



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

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

## CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

### CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT Y EXPOSICIÓN A METALES DE LA RATA DE CAMPO (*Neotoma* sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

ALMA DELIA HERNÁNDEZ JUÁREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México  
Noviembre, 2018

---

# Carta de consentimiento de uso de los derechos de autor y de las regalías comerciales de productos de investigación.



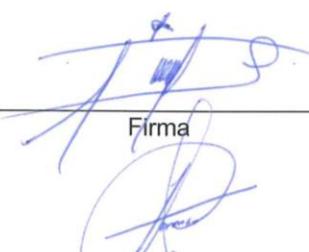
## COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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 Alma Delia Hernández Juárez alumno (a) de esta institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional o internacional que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del(la) profesor(s) Lois Antonio Tavango Arámbula, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Características del hábitat y exposición a metales de la rata de campo (Rodomys) del Centro-Norte de 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) Consejo (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 dale el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 15 de octubre de 2018.

  
Firma

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

La presente tesis, titulada: **CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT Y EXPOSICIÓN A METALES DE LA RATA DE CAMPO (*Neotoma* sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO**, realizada por la alumna **ALMA DELIA HERNÁNDEZ JUÁREZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

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

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

(Director de Tesis)

  
\_\_\_\_\_  
DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

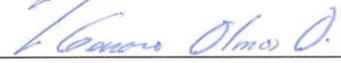
CODIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. GUILLERMO ESPINOSA REYES

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. CÉSAR CORTÉZ ROMERO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. GENARO OLMOS OROPEZA

SALINAS DE HGO., SAN LUIS POTOSÍ  
Noviembre, 2018

# CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT Y EXPOSICIÓN A METALES DE LA RATA DE CAMPO (*Neotoma* sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

Alma Delia Hernández Juárez, MC

Colegio de Postgraduados, 2018

## RESUMEN GENERAL

La rata de campo (*Neotoma* sp.) contribuye con servicios ecosistémicos, es una fuente de proteína para pobladores del Centro-Norte de México, ha sido poco estudiada y se desconoce su uso como bioindicador. Esta tesis consta de dos capítulos, en el primero los objetivos fueron: a) caracterizar el hábitat de la rata de campo, b) identificar las variables del hábitat con las que se asocia la rata de campo y c) complementar la información con el conocimiento local. En el segundo capítulo los objetivos fueron: a) cuantificar las concentraciones de As y metales en el suelo superficial donde la rata construye sus madrigueras y b) determinar las concentraciones de As y metales en tejidos de la rata de campo (hígado, riñón y músculo). El hábitat se caracterizó en 44 sitios con madrigueras y 44 aleatorios, en los cuales se cuantificó; % de pendiente, altitud, exposición de la pendiente, número de plantas (maguey, nopal, cardenche, arbustos), cobertura de suelo y se encuestó a 21 cazadores-recolectores (C-R). Se obtuvo estadística descriptiva de la cobertura de suelo y de la densidad de plantas y se identificaron las variables del hábitat con las que la rata se asocia. Se recolectaron 44 muestras compuestas de suelo en los sitios de estudio y se capturaron 44 ejemplares de rata, las cuales se sacrificaron *in situ* para la extracción de tejidos. Las concentraciones de As y metales en suelo y tejido se determinaron en un espectrómetro de masas (ICP-MS). Para identificar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las concentraciones de As y metales en suelo y tejido de sitios mineros y no mineros, se realizaron pruebas de U Mann-Whitney, y para identificar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre cada muestra y por municipio, se utilizaron pruebas de Kruskal Wallis. La rata de campo construyó sus madrigueras en la base de magueyes y nopales en pendientes bajas (4%); sin embargo, el 47.6 % de los C-R aseguró que es más común encontrarlas en el nopal. La cobertura y densidad de arbustivas fueron

dominantes en los sitios con madrigueras, mientras que los sitios aleatorios se caracterizaron por cobertura de roca y densidad de arbustivas. Se encontró que la rata se asocia con la densidad de nopales y arbustivas, así como la cobertura de gramíneas y roca. Las concentraciones de As y metales fueron estadísticamente mayores en los sitios mineros, excepto para Fe. Noria de Ángeles tuvo las mayores concentraciones de As, Pánfilo Natera de Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn, y Charcas de Hg. No obstante, las concentraciones de Cd, Mn, Pb, y Zn en Pánfilo Natera, Pb y Zn en charcas; Mn y Pb en San Felipe y Mn en Ahualulco fueron mayores a los niveles de fondo geológico. De acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT-2004, CEQG y la Eco-SSL; Noria de Ángeles, Pánfilo Natera, Charcas y Ahualulco muestran contaminación por As. El hígado fue el tejido diana (tejido usado como referencia de la bioacumulación de un metal) para As, Cu, Fe y Mn, el riñón para Cd y Hg y el músculo para el Zinc. Las concentraciones de As y metales en hígado y músculo de sitios mineros y no mineros no mostraron diferencias significativas; no obstante, se encontraron diferencias en las concentraciones de Fe y Hg, las cuales fueron mayores en el riñón de los ejemplares recolectados en sitios no mineros. Las concentraciones de As y metales fueron estadísticamente diferentes en tejidos por municipio. Las concentraciones de Cd, Hg y Pb en ratas de campo muestreadas en Ahualulco, San Felipe, Charcas y Noria de Ángeles superaron los niveles de seguridad establecidos por la Unión Europea y el *Codex Alimentarius*. Los roedores son excelentes bioindicadores de las condiciones ambientales, además evidencian la presencia de estresores ambientales. Este estudio representa un aporte de información ecotoxicológica valiosa en México.

**Palabras clave:** Vegetación, madrigueras, *Neotoma*, bioindicador, As, metales, tejidos, suelo.

CHARACTERISTICS OF THE HABITAT AND EXPOSURE METALS OF THE  
WHITE-TOOTHED WOODRAT (*Neotoma* sp.) OF THE CENTRO-NORTE DE  
MÉXICO

Alma Delia Hernández Juárez, MC

Colegio de Postgraduados, 2018

**ABSTRACT**

The white-toothed woodrat (*Neotoma* sp.) contributes with ecosystem services, it is a source of protein for inhabitants of the north central Mexico, it has been little studied and its use as a bioindicator is unknown. This thesis consists of two chapters, in the first the objectives were: a) characterize the habitat of the white-toothed woodrat b) identify the habitat variables with which the white-toothed woodrat is associated and c) complement the information with local knowledge. In the second chapter, the objectives were: a) to quantify the concentrations of metals in the superficial soil where the rat builds its burrows and in the tissues of the white-toothed woodrat (liver, kidney and muscle). The habitat was characterized in 44 burrowing sites and 44 randomized sites, in which it was quantified; % slope, altitude, exposure of the slope, number of plants (agave, prickly-pear, cholla, shrubs), ground cover and 21 hunter-gatherers (H-G) were surveyed. Descriptive statistics of soil cover and plant density were obtained and the habitat variables with which the rat associates were identified. 44 composite soil samples were collected from the study sites and 44 white-toothed woodrat specimens were captured, which were sacrificed in situ for tissue extraction. The concentrations of As and metals in soil and tissues were determined in a mass spectrometer (ICP-MS). To identify significant differences ( $p < 0.05$ ) between the concentrations of As and metals in soils and tissues of the mining and non-mining sites, U Mann-Whitney tests were performed and to identify significant differences ( $p < 0.05$ ) between each sample and by municipality, Kruskal Wallis tests were used. The white-toothed woodrat its burrows at the base of agave and prickly-pear on low slopes (4%); however, 47.6% of the H-G said that it is more common to find them in the cactus.

Shrub cover and density were dominant at burrow sites, while random sites were characterized by rock cover and shrub density. It was found that the rat is associated with the density of prickly-pears and shrubs, as well as the cover of grasses and rock. Concentrations of As and metals were statistically higher in the mining sites, except for Fe. Noria de Ángeles had the highest concentrations of As, Pánfilo Natera of Cu, Cd, Fe, Mn, Pb and Zn, and Charcas de Hg. However, the concentrations of Cd, Mn, Pb and Zn in Pánfilo Natera and Charcas were higher than the geological background levels. According to NOM-147-SEMARNAT-2004, CEQG and Eco-SSL; Noria de Ángeles, Pánfilo Natera, Charcas and Ahualulco show contamination by As. The liver was the target tissue (tissue used as a reference for the bioaccumulation of a metal) for As, Cu, Fe and Mn, the kidney for Cd and Hg and the muscle for Zinc. The concentrations of As and metals in liver and muscle of the mining and non-mining sites did not show significant differences; however, differences were found in the concentrations of Fe and Hg, which were higher in the kidney of the specimens collected in non-mining sites. The concentrations of As and metals were statistically different in tissues by municipality. The concentrations of Cd, Hg and Pb in white-throated woodrat sampled in Ahualulco, San Felipe, Charcas and Noria de Ángeles exceeded the safety levels established by the European Union and the *Codex Alimentarius*. Rodents are excellent bioindicators of environmental conditions, and they also show the presence of environmental stressors. This study represents a contribution of valuable ecotoxicological information in Mexico.

**Keywords:** Vegetation, burrows, *Neotoma*, bioindicator, As, metals, tissues, soil.

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres:**

**Aniceto Hernández Hernández y Doricela Juárez Hernández**, porque siempre me han apoyado en las decisiones que he tomado, por su amor incondicional, por su confianza, por los valores que en mi han forjado y sobre todo por ser un ejemplo de vida.

### **A mi esposo.**

**Juan Ignacio Osorio Nicolás**, por ser un excelente ser humano, por su apoyo incondicional, por su paciencia, por su amor y sobre todo por esperarme para concluir una meta más en mi vida, por todo lo bueno que me has enseñado y por todos los momentos en lo que me has permitido estar contigo. ¡TE AMO!

**A mi hermanos y sobrinos, gracias por su amor y tolerancia.**

**¡GRACIAS!**

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por la fuerza y entendimiento para cumplir con una meta más en la vida.

Al **Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí**, por permitirme ser parte de su institución.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por la beca que me otorgó para continuar con mis estudios.

Al **Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula**, por ser mi consejero y por brindarme su apoyo constante.

Al **Dr. Guillermo Espinosa Reyes**, por su apoyo y valiosos comentarios.

Al **Dr. Genaro Olmos Oropeza**, por su colaboración y apoyo constante.

Al **Dr. César Cortez Romero**, por su colaboración en la realización de esta investigación.

Al **Lic. Miguel Ángel Espinosa**, por su apoyo para la realización de este proyecto de investigación.

Al **Dr. Víctor Manuel Ruiz Vera**, por su apoyo en la realización de este proyecto.

A la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)** y a la **Dirección General de Vida Silvestre (DGVS)**, por el permiso de colecta científica.

A la **Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT)** de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por permitirme realizar los análisis de muestras en sus laboratorios.

A la **Dra. Leticia Carrizales Yañez**, por apoyarme y brindarme su apoyo en la preparación de las muestras en el laboratorio.

A **mis amigos: Elizabeth, Lenin, Andrés, Rodo, Norma, Paty, Luis Carlos y Mauricio**. por brindarme su amistad, cariño y por compartir buenos y malos momentos.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
LITERATURA CITADA .....	3
<b>1. CAPITULO I CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT DE LA RATA DE CAMPO (<i>Neotoma</i> sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO. ....</b>	<b>5</b>
1.1. RESUMEN.....	5
1.2. ABSTRACT .....	7
1.3. INTRODUCCIÓN .....	9
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
1.4.1. Área de estudio .....	11
1.4.2. Caracterización de hábitat .....	12
1.4.3. Conocimiento empírico acerca de la rata de campo.....	13
1.4.4. Análisis estadísticos.....	13
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
1.6. CONCLUSIONES.....	25
1.7. LITERATURA CITADA.....	26
<b>2. CAPITULO II EXPOSICIÓN A METALES DE LA RATA DE CAMPO (<i>Neotoma</i> sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO. ....</b>	<b>30</b>
2.1. RESUMEN.....	30
2.2. ABSTRACT .....	32
2.3. INTRODUCCIÓN .....	34
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
2.4.1. Área de estudio .....	36
2.4.2. Selección de sitios de muestreo .....	37
2.4.3. Muestreo de suelo.....	39
2.4.4. Captura de rata de campo .....	40
2.4.5. Determinación de As y metales en suelo y tejido.....	41
2.4.6. Análisis estadísticos.....	42
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
2.5.1. As y metales en suelo superficial .....	43

2.5.2. As y metales en rata de campo .....	48
2.6. CONCLUSIONES.....	60
2.7. LITERATURA CITADA.....	61
2.8. CONCLUSIONES GENERALES .....	70
2.9. ANEXOS .....	72

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Categorías nominales de las variables cobertura del suelo (%) y densidad de plantas ( $\text{ha}^{-1}$ ) en el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) de los sitios con madrigueras y aleatorios que aportaron mayor proporción en el ACP. ....	14
Cuadro 1.2. Sitios donde se caracterizó el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) en el Centro-Norte de México. ....	15
Cuadro 1.3. Medias y desviaciones estándar de la densidad de plantas (individuos $\text{ha}^{-1}$ ) en sitios con madrigueras y aleatorios en el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México. ....	18
Cuadro 1.4. Medias y desviaciones estándar de los porcentajes de cobertura de suelo de los sitios con madrigueras y aleatorios en el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México. ....	19
Cuadro 1.5. Resultado del ACP de las variables del hábitat de los sitios con madrigueras (44 sitios) y aleatorios (44 sitios) en el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México. ....	20
Cuadro 2.1. Medias y desviaciones estándar de las concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de Arsénico y metales en suelo (superficial 10 cm) del hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) por municipio en el Centro-Norte de México y valores de referencia de fondo geológico (SGM, 2018), NOM-147-SEMARNAT-2004, la CEQG y la Eco-SSL. ....	47
Cuadro 2.2. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de As y metales en hígado de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) muestreadas en el Centro-Norte de México. ....	51
Cuadro 2.3. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de As y metales en riñón de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) muestreadas en el Centro-Norte de México. ....	51

Cuadro 2.4. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de As y metales en músculo de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) muestreadas en el Centro-Norte de México. ....	52
Cuadro 2.5. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de metales en tejido de roedores silvestres y en rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) muestreada en sitios mineros y no mineros (este estudio).....	55
Cuadro 2.6. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de metales en tejidos de rata de campo (este estudio), que de acuerdo con la Unión Europea y el <i>Codex Alimentarius</i> representan un riesgo para el consumo humano. ....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Estados y municipios en donde se caracterizó el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México.....	12
Figura 1.2. Sustrato en donde <i>Neotoma</i> sp. construye sus madrigueras en el Centro-Norte de México. ....	17
Figura 1.3. Densidad de nopal ha <sup>-1</sup> en sitios con madriguera y aleatorios en el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México. ....	18
Figura 1.4. Cobertura (%) de arbustivas y material leñoso en sitios con madriguera y aleatorios en el hábitat de la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México. ....	20
Figura 1.5. Representación dimensional del ACS para presencia de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) y las variables categóricas del hábitat del Centro-Norte de México. ..	22
Figura 1.6. Temporadas de caza de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) de acuerdo con los cazadores-recolectores del Centro-Norte de México. ....	23
Figura 1.7. Aspectos importantes para conservar las poblaciones de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México, de acuerdo a la población local. ....	24
Figura 2.1. Estados y municipios en donde se capturó la rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) en el Centro-Norte de México.....	37
Figura 2.2. Sitios mineros de captura de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) en el Centro-Norte de México. ....	38
Figura 2.3. Sitios no mineros de captura de rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) en el Centro-Norte de México. ....	38
Figura 2.4. Distribución de submuestras de suelo en formación tresbolillo. ....	39
Figura 2.5. Extracción de tejidos (hígado, riñón y músculo) para la determinación de As y metales en rata de campo ( <i>Neotoma</i> sp.) del Centro-Norte de México.....	41

Figura 2.6. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de Arsénico, Cobre, Cadmio, Hierro, Mercurio, Manganeso, Plomo y Zinc en el suelo (superficial 10 cm) de sitios mineros y no mineros donde habita la rata de campo (*Neotoma* sp.) en el Centro-Norte de México.

.....43

Figura 2.7. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de Arsénico y metales en hígado, riñón y músculo de rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México. ....49

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La rata de campo (*Neotoma* sp.) conocida también como rata magueyera o rata nopalera, se distribuye en gran parte de México. Es considerada una especie clave del ecosistema al brindar refugio para diversas especies de invertebrados (Jones *et al.*, 1994; Whitford y Steinberger, 2010) y contribuir en la regeneración de plantas mediante la dispersión de semillas (Schupp *et al.*, 2010; Espinosa-Reyes y Yeaton-Hawkins, 2011; Kluever *et al.*, 2016).

La rata de campo tiene una reproducción poliestral con un periodo de gestación de 30 días (Olivas, 2002). Su dieta constituye en un 90.2 % de plantas (*Agave* spp., *Prosopis* spp., *Opuntia* spp., y *Yucca* spp.) y frutos de cactáceas, el resto lo conforman los insectos (Rangel-Silva, 1987); no obstante; poco se conoce acerca de la influencia de la vegetación sobre los asentamientos de sus poblaciones, debido a que habitan en diversos ecosistemas (Edwards y Bradley, 2002). Por ello, es importante identificar las variables del hábitat con las que la rata de campo se asocia.

