), puma (*Puma concolor*) y aves rapaces como aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*), halcón mexicano (*Falco mexicanus*), gavián palomero (*Accipiter cooperi*), caracara quebrantahuesos (*Caracara cheri*), carpintero de frente dorada (*Melanerpes aurifrons*) y correcaminos norteño (*Geococcyx californianus*) además de una gran variedad de passeriformes (CONABIO, 2017; Ovalle, 2019).



**Figura 11.** Mapa con los tipos de vegetación dominantes en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.

#### **2.4.2. Captura de ejemplares y recolecta de muestras de hígado de venado cola blanca**

En la UMA Rancho San Juan en primavera y verano de 2019 se capturaron ejemplares de venado cola blanca (VCB) mediante red de caída (Figura 3). Para ello, una vez colocada, se cebó con maíz debajo de ésta durante aproximadamente tres semanas y se monitoreó la entrada de venados a comer bajo la red. Una vez que se observó un buen número de venados bajo la red, se accionó el mecanismo de caída de la red, desde un punto remoto, atrapando los venados. Un equipo de seis personas procedió a cubrir los ojos de los venados con un antifaz, se inmovilizaron, se liberaron de la red (Figura 3) y se trasladaron en vehículo hasta el rastro. Los venados se sacrificaron mediante la técnica de sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres por insensibilización con pistola de perno cautivo (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-033-ZOO-2010). Además, algunos venados se cazaron con arma de fuego en sitios de observación establecidos cerca de los comederos. Considerando la dentadura y el desgaste de ésta, los venados capturados se clasificaron en machos y hembras adultos y juveniles, respectivamente. De cada venado se tomó una muestra de hígado de aproximadamente 250 g del lóbulo derecho (Fick *et al.*, 1976). Las muestras se depositaron en recipientes estériles e inmediatamente se congelaron hasta su análisis en el laboratorio (Figura 4). El aprovechamiento extractivo de venado cola blanca de la UMA con Clave de Registro: DGVS-CR- EX3133-COA lo autorizó la Dirección Forestal y Vida Silvestre de la Secretaría del Medio Ambiente de Coahuila con el oficio No. SMA-VS-01/0111-19.



**Figura 12.** Red de caída e inmovilización de venados cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México.



**Figura 13.** Muestras de hígado de venado cola blanca almacenadas para su transporte y subsecuente análisis de minerales en el laboratorio.

### **2.4.3. Determinación de metales potencialmente tóxicos (Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb) en hígado de venado cola blanca**

Los metales potencialmente tóxicos se determinaron en una submuestra de siete hembras adultas, seis machos adultos, cinco hembras y cuatro machos juveniles de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan. Los análisis se realizaron en la Facultad de Toxicología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente a un cuádruplo (ICP-MS) marca Thermo Fisher, Modelo X Series 2. Se utilizó de 0.5 a 1 g de tejido húmedo para realizar una digestión ácida con 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 50% y 1 mL de peróxido de hidrógeno ultrapuro ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) concentrado, las muestras se dejaron pre-digerir durante 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó la digestión en un horno de microondas (Mars 6 CEM, vasos Greenchem, 200 °C, 800 psi; 15 min, 1800 w). El gas acarreador fue el argón grado cromatográfico. La calibración del equipo se realizó mediante estándares de referencia acuosos multielementales certificados, marca HPS<sup>®</sup> de 10 mg L<sup>-1</sup>, utilizando una curva de calibración de 0.1 mg L<sup>-1</sup> aumentando progresivamente hasta 100 mg L<sup>-1</sup>, además de un estándar interno de 10 partes por billón (ppb) de Indio y Tulio. También, se utilizaron muestras control de concentraciones conocidas para verificar que la medición se realizó correctamente, para incrementar la sensibilidad y detectar cantidades bajas, y se utilizó agua desionizada y ácidos destilados para su cuantificación. Las muestras de hígado se analizaron por triplicado y los valores se expresaron en mg kg<sup>-1</sup> base húmeda.

### **2.4.4. Análisis estadístico e interpretación de resultados**

Las muestras de venados se clasificaron en cuatro grupos: 1) hembras adultas, 2) machos adultos, 3) hembras juveniles y 4) machos juveniles. Para cada grupo se calculó la media y error estándar (EEM) de cada metal y se compararon con los valores considerados como tóxicos para ovejas domésticas reportado por Puls (1988) y los valores encontrados en ungulados silvestres reportado por Zimmerman *et al.* (2008).

Con la finalidad de determinar posibles diferencias en las concentraciones de metales entre hembras y machos adultos y juveniles de VCB, se planeó realizar un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial; probando previamente los supuestos de normalidad (Shaphiro-Wilk) y homogeneidad de las varianzas (Barttlet); dichos supuestos no se cumplieron por lo que se utilizó

una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. También se realizó un análisis de correlación múltiple, bajo un  $\alpha \leq 0.05$ . Dichos análisis se llevaron a cabo en el software Statistica v. 7. (StatSoft. Inc., 2004).