La rata de campo, además de desempeñar un papel importante en la dinámica del ecosistema, son presas de algunas aves y mamíferos, incluido el ser humano. Esta especie en el Centro-Norte de México es considerada como un manjar, pues es aprovechada por la población rural como fuente de alimento y comercio local (Olivas, 2002). Los habitantes de esta zona le atribuyen diversas propiedades alimenticias y la consideran libre de contaminantes, pues su alimentación se basa en el consumo de plantas.

Sin embargo, el crecimiento constante de las actividades humanas ha provocado la contaminación de aire, suelo, agua superficial y acuíferos, que impactan negativamente los ecosistemas donde se distribuye la fauna silvestre (Rosado *et al.*, 2007). Por ejemplo, la actividad minera emite elementos químicos (xenobióticos) como resultado del proceso de separación de metales; estos elementos se agregan al ambiente en cantidades importantes, amenazando la permanencia de los recursos naturales (Påhlsson, 1989; Talmage y Walton, 1991; Nolan y Shaikh, 1992; Lewis *et al.*, 2001; Krabbenhoft y

Sunderland, 2013). Una vez que los xenobióticos son liberados, éstos se bioacumulan en plantas e ingresan a la cadena trófica (Pouilly *et al.*, 2013).

La ecotoxicología estudia los efectos que los xenobióticos ejercen en flora y fauna de vida libre y sus poblaciones, comunidades y ecosistemas (Robinson y Thorn, 2005; Kolf-Clauw *et al.*, 2007; Giulio y Hinton, 2008). La evaluación de riesgo ecológico determina la probabilidad de cuales efectos adversos ocurran en receptores ecológicos como resultado de la exposición a los xenobióticos (Kendall, 2010). En las evaluaciones se han utilizado a los roedores (granívoros, herbívoros, insectívoros y omnívoros) por su capacidad de servir como indicadores del posible efecto de estos elementos a la salud humana (Hunter *et al.*, 1987; Ware, 1991; González *et al.*, 2008; Espinosa-Reyes *et al.*, 2010), evaluando los xenobióticos en sus metabolitos y tejidos (Ilizaliturri-Hernández *et al.*, 2009). La aportación de estas evaluaciones es la de generar una alerta sobre situaciones de riesgo y sugerir posibles causas y efectos (Espinosa-Reyes *et al.*, 2010).

En este estudio se seleccionó a *Neotoma sp.* como bioindicador a la exposición a contaminantes en el suelo y a que es aprovechada por habitantes rurales como fuente de alimento e ingresos económicos. Los objetivos de esta investigación fueron: a) caracterizar el hábitat de la rata de campo e identificar las variables que mayormente se asocian con su presencia y b) cuantificar las concentraciones de metales en el suelo, donde la rata construye sus madrigueras y en sus tejidos. La investigación se condujo en San Luis Potosí, Zacatecas y Guanajuato, los resultados de este estudio complementan el conocimiento sobre la preferencia de hábitat de la rata de campo (*Neotoma sp.*) y son la pauta para evaluaciones de riesgo.

## LITERATURA CITADA

- Edwards, C. W. and Bradley, R. D. 2002. Molecular systematics and historical phylogeography of the *Neotoma mexicana* species group. *Journal of Mammalogy*, 83 (1): 20-30.
- Espinosa-Reyes, G. y Yeaton-Hawkins, R.I. 2011. Vegetación leñosa y roedores en el sur del Desierto Chihuahuense. Editorial Académica Española. (ISBN 978-3-8454-8786-1) 83 p.
- Espinosa-Reyes, G., Torres-Dosal, A., Ilizaliturri, C., González-Mille, D., Díaz-Barriga, F., and Mejía-Saavedra, J. 2010. Wild rodents (*Dipodomys merriami*) used as biomonitors in contaminated mining sites. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 45 (1): 82-89.
- Giulio, R. T. D., and Hinton, D. E. (eds.) 2008. *The Toxicology of Fishes*. CRC Press. 1096 p.
- González, X. I., Aboal, J. R., Fernández, J. A., and Carballeira, A. 2008. Evaluation of some sources of variability in using small mammals as pollution biomonitors. *Chemosphere*, 71 (11): 2060-2067.
- Hunter, B. A., Johnson, M. S., and Thompson, D. J. 1987. Ecotoxicology of copper and cadmium in a contaminated grassland ecosystem. III. small mammals. *Journal of Applied Ecology*, 24 (2): 601-614.
- Ilizaliturri-Hernández, C. A., González-Mille, D., Pelallo, N. A., Domínguez, G., Mejía-Saavedra, J., Torres-Dosal, A., y Espinosa-Reyes, G. 2009. Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. *Interciencia*, 34 (10): 710-717.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., and Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69 (3): 373.
- Kendall, R. J. (Ed.) 2010. *Wildlife toxicology: emerging contaminant and biodiversity issues*. Boca Raton, FL: CRC Press. 335 p.
- Kluever, B. M., Gese, E. M., and Dempsey, S. J. 2016. The influence of wildlife water developments and vegetation on rodent abundance in the Great Basin Desert. *Journal of Mammalogy*, 97 (4): 1209-1218.
- Kolf-Clauw, M., Guénin, A., y López, M. P. 2007. Micromamíferos y metales pesados: biomonitorización del medio ambiente. *Observatorio Medioambiental*, 10: 19-37.
- Krabbenhoft, D. P., and Sunderland, E. M. 2013. Global change and mercury. *Science*, 341 (6153): 1457-1458.
- Lewis, R. J., Poppenga, W. R. and Dav, L. 2001. Lead toxicosis and trace element levels in wild birds and mammals at a firearms training facility. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41 (2): 208-214.
- Nolan, C. V., and Shaikh, Z. A. 1992. Lead nephrotoxicity and associated disorders: biochemical mechanisms. *Toxicology*, 73 (2): 127-146.

- Olivas, M. M. 2002. Características reproductivas de la rata magueyera (*Neotoma albigula*) en cautiverio. *Acta zoológica mexicana*, 86: 139-144.
- Påhlsson, A.-M. B. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47 (3): 287-319.
- Pouilly, M., Rejas, D., Pérez, T., Duprey, J.L., Molina, C. I., Hubas, C., and Guimarães, J.R. 2013. Trophic structure and mercury biomagnification in tropical fish assemblages, Iténez River, Bolivia. *PLOS ONE*, 8 (5):1-9.
- Rangel-Silva, M. G. 1987. Estudio sobre la producción de *Neotoma albigula* (Rata magueyera) en nopaleras de solar. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 66 p.
- Rosado, J. L., Ronquillo, D., Kordas, K., Rojas, O., Alatorre, J., Lopez, P., ... Stoltzfus, R. J. 2007. Arsenic exposure and cognitive performance in Mexican schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*, 115 (9):1371-1375.
- Robinson, L., and Thorn, I. 2005. Toxicology and ecotoxicology in chemical safety assessment. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. 159 p.
- Schupp, E. W., Jordano, P., and Gómez, J. M. 2010. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *The New Phytologist*, 188 (2): 333-353.
- Talmage, S. S., and Walton, B. T. 1991. Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 119: 47-145.
- Ware, G. W. (eds.) 1991. Reviews of environmental contamination and toxicology (Vol. 119). New York, NY: Springer New York. 175 p.
- Whitford, W. G., and Steinberger, Y. 2010. Pack rats (*Neotoma* spp.): Keystone ecological engineers? *Journal of Arid Environments*, 74 (11): 1450-1455.

# 1. CAPITULO I CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT DE LA RATA DE CAMPO (*Neotoma* sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO.

## 1.1. RESUMEN

La rata de campo (*Neotoma* sp.) se distribuye en las zonas áridas del centro de México y contribuye con diversos servicios ecosistémicos; no obstante, existe poca información sobre las variables de hábitat que mejor explican la presencia de *Neotoma* sp., ya que habita diversos ecosistemas. Los objetivos de este estudio fueron: a) caracterizar el hábitat de la rata de campo en sitios con madrigueras y aleatorios; b) identificar las variables del hábitat con las que se asocia la presencia de rata y c) complementar la información sobre las características de hábitat con el conocimiento local. El estudio se realizó de septiembre a diciembre de 2017 en San Luis Potosí, Zacatecas y Guanajuato. Mediante recorridos de campo se seleccionaron 44 sitios con presencia de madrigueras activas de rata de campo y 44 sitios aleatorios. En cada sitio se utilizó una parcela de muestreo de 20 m de diámetro para obtener; porcentaje de pendiente, altitud, exposición de la pendiente, número de plantas y cobertura de suelo. Finalmente, se encuestó a 21 Cazadores-Recolectores (C-R). Se obtuvo estadística descriptiva de la cobertura de suelo y de la densidad de plantas, posteriormente, para reducir la varianza de todas las variables que se registraron en la parcela, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) y la asociación gráfica de las variables identificadas en el ACP con la presencia de rata, se realizó con un Análisis de Correspondencias Simple (ACS) y de las encuestas realizadas se obtuvieron frecuencias y porcentajes de las variables. Se encontró que la mayoría de las madrigueras de la rata de campo se ubicaron en la base del maguey (40.4 %) y del nopal (36.4 %). El 47.6 % de los C-R aseguró que es más común encontrar las madrigueras de la rata en los nopales, el 33.3 % aseguran que, en el maguey; sin embargo, el 42.8 % de los C-R mencionan que aquéllas que construyen sus madrigueras en el maguey son más grandes. El 90 % de las madrigueras se ubicaron en terrenos con pendientes bajas (>4 %). La elevación media de los sitios con madrigueras y aleatorios fue de 2105±87.4 y 2104±87.4 m, respectivamente. La cobertura de arbustivas (36.1±17.5%) y la densidad de arbustivas (2085.6±1825 ha<sup>-1</sup>)

fueron dominantes en los sitios con madrigueras, mientras que los sitios aleatorios se caracterizaron por cobertura de roca ( $23.2 \pm 22.4$  %) y densidad de arbustivas ( $2150.6 \pm 2004.9$  ha<sup>-1</sup>). El ACS muestra que la rata se asocia con la densidad de nopales y arbustivas, así como con la cobertura de gramíneas, roca y suelo desnudo. El 40.9 % de los R-C aseguran que la abundancia de rata ha disminuido, 36.3 % aseguran que se ha mantenido y sólo el 22.7 % consideran que ha aumentado. Los C-R proponen que para conservar este recurso es importante dejar que la rata se reproduzca, establecer temporadas de caza y mantener la vegetación. Esta información contribuye al conocimiento del género *Neotoma*, puede considerarse para mejorar las condiciones del hábitat y establecer planes de manejo para esta especie.

**Palabras clave:** Cobertura, conocimiento local, densidad madrigueras, *Neotoma*.

# CHAPTER I. CHARACTERISTICS OF THE HABITAT OF WHITE-TOOTHED WOODRAT (*Neotoma* sp.) FROM THE CENTRO-NORTH OF MEXICO.

## 1.2. ABSTRACT

The white-toothed woodrat (*Neotoma* sp.) is distributed in the arid zones of central México and contributes to diverse ecosystem services; however, there is little information on the habitat variables that best explain the presence of *Neotoma* sp., since it inhabits diverse ecosystems. The objectives of this study were: a) to characterize the habitat of the white-toothed woodrat in burrows and random sites; b) identify habitat variables with which the presence of white-toothed woodrat is associated and c) complement information on habitat characteristics with local knowledge. The study was conducted from september to december 2017 in San Luis Potosí, Zacatecas and Guanajuato. Through field trips, 44 sites were selected with the presence of active white-toothed woodrat burrows and 44 random sites. At each site, a 20 m diameter sampling plot was used to obtain; percentage of slope, altitude, exposure of the slope, number of plants and land cover. Finally, 21 hunters-gatherers (H-G) were surveyed. Descriptive statistics of soil cover and plant density were obtained, subsequently, to reduce the variance of all the variables that were recorded in the plot, a Principal Component Analysis (PCA) and the graphic association of the variables identified in the ACP with the presence of white-toothed woodrat, was carried out with a Simple Correspondence Analysis (ACS) and from the surveys carried out frequencies and percentages of the variables were obtained. It was found that most of the burrows of the white-toothed woodrat were located at the base of the maguey (40.4%) and nopal (36.4%). 47.6% of the H-G stated that it is more common to find the burrows of the white-toothed woodrat in prickly-pear, 33.3 % say that, in the agave; however, 42.8 % of the H-G mention that the rats that build their burrows in the agave are bigger. 90 % of burrows were located on land with low slopes (> 4 %), the mean elevation of the burrowing and random sites was  $2105 \pm 87.4$  and  $2104 \pm 87.4$  m, respectively. Shrub cover ( $36.1 \pm 17.5$  %) and shrub density ( $2085.6 \pm 1825$  ha<sup>-1</sup>) were dominant at burrow sites, while random sites were characterized by rock cover ( $23.2 \pm 22.4$  %) and density of shrubs ( $2150.6 \pm 2004.9$  ha<sup>-1</sup>). The ACS shows that the rat is associated with

the density of prickly-pear and shrubs, as well as with the cover of grasses, rock and bare soil. 40.9 % of H-G say that rat abundance has decreased, 36.3 % say it has been maintained and only 22.7 % consider that it has increased. They consider that to conserve this resource it is important to let the white-toothed woodrat reproduce, establish hunting seasons and maintain vegetation. This information contributes to the knowledge of the *Neotoma* sp. genus, it can be considered to improve habitat conditions and to establish management plans for this species.

.

**Keywords:** Coverage, local knowledge, density burrows, *Neotoma*

### 1.3. INTRODUCCIÓN

La vegetación juega un papel importante en la estructura del ecosistema pues brinda las condiciones ambientales para la supervivencia y distribución de los individuos (Villanueva-Hernández *et al.*, 2017). La vegetación y algunos elementos abióticos que sustentan a una especie, conforman su hábitat, el cual proporciona espacios amplios para especies que así lo demanden y otras, como los roedores, seleccionan hábitats específicos debido a su ámbito hogareño reducido (Happold y Happold, 1990; Timbuka y Kabigumila 2006).

Los roedores conforman al grupo de mamíferos más grande del mundo, en México se conocen alrededor de 245 especies (Ceballos y Arroyo, 2012). El género *Neotoma* está compuesto por cuatro subgéneros (*Teonopus*, *Hodomys*, *Teonoma* y *Neotoma*), este último consta de cuatro especies (*albigula*, *floridana*, *lepida* y *mexicana*) (Hall, 1981) y más recientemente, *N. leucodon*, la cual, mediante una investigación de la secuenciación del citocromo-b fue separada del grupo de *N. albigula* (Edwards *et al.*, 2001).

En las comunidades rurales de México, los roedores han sido utilizados con diversos propósitos (Tapia, 2014). Específicamente, en la zona del Centro-Norte de México, la rata de campo se consume para satisfacer el déficit de proteína de los habitantes (Rangel-Silva 1987); además, representa una alternativa de ingresos económicos (Martínez-Calderas, 2015). Sin embargo, la mayoría de los roedores pasan desapercibidos y la información además de escasa está dispersa (Cervantes y Ballesteros, 2012). En la mayoría de los casos sólo se cuenta con el conocimiento empírico, el cual debe ser sustentado con investigación científica.

Las especies que se distribuyen mayormente en el Centro-Norte de México son *N. leucodon* y *N. mexicana*. La distribución de *N. leucodon* inicia desde el sudeste de Colorado, el este de Nuevo México, el oeste de Oklahoma y Texas (E.E. U.U.), hacia el sur a través de Chihuahua y Coahuila (México), hacia el centro de México hasta Guanajuato y Querétaro (Musser y Carleton 2005; Martínez-Calderas *et al.*, 2015) y la distribución de *N. mexicana* comienza desde el sureste de Utah y el centro de Colorado, E.E.U.U., desde el sur a oeste y el interior de México (Musser y Carleton 2005).

La rata de campo es de hábitos solitarios y tiene una reproducción poliestral (Olivas, 2002), es ecológicamente importante, dispersa semillas (Schupp *et al.*, 2010) y regenera las comunidades vegetales (Nathan y Muller, 2000), asimismo las comunidades vegetales permiten el establecimiento de diversas poblaciones de roedores (Riojas-López, 2012). Además, las madrigueras de la rata mejoran la infiltración del agua y permiten la mineralización del nitrógeno y son el refugio de artrópodos (Eldridge *et al.*, 2009; Whitford y Steinberger, 2010).

*N. leucodon* se asocia a matorrales desérticos (Edwards *et al.*, 2001); sin embargo, en otros estudios, *N. leucodon* y *N. mexicana* no prefieren algún tipo de vegetación en específico (Edwards *et al.*, 2002; Markovchick-Nicholls *et al.*, 2008; Villanueva-Hernández *et al.*, 2017). A diferencia, *N. lepida* requiere hábitats rocosos (Cameron y Rainey, 1972). Ante tales diferencias, se requiere complementar el conocimiento relacionado con la selección de la vegetación por las especies del género *Neotoma*.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) caracterizar el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) en sitios con madrigueras y sitios aleatorios; 2) determinar las variables del hábitat con las que se asocia la rata de campo y 3) complementar la información sobre las características de hábitat con el conocimiento local. Esta información complementa el conocimiento acerca del género *Neotoma*, puede considerarse para mejorar las condiciones del hábitat y establecer planes de manejo para esta especie.

## 1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.4.1. Área de estudio

Este estudio se realizó en el Centro-Norte de México en localidades de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Guanajuato. En San Luis Potosí se desarrolló en el Cañón de Laja y Cerro Gordo en el municipio de Charcas, Yoliatl en el municipio de Villa de Ramos y El Arenal en Ahualulco. En Zacatecas se incluyó a La unión de San Antonio del municipio de General Pánfilo Natera, La Trinidad en el municipio de Pinos y en la zona de jales en Noria de Ángeles. En Guanajuato en Emiliano Zapata del municipio de San Felipe (Figura 2.1).

La región de estudio se ubica en las coordenadas 21° 37' a 23° 26' N y de 100° 77' a 102° 25' O. Esta zona se caracteriza por la presencia de serranías, lomeríos y llanuras, con altitudes de 1,000 a 2,600 m (Ferrusquía-Villafranca, 1993). Predomina el clima seco templado (BS0 kw) con lluvias en el verano. En Charcas, Villa de Ramos, Ahualulco, Pánfilo Natera, Pinos y Noria de Ángeles tienen una precipitación que va de 200 mm hasta 600 mm al año, mientras que San Felipe, Guanajuato tiene una precipitación de 300 a 900 mm al año (INEGI, 2005). En el área de estudio, existen temperaturas medias del mes más cálido entre 12 y 18 °C y el mes más frío entre -3 y 18 °C (García, 2003; Pineda-Martínez, 2005).

Las comunidades vegetales más comunes en el área de estudio son los matorrales crasicaules, rosetófilos y micrófilos (González-Elizondo *et al.*, 2012). Las especies vegetales que predominan en el matorral crasicaule son del género *Opuntia*, entre ellas: *Opuntia leucotricha*, *O. streptacantha*, y especies de arbustos como: *Dalea tuberculata*, *Jatropha dioica*, *Mimosa aculeaticarpa*. En el matorral desértico micrófilo se encuentra, *Larrea tridentata*, *Porthenium incanum*, *Prosopis laevigata*, *Zinnia acerosa*. El matorral rosetófilo está dominado por *Agave lechuguilla*, *Dasyllirion acotriche*, *Yucca carnerosana*, *Y. filifera* y *Salvia ballotaeflora* (Giménez de Azcárate y González, 2011).

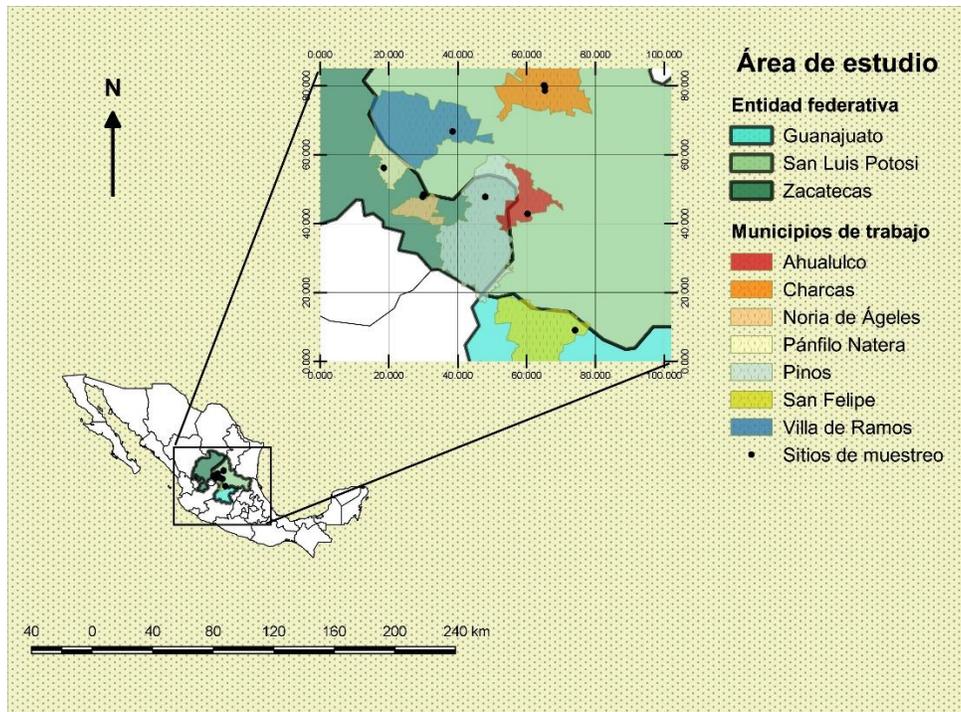


Figura 1.1. Estados y municipios en donde se caracterizó el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

#### 1.4.2. Caracterización de hábitat

El hábitat de la rata de campo se caracterizó en parcelas circulares de 20 m de diámetro (Solís y Gutiérrez, 1990) considerando las madrigueras activas como centro y en sitios aleatorios. Las madrigueras se localizaron con el apoyo de cazadores locales mediante recorridos de campo y se consideró como una madriguera activa aquellas donde el material de construcción se encontró acomodado, con corredores libres de vegetación, y presencia de nopal y maguey roído. El muestreo de madrigueras activas consistió en seleccionar aquellas que mantuvieran una distancia de al menos 50 m entre una y otra. Se evaluó un sitio aleatorio por cada sitio con madriguera activa, éste se estableció al azar considerando distancias de 50, 100, 150 o 200 m en dirección Norte, Sur, Este, Oeste tomando en cuenta el ámbito hogareño de 50 m para *N. magister* (Hornsby 2005) y el área de actividad de *N. fuscipes*, la cual de acuerdo a Innes *et al.*, (2009) se restringe al área central de su madriguera. Asimismo, Cranford (1977) reportó que el ámbito hogareño de los machos y hembras de *N. fuscipes* fue de 2289 m<sup>2</sup> y 1924 m<sup>2</sup>, respectivamente.

Los sitios con madrigueras y aleatorios fueron georreferenciados con un Sistema de Posición Global (GPS Garmin Etrex 10) y en ellos se evaluaron las siguientes variables: a) elevación, b) pendiente (%) (clinómetro Suunto PM-5/360 PC), c) exposición de la pendiente (brújula Brunton 5007), d) sustrato (planta en donde se construye la madriguera), e) número de nopales (*Opuntia* spp.), cardenches (*Cylindropuntia* spp.), magueyes (*Agave* spp.), palmas (*Yucca* spp.) y arbustivas, así como la cobertura de suelo. Para cuantificar la cobertura del suelo en las categorías de: arbustiva, gramíneas, herbáceas, suelo desnudo, material leñoso y roca, se usaron dos líneas (Canfield, 1941) de 20 m, cada una de ellas dividida en 40 secciones de intersección (cada 50 cm).

#### **1.4.3. Conocimiento empírico acerca de la rata de campo**

Para conocer la percepción de los cazadores-recolectores (C-R) acerca del uso del hábitat por la rata de campo, de su abundancia y algunas acciones que ellos consideran llevar a cabo para conservar sus poblaciones, se les aplicaron encuestas mediante la metodología bola de nieve, la cual consiste en que a cada persona que ha sido encuestada se le solicita que recomiende a otras personas para ser encuestadas (Ledesma *et al.*, 2002) (Anexo 3).

#### **1.4.4. Análisis estadísticos**

A la información de las variables del hábitat de la rata de campo (cobertura del suelo y densidad de vegetación) se le calculó su estadística descriptiva (medias y desviaciones estándar). Como los valores de la cobertura de suelo y de la densidad de plantas no cumplieron con los supuestos de normalidad, se realizó una prueba no paramétrica de U Mann Whitney para comparar los sitios con madrigueras con los aleatorios. Para disminuir la varianza en el conjunto de variables independientes (Categorías de la cobertura de suelo, densidad de plantas, elevación, porcentaje de pendiente y exposición de la pendiente) se realizó un ACP en el software R v. 3.4.3 (Guerrero, 2011; R Core Team, 2013). La asociación gráfica de la presencia de las madrigueras con las variables que resultaron del ACP, se obtuvo con un Análisis de Correspondencia Simple (ACS) (Ledesma, 2008) en el software Statistica v. 13.3 (2017); para ello, las variables ordinales

se convirtieron a variables nominales y se categorizaron (Cuadro 1.1), en todos los casos se consideró un intervalo de confianza del 95 % y un  $\alpha=0.05$ . Finalmente, las frecuencias y porcentajes de las variables incluidas en las encuestas se obtuvieron en Microsoft Excel 2016.

Cuadro 1.1. Categorías nominales de las variables cobertura del suelo (%) y densidad de plantas ( $\text{ha}^{-1}$ ) en el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) de los sitios con madrigueras y aleatorios que aportaron mayor proporción en el ACP.

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>	<b>Clave</b>
<b>Arbustiva</b>		
Muy baja	0-17.5	ArbMB
Baja	17.6-28.8	ArbBaj
Media	28.8-40	ArbMed
Alta	40.1-67.5	ArbAlt
<b>Suelo desnudo</b>		
Muy bajo	0-15	SDMB
Bajo	16-31.3	SDBaj
Medio	31.3-43.8	SDMed
Alto	43.8-63.8	SDAlt
<b>Roca</b>		
Muy baja	0-16.5	RoMB
Baja	16.6-32.5	RoBaj
Media	32.6-47.5	RoMed
Alta	47.6-68.7	RoAlt
<b>Gramíneas</b>		
Muy baja	0-15	PasMB
Baja	16-31.3	PasBaj
Media	31.3-46.3	PasMed
Alta	46.3-67.5	PasAlt
<b>Densidad de nopal</b>		
Baja	0-820	NopBaj
Media	821-1640	NopMed
Alta	1641-2460	NopAlt
<b>Densidad arbustiva</b>		
Muy baja	0-2000	DArbMB
Baja	2001-3500	DArbBaj
Media	3501-5500	DArbMed
Alta	5501-7500	DArbAlt

ArbMB=Cobertura arbustiva muy baja, ArbBaj= cobertura arbustiva baja, ArbMed= cobertura arbustiva media, ArbAlt= cobertura arbustiva alta, SDMB= cobertura de suelo desnudo muy bajo, SDBaj= cobertura de suelo desnudo bajo, SDMed= cobertura de suelo desnudo medio, SDAlt= cobertura de suelo desnudo alto, RoMB= cobertura de roca muy baja, RoBaj= cobertura de roca baja, RoMed= cobertura de roca media, RoAlt= cobertura de roca alta, PasMB= cobertura de gramíneas muy baja, PasBaj= cobertura de gramíneas baja, PasMed= cobertura de gramíneas media, PasAlt= cobertura de gramíneas alta, NopBaj= densidad de nopal  $\text{ha}^{-1}$  baja, NopMed= densidad de nopal  $\text{ha}^{-1}$  media, NopAlt= densidad de nopal  $\text{ha}^{-1}$  alta, DArbMB= densidad arbustiva  $\text{ha}^{-1}$  muy baja, DArbBaj= densidad arbustiva  $\text{ha}^{-1}$  baja, DArbMed= densidad arbustiva  $\text{ha}^{-1}$  media, DArbAlt= densidad arbustiva  $\text{ha}^{-1}$  alta.

## 1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Centro-Norte de México se caracterizó el hábitat de la rata de campo en 88 sitios (Cuadro 1.2) durante septiembre-diciembre de 2017. Las madrigueras se localizaron a una altitud promedio de  $2105 \pm 87.38$  m., tal como las que se reportan para su área de distribución en el Centro-Norte de México (1700-2100 m) (Martínez-Calderas *et al.*, 2015). En contraste con las que se reportan en el centro de Durango (2300-2310 m) (Villanueva-Hernández *et al.*, 2017).

Las madrigueras de rata de campo se ubicaron en terrenos con una pendiente promedio de 4 % y solo una se ubicó en un sitio con pendiente de 11 %. Parece ser que la rata de campo establece sus madrigueras en terrenos planos, pues los resultados de este estudio y los reportados por Martínez-Calderas *et al.* (2015), así lo indican. Por el contrario, *N. fuscipes* construye sus madrigueras en sitios con una pendiente de hasta 35 % y a medida que ésta aumenta la probabilidad de encontrar una madriguera es de un 15 % (Innes *et al.*, 2007). Este comportamiento se atribuye a que la rata de campo selecciona sitios con un mejor drenaje para construir sus madrigueras (Vestal, 1938). Sin embargo, se ha demostrado que las madrigueras en pendientes pronunciadas sufren mayor daño por clima y depredadores (Slowik, 2015).

Cuadro 1.2. Sitios donde se caracterizó el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) en el Centro-Norte de México.

Estado	Municipio	Localidad	Sitios con Madrigueras activas	Sitios Aleatorias
San Luis Potosí	Charcas	Cañón de Laja	5	5
		Cerro Gordo	5	5
	Villa de Ramos	El Arenal	5	5
		Yoliatl	5	5
Zacatecas	Noria de Ángeles	Los Jales	9	9
		La Unión de San Antonio	5	5
	Natera			
	Pinos	La Trinidad	5	5
Guanajuato	San Felipe	Emiliano Zapata	5	5
		Total de parcelas evaluadas	44	44

En este estudio la exposición de la pendiente no representó un componente clave del hábitat para el establecimiento de las madrigueras, tampoco ocurrió una preferencia para ello por alguna exposición; no obstante, 12 y 10 madrigueras se encontraron en exposiciones Noreste (NE) y Noroeste (NO), respectivamente. Además, se identificó que la mayoría de las madrigueras se ubicaron en la base de magueyes (40.9%) y nopales (36.4 %). Por su parte el 47.6 % de los C-R mencionaron que la rata de campo construye sus madrigueras en el nopal y el 33.3 % aseguran que en el maguey (Figura 1. 2); sin embargo, el 42.8 % de los C-R concuerdan que las ratas que construyen sus madrigueras en el maguey son más grandes. En Mapimí, Durango *N. leucodon* construye sus madrigueras próximas a los nopales, a una distancia promedio de 4.18 m. Esta cercanía al nopal, principal componente de la dieta de la rata, impide encuentros antagónicos intra-específicos (De Haro y Martínez-Gutiérrez, 2017). Lo mismo ocurre con *N. fuscipes*, la cual construye sus madrigueras en árboles como el roble negro (*Quercus kelloggii*) lo que le permite tener acceso a su alimento y minimizar el gasto energético por desplazamiento (Atsatt y Ingram, 1983).

En Arizona, *N. albigula* alcanzó sus poblaciones más altas en sitios donde abundan los nopales aun cuando no hubo cobertura de arbustos e incluso en praderas abiertas (Spencer y Spencer, 1941); no obstante, este comportamiento no es característico del género, ya que, *N. magister*, *N. lepida* y *N. cinerea* seleccionan afloramientos rocosos como madrigueras siempre y cuando se encuentren bajo cubierta de dosel que brinde protección contra la depredación aviar (Cameron y Rainey, 1972; Moses y Millar, 1992; Castleberry, 2008; Lombardi *et al.*, 2017). Sin duda, el éxito de supervivencia de esta especie se puede atribuir a su gama alimenticia, a su adaptabilidad a ecosistemas diversos y a la habilidad para construir sus madrigueras haciendo uso de los materiales de construcción disponibles en su hábitat.

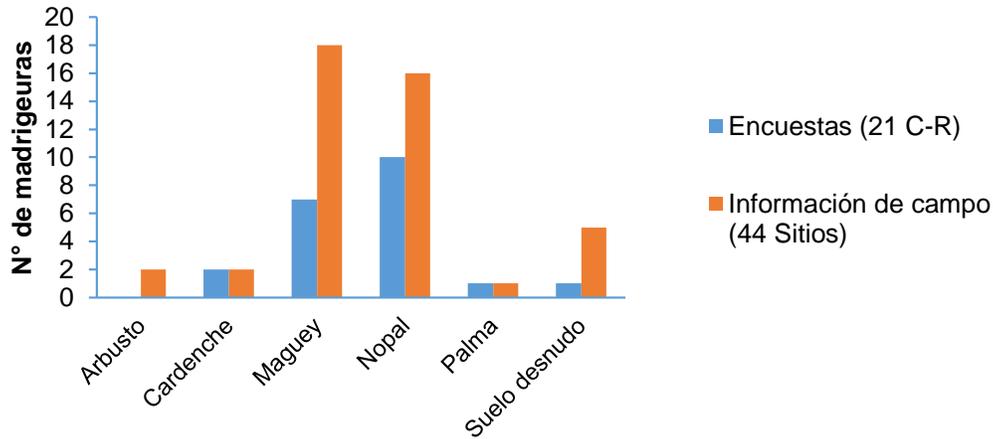


Figura 1.2. Sustrato en donde *Neotoma* sp. construye sus madrigueras en el Centro-Norte de México.

La estadística descriptiva de la densidad de la vegetación en sitios con madrigueras sugiere que la rata de campo está relacionada con las arbustivas, pues los sitios con madrigueras y aleatorios se caracterizaron por una dominancia de arbustivas (Cuadro 1.3). Similarmente, *N. fuscipes riparia* se correlaciona positivamente con la densidad de vegetación, pues construye sus madrigueras bajo la cubierta de matorrales (Gerber *et al.*, 2003). En contraste, los reportes para California y Oregón mencionan que aun cuando la densidad de arbustos es un componente importante del microhábitat, éste no determina la ubicación de las madrigueras de *N. fuscipes* (Innes *et al.*, 2007). Sin embargo, se podría decir que el nopal si es un componente importante, pues en este estudio se identificaron diferencias estadísticamente significativas en la densidad de nopal (*Opuntia* sp.), el cual fue mayor en los sitios con madrigueras (Figura 1.3). Es evidente que este género utiliza diversos componentes de su hábitat, pero los patrones de selección de hábitat se desconocen.