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1 Metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca

Se capturaron siete hembras adultas (HA), cinco hembras juveniles (HJ), seis machos adultos (MA) y cuatro juveniles (MJ). Los machos adultos fueron los más pesados, luego las hembras adultas y los menos pesados fueron los machos y hembras juveniles ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 6). La concentración promedio de metales pesados fue inferior a los valores considerados como tóxicos en hígado para oveja doméstica y ganado bovino (Puls, 1988) (Cuadro 6). Sin embargo, la concentración de Al en hígado de VCB mostró variabilidad amplia (Figura 14) y los contenidos de una hembra adulta ( $8.1 \text{ mg kg}^{-1}$  base húmeda) y un macho juvenil ( $7.6 \text{ mg kg}^{-1}$  base húmeda) estuvieron dentro del rango de concentración considerada como tóxica para ovejas domésticas ( $6.3\text{--}11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Puls, 1988; WVDL, 2015). Cabe señalar que en hígados de VCB se reportan las concentraciones de Al  $0.588 \text{ mg kg}^{-1}$  base húmeda (Zimmerman *et al.*, 2008) y  $>2.0 \text{ mg kg}^{-1}$  base seca (Bruckwicki *et al.*, 2006) inferiores a las encontradas en este trabajo. Los contenidos altos y tóxicos de Al en los hígados de VCB podrían estar asociados a la ingesta de agua contaminada (Jones & Bennett, 1986), a la contaminación de la industria del aluminio, cementera, lluvia ácida y en general a la actividad industrial alta cercana al área de estudio (Skibniewska & Michal Skibniewski, 2019).

En mamíferos, el Al absorbido se bioacumula en tejido nervioso (Al-Ganzoury & El-Shaer, 2008), hígado, riñones y huesos (Al-Ganzoury & El-Shaer 2008; Teixeira *et al.*, 2013). La toxicidad por aluminio se relaciona con estrés oxidativo que causa muerte celular (Yokel, 2000; Crisponi *et al.*, 2012), daños en la función excretora de los riñones (Sánchez-Iglesias *et al.*, 2007), alteraciones del metabolismo óseo que conducen a la osteomalacia (Exley & House, 2011; Crisponi *et al.*, 2012), entre otros. Además, el aluminio compite con cationes como  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  por sitios de acción enzimática, moléculas de señalización, receptores, proteínas de transporte, canales de membrana y ácidos nucleicos (Exley & House, 2011); las concentraciones altas de Al en los tejidos alteran la homeostasis del hierro y provocan un aumento proporcional a la carga de aluminio de

los tejidos (Ward *et al.*, 2001). Así mismo, compuestos de aluminio interfieren con fósforo, zinc, cobre, calcio y cromo modificando su biodisponibilidad (Priest, 2004) lo que provoca alteraciones del metabolismo del calcio y fósforo, principalmente (Llacuna *et al.*, 1995). Además, las concentraciones altas de Al en la dieta aumentan la concentración de Zn y Fe en hígado y reducen el Mg y P en suero sanguíneo. Las interacciones entre minerales son importantes en nutrición animal ya que un desequilibrio puede resultar en trastornos nutricionales (McDonald *et al.*, 1981).

Los dos venados que presentaron concentraciones de aluminio altas en hígado fueron los que presentaron pesos bajos en comparación a los de su categoría y el efecto fue más marcado en el macho juvenil (58 kg) en comparación con el peso promedio (80 kg) de su categoría. Al respecto, la respiración de aire con concentraciones altas de aluminio produce daños pulmonares y pérdida de peso (Nayak, 2002; Bouchard, 2009; Kumar & Gill, 2009).

**Cuadro 6.** Concentración (media  $\pm$  EEM), y valores mínimo y máximo de los metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México, comparado con valores de referencia disponibles.

	<b>Peso</b>	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	kg	mg kg <sup>-1</sup> en base húmeda (BH)					
<b>HA (n=7)</b>	86.29 $\pm$ 5.70	3.48 $\pm$ 0.807	0.051 $\pm$ 0.017	0.089 $\pm$ 0.026	0.018 $\pm$ 0.0.002	1.091 $\pm$ 0.171	0.018 $\pm$ 0.002
Min-Max	69.0-109.0	1.71- <b>8.127*</b>	0.021-0.149	0.031-0.216	0.012-0.025	0.444-1.819	0.012-0.026
<b>MA (n=6)</b>	55.0 $\pm$ 6.173	3.23 $\pm$ 0.403	0.057 $\pm$ 0.006	0.178 $\pm$ 0.086	0.023 $\pm$ 0.001	2.912 $\pm$ 1.145	0.023 $\pm$ 0.003
Min-Max	93.0-162.0	1.96-4.103	0.039-0.078	0.009-0.564	0.018-0.026	1.083-8.530	0.015-0.029
<b>HJ (n=5)</b>	135.0 $\pm$ 9.522	2.69 $\pm$ 0.670	0.056 $\pm$ 0.011	0.016 $\pm$ 0.006	0.016 $\pm$ 0.0.001	1.674 $\pm$ 0.601	0.035 $\pm$ 0.017
Min-Max	44.0-79.0	1.31-4.883	0.026-0.081	0.001-0.036	0.014-0.018	0.838-4.043	0.009-0.103
<b>MJ (n=4)</b>	81.50 $\pm$ 8.665	3.95 $\pm$ 1.238	0.065 $\pm$ 0.029	0.037 $\pm$ 0.005	0.019 $\pm$ 0.001	1.095 $\pm$ 0.279	0.021 $\pm$ 0.001
Min-Max	58.0-99.0	2.37- <b>7.639*</b>	0.030-0.152	0.029-0.052	0.016-0.021	0.672-1.915	0.017-0.024
Zimmerman <i>et al.</i> 2008, ppm, BH (O.v.) <sup>‡</sup>	-	0.558	0.125	0.670	0.100	0.435	0.130
Puls, 1988 <sup>‡</sup>	-	6.3-11.0	10.0-50.0	50-600	10.0-60.0	>1500 <sup>¶</sup>	10-100