Cuadro 1.3. Medias y desviaciones estándar de la densidad de plantas (individuos ha<sup>-1</sup>) en sitios con madrigueras y aleatorios en el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

Individuos ha <sup>-1</sup>	Sitio	
	Madriguera (n=44)	Aleatorio (n=44)
Arbustivas	2085.6 ± 1825	2156.6 ± 2004.9
Magüey	740.1 ± 899	263.3 ± 362.3
Nopal	590.3 ± 473.1	413 ± 563.1
Cardenche	102 ± 133.9	122.2 ± 154.7
Palmas	28.9 ± 67.9	20.3 ± 47.1

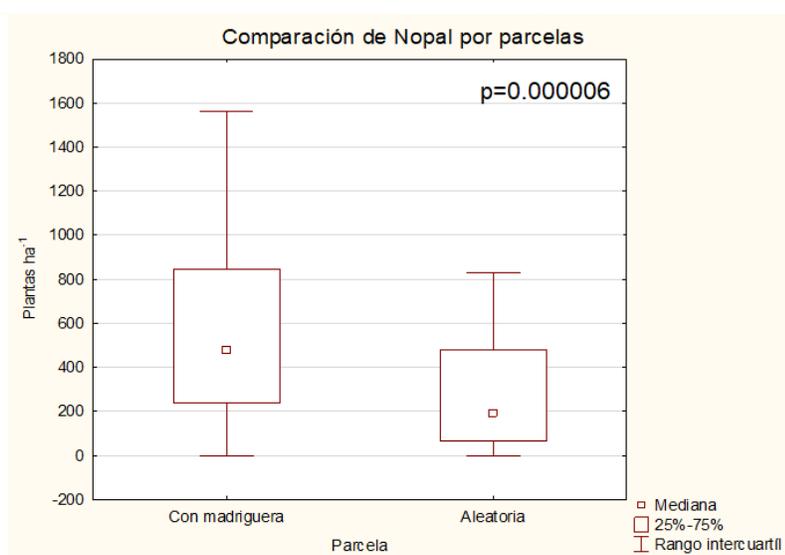


Figura 1.3. Densidad de nopal ha<sup>-1</sup> en sitios con madriguera y aleatorios en el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

En los sitios con madrigueras el porcentaje de la cobertura arbustiva y material leñoso dominó estos sitios (Cuadro 1.4), los cuales mostraron diferencias estadísticamente significativas (Figura 1.4). Evidentemente la presencia de *Neotoma* sp. se relaciona con la cobertura de arbustos que le brinda protección contra depredadores y el clima; por ejemplo *N. fuscipes* es abundante en sitios con cobertura de dosel densa, esta cobertura mejora las condiciones de humedad y temperatura que demanda esta especie para su supervivencia (Linsdale y Tevis, 1956; Sakai y Noon, 1993; Slowik, 2015). De forma similar, *N. cinerea* se relaciona cercanamente con sitios de cobertura provenientes de

coníferas mixtas, escobas de muérdago (*Viscum* spp.) y troncos sobre la superficie del suelo (Lehmkuhl *et al.*, 2006). Por el contrario, los reportes para *Neotoma* spp. no indican una asociación con la cobertura de plantas (Markovchick-Nicholls *et al.*, 2008).

La relación de la cobertura del componente arbustivo y la presencia de la rata, puede atribuirse a que los arbustos le brindan el material de construcción para la protección de la madriguera, ya que en ellas anidan, descansan, almacenan alimento y son el refugio de otras especies de invertebrados. Para cubrir la madriguera, la rata de campo forma montículos de material vegetal seco, ramas de arbustos y cactus con espinas, tal como lo hace *N. fuscipes* y *N. lepida*, las cuales, para construir sus madrigueras, utilizan esquejes, palos y corteza (Cameron y Rainey, 1972; Fargo y Laudenslayer, 1999). Aunque la información de este estudio muestra que las madrigueras de rata de campo se encuentran en sitios con cobertura de arbustivas y material leñoso, así como la densidad de nopal a diferencia de los sitios aleatorios, es necesario investigar sobre las características específicas del hábitat en donde *Neotoma* sp. construye sus madrigueras, considerando diferentes niveles de conservación de los ecosistemas.

Cuadro 1.4. Medias y desviaciones estándar de los porcentajes de cobertura de suelo de los sitios con madrigueras y aleatorios en el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

Cobertura de suelo (%)	Sitio	
	Madriguera (n=44)	Aleatorio (n=44)
Arbustivas	36.1 ± 17.5	23.1 ± 16
Suelo desnudo	18.6 ± 16.1	19.3 ± 19
Gramíneas	13.4 ± 13.7	18.6 ± 18
Roca	13.6 ± 13.2	23.2 ± 22.4
Herbáceas	9.9 ± 15	14.2 ± 19.3
Material leñoso	8.4 ± 5.6	1.5 ± 2.6

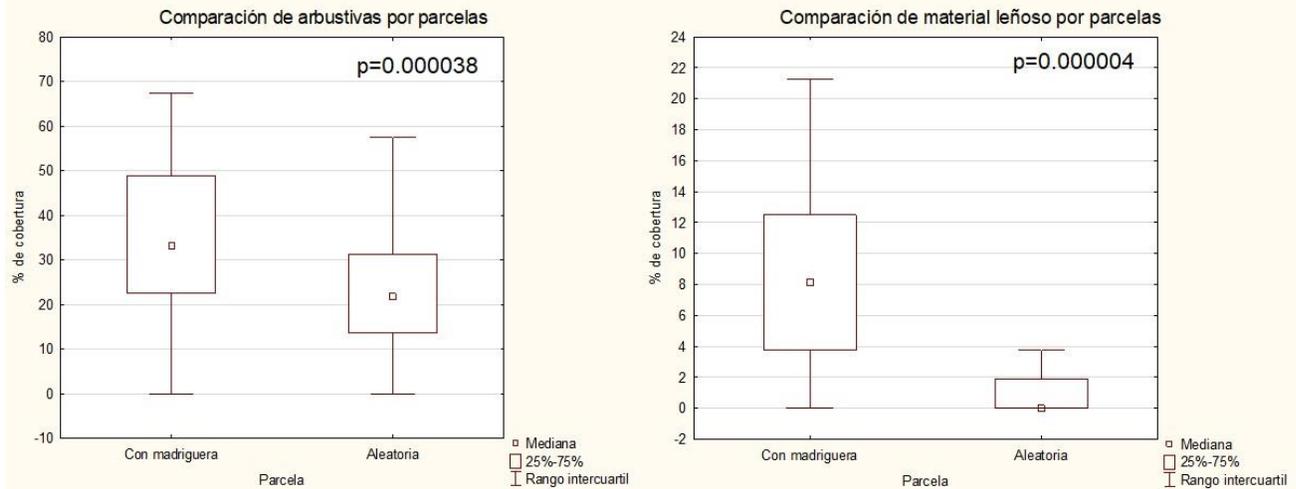


Figura 1.4. Cobertura (%) de arbustivas y material leñoso en sitios con madriguera y aleatorios en el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

El ACP mostró que, de las 14 variables evaluadas en el hábitat de la rata de campo, sólo seis explican en mayor proporción el fenómeno bajo estudios (Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5. Resultado del ACP de las variables del hábitat de los sitios con madrigueras (44 sitios) y aleatorios (44 sitios) en el hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3
ALTITUD	0.304455671	0.23609658	-0.164989577
COB.ARBU	0.063943447	-0.53507289*	0.214275745
COB.GRAMIN	-0.003168382	0.28991564	0.489514835
COB.MATLE	0.061024985	-0.35661296	-0.294627952
COB.PAST	-0.084694828	0.20167343	-0.566381664*
COB.ROCA	-0.407655307*	0.23752686	0.008612909
COB.SUELDES	0.443735538*	-0.0717734	-0.096911284
DENS.ARBU	0.409532825*	-0.05968349	-0.140436398
DENS.CARDE	0.358915966	0.16260053	0.10450776
DENS.MAGUEY	-0.250619892	-0.35365607	-0.071706295
DENS.NOPAL	-0.025712615	-0.36960736*	0.31216575
DENS.PALMAS	-0.169901706	-0.20797246	-0.370031469
PENDIENTE	-0.374634137	0.09774003	-0.00479403
Importancia de los componentes	Componente 1	Componente 2	Componente 3

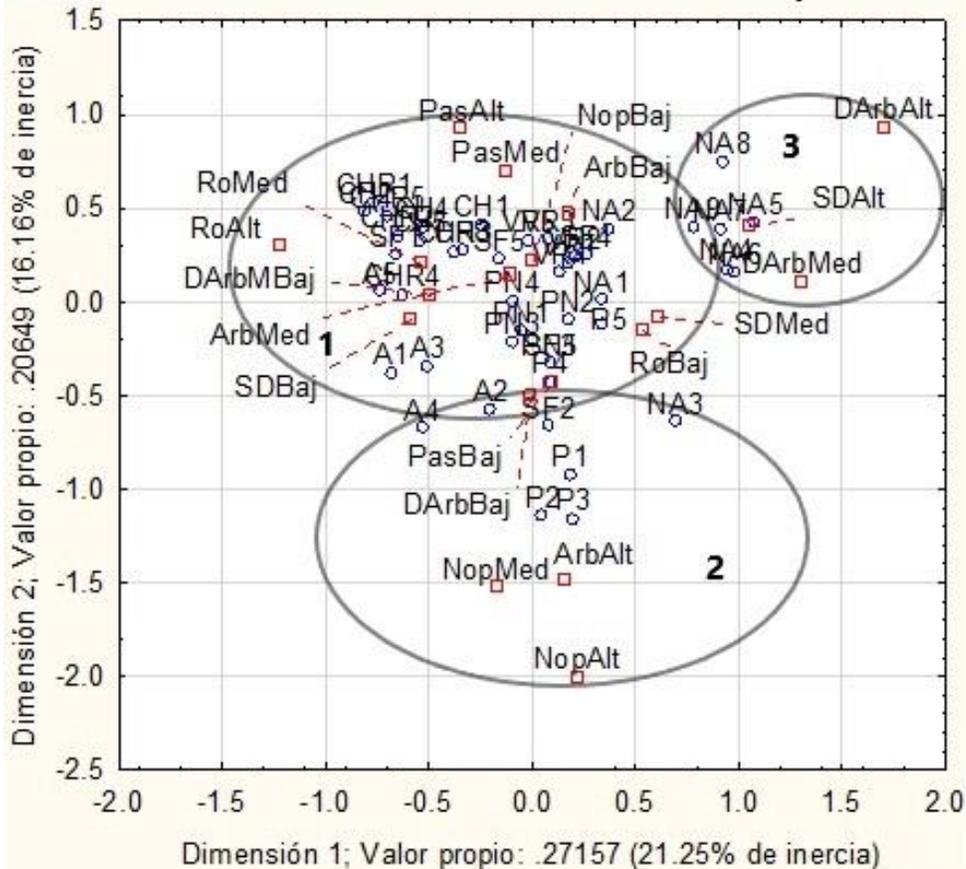
Desviación estándar	1.7429231	1.5177777	1.2400455
Proporción de la varianza	0.2336755	0.1772038	0.1182856
Proporción acumulada	0.2336755	0.4108792	0.5291649

COB.ARBUS=Cobertura de arbustivas (%), COB.GRAMIN= Cobertura de gramíneas (%), COB.MATLE= Cobertura de material leñoso (%), COB.PAST= Cobertura de pasto (%), COB.ROCA=Cobertura de roca (%), COB.SUELDES= Cobertura de suelo desnudo (%), DENS.ARBUS= Densidad de arbustivas ha<sup>-1</sup>, DENS.CARDE= Densidad de cardenches ha<sup>-1</sup>, DENS.MAGUEY= Densidad de maguey ha<sup>-1</sup>, DENS.NOPAL= Densidad de nopal ha<sup>-1</sup>, DENS.PALMAS= Densidad de palmas ha<sup>-1</sup>. \* Variables que explican la mayor proporción de la varianza en cada componente.

El ACS mostró una asociación gráfica de las variables que resultaron del ACP con la presencia de las madrigueras en el área de estudio. Se identificó la conformación de tres grupos (asociación de la rata de campo con las variables categóricas evaluadas en el hábitat), los cuales se relacionan con una inercia que explicó 37.53 % (Figura 1.5).

Los grupos uno y tres muestran que la rata de campo se asociada con la densidad y cobertura de arbustivas, cobertura de gramíneas, cobertura de roca, densidad de nopal y suelo desnudo. Tal como sucede *N. albigula* la cual se asocia principalmente con la presencia de arbustos (*Juniperus deppeana*, *Rhus trilobata*, *Garrya wrightii*) (Turkowski y Watkins, 1976; Hoffmeister, 1986). No obstante, se ha mencionado que *N. albigula* y *Neotoma leucodon* se relacionan con la presencia de nopales (*Opuntia* spp.), los cuales son una fuente de alimento y agua, además les brinda protección contra depredadores durante el forrajeo (Spencer y Spencer, 1941; Olsen, 1976) independientemente de su densidad (De Haro y Martínez-Gutiérrez, 2017; Villanueva-Hernández *et al.*, 2017).

Es evidente que la rata de campo selecciona los componentes de sus hábitats para asegurar la cercanía a su principal fuente alimenticia (*Opuntia* spp.) y a una diversidad de alimento proveniente de las arbustivas (Castleberry, 2008; Lombardi, *et al.*, 2017; Villanueva-Hernández *et al.*, 2017). Las gramíneas son un componente importante, pues ante una escasez de su principal fuente de alimento, estas son importantes como un sustituto alimenticio para la rata de campo (Spencer y Spencer, 1941). La cobertura de suelo desnudo, quizá no esté relacionada estrechamente con la presencia de rata de campo en el hábitat; sin embargo, esta variable podría ser un indicador de las perturbaciones humanas como la ganadería y de los efectos erosivos provocados por el viento y la lluvia.



○ Sitios con madrigueras    □ variables del hábitat; DArbMB= densidad arbustiva ha<sup>-1</sup> muy baja, DArbBaj= densidad arbustiva ha<sup>-1</sup> baja, DArbMed= densidad arbustiva ha<sup>-1</sup> media, DArbAlt= densidad arbustiva ha<sup>-1</sup> alta, ArbMed= cobertura arbustiva media, ArbBaj= cobertura arbustiva baja, ArbAlt= cobertura arbustiva alta, RoBaj= cobertura de roca baja, RoMed= cobertura de roca media, RoAlt= cobertura de roca alta, PasBaj= cobertura de gramíneas baja, PasMed= cobertura de gramíneas media, PasAlt= cobertura de gramíneas alta, NopBaj= densidad de nopal ha<sup>-1</sup> baja, NopMed= densidad de nopal ha<sup>-1</sup> media, SDBaj= cobertura de suelo desnudo bajo, SDMed= cobertura de suelo desnudo medio, SDAIt= cobertura de suelo desnudo alto.

Figura 1.5. Representación dimensional del ACS para presencia de rata de campo (*Neotoma* sp.) y las variables categóricas del hábitat del Centro-Norte de México.

El 66.6 % de los C-R mencionaron que la rata de campo basa su alimentación en la ingesta de nopal rastrero (*Opuntia rastrera*), nopal cardón (*Opuntia streptacantha*) y maguey (*Agave* spp.), por lo cual, la consideran un alimento saludable y libre de contaminantes. Sin embargo, el consumo de maguey no ocurre después de la época de lluvias, pues existe una abundancia mayor de alimento y la rata selecciona aquellas que le proporcionan mayor aporte proteínico (Rangel-Silva, 1987). El consumo de diversas especies del género *Opuntia* y arbustivas también ocurre en *N. albigula* (Spencer y Spencer, 1941; Berquist, 2000). La información sobre la composición de la dieta de *Neotoma* sp. en el Centro-Norte de México es desconocida, por ello es necesario

estudios sobre la composición de la dieta de la rata de campo en diferentes estaciones del año, el aporte nutricional y compararlo con el peso de los individuos de rata.

El 36 % de los C-R, aseguran que la rata se puede cazar durante todo el año (Figura 1.6), por lo que esta actividad ha diezariado sus poblaciones, así lo aseguró el 40.9 % de los C-R, mientras que el 36.3 % mencionan que su densidad se ha mantenido y solo el 22.7 % hicieron referencia a que ha aumentado. La disminución de la densidad de rata de campo se reportó en el Centro-Norte de México, donde el aprovechamiento excesivo disminuyó sus poblaciones a tal grado que los pobladores locales la creyeron extinta (Martínez-Calderas *et al.*, 2015). La densidad de rata aún se desconoce en el Centro-Norte de México, por lo que es necesario investigar de forma extensa la densidad e incluir el aprovechamiento por parte de la población local. Puesto que, a nivel internacional, *Neotoma leucodon* y *Neotoma mexicana* se encuentra en la categoría de preocupación menor, debido su amplia distribución y su presunta gran población (IUCN, 2016a, 2016b), en México estas especies no están enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (SEMARNAT, 2010).