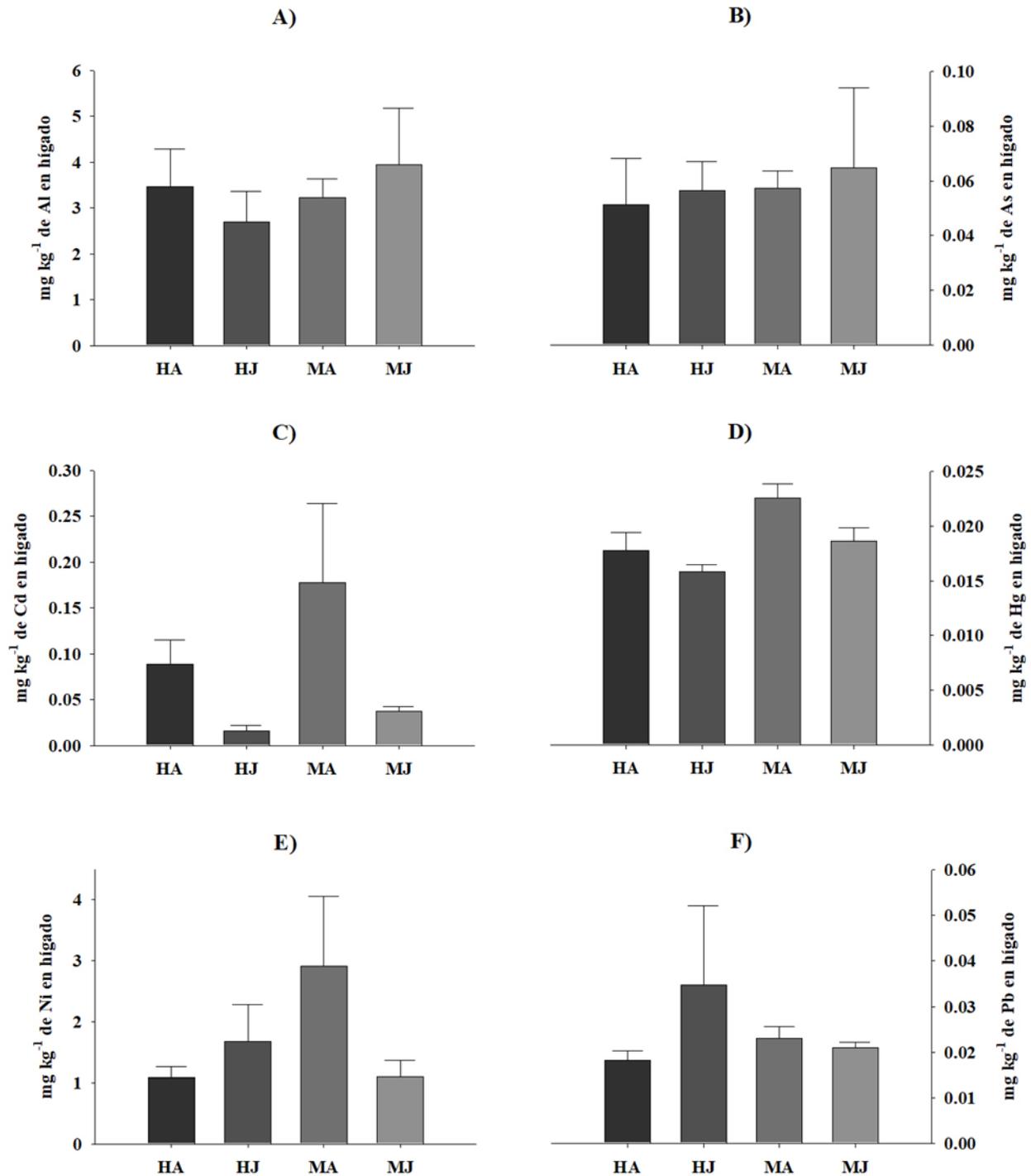
HA: hembra adulta; MA: macho adulto; HJ: hembra juvenil; MJ: macho juvenil. \*Los valores marcados en negritas resaltan los individuos que presentan niveles excesivamente elevados. <sup>‡</sup>Concentración en base húmeda encontrada en venado cola blanca en Dakota del Sur, EEUU. <sup>‡</sup>Concentración en el hígado de ovejas domésticas considerada como tóxica. <sup>¶</sup>Concentración considerada como tóxica en ganado bovino.