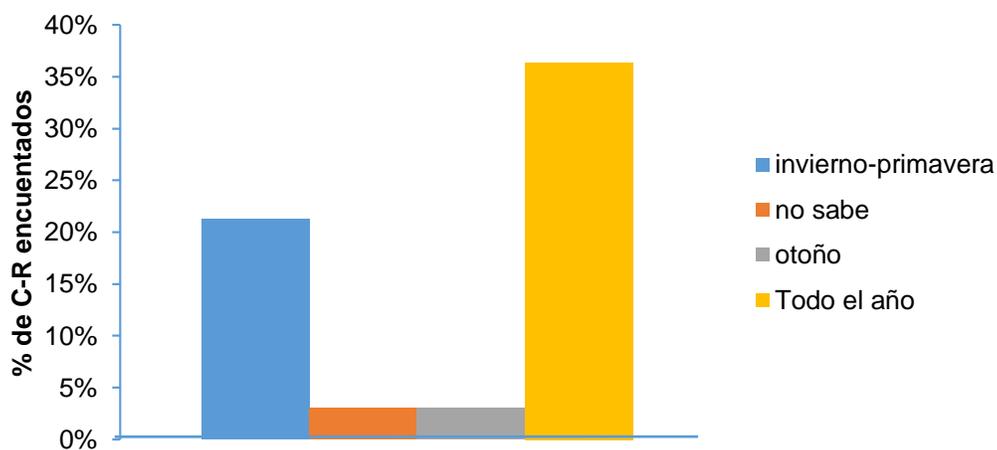


Figura 1.6. Temporadas de caza de rata de campo (*Neotoma* sp.) de acuerdo con los cazadores-recolectores del Centro-Norte de México.

El 71.4 % de los C-R concluyeron que existe una rata por madriguera y el resto mencionan que cuando las hembras están lactando este número se incrementa. Por ello, los C-R mencionan que, para mantener la densidad de rata a través de tiempo, es

importante dejarlas que se reproduzcan, mantener la vegetación y establecer temporadas de caza (Figura 1.7).

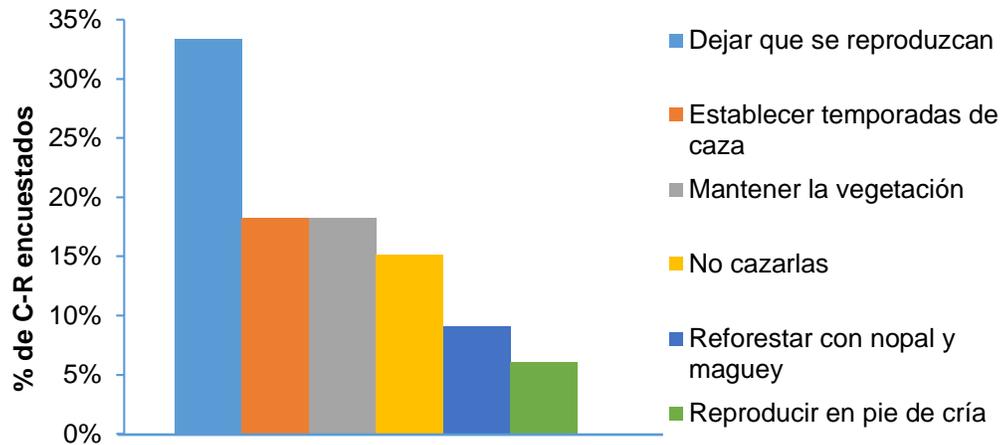


Figura 1.7. Aspectos importantes para conservar las poblaciones de rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México, de acuerdo a la población local.

Es importante mencionar que los C-R consideran que la caza de la rata de campo no es un deporte, pues lo hacen por necesidad y porque la consideran de uso medicinal. Los C-R mencionan que, aun cuando pueden conseguir rata de campo durante todo el año, ellos sólo salen a buscarlas cuando se las encargan para algún enfermo o cuando desean consumirla, puesto que, no consideran que la cacería de rata sea un trabajo o una actividad a la que se pudieran dedicar.

En algunos sitios, la caza de la rata provoca daños a la vegetación, esto sucede cuando las ratas están muy escondidas y es necesario cavar profundo hasta encontrarlas. Sin embargo, los cazadores conscientes del impacto de esta actividad, cuando cortan las pencas del nopal para buscar y recolectar las ratas, se aseguran de cubrirlas con tierras, a lo que consideran como una reforestación. Asimismo, en los recorridos de campo que se realizaron, la mayoría de las madrigueras se localizaron en magueyes secos en donde es más fácil obtenerlas. Por otra parte, los C-R no destruyen la madriguera por completo, ya que es esta anidará otra rata; por ello, la mayoría de veces que salen de cacería lo hacen en los ejidos de su localidad.

## 1.6. CONCLUSIONES

La presencia de la rata de campo (*Neotoma* sp.) en sitios con nopales y arbustos indica que son un componente clave en el hábitat de la rata, pues de acuerdo a diversos autores de estos depende su alimentación, además, el nopal le brinda el sustrato para la construcción de su madriguera y los arbustos el material necesario para ello. Asimismo, le brindan protección contra los depredadores y protección contra temperaturas altas. Lo que resulta interesante es la relación con las arbustivas y gramíneas en la escala de cobertura de suelo, por lo que, esto podría significar una estrategia para evitar encuentros antagónicos y para evitar la competencia en su nicho.

Los cazadores-Recolectores indicaron que la rata de campo se encuentra en sitios donde hay nopal y maguey, debido a que son su fuente de alimento. En el ACP el maguey no mostró una asociación con la rata de campo; sin embargo, la mayoría de las madrigueras de rata de campo se ubicaron en la base de magueyes (40.9%) y nopales (36.4%), lo que sugiere que la rata de campo sólo consume el maguey cuando su madriguera se encuentra en él. Los C-R consideran que la cacería de rata no tiene repercusiones en el hábitat, ya que no es una actividad que realicen a diario. No obstante, esta información obtenida por los C-R no aplica en todas las localidades del Centro-Norte de México, por lo que, en futuros estudios se sugiere incluir mayor número de localidades en donde exista aprovechamiento de rata.

Sin duda aún falta por investigar acerca de la rata de campo; sin embargo, esta investigación es un estudio pionero que brinda un primer acercamiento sobre el conocimiento del hábitat de la rata de campo y sus resultados puede considerarse para establecer planes de manejo de la especie en el Centro-Norte de México.

## 1.7. LITERATURA CITADA

- Atsatt, P. R., and Ingram, T. 1983. Adaptation to oak and other fibrous, phenolic-rich foliage by a small mammal, *Neotoma fuscipes*. *Oecologia*, 60 (1): 135-142.
- Berquist, P. 2000. "*Neotoma Albigula*". Biblioteca Digital del Museo del Desierto de Arizona-Sonora. <http://www.Desertmuseumdigitallibrary.org/public/detail.Php?Id=ASDM05440>. Fecha de consulta 6 de junio de 2018.
- Cameron, G. N., and Rainey, D. G. 1972. Habitat utilization by *Neotoma lepida* in the Mohave Desert. *Journal of Mammalogy*, 53 (2): 251-266.
- Canfield, R. H. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 39 (4): 388-394.
- Castleberry, S. B. 2008. Home range, movements, and habitat selection. In: J. Peles and J. Wright, (eds). *The allegheny woodrat*. Springer Nueva York, 63-73 p.
- Ceballos, G., y Arroyo, C. J. 2012. Lista actualizada de los mamíferos de México 2012. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*, 2 (2): 27-80.
- Cervantes, F. A., y Ballesteros, B. C. (Eds.) 2012. *Estudios sobre la biología de roedores silvestres mexicanos*. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México. 286 p.
- Cranford, J. A. 1977. Home range and habitat utilization by *Neotoma fuscipes* as determined by radiotelemetry. *Journal of Mammalogy*, 58 (2): 165-172.
- De Haro, S., y Martínez-Gutiérrez, G. P. 2017. Relación espacial entre nopales y madrigueras de rata magueyera *Neotoma leucodon* en Mapimí, México. *Galemys, Spanish Journal of Mammalogy*, 29:1-6.
- Edwards, C. W., and Bradley, R. D. 2002. Molecular systematics and historical phylogeography of the *Neotoma mexicana* species group. *Journal of Mammalogy*, 83 (1): 20-30.
- Edwards, C. W., Fulhorst, C. F., and Bradley, R. D. 2001. Molecular phylogenetics of the *Neotoma albigula* species group: further evidence of a paraphyletic assemblage. *Journal of Mammalogy*, 82 (2): 267-279.
- Eldridge, D. J., Whitford, W. G., and Duval, B. D. 2009. Animal disturbances promote shrub maintenance in a desertified grassland. *Journal of Ecology*, 97 (6): 1302-1310.
- Fargo, R., and Laudenslayer, W. F. 1999. Are house counts reliable estimators of dusky-footed woodrat population size? *Transactions the Western Section of the Wildlife Society*, 35: 71-75.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. Geology of Mexico a synopsis in: *Biological diversity of Mexico, origins and distributions*. En: Ramamoorthy, T. P., Bye R, Lot, A. (eds). Oxford University Press, Oxford. 3-107 p.

- García Amaro de Miranda, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 50: 67-76.
- Gerber, L. R., Seabloom, E. W., Burton, R. S., and Reichman, O. J. 2003. Translocation of an imperilled woodrat population: integrating spatial and habitat patterns. *Animal Conservation Forum*, 6 (4): 309-316.
- Giménez de Azcárate, J., y González, C. O. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). *Acta botánica mexicana*, 94: 91-123.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., y López-Enríquez, I. L. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta botánica mexicana*, 100: 351-403.
- Guerrero, F. B. 2011. R Project: su aplicación como software libre para análisis en componentes principales. *Actualidades Investigativas en Educación*, 11(4): 1-9.
- Hall, E. R. 1981. Hall, E. R. *The mammals of North America*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. *Journal of Mammalogy*, 63 (4): 718-719.
- Happold, D. C., and Happold, M. 1990. An ecological study of small rodents in the woodland savanna of Liwonde National Park, Malawi. *Journal of Zoology*, 221 (2): 219-235.
- Hoffmeister, DF, 1986, *Mammals of Arizona: Tucson*, University of Arizona Press, 602 p.
- Hornsby, B. S., Ruiz, A. M., Castleberry, S. B., Castleberry, N. L., Ford, W. M., and Wood, P. B. 2005. Fall movements of allegheny woodrats in harvested and intact stands in West Virginia. *Northern Journal of Applied Forestry*, 22 (4): 281-284.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2005. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>. Fecha de consulta 7 de agosto de 2018.
- Innes, R. J., Vuren, V., H, D., Kelt, D. A., Johnson, M. L., Wilson, J. A., and Stine, P. A. 2007. Habitat associations of dusky-footed woodrat (*Neotoma fuscipes*) in mixed-conifer Forest of the Northern Sierra Nevada. *Journal of Mammalogy*, 88 (6): 1523-1531.
- Innes, R. J., Vuren, V., H, D., Kelt, D. A., Wilson, J. A., and Johnson, M. L. 2009. Spatial organization of dusky-footed woodrats (*Neotoma fuscipes*). *Journal of Mammalogy*, 90 (4): 811-818.
- IUCN 2016a *Neotoma leucodon*: Timm, R., Álvarez-Castañeda, S. T., Lacher, T. 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature. <http://www.iucnredlist.org/details/136793/0>. Fecha de consulta 4 de junio de 2018.
- IUCN 2016b *Neotoma mexicana*: Linzey, A. V., Matson, J., Pérez, S. 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature. <http://www.iucnredlist.org/details/14590/0>. Fecha de consulta 4 de junio de 2018.

- Ledesma, R. 2008. Software de análisis de correspondencias múltiples: una revisión comparativa. *Metodología de Encuestas*, 10: 59-75.
- Ledesma, R., Valero, M. P., Young F. W. 2002. Análisis de homogeneidad en ViSta " The Visual Statistics System". *Metodología de las Ciencias del Comportamiento*, 4 (1): 139-149.
- Lehmkuhl, J. F., Kistler, K. D., and Begley, J. S. 2006. Bushy-tailed woodrat abundance in dry forests of eastern washington. *Journal of Mammalogy*, 87 (2): 371-379.
- Linsdale, J. M., and Tevis, L. 1956. A five-year change in an assemblage of Wood rat houses. *Journal of Mammalogy*, 37 (3): 371-374.
- Lombardi, J. V., Mengak, M. T., Castleberry, S. B., and Terrell, V. K. 2017. Mammal occurrence in rock outcrops in Shenandoah National Park: Ecological and anthropogenic factors influencing trap success and co-occurrence. *Natural Areas Journal*, 37 (4): 507-514.
- Markovchick-Nicholls, L., Regan, H. M., Deutschman, D. H., Widyanata, A., Martin, B., Noreke, L., and Ann Hunt, T. 2008. Relationships between human disturbance and wildlife land use in urban habitat fragments. *Conservation Biology*, 22 (1): 99-109.
- Martínez-Calderas, J. M., Palacio-Núñez, J., Clemente-Sánchez, F., Martínez-Montoya, J. F., Sánchez-Rojas, G., y Olmos-Oropeza, G. 2015. Distribución potencial de la rata magueyera (*Neotoma leucodon* Merriam 1984) y densidad de madrigueras en el sur del desierto chihuahuense. *Therya*, 6 (2): 421-434.
- Moses, R. A., and Millar, J. S. 1992. Behavioural asymmetries and cohesive mother-offspring sociality in bushy-tailed wood rats. *Canadian Journal of Zoology*, 70 (3): 597-604.
- Musser, G. G., Carleton, M. D. 2005. Superfamily Muroidea. Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference. En: Wilson DE, Reeder DA (Eds). The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 894–1534 p.
- Nathan, N. y Muller, L. N. 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology & Evolution*, 15 (7): 278-285.
- Olivas, M. M. 2002. Características reproductivas de la rata magueyera (*Neotoma albigula*) en cautiverio. *Acta Zoológica Mexicana*, 86: 139-144.
- Olsen, R. W. 1976. Water: A limiting factor for a population of wood rats. *The Southwestern Naturalist*, 21 (3): 391-398.
- Pineda-Martínez, L. F. 2005. Descripción del Clima y Modelación Numérica de Fenómenos Meteorológicos en San Luis Potosí, México. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. San Luis Potosí 67 p.
- R Core Team 2013. Methodology Reference. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/oxygen-consuming-substances-in-rivers/r-development-core-team-2006>. Fecha de consulta 8 de mayo de 2018

- Rangel-Silva, M. G. 1987. Estudio sobre la producción de *Neotoma albigula* (Rata magueyera) en nopaleras de solar. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México 66 p.
- Riojas-López, M. E. 2012. Response of rodent assemblages to change in habitat heterogeneity in fruit-oriented nopal orchards in the central high plateau of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 85: 27-32.
- Sakai, H. F., and Noon, B. R. 1993. Dusky-footed woodrat abundance in different-aged forests in northwestern California. *The Journal of Wildlife Management*, 57 (2): 373-382.
- Schupp, E. W., Jordano, P., and Gómez, J. M. 2010. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *The New Phytologist*, 188 (2): 333-353.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059 SEMARNAT- 2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio Lista de especies en riesgo. Poder Ejecutivo Federal.
- Slowik, T. J. 2015. Microhabitat and house use by dusky-footed woodrats (*Neotoma fuscipes*) in northwestern California: Insight from trapping data. *Western North American Naturalist*, 75 (3): 380-384.
- Solís, D. M., and Gutiérrez, R. J. 1990. Summer habitat ecology of northern spotted owls in northwestern California. *The Condor*, 92 (3): 739-748.
- Spencer, D. A., and Spencer, A. L. 1941. Food habits of the white-throated wood rat in Arizona. *Journal of Mammalogy*, 22 (3): 280-284.
- Tapia, M. Á. L. 2014. Los roedores múridos de México: los pequeños mamíferos exitosos. *CONABIO. Biodiversitas*, 113: 8-11.
- Timbuka, C. D., and Kabigumila, J. D. 2006. Diversity and abundance of small mammals in the Serengeti kopjes, Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 32 (1): 1-12.
- Turkowski, F. J., and Watkins, R. K. 1976. White-throated woodrat (*Neotoma albigula*) habitat relations in modified pinyon-juniper woodland of Southwestern New Mexico. *Journal of Mammalogy*, 57 (3): 586-591.
- Vestal, E. H. 1938. Biotic relations of the wood rat (*Neotoma fuscipes*) in the Berkeley Hills. *Journal of Mammalogy*, 19 (1): 1-36.
- Villanueva-Hernández, A. I., Delgado-Zamora, D. A., Heynes-Silerio, S. A., Ruacho-González, L., and López-González, C. 2017. Habitat selection by rodents at the transition between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Plateau, México. *Journal of Mammalogy*, 98 (1): 293-301.
- Whitford, W. G., and Steinberger, Y. 2010. Pack rats (*Neotoma* spp.): Keystone ecological engineers? *Journal of Arid Environments*, 74 (11): 1450-1455.

## 2. CAPITULO II EXPOSICIÓN A METALES DE LA RATA DE CAMPO (*Neotoma* sp.) DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO.