Los resultados del Anova bifactorial para los cuatro grupos de *O. virginianus texanus* y la concentración de los metales potencialmente tóxicos en hígado de venados de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila se muestran en el Figura 14. No se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre categorías de los venados para los seis metales analizados bajo la hipótesis:

H<sub>0</sub>: Las concentraciones son iguales en venados machos y hembras, adultos y juveniles.

H<sub>1</sub>: Las concentraciones son diferentes en venados machos y hembras, adultos y juveniles.

La contaminación ambiental por metales pesados representa una amenaza para la biosfera (Wieczorek-Dąbrowska *et al.*, 2013), causa efectos nocivos en la vida silvestre y representan una amenaza para la salud humana (Silva *et al.*, 2005). Por lo tanto, es necesario monitorear niveles ambientales y cambios en los ecosistemas. Los ungulados silvestres se han utilizado como bioindicadores o biomonitores de la contaminación ambiental con metales tóxicos (Pokorny, 2006; Wieczorek-Dąbrowska *et al.*, 2013). En áreas expuestas a una contaminación moderada se registraron concentraciones de Pb y Cd en hígado de ejemplares de corzo de 2.46 mg kg<sup>-1</sup> y 0.561 mg kg<sup>-1</sup> peso seco y de 0.067 mg kg<sup>-1</sup> y 0.422 mg kg<sup>-1</sup> en peso seco, respectivamente y sobrepasan los niveles máximos permisibles (Cygan-Szczegielniak, 2021). Sin embargo, en el presente trabajo de investigación las concentraciones de Pb, Cd, Hg y As (Figura 14) fueron menores a las consideradas como tóxicas (Puls, 1988) e inferiores a las encontradas en hígado de VCB (Zimmerman *et al.*, 2008). Por el contrario, se registran concentraciones de Ni en hígado de VCB de 0.435 mg kg<sup>-1</sup> peso húmedo (Zimmerman *et al.*, 2008) y de 0.70 y 0.13 ppm peso húmedo en VCB juveniles y adultos, respectivamente (Khan *et al.*, 1995), valores inferiores a los registrados en este trabajo (Figura 14) (1.7 mg kg<sup>-1</sup> peso húmedo). El Ni es un elemento tóxico para aves y mamíferos y la principal fuente de contaminación es la industria metalúrgica, pero áreas con suelos con mineral serpentina tienen naturalmente concentraciones altas de Ni (Binkowski, 2013). En VCB en vida libre es difícil detectar los efectos negativos que provocan los metales pesados sobre los parámetros productivos, reproductivos y de salud en sus poblaciones (NRC, 2007).



**Figura 14.** Concentración (media  $\pm$ EEM) de metales potencialmente tóxicos por grupo de venado cola blanca, donde HA: hembras adultas, HJ: hembras juveniles, MA: machos adultos y MJ: machos juveniles. Los contrastes se basaron en la prueba post-hoc de Tukey, bajo un  $\alpha = 0.05$ .

La edad afecta la respuesta de los bioindicadores contaminantes, ya que la persistencia de los metales pesados está relacionada con la edad de los animales (García *et al.*, 2011). Los hígados de VCB adultos y juveniles presentaron concentraciones similares ( $p>0.05$ ) de Al, As, Ni y Pb (Cuadro 7). Sin embargo, las concentraciones en los hígados de VCB adultos de Cd ( $0.145 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Hg ( $0.21 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fueron mayores a los registrados en venados juveniles  $0.027$  y  $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente, lo que refleja una acumulación de estos metales pesados con la edad del animal (Buerger *et al.*, 2007; García *et al.*, 2011). Resultados similares se encontraron en hígado de corzos donde las concentraciones de Cd  $0.056$ ,  $0.065$  y de  $0.110$ ,  $0.108 \text{ mg kg}^{-1}$  peso seco fueron inferiores en hembras y machos juveniles (6-7 meses) que en hembras y machos adultos (3-4 años), respectivamente (Cygan-Szczegielniak & Stasiak, 2021); así mismo la concentración de Cd en hígado de ciervo rojo fue mayor en animales adultos ( $0.0291 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en juveniles ( $0.0112 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (García *et al.*, 2011).