### 2.1. RESUMEN

La rata de campo (*Neotoma* sp.) es consumida por habitantes rurales del Centro-Norte de México; sin embargo, su estudio ha pasado desapercibido, sobre todo en su uso como bioindicador de la salud de los ecosistemas. Los objetivos fueron a) cuantificar las concentraciones de As y metales en el suelo superficial donde habita la rata de campo y b) cuantificar las concentraciones de As y metales en tejidos (hígado, riñón y tejido muscular) de rata de campo en sitios con actividad minera histórica o actual y sin actividad minera en el Centro-Norte de México. En la región de estudio se recolectaron 44 muestras compuestas de suelo y se capturaron 44 ejemplares de rata, los cuales fueron sacrificados *in situ* para obtener sus tejidos. La determinación de As y metales en suelo y tejidos se realizó en un ICP-MS. Para identificar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las concentraciones de As y metales en suelo y tejido de sitios mineros y no mineros, se realizaron pruebas de U Mann-Whitney, y para identificar las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre cada muestra y por municipio muestreado, se utilizaron pruebas de Kruskal Wallis. Los contenidos de As y metales en suelos de sitios mineros fueron estadísticamente mayores que en los no mineros, excepto los de Fe. Existieron diferencias significativas entre la concentración de As y metales en suelo por municipio; Noria de Ángeles presentó las concentraciones más altas en As; Pánfilo Natera las de Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn y Charcas las de Hg. Las concentraciones de Mn, Pb, Cd y Zn en Pánfilo Natera; Pb y Zn en charcas; Mn y Pb en San Felipe y Mn en Ahualulco fueron mayores a los niveles de fondo geológico. De acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT-2004, las Pautas Canadienses de Calidad del Suelo para Protección de la Salud Ambiental y Humana (CEQG) y los niveles de detección del suelo ecológico (Eco-SSL). Los municipios que muestran contaminación por As, Cd, Pb y Zn son tres sitios mineros (Noria de Ángeles, Pánfilo Natera, y Charcas) y un sitio no minero (Ahualulco). Las concentraciones de As y metales en hígado y músculo de los sitios mineros y no mineros no mostraron diferencias significativas; no obstante, en el riñón se encontraron

diferencias en las concentraciones de Fe y Hg, las cuales fueron mayores en los sitios no mineros. Se identificaron diferencias significativas entre las concentraciones de As y metales en los tres tejidos; los contenidos más altos de As, Cu, Fe y Mn se encontraron en el hígado; los de Cd y Hg en el riñón y el Zn en el músculo. Asimismo, se detectaron diferencias significativas entre las concentraciones de As y metales en los tres tejidos por municipio. Por otro lado, las concentraciones de Cd, Hg y Pb en ratas de campo capturadas en los sitios de Ahualulco, San Felipe, Charcas y Noria de Ángeles superaron los niveles de seguridad establecidos en los productos alimenticios de la Unión Europea y el *Codex Alimentarius*. Estos resultados son la pauta para evaluaciones de riesgo ecológico, pueden considerarse para establecer planes de manejo de la especie a fin de garantizar un alimento libre de contaminantes y son una aportación de información ecotoxicológica útil para estudios futuros.

**Palabras clave:** Bioindicador, *Neotoma*, sitio minero, sitio no minero, As, metales.

## CHAPTER II. HEAVY METALS IN THE WHITE-TOOTHED WOODRAT (*Neotoma* sp.) FROM THE CENTER-NORTH OF MEXICO.

### 2.2. ABSTRACT

The white-toothed woodrat (*Neotoma* sp.) is consumed by rural population of north central Mexico; however, its study has gone unnoticed, especially in its use as a bioindicator of the health of ecosystems. The objectives were to a) quantify the concentrations of As and metals in the surface soil where inhabits the white-toothed woodrat and b) quantify the concentrations of As and metals in tissues (liver, kidney and muscle tissue) of white-toothed woodrat in sites with historical or current mining activity and without activity mining of north central Mexico. In the study region, 44 soil samples were collected and 44 rat specimens were captured, which were sacrificed in situ to obtain their tissues. The determination of the metals in soil and tissues was carried out in an ICP-MS. To identify significant differences ( $p < 0.05$ ) between the concentrations of As and metals in soils and tissues of the mining and non-mining sites, U Mann-Whitney tests were performed and to identify significant differences ( $p < 0.05$ ) in the concentrations of As and metals between each sample and bysampled municipality, Kruskal Wallis tests were used. The contents of As and metals in soils of mining sites were statistically higher than in the non-mining ones, except for Fe contents. There were significant differences between the concentration of As and metals in soil by municipality; Noria de Ángeles presented the highest concentrations in As; Pánfilo Natera those of Cu, Cd, Fe, Mn, Pb and Zn and Charcas those of Hg. The concentrations of Mn, Pb, Cd and Zn in Pánfilo Natera; Pb and Zn in Charcas; Mn and Pb in San Felipe; Mn and As in Villa de Ramos and Mn in Ahualulco were greater than the geological background levels. According to NOM-147-SEMARNAT-2004, the Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health (CEQG) and the soil screening level (Eco-SSL). The municipalities that show contamination by As, Cd, Pb and Zn are three mining sites (Noria de Ángeles, Pánfilo Natera, and Charcas) and a non-mining site (Ahualulco). The concentrations of As and metals in liver and muscle of the rats collected at mining and non-mining sites did not show significant differences; However, in the kidney differences were found in Fe and Hg concentrations, which were higher in non-mining sites.

Significant differences were identified between the concentrations of As and metals in the three tissues; the highest contents of As, Cu, Fe and Mn were found in the liver; those of Cd and Hg in the kidney and Zn in the muscle. Likewise, significant differences were detected between the concentrations of As and metals in the three tissues by municipality. On the other hand, the concentrations of Cd, Hg and Pb in white-toothed woodrat captured in the sites of Aqualulco, San Felipe, Charcas and Noria de Ángeles exceeded the safety levels established for food products of the European Union and the *Codex Alimentarius*. These results are the guideline for ecological risk assessments, can be considered to establish management plans for the species in order to guarantee a food free of contaminants and are a useful contribution of ecotoxicological information for future studies.

**Keywords:** Bioindicator, *Neotoma*, mining site, non-mining site, As, metals.

### 2.3. INTRODUCCIÓN

La minería es una fuente de contaminación ambiental (Martínez-Flores *et al.*, 2013; Pérez y Betancur, 2016), principalmente en la generación de residuos mineros, los cuales contienen concentraciones elevadas de metales tales como; cobre (Cu), cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb), zinc (Zn) y metaloides como arsénico (As), entre otros (Marguá *et al.*, 2004). Dichos elementos sufren una serie de reacciones físico-químicas que les permite adherirse a las partículas del suelo y agua (Puga *et al.*, 2006; Galán *et al.*, 2008; Méndez *et al.*, 2009; Pradit *et al.*, 2013), por lo que representan un riesgo para la salud (Mireles *et al.*, 2012).

La determinación de las concentraciones de metales en muestras ambientales (suelo, agua y aire) es el primer paso para identificar sitios contaminados (Chung *et al.*, 2005). Sin embargo, estos por si solos no evidencian la disponibilidad y el efecto que estos elementos pueden ocasionar en el ser humano y en la biota (Talmage y Walton, 1991). En sitios contaminados se han evaluado los efectos adversos en la salud de los humanos mediante ensayos cometa y han concluido que existe daño en el ADN de las personas expuestas (Xi-Biao *et al.*, 1999; Yáñez *et al.*, 2003). No obstante, se han documentado efectos mayores en los receptores animales, pues son más susceptibles, sobre todo porque están inmersos en un entorno ambiental particular (Suter, 2007). Un ejemplo, son los roedores, los cuales se han utilizado como bioindicadores de la salud de los ecosistemas terrestres (Talmage y Walton, 1991; Jasso-Pineda *et al.*, 2007; Hermoso *et al.*, 2008; Espinosa-Reyes *et al.*, 2010, 2014).

Se ha utilizado a *Clethrionomys glareolus*, *Apodemus sylvaticus* (Cooke *et al.*, 1990; Purcell *et al.*, 1992; Milton y Johnson, 1999; Erry *et al.*, 2000; Milton *et al.*, 2003), *Peromyscus* sp. (Lewis *et al.*, 2001), *Chaetodipus aranarius* y *C. spinatus* (Méndez-Rodríguez y Álvarez-Castañeda, 2016) como bioindicadores de contaminación por As, Cd, Pb y Zn en sitios mineros. También se ha documentado el uso de roedores como biomonitores en estudios de riesgo ecológico para evaluar la probabilidad de ocurrencia de efectos ecológicos resultantes de la exposición a contaminantes (Giulio y Hinton, 2008). En sitios contaminados con As, Cd y Pb se encontró daño en el ADN de

*Chaetodipus nelsoni* y *Dipodomys Merriami* (Jasso-Pineda *et al.*, 2007; Espinosa-Reyes *et al.*, 2010). La genotoxicidad se ha demostrado en diversas especies en *Mus spretus* (Festa *et al.*, 2003) y en *Ctenomys torquatus* (Silva *et al.*, 2000). En *Peromyscus leucopus* se encontró que cantidades elevadas de metales provocaron aberraciones cromosómicas (Husby *et al.*, 1999). Sin duda, los mamíferos pequeños tienen la capacidad de servir como centinelas para la presencia, la acumulación y efectos de los xenobióticos. Los estudios anteriores han incluido especies granívoras, herbívoras, insectívoras y omnívoras de las familias, Cricetidae, Muridae, Heteromyidae (Talmage y Walton, 1991).

En este estudio se seleccionó a la rata de campo (*Neotoma* sp) como un posible bioindicador por su exposición frecuente al suelo a través de la excavación de sus madrigueras y la ingesta de alimentos posiblemente contaminados. El interés de evidenciar la presencia de metales en la rata de campo se debe a que es consumida por la población del Centro-Norte de México, donde le han atribuido propiedades curativas; además, la consideran libre de contaminantes, ya que su dieta la basa en el consumo de plantas y frutos de cactáceas (*Acacia* spp., *Agave* spp., *Opuntia* spp., *Prosopis* spp. y *Yucca* spp.) (Castleberry *et al.*, 2001; Lombardi *et al.*, 2017; Villanueva-Hernández *et al.*, 2017).

Los objetivos del presente estudio fueron: a) cuantificar las concentraciones de arsénico (As), cobre (Cu), cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb) y zinc (Zn) en el suelo superficial donde habita la rata de campo y b) cuantificar las concentraciones de As y metales en tejidos (hígado, riñón y tejido muscular) de rata de campo en sitios con actividad minera histórica o actual y sin actividad minera en el Centro-Norte de México. Se espera que las concentraciones de metales sean menores a los niveles de referencia que se establecen en las guías internacionales para la protección ambiental y que el consumo de rata no constituya un riesgo para el consumidor. Esta información puede servir para estimar el riesgo potencial para las personas que consumen rata de campo en el Centro-Norte de México y útil para desarrollar programas de gestión del ecosistema favoreciendo el manejo y conservación de especies de importancia económica, nutricional y ecológica como la rata de campo.

## 2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1. Área de estudio

Este estudio se realizó en el Centro-Norte de México en localidades con actividad minera histórica o actual y sin actividad minera de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Guanajuato. En San Luis Potosí se desarrolló en el Cañón de Laja y Cerro Gordo en el municipio de Charcas, Yoliatl en el municipio de Villa de Ramos y El Arenal en Ahualulco. En Zacatecas se incluyó a La unión de San Antonio del municipio de General Pánfilo Natera, La Trinidad en el municipio de Pinos y en la zona de jales en Noria de Ángeles. En Guanajuato en Emiliano Zapata del municipio de San Felipe (Figura 2.1).

La región de estudio se ubica en las coordenadas 21° 37' a 23° 26' N y de 100° 77' a 102° 25' O. Esta zona se caracteriza por la presencia de serranías, lomeríos y llanuras, con altitudes de 1,000 a 2,600 m (Ferrusquía-Villafranca, 1993). Predomina el clima seco templado (BS0 kw) con lluvias en el verano. En Charcas, Villa de Ramos, Ahualulco, Pánfilo Natera, Pinos y Noria de Ángeles existe una precipitación que va de 200 mm hasta 600 mm al año, mientras que, en San Felipe, Guanajuato tiene una precipitación de 300 a 900 mm al año (INEGI, 2005). En el área de estudio, existen temperaturas medias del mes más cálido entre 12 y 18 °C y el mes más frío entre -3 y 18 °C (García, 2003; Pineda-Martínez, 2005).

Las comunidades vegetales más comunes en el área de estudio son los matorrales crasicaules, rosetófilos y micrófilos (González-Elizondo *et al.*, 2012). Las especies vegetales que predominan en el matorral crasicaule son del género *Opuntia*, entre ellas: *Opuntia leucotricha*, *O. streptacantha*, y especies de arbustos como: *Dalea tuberculata*, *Jatropha dioica*, *Mimosa aculeaticarpa*. En el matorral desértico micrófilo se encuentra, *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum*, *Prosopis laevigata*, *Zinnia acerosa*. El matorral rosetófilo está dominado por *Agave lechuguilla*, *Dasylyrion acotriche*, *Yucca carnerosana*, *Y. filifera* y *Salvia ballotaeflora* (Giménez de Azcárate y González, 2011).

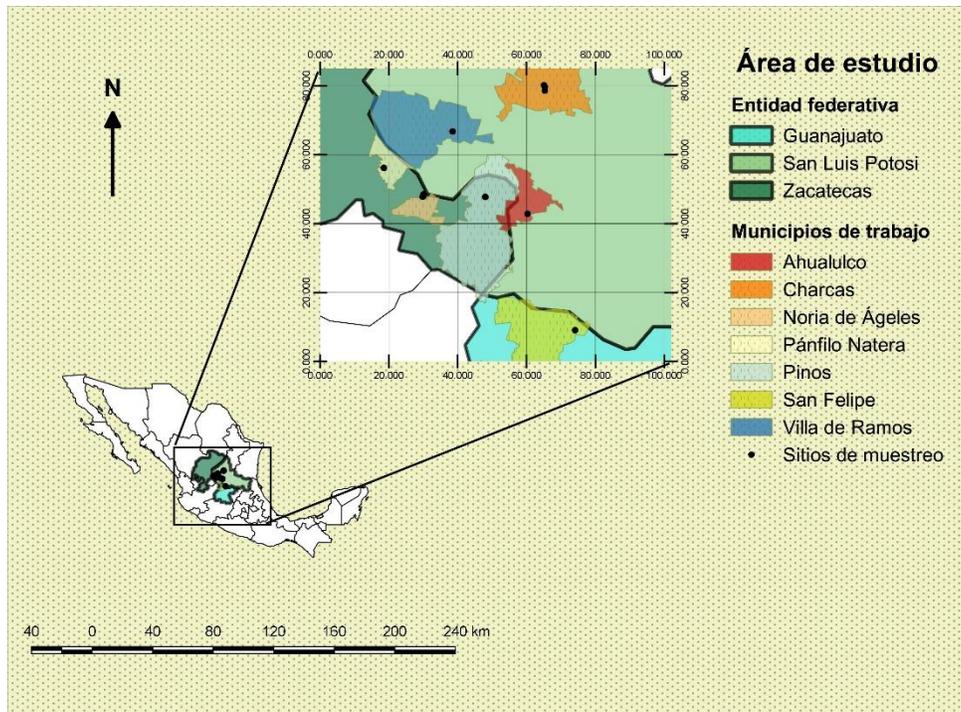


Figura 2.1. Estados y municipios en donde se capturó la rata de campo (*Neotoma* sp.) en el Centro-Norte de México.

#### 2.4.2. Selección de sitios de muestreo

Para seleccionar los sitios de muestreo, se realizó un recorrido por el área de estudio. Los sitios seleccionados y que estuvieron mayormente expuestos a la contaminación de la actividad minera se denominaron sitios mineros (Figura 2.2). En el caso de Pánfilo Natera, las muestras se obtuvieron a 1 km al suroeste de la mina Bilbao en la cual se extraía cobre (Cu), zinc (Zn), plata (Ag) y plomo (Pb), actualmente se encuentra inactiva. Los sitios de Charcas se ubicaron a 3 km en dirección noreste de la mina Azarco Mexicana, en la cual se obtiene plata (Ag), oro (Au), Pb y Zn. Los sitios de Noria de Ángeles se localizaron a 1.5 km al Noreste del pasivo ambiental reciente. Los sitios no mineros fueron; Ahualulco, San Luis Potosí, Pinos, Zacatecas, Villa de Ramos, San Luis Potosí y San Felipe, Guanajuato (Figura 2.3).

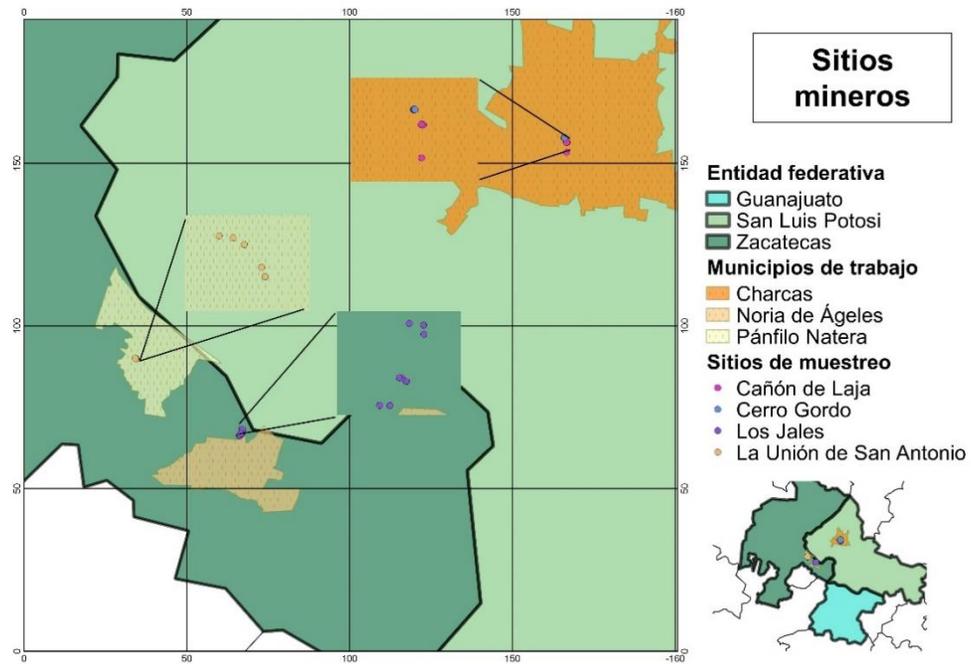


Figura 2.2. Sitios mineros de captura de rata de campo (*Neotoma* sp.) en el Centro-Norte de México.