En vida silvestre los machos y las hembras muestran diferencias significativas en su exposición, toxicocinética y respuesta a diferentes niveles de contaminantes (García *et al.*, 2011). Se ha demostrado en varias especies que las hembras muestran concentraciones más altas de Cd que los machos de la misma edad (Crête *et al.*, 1987; Gustafson *et al.*, 2000). Sin embargo, en este trabajo las concentraciones en hígados de VCB de Al, As, Cd, Ni y Pb fueron similares ( $P>0.05$ ) (Cuadro 7). Cabe señalar que las hembras ( $0.120 \text{ mg kg}^{-1}$ ) mostraron una concentración menor de Cd en hígado que los machos ( $0.021 \text{ mg kg}^{-1}$ ) aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa por la gran variabilidad de los datos. Estos resultados fueron similares a los encontrados por García *et al.* (2011). La concentración de Hg en los hígados de VCB fue también menor ( $P<0.05$ ) en las hembras ( $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en los machos ( $0.021 \text{ mg kg}^{-1}$  peso húmedo), tendencias similares a las encontradas en hígados de hembras ( $0.61 \text{ mg kg}^{-1}$  peso húmedo) y machos ( $1.07 \text{ mg kg}^{-1}$  peso húmedo) de corzos (Lehel *et al.*, 2016); sin embargo, la concentración en ambos casos fue mayor a la encontrada en el presente trabajo. Las concentraciones de Cd y Hg menores en hígado de VCB estarían asociadas al peso vivo y consumo menor de materia seca por las hembras con respecto a los machos.

**Cuadro 7.** Concentración de Al, As, Cd, Hg, Ni y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en hígado de venado cola blanca de acuerdo con la edad y género en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.

	Edad		<i>F</i>	Género		<i>F</i>
	Adulto	Juvenil		Hembra	Macho	
Al	3.483	3.319	0.8439	3.082	3.720	0.4472
As	0.053	0.060	0.6677	0.054	0.059	0.7522
<b>Cd</b>	<b>0.145</b>	<b>0.027</b>	<b>0.0368</b>	0.052	0.120	0.2155
<b>Hg</b>	<b>0.021</b>	<b>0.017</b>	<b>0.0250</b>	<b>0.017</b>	<b>0.021</b>	<b>0.0063</b>
Ni	2.162	1.384	0.3015	1.382	2.164	0.2993
Pb	0.021	0.028	0.4640	0.026	0.023	0.6825

En el Cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de correlación entre los metales y el peso del VCB. Existieron asociaciones moderadas pero significativas entre el peso de los venados con Cd, Hg y Ni. Los coeficientes de correlación entre el peso de los VCB y los elementos Al, As, Cd, Hg, Ni, Pb en hígado de VCB se muestran en el Cuadro 8. Se encontró una correlación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) entre el peso de los VCB y las concentraciones en hígado de Cd, Hg y Ni. Lo que posiblemente indica una bioacumulación de estos elementos en los VCB más pesados que son los que consumen cantidades mayores de materia seca. Además, la concentración de As en hígado de VCB se correlacionó negativa y significativamente ( $P < 0.05$ ) con la concentración de Al en hígado y el Hg se correlaciona positiva y significativamente con el Cd (Cuadro 8). En hígados de ciervo rojo únicamente se encontraron relaciones significativas negativas entre Ca-K, Cd-Fe y Pb-Cu (Cygan-Szczegielniak, 2021). Cabe señalar que, considerando la concentración de metales pesados encontrados en los hígados de VCB, estos no representan riesgos para la salud humana y animal y pueden servir de referencia para futuras investigaciones. Además, dada la creciente actividad minera e industrial en la región, se propone utilizar a los VCB como bio monitores de la contaminación ambiental de los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas del norte de México.

**Cuadro 8.** Matriz de correlación entre los metales potencialmente tóxicos y el peso del venado cola blanca en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.

	<b>Peso</b>	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
<b>Peso</b>	1.00	0.01	-0.10	<b>0.43*</b>	<b>0.57*</b>	<b>0.43*</b>	-0.13
<b>Al</b>		1.00	<b>-0.45*</b>	0.29	0.36	-0.08	0.33
<b>As</b>			1.00	-0.14	-0.33	0.05	-0.20
<b>Cd</b>				1.00	<b>0.58*</b>	-0.15	0.10
<b>Hg</b>					1.00	0.12	0.01
<b>Ni</b>						1.00	-0.09
<b>Pb</b>							1.00

\*Los valores en negritas determinan una asociación significativa ( $P < 0.05$ ).

## 2.7. CONCLUSIONES

Las concentraciones promedio peso húmedo de Al ( $3.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), As ( $0.057 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cd ( $0.080 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Hg ( $0.019 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $1.693 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Pb ( $0.024 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en hígado de VCB en el Rancho San Juan Monclova, Coahuila, México, fueron inferiores a las consideradas tóxicas. Sin embargo, un macho juvenil ( $7.639 \text{ mg kg}^{-1}$  Al) y una hembra adulta ( $8.127 \text{ mg kg}^{-1}$  Al) presentaron una concentración en hígado de Al considerada como tóxica.

La concentración de Cd ( $0.145$  y  $0.027 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Hg ( $0.021$  y  $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fue mayor ( $P < 0.05$ ) en los VCB adultos que en juveniles. Así mismo, la concentración de Hg fue mayor ( $P < 0.05$ ) en machos ( $0.021 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en hembras ( $0.017 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La concentración alta de Al en dos individuos representa un riesgo para la salud de la población de VCB, por lo que se sugiere un monitoreo continuo de este metal en los tejidos del VCB.

## 2.8. LITERATURA CITADA

- Al-Ganzoury, H. H. & El-Shaer, M. E. (2008). Aluminum residues in meat and edible tissues of some ruminant and its relation to public health in Sharkia Governorate. *Suez Canal Veterinay Medical Journal*, 13:361-366.
- Bakowska, M., Pilarczyk, B., Tomza-Marciniak, A., Udała, J., & Pilarczyk, R. (2016). The bioaccumulation of lead in the organs of roe deer (*Capreolus capreolus* L.), red deer (*Cervus elaphus* L.), and wild boar (*Sus scrofa* L.) from Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 14373–14382. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6605-5>
- Binkowski, Ł. J. (2019). Nickel, Ni. In: Elżbieta Kalisińska (ed) Mammals and birds as bioindicators of trace element contaminations in terrestrial environments, *Springer*, Cham, pp 281-299. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00121-6>.
- Burger, J., Fossi, C., McClellan-Green, P. & Orlando, E. F. (2007). Methodologies, bioindicators, and biomarkers for assessing gender-related differences in wildlife exposed to environmental chemicals. *Environmental Research*, 104(1):135-152. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.08.002>
- Bouchard, M., Normandin, L., Gagnon, F., Viau, C., Dumas, P., Gaudreau, É. & Tremblay, C. (2009). Repeated measures of validated and novel biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in individuals living near an aluminum plant in Quebec, Canada. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 72(23), 1534-1549. <https://doi.org/10.1080/15287390903129481>
- Briffa, J., Sinagra, E. & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Bruckwicki, P., Giggelman, C. & Lewis, J. (2006). *An investigation of contaminant levels in white-tailed deer (Odocoileus virginianus) collected from Caddo Lake National Wildlife Refuge, Harrison County, Texas 2005*. US Fish and Wildlife Service.

- Cappelli, J., Frasca, I., Andrés García, A., Landete-Castillejos, T., Luccarini, S., Gallego, L., Morimando, F., Varuzza, P. & Zaccaroni, A. (2020). M. Roe deer as a bioindicator: Preliminary data on the impact of the geothermal power plants on the mineral profile in internal and bone tissues in Tuscany (Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36121-36131. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09708-x>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2017). *Matorral*. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/Matorral.html> (Consulta: julio 2021).
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2009). *Manual técnico para beneficiarios: Manejo de vida silvestre*. Distrito Federal, México. (Consulta: mayo de 2021).
- Curi, N. H. A., Brait, C. H. H., Filho, N. R. A., & Talamoni, S. A. (2012). Heavy metals in hair of wild canids from the Brazilian Cerrado. *Biological Trace Element Research*, 147(1), 97-102. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9303-7>
- Crête, M., Potvin, F., Walsh, P., Benedetti, J. L., Lefebvre, M. A., Weber, J. P. & Gagnon, J. (1987). Pattern of cadmium contamination in the liver and kidneys of moose and white-tailed deer in Quebec. *Science of The Total Environment*, 66, 45-53. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(87\)90076-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(87)90076-3).
- Crisponi, G., Nurchi, V. M., Bertolasi, V., Remelli, M., & Faa, G. (2012). Chelating agents for human diseases related to aluminum overload. *Coordination Chemistry Reviews*, 256(1-2), 89-104. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2011.06.013>.
- Cygan-Szczegielniak, D. (2021). The levels of mineral elements and toxic metals in the longissimus lumborum muscle, hair and selected organs of red deer (*Cervus elaphus* L.) in Poland. *Animals*, 11(5), 1231. <https://doi.org/10.3390/ani11051231>.
- Cygan-Szczegielniak, D. & Stasiak, K. (2021). Effects of age and sex on the content of heavy metals in the hair, liver and the longissimus lumborum muscle of roe deer *Capreolus capreolus* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 10782–10790. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16425-6>.

- Danielsson, R. & Frank, A. (2009). Cadmium in moose kidney and liver-Age and gender dependency, and standardization for environmental monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157(1), 73-88. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0516-y>
- Demesko, J., Markowski, J., Słaba, M., Hejduk, J., & Minias, P. (2018). Age-related patterns in trace element content vary between bone and teeth of the European roe deer (*Capreolus capreolus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(2), 330-338. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0470-1>
- Demesko, J., Markowski, J., Demesko, E., Słaba, M., Hejduk, J., & Minias P. (2019). Ecotype variation in trace element content of hard tissues in the European roe deer (*Capreolus capreolus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(1), 76-86. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0580-4>
- Długaszek, M. & Kopczynski, K. (2013). Elemental composition of muscle tissue of wild animals from central region of Poland. *International Journal of Environmental Research*, 7(4), 973-978. <https://doi.org/10.22059/IJER.2013.680>
- Espinosa, D., Ocegueda, S., Aguilar, C., Flores, O., Llorente, J., & Vázquez, B. (2008). *El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural, en Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Exley, C., & House, E. R. (2011). Aluminium in the human brain. *Monatshefte Für Chemie - Chemical Monthly*, 142(4), 357–363. <https://doi.org/10.1007/s00706-010-0417-y>
- Fick, K. R., Miller, S. M., Funk, J. D., McDowell, L. R., & Houser, R. H. (1976). Methods of mineral analysis for plant and animal tissues [By flame atomic absorption spectrophotometry]. *AID Publication - U.S. Agency for International Development (USA)*, pn-aac-8731/2, 80 p.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cálculo del límite entre los climas BSo y BSi o sea del máximo teórico de los climas BW*. 5a. Ed., pp. 63-73. México: Instituto de Geografía-UNAM.