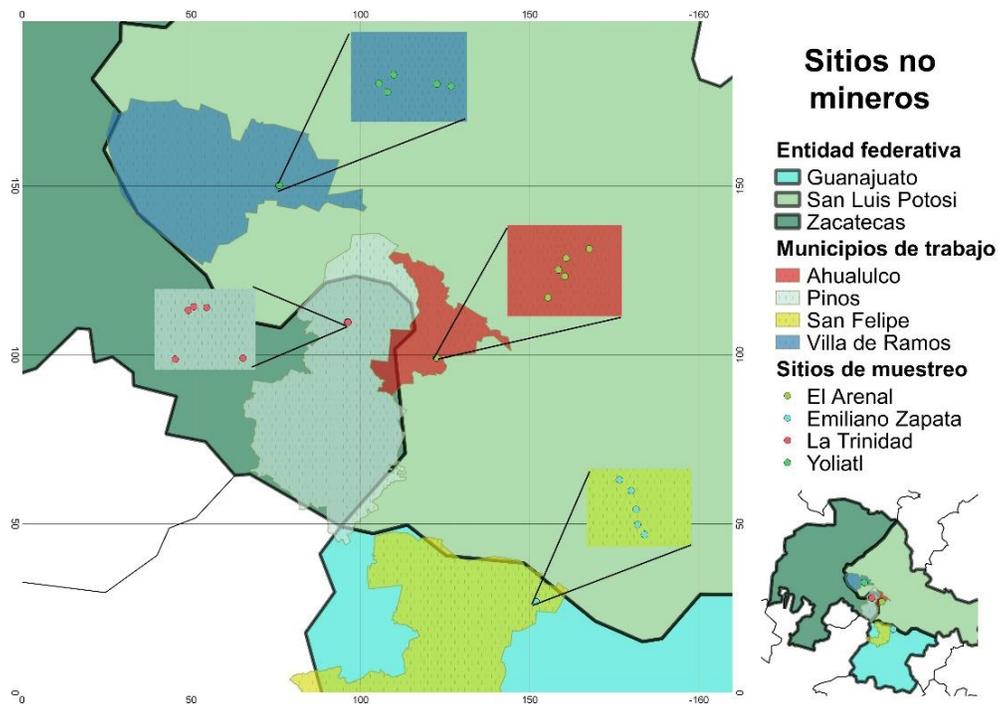


Figura 2.3. Sitios no mineros de captura de rata de campo (*Neotoma* sp.) en el Centro-Norte de México.

### 2.4.3. Muestreo de suelo

Para determinar las concentraciones de metales en el suelo donde habita la rata de campo se recolectaron 44 muestras de suelo superficial (0-10 cm de profundidad). Dichas muestras se obtuvieron de los sitios donde se capturaron ratas de campo y se recolectaron como lo indica la NMX-AA-132-SCFI-2015. En 1m<sup>2</sup> se obtuvo una muestra compuesta, la cual estuvo constituida de cinco submuestras simples distribuidas en tresbolillo y mezcladas uniformemente (Figura 2.4). Cada muestra se obtuvo con una cuchara de polipropileno, posteriormente se pasó por un tamiz de 700 µM, se envasó, etiquetó y guardó en bolsa de polietileno para su transporte, preparación y análisis.



Figura 2.4. Distribución de submuestras de suelo en formación tresbolillo.

#### 2.4.4. Captura de rata de campo

Previo a la captura de las ratas de campo y obtener sus tejidos se solicitó un permiso de colecta científica N° 04895 ante la Dirección General de Vida Silvestre (Anexo 1). Una vez concedido, la captura de los ejemplares se realizó de septiembre a diciembre de 2017 con métodos tradicionales y apoyo de cazadores-recolectores de rata. Se capturaron 44 ratas del género *Neotoma* (Anexo 2), al menos cinco en cada municipio, a excepción de Noria de Ángeles y Charcas donde se capturaron 9 y 10, respectivamente.

Los roedores fueron sacrificados *in situ* por dislocación cervical, se registró su peso (gr) en una balanza (Pesola®), longitud total (desde la punta del hocico hasta la punta de la cola), longitud de la cola (desde la parte final del dorso hasta la punta de la cola), longitud de la pata trasera y el tamaño de la oreja (cm), además se identificó el sexo de cada roedor. Para obtener los tejidos (hígado, riñón y músculo), se utilizaron guantes de látex, agua desionizada, alcohol ultrapuro, papel aluminio, parafilm, bolsas de papel, tijeras, pinzas de punta plana y frascos de vidrio previamente desinfectados en agua con ácido nítrico al 15 % durante dos horas. En una superficie plana y cubierta con papel aluminio se colocó cada rata para realizarle una incisión en su abdomen, la superficie, las tijeras y la pinza se desinfectaron con alcohol. Con las pinzas cada tejido se separó del aparato digestivo y del tejido adiposo. En el caso de músculo, este se obtuvo de la extremidad trasera izquierda y se separó del hueso (Figura 2.5). Cada muestra se lavó con agua desionizada y se colocó en un frasco de vidrio, el cual se selló con parafilm y se guardó en una hielera para su traslado al Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en donde se realizaron los procesos de digestión ácida para su análisis en el ICP-MS del Instituto de Geología de la UASLP. Los restos de cada roedor se depositaron en bolsas de papel y se enterraron en el sitio de captura.



Figura 2.5. Extracción de tejidos (hígado, riñón y músculo) para la determinación de As y metales en rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

#### **2.4.5. Determinación de As y metales en suelo y tejido**

Las muestras de suelo para su digestión se prepararon, colocando 0.5 g de cada muestra de suelo en un vaso de teflón Greenchem y 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, se utilizó material de referencia (0.5 g de Soil Montana) certificado por el Instituto Nacional de Estándares y Pruebas de los Estados Unidos de América (NIST, por sus siglas en inglés) como control de calidad interno y un blanco de reactivo (5 mL HNO<sub>3</sub>). La digestión se realizó en un horno CEM Mars 6 a una temperatura de 200 °C con una presión de 1400 psi durante 15 min. El digerido final de cada muestra se vació en tubos Corning, los cuales se diluyeron en 25 ml de agua desionizada y se dejaron a temperatura ambiente.

A cada muestra de tejido se le eliminó el exceso de humedad con papel filtro Whatman, se le registró el peso y se dividió en pequeños trozos para homogeneizarla y obtener una muestra representativa de todo el tejido. De cada muestra se utilizaron 0.5 g y se depositaron en vasos de teflón Greenchem, se les agregó 5 mL de ácido nítrico bidestilado al 50% (HNO<sub>3</sub>) y 1 mL de peróxido de hidrógeno ultrapuro (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para su pre-digestión durante 24 horas (EPA, 1996). Finalmente, la digestión de las muestras se realizó en un horno CEM Mars 6, a una temperatura de 200 °C y una presión de 1400 psi durante 30 min. Los digeridos finales de 6 mL cada uno se vaciaron en tubos Corning

y se dejaron a temperatura ambiente. Como control de calidad se utilizó material de referencia estándar (1577c Bovine Liver) y un blanco de reactivos (5 mL HNO<sub>3</sub> y 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). La determinación de metales en suelo y tejido se realizó mediante un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente cuádruplo (ICP-MS) marca Thermo Fisher, Modelo X Series 2.

#### **2.4.6. Análisis estadísticos**

A los valores de concentración de As y metales en suelo y tejidos se les realizaron pruebas de normalidad mediante una prueba de Shapiro-Wilks. Debido a que esta información no presentó una distribución normal, para su análisis se utilizó estadística no paramétrica. Para comparar las concentraciones de metales en suelo y tejido entre sitios mineros y no mineros se realizaron pruebas de U de Mann-Whitney. Las diferencias entre cada muestra y por municipio se identificaron con pruebas de Kruskal-Wallis; todos los análisis se realizaron en Statistica v. 13.3 (2017) con un  $\alpha=0.05$ .

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1. As y metales en suelo superficial

Las concentraciones de As y metales en el suelo de sitios mineros (Noria de Ángeles, Pánfilo Natera y Charcas) fueron mayores ( $p < 0.05$ ) que las del suelo de sitios no mineros (Pinos, Villa de Ramos, Ahualulco y San Felipe), con excepción de las concentraciones de Fe (Figura 2.6), estos resultados pueden explicarse por la minería que emite elementos potencialmente peligrosos y que contaminan suelo, agua y aire (Puga *et al.*, 2006).

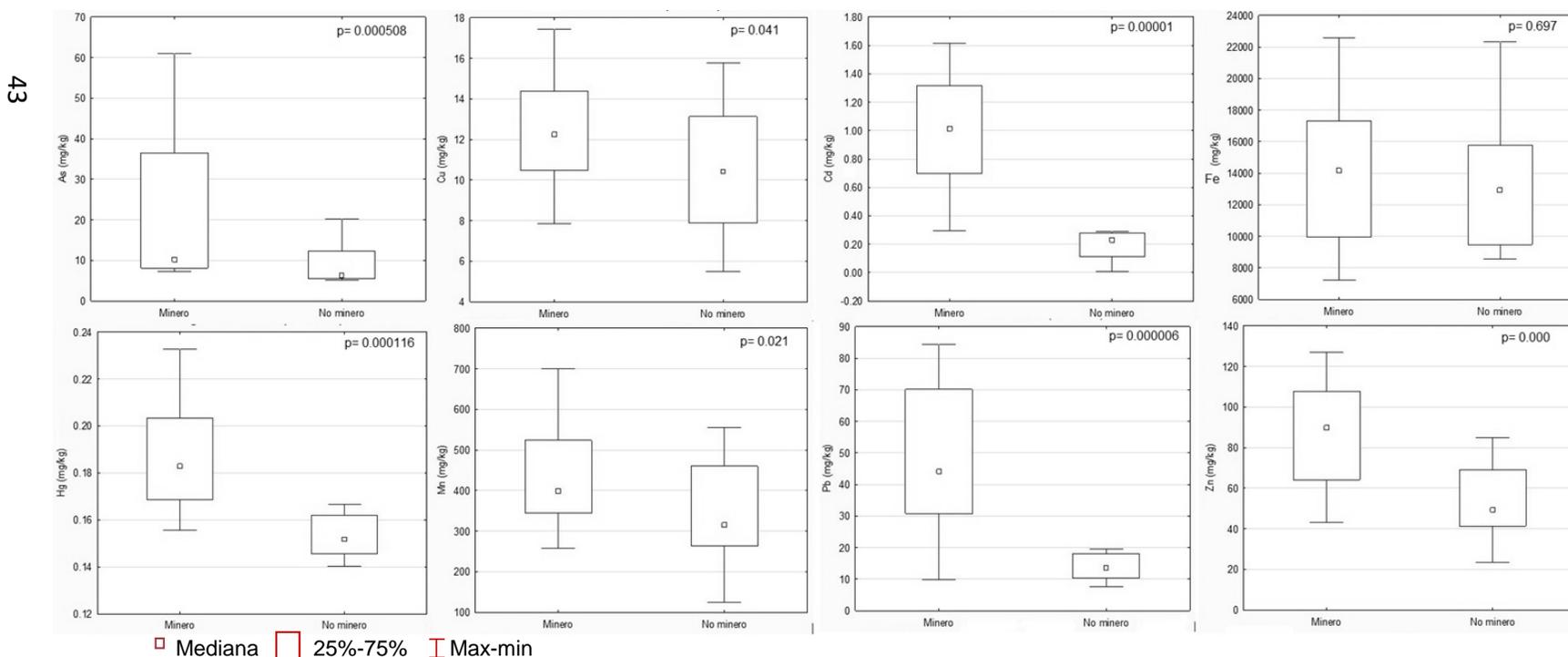


Figura 2.6. Concentraciones ( $\text{mg/kg}^{-1}$ ) de Arsénico, Cobre, Cadmio, Hierro, Mercurio, Manganeso, Plomo y Zinc en el suelo (superficial 10 cm) de sitios mineros y no mineros donde habita la rata de campo (*Neotoma sp.*) en el Centro-Norte de México.

Las concentraciones de As y metales por municipio fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 2.1). Dichas concentraciones se compararon con los niveles de fondo geológico emitidos por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), los cuales son concentraciones normales de metales en el suelo que dependen de la composición mineralógica. Las concentraciones de As más altas se encontraron en Noria de Ángeles, las de Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn se encontraron en Pánfilo Natera y las concentraciones de Hg en Charcas; Sin embargo, las concentraciones de As, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn en dichos sitios se encuentran por debajo de los niveles de fondo con excepción de las concentraciones de Cd, Mn, Pb y Zn en Pánfilo Natera y Pb y Zn en Charcas, las cuales fueron superiores a éstos niveles (SGM, 2018). Esto puede indicar que la actividad minera contribuye con el incremento de los niveles de estos metales en estos sitios.

En los sitios no mineros se encontró que las concentraciones de Mn en Ahualulco, Mn y Pb en San Felipe fueron mayores a los niveles de fondo geológico, en Pinos todas las concentraciones fueron menores a estos niveles, mientras que en Villa de Ramos las concentraciones de As y metales fueron iguales los de fondo (Cuadro 2.1). Los resultados para los sitios no mineros sugieren que las concentraciones de Mn y Pb puede ser consecuencia de la emisión de metales de otras fuentes de origen antropogénico como la agricultura (Villanueva, 2000).

Por su característica no biodegradable los metales pueden ingresar al ser humano y a la biota silvestre a través del consumo de alimentos contaminados, por la inhalación de partículas de suelo y exposición dérmica (Machado *et al.*, 2008; Méndez *et al.*, 2009). Existe evidencia que en roedores y niños la principal fuente de exposición al As es la ingesta accidental de suelo (Espinosa-Reyes *et al.*, 2010). Por ello, la presencia de As y metales en el suelo superficial donde la rata de campo construye sus madrigueras representa un riesgo potencial para su salud y la de los recolectores de rata, pues sus técnicas de caza consisten en escarbar la madriguera sin equipo de protección especial y por el riesgo potencial al que podrían estar expuestos al consumir ratas de campo. En este sentido, para entender el efecto de As y metales en los organismos, se utilizan los roedores, ya que son excelentes bioindicadores que conviven, comparten su entorno con

los humanos y responden de forma similar ante la exposición a diversos estresores ambientales (Espinosa-Reyes *et al.*, 2010).

Las concentraciones de As, Cd, Hg y Pb registradas en este estudio se compararon con los límites máximos permisibles que establece la NOM-147-SEMARNAT-2004 para suelos agrícolas, residenciales y comerciales. Las concentraciones de Cu, Mn y Zn, se compararon con las Pautas Canadienses de Calidad del Suelo para la Protección de la Salud Ambiental y Humana (CEQG, por sus siglas en inglés) y los niveles de detección del suelo ecológico (Eco-SSL, por sus siglas en inglés). Los niveles de detección en suelo ecológico se aplican en las evaluaciones de riesgo ecológico. Dichos niveles suponen protección adecuada para plantas, invertebrados del suelo, aves y mamíferos; por ello, en esta investigación se consideraron los niveles de referencia para mamíferos (EPA, 2016).

De acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT-2004, Noria de Ángeles fue el municipio que rebasó los límites de As y los demás municipios no mostraron niveles mayores a los establecidos en dicha norma. Sin embargo, de acuerdo a la CEQG, las concentraciones de As en Pánfilo Natera y Ahualulco fueron mayores a los niveles de referencia. En Noria de Ángeles, Pánfilo Natera y Charcas las concentraciones de Cd y Zn rebasaron el umbral de la Eco-SSL. El Pb en Pánfilo Natera alcanzó el doble de los niveles permitidos según lo recomendado por la CEQG y fue seis veces mayor a lo especificado en la Eco-SSL y aunque no rebasó lo establecido por la NOM-147-SEMARNAT-2004, sus niveles fueron 15 veces mayor que los niveles registrados en los sitios no mineros. Las concentraciones de Cu, Hg y Mn encontradas en el suelo superficial de sitios mineros y no mineros fueron menores a las reportadas por dichas normas (Cuadro 2.1).

En cuanto a los contenidos de Fe, no existe una norma referencial; sin embargo, las concentraciones en los sitios mineros y no mineros fueron menores a los valores de fondo geológico. De acuerdo con las concentraciones de referencia establecidas en la NOM-147-SEMARNAT-2004, la CEQG y la Eco-SSL; Noria de Ángeles, Pánfilo Natera, Charcas y Ahualulco muestran niveles que indican una contaminación por As, Cd, Pb y Zn, por lo que pudieran constituir un riesgo potencial para la rata de campo y los receptores humanos.

Los niveles de As en Noria de Ángeles son mayores a los que se reportaron para el pasivo ambiental ( $47.9 \text{ mg/kg}^{-1}$  de As), mientras que los contenidos de Cd, Hg y Pb fueron mayores (Cerón-Rivera *et al.*, 2017). Esto pudiera estar ocasionado por la precipitación y el viento que han dispersado al As hacía otras áreas del municipio transformándose en un riesgo potencial para la población local que realiza actividades agropecuarias y que recolecta rata de campo. Además, se ha evidenciado que la contaminación por metales en el suelo impide el crecimiento de plantas lo que favorece la lixiviación de metales provocando una contaminación mayor (Dudka and Adriano, 1997).