- García, M. H. D. M., Moreno, D. H., Rodríguez, F. S., Beceiro, A. L., Álvarez, L. E. F., & López, M. P. (2011). Sex-and age-dependent accumulation of heavy metals (Cd, Pb and Zn) in liver, kidney and muscle of roe deer (*Capreolus capreolus*) from NW Spain. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 46(2), 109-116. <https://doi.org/10.1080/10934529.2011.532422>.
- Gustafson, K. A., Bontaites, K. M., & Major, A. (2000). Analysis of tissue cadmium concentrations in New England moose. *Alces: A Journal Devoted to the Biology and Management of Moose*, 36, 35–40. <https://alcesjournal.org/index.php/alces/article/view/619>
- Heffelfinger, J. (2018). *Deer of the Southwest: a complete guide to the natural history, biology, and management of southwestern mule deer and white*. Texas A&M University Press.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. (2008). *Continuo de elevación nacional*. Aguascalientes, México.
- Jiménez, S. (2006). *Estimación poblacional de venado cola blanca (Odocoileus virginianus miquihuanensis) en predios del municipio de Parras de la Fuente, Coahuila*. Tesis de Licenciatura. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Jones, K. C., & Bennett, B. G. (1986). Exposure of man to environmental aluminum an exposure commitment assessment. *Science of The Total Environment*, 52, 65–82. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(86\)90105-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(86)90105-1).
- Kasprzyk, A., Kilar, J., Chwil, S., & Rudas, M. (2020). Content of Selected Macro-and Microelements in the Liver of Free-Living Wild Boars (*Sus scrofa* L.) from Agricultural Areas and Health Risks Associated with Consumption of Liver. *Animals*, 10(9), 1519. <https://doi.org/10.3390/ani10091519>
- Khan, A. T., Diffay, B. C., Bridges, E. R., & Mielke, H. W. (1995). Cadmium and other heavy metals in the livers of white-tailed deer in Alabama. *Small Ruminant Research*, 18(1), 39-41. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00714-V](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00714-V)

- Kumar, V. & Gill, K. D. (2009). Aluminium neurotoxicity: neurobehavioural and oxidative aspects. *Archives of Toxicology*, 83(11), 965-978. <https://doi.org/10.1007/s00204-009-0455-6>
- Lehel, J., Laczay, P., Gyurcsó, A., Jánoska, F., Majoros, S., Lányi, K., & Marosán, M. (2016). Toxic heavy metals in the muscle of roe deer (*Capreolus capreolus*)—food toxicological significance. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), 4465-4472. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5658-1>.
- Llacuna, S., Gorriz, A., Sanpera, C., & Nadal, J. (1995). Metal accumulation in three species of passerine birds (*Emberiza cia*, *Parus major*, and *Turdus merula*) subjected to air pollution from a coal-fired power plant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 28(3), 298-303. <https://doi.org/10.1007/BF00213105>
- Manent, J., Cuenca, R., López-Olvera, J. R., Fernández-Sirera, L., Lavín, S. & Marco, I. (2014). Mineral levels in pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica*). *Biological trace element research*, 157(3), 218-223. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9894-x>
- McDonald, P., Edwards, R. A., & Greenhalgh, J. F. D. (1981). *Animal Nutrition*. Longman, London and New York.
- National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. *National Academic of Science*, Washington, DC. 347 p.
- Nayak, P. (2002). Aluminum: impacts and disease. *Environmental Research*, 89(2), 101-115. <https://doi.org/10.1006/enrs.2002.4352>.
- Ovalle, N. A. (2019). *Uso de aguajes artificiales por el venado cola blanca (Odocoileus virginianus texanus Zimmermann) y fauna silvestre asociada en la UMA-Rancho San Juan, Coahuila, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.
- Puls, R. (1988). *Mineral levels in animal health. Dignostic data*. Sherpa International. Clearbrook.

- Pokorny, B. (2006). Roe deer (*Capreolus capreolus* L.) antlers as an accumulative and reactive bioindicator of lead pollution near the largest Slovene thermal power plant. *Veterinarski arhiv*, 76, S131-S1  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.637.1558&rep=rep1&type=pdf>
- Priest, N. D. (2004). The biological behaviour and bioavailability of aluminium in man, with special reference to studies employing aluminium-26 as a tracer: review and study update. *Journal of Environmental Monitoring*, 6(5), 375-403. <https://doi.org/10.1039/B314329P>
- Reis, L.S.L. Pardo, P. E., & Camargos, A. S. (2010). Mineral element and heavy metal poisoning in animals. *Journal of Medicine and Medical Sciences*, 1, 560-579.
- Sánchez-Iglesias, S., Soto-Otero, R., Iglesias-Gonzalez, J., Barciela-Alonso, M. C., Bermejo-Barrera, P., & Méndez-Álvarez, E. (2007). Analysis of brain regional distribution of aluminium in rats via oral and intraperitoneal administration. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21(1), 31-34. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2007.09.010>
- SEMA (Secretaría de Medio Ambiente, Coahuila). (2020). *Registro Estatal de Trámites y Servicios*. <https://www.tramitescoahuila.gob.mx/busqueda-secretarias.html?nombre=Secretar%C3%ADa%20de%20Medio%20Ambiente>  
(Consulta: junio 2021).
- Silva, A. L. D. O., Barrocas, R. G. P., Jacob, S. D. C., & Moreira, J. C. (2005). Dietary intake and health effects of selected toxic elements. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 79-93. <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/r6K7jHLS8x9fV9TPSh536wy/?lang=en>.
- Skibniewski, M., Skibniewska, E. M., & Kośła, T. (2015). The content of selected metals in muscles of the red deer (*Cervus elaphus*) from Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11), 8425-8431. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4007-0>
- Skibniewska, E., & Skibniewski, M. (2019). Aluminum, Al. In: Elżbieta Kalisińska (ed) *Mammals and birds as bioindicators of trace element contaminations in terrestrial environments*. Springer Cham, Szczecin, Poland pp. 413-462.

- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2020). *Información Estadística Climatológica*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica> (Consulta: junio 2020).
- Teixeira, A. D. O., Leonel, F. D. P., Knoop, R., Ferreira, V. P. D. A., Ribeiro, E. T., Moreira, L. M., & Pereira, J. C. (2013). Mineral deposition in tissues of cattle fed with different phosphates and relationships phosphorus: fluorine. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, *14*(49), 831-847. <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/gmXfrhT9SgbyDcnkDgQp7pB/?lang=en>
- Yokel, R. A. (2000). The toxicology of aluminum in the brain: a review. *Neurotoxicology*, *21*(5), 813-828. <https://europepmc.org/article/med/11130287/reload=0>
- Vengušt, G. & Vengušt, A. (2004). Some minerals as well as trace and toxic elements in livers of fallow deer (*Dama dama*) in Slovenia. *European Journal of Wildlife Research*, *50*(2), 59-61. <https://doi.org/10.1007/s10344-004-0038-z>
- Wieczorek-Dąbrowska, M., Tomza-Marciniak, A., Pilarczyk, B., & Balicka-Ramisz, A. (2013). Roe and red deer as bioindicators of heavy metals contamination in north-western Poland. *Chemistry and Ecology*, *29*(2), 100-110. <https://doi.org/10.1080/02757540.2012.711322>.
- WVDL. (2015). Normal Range Values for WVDL toxicology. <https://www.yumpu.com/en/document/view/52919318/normal-range-values-for-wvdl-toxicology>. (Consulta: 06 de febrero de 2022).
- Ward, R. J., Zhang Y., & Crichton R. R. (2001). Iron Homeostasis and Aluminium Toxicity. *Journal of Inorganic Biochemistry*, *87*(1-2), 9-14. <https://doi.org/10.1016/B978-044450811-9/50040-9>
- Villarreal, J. & Valdés, J. (1992). Vegetación de Coahuila, México. *Revista de Manejo de Pastizales*. *6*(1,2), 9-18.
- Zimmerman, T. J., Jenks, J. A., Leslie Jr, D. M., & Neiger, R. D. (2008). Hepatic minerals of white-tailed and mule deer in the southern Black Hills, South Dakota. *Journal of Wildlife Diseases*, *44*(2), 341-350. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-44.2.341>

## CONCLUSIONES GENERALES

En la cuantificación de macro y microminerales y de metales potencialmente tóxicos en hígado de venado cola blanca de la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila se encontró que:

- Las concentraciones de Ca y Mg fueron superiores a las consideradas como típicas sin llegar a niveles tóxicos.
- Las concentraciones de P, Na y K fueron inferiores a las consideradas como típicas para animales sanos, estos elementos podrían estar limitando el potencial productivo y reproductivo de los venados en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila.
- Las concentraciones altas de Ca y Mg, posiblemente afectan de manera negativa el metabolismo y los requerimientos de P en estos VCB.
- Por su parte, las concentraciones de Fe, Cu, Zn, Co, Se, Mo, Cr y S se consideraron dentro del rango típico para animales sanos.
- Se encontró que existen asociaciones significativas con una intensidad moderada entre el peso de los venados con el Fe y Mo en hígado.
- La concentración de metales potencialmente tóxicos se ubicó por debajo de los límites de toxicidad, aunque se encontró un macho juvenil y una hembra adulta con niveles excesivos de Al.
- La concentración de Cd y Hg fue mayor en los VCB adultos que en juveniles. Así mismo, la concentración Hg fue mayor en machos que en hembras.
- Es importante señalar que este es el primer estudio sobre la concentración de minerales en hígado de *O. virginianus texanus* en esta región particular de México. Los resultados de esta investigación sientan las bases para futuras investigaciones con fines de manejo y mejoramiento del hábitat desde el punto de vista nutricional, para una adecuada conservación, manejo y aprovechamiento cinegético sustentable de VCB.