Se conoce que la movilidad y disponibilidad de los metales en el suelo depende de su pH, de la cantidad de materia orgánica y de la capacidad de los organismos para ingerirlo y absorberlo (Ferrer, 2003; Huertos y Baena, 2008; Méndez-Rodríguez y Álvarez-Castañeda, 2016). En estudios con roedores silvestres se ha registrado una correlación positiva entre las concentraciones de metales en el suelo y en tejidos de los animales (Purcell *et al.*, 1992; Erry *et al.*, 2000; Jasso-Pineda *et al.*, 2007; Méndez-Rodríguez y Álvarez-Castañeda, 2016) y se ha demostrado que el As, Cu, Cd, Pb y Zn provocan toxicidad que está relacionada con efectos genotóxicos (Leradi *et al.*, 1996; Festa *et al.*, 2003; Jasso-Pineda *et al.*, 2007; Mitkovska *et al.*, 2012) y aberraciones cromosómicas (Husby *et al.*, 1999).

Cuadro 2.1. Medias y desviaciones estándar de las concentraciones (mg/kg<sup>-1</sup>) de Arsénico y metales en suelo (superficial 10 cm) del hábitat de la rata de campo (*Neotoma* sp.) por municipio en el Centro-Norte de México y valores de referencia de fondo geológico (SGM, 2018), NOM-147-SEMARNAT-2004, la CEQG y la Eco-SSL.

Mun	Referencia	As	Cu	Cd	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
NA	De fondo	97.09	21.18	4.23	21900	-	529.8	74.76	153.19
	Muestreo	73.3 ± 43.6 <sup>a</sup>	12.5 ± 2.3 <sup>ab</sup>	0.6 ± 0.3 <sup>ab</sup>	15124.4 ± 2023.4 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.02 <sup>ab</sup>	389.8 ± 76 <sup>ab</sup>	43.7 ± 14.2 <sup>ab</sup>	84.4 ± 25.1 <sup>ab</sup>
PN	De fondo	22.87	42.56	1	19000	-	513.11	147.86	113.91
	Muestreo	16.8 ± 9.3 <sup>ab</sup>	27.4 ± 19 <sup>a</sup>	2.7 ± 2.6 <sup>a</sup>	18397.6 ± 1204.7 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.02 <sup>ab</sup>	959.6 ± 431.5 <sup>a</sup>	310.4 ± 297 <sup>b</sup>	173.7 ± 127.4 <sup>a</sup>
P	De fondo	13.8	12.6	0.48	24300	-	395	35.7	96.9
	Muestreo	7.9 ± 2.6 <sup>b</sup>	8.2 ± 3.5 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.3 <sup>ab</sup>	11947.3 ± 3114.3 <sup>ab</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>a</sup>	304.4 ± 162.9 <sup>b</sup>	19.4 ± 8.4 <sup>ac</sup>	49.5 ± 20.7 <sup>ab</sup>
VR	De fondo	5.8	10.7	0.2	14600	-	342.5	11.3	47.1
	Muestreo	5.8 ± 0.5 <sup>b</sup>	10.7 ± 0.85 <sup>ab</sup>	0.2 ± 0.1 <sup>bc</sup>	14012 ± 1082.5 <sup>ab</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>ab</sup>	342.5 ± 38.6 <sup>ab</sup>	11.3 ± 3.1 <sup>c</sup>	47.1 ± 5.3 <sup>b</sup>
Ch	De fondo	12.98	13.73	1.22	11500	-	376.3	13.62	57.85
	Muestreo	8.1 ± 0.5 <sup>b</sup>	10.9 ± 1.7 <sup>ab</sup>	1.1 ± 0.3 <sup>ad</sup>	9698.9 ± 1337.9 <sup>a</sup>	0.21 ± 0.04 <sup>a</sup>	369.9 ± 68.3 <sup>ab</sup>	33.5 ± 14.7 <sup>ab</sup>	86.1 ± 26.5 <sup>ab</sup>
A	De fondo	13.65	34.86	0.734	22497	-	343.49	34.44	68.96
	Muestreo	13.6 ± 5.1 <sup>ab</sup>	11.6 ± 3.2 <sup>ab</sup>	0.2 ± 0.1 <sup>b</sup>	18137.4 ± 5361.3 <sup>ab</sup>	0.15 ± 0.04 <sup>b</sup>	390.3 ± 258.4 <sup>b</sup>	15.3 ± 4.3 <sup>ac</sup>	64.7 ± 16.1 <sup>ab</sup>
SF	De fondo	5.8	12	0.4	12500	-	188	10	49
	Muestreo	5.8 ± 0.6 <sup>b</sup>	10.6 ± 3.8 <sup>ab</sup>	0.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	10280.9 ± 1602.7 <sup>ab</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>b</sup>	371.4 ± 179.6 <sup>ab</sup>	11.1 ± 2.46 <sup>c</sup>	45.8 ± 23.5 <sup>ab</sup>
NOM-147-SEMARNAT-2004 (uso agrícola y residencial)		22	-	37	-	23	-	400	-
CEQG (Residencial)		12	63	10	-	6.6	-	140	250
Eco-SSL (mamíferos)		46	49	0.36	-	-	4000	50	79

Mun: municipio; NA= Noria de Ángeles; PN= Pánfilo Natera; P= Pinos; VR= Villa de Ramos; Ch= Charcas; A= Aqualulco; SF= San Felipe. Los valores seguidos de literales diferentes en cada columna indican una diferencia estadísticamente significativa (p < 0.05).

### 2.5.2. As y metales en rata de campo

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) de las concentraciones de As y metales en los tres tejidos de rata de campo (Figura 2.7). En hígado se encontraron las mayores concentraciones de As, Cu, Fe y Mn, tal como se ha encontrado en otros roedores silvestres (Erry *et al.*, 2000; Khazaei *et al.*, 2016) y animales en experimentación (Banu *et al.*, 2004). Las concentraciones de Cd y Hg fueron frecuentemente más altas en el riñón (Andrews *et al.*, 1984; Cooke *et al.*, 1990; Leradi *et al.*, 1996; Damek-Poprawa *et al.*, 2003). Los niveles de Zn no mostraron diferencias significativas; no obstante, las concentraciones más altas de este metal se encontraron en el músculo, se desconoce cuál es el tejido diana del Zn; sin embargo, diversos estudios lo han reportado en riñón (Cooke *et al.*, 1990), hígado (González *et al.*, 2008), fémur (Damek-Poprawa *et al.*, 2003) y plasma (Acuña *et al.*, 2016). No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Pb por tejido, ya que éste metal se acumula principalmente en el hueso (Nordberg, 1986; Purcell *et al.*, 1992; Leradi *et al.*, 1996; Sánchez-Chardi *et al.*, 2007; Martiniaková *et al.*, 2011).

El As y los metales ingresan por la ingesta de alimento contaminado y consumo de suelo accidental. Una vez en el organismo, estos son absorbidos por el tracto gastrointestinal y distribuidos a los tejidos blandos y tejidos mineralizados (dientes y huesos). Los metales se unen a proteínas como la metalotioneína que contribuyen con su distribución y acumulación (Husby *et al.*, 1999; Condomina *et al.*, 2002). La porción de metal que no es absorbido se excreta por diferentes vías, en animales de experimentación se encontró que el As se libera por la orina principalmente y a través de la placenta y leche materna (Herrera-Dueñas *et al.*, 2013); el Cd, Cu y Fe se excretan por las heces, orina y por la leche materna (Petersson y Oskarsson, 2000; Lara *et al.*, 2003; Zivna *et al.*, 2010; Feldman *et al.*, 2017); el Hg se excreta por las heces, la orina, por el cabello y piel (Farris, *et al.*, 1993) y el Zn se excreta cuando es catabolizado y por las heces (Souza *et al.*, 2007).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de As y metales en hígado y músculo de ratas capturadas en sitios mineros y no mineros; no obstante, en el riñón se identificaron diferencias significativas en las concentraciones de Fe ( $p= 0.039638$ ) y Hg ( $p= 0.025885$ ), las cuales fueron mayores en los sitios no mineros.

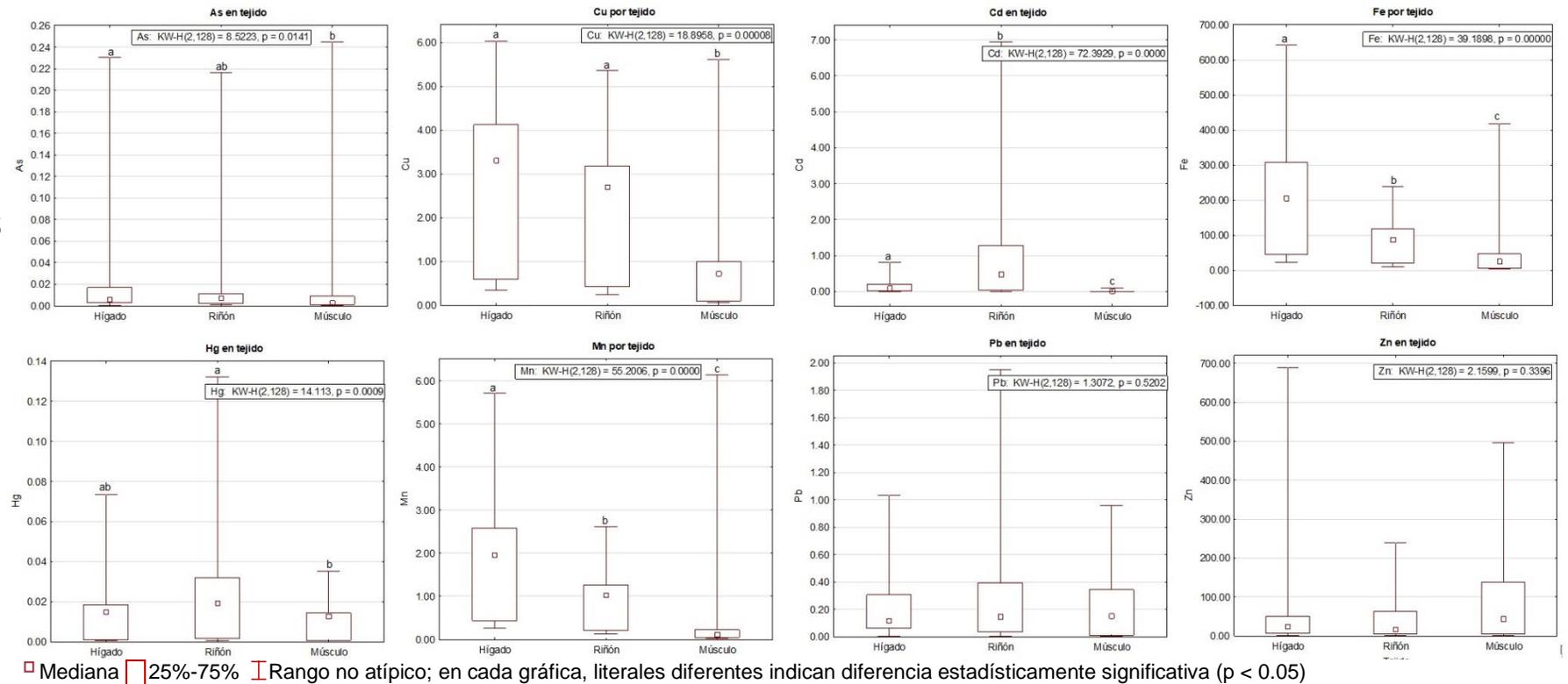


Figura 2.7. Concentraciones ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) de Arsénico y metales en hígado, riñón y músculo de rata de campo (*Neotoma* sp.) del Centro-Norte de México.

Se identificaron diferencias significativas en las concentraciones de As y metales en tejidos de ratas de campo por municipio (Cuadros 2.2, 2.3 y 2.4). En el hígado las concentraciones más altas de As y Cd se encontraron en Noria de Ángeles y fueron estadísticamente diferentes a las de Pánfilo Natera, Pinos y Charcas; los niveles más altos de Cu y Fe se encontraron en Ahualulco y fueron significativamente diferentes con los de Pánfilo Natera y Pinos. El contenido más alto de Hg ocurrió en Ahualulco y Charcas, el cual fue diferente al de Pánfilo Natera y Pinos. Finalmente, las concentraciones de Mn y Zn fueron más altas en Charcas, Ahualulco y San Felipe y diferentes de Pánfilo Natera y Pinos, respectivamente.

En riñón, las concentraciones más altas de As se encontraron en Noria de Ángeles y mostraron diferencias significativas con Pánfilo Natera y Pinos; los contenidos más altos de Cu y Pb se encontraron en Charcas y Ahualulco y mostraron diferencias con Pánfilo Natera y Pinos. El nivel más alto de Cd se encontró en Charcas y mostró diferencia con Noria de Ángeles y Pánfilo Natera mientras que las concentraciones más altas de Fe se registraron en Charcas, Ahualulco y San Felipe y fueron estadísticamente mayores que las de Pánfilo Natera. La concentración más alta de Hg se encontró en Ahualulco y fue diferente de Noria de Ángeles, Pánfilo Natera y Pinos. La concentración más alta de Mn se identificó en Charcas y Ahualulco, la cual fue estadísticamente diferente a la de Pánfilo Natera. Finalmente, las concentraciones más altas de Zn se encontraron en Ahualulco y San Felipe y fueron estadísticamente diferentes a las de Pánfilo Natera y Pinos, Zacatecas.

En músculo, las concentraciones de As, Cu, Cd, Fe y Mn fueron más altas en Noria de Ángeles. Las concentraciones de As en Noria de Ángeles fueron estadísticamente diferentes a las de Pánfilo Natera, Pinos y Charcas y las de Cu, Fe y Mn fueron mayores que las de Pinos. Asimismo, la concentración de Cd en Noria de Ángeles fue mayor que la encontrada en Ahualulco. Por otro lado, las concentraciones de Hg, Pb y Zn fueron más altas en Ahualulco y Charcas comparadas con las de Pánfilo Natera y Pinos.

Cuadro 2.2. Concentraciones (mg/kg<sup>-1</sup>) de As y metales en hígado de rata de campo (*Neotoma* sp.) muestreadas en el Centro-Norte de México.

Mun	As	Cu	Cd	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
NA*	0.09 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.82 ± 2.0 <sup>ab</sup>	0.26 ± 0.30 <sup>a</sup>	131.37 ± 103.43 <sup>abc</sup>	0.02 ± 0.02 <sup>ab</sup>	2.22 ± 1.78 <sup>abc</sup>	0.21 ± 0.26	51.43 ± 75.32 <sup>ab</sup>
PN*	0.003 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.26 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.08 <sup>ab</sup>	48.21 ± 12.66 <sup>ac</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.31 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.08	10.64 ± 9.41 <sup>ab</sup>
P	0.002 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.47 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.012 ± 0.008 <sup>ab</sup>	37.16 ± 6.09 <sup>c</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.03 ± 0.03	1.76 ± 0.27 <sup>a</sup>
VR	0.009 ± 0.06 <sup>ab</sup>	3.23 ± 1.61 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.06 <sup>ab</sup>	217.10 ± 118.72 <sup>abc</sup>	0.013 ± 0.007 <sup>ab</sup>	1.80 ± 0.83 <sup>ab</sup>	0.22 ± 0.23	48.99 ± 56.17 <sup>ab</sup>
Ch*	0.005 ± 0.003 <sup>b</sup>	3.67 ± 0.81 <sup>ab</sup>	0.20 ± 0.17 <sup>ab</sup>	336.40 ± 151.19 <sup>ab</sup>	0.02 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.18 ± 0.60 <sup>bc</sup>	0.28 ± 0.32	107.20 ± 218.93 <sup>b</sup>
A	0.02 ± 0.01 <sup>ab</sup>	3.72 ± 0.78 <sup>ab</sup>	0.12 ± 0.09 <sup>b</sup>	276 ± 153.93 <sup>abc</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.39 ± 0.35 <sup>bc</sup>	0.24 ± 0.09	81.34 ± 56.77 <sup>b</sup>
SF	0.006 ± 0.008 <sup>ab</sup>	4.45 ± 0.85 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.12 <sup>ab</sup>	426.59 ± 145.45 <sup>b</sup>	0.016 ± 0.002 <sup>ab</sup>	2.81 ± 0.74 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.31	43.80 ± 10.02 <sup>b</sup>

15 Mun: municipio; \* = sitios mineros; NA= Noria de Ángeles; PN= Pánfilo Natera; P= Pinos; VR= Villa de Ramos; Ch= Charcas; A= Ahualulco; SF= San Felipe. Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 2.3. Concentraciones (mg/kg<sup>-1</sup>) de As y metales en riñón de rata de campo (*Neotoma* sp.) muestreadas en el Centro-Norte de México.

Mun	As	Cu	Cd	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
NA*	0.10 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.41 ± 1.10 <sup>ab</sup>	0.28 ± 0.38 <sup>a</sup>	44.91 ± 36.11 <sup>ab</sup>	0.01 ± 0.01 <sup>abd</sup>	0.97 ± 1.02 <sup>ab</sup>	0.12 ± 0.15 <sup>ab</sup>	24.99 ± 24.99 <sup>ab</sup>
PN*	0.002 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.02 <sup>a</sup>	11.03 ± 1.44 <sup>a</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.41 ± 1.46 <sup>a</sup>
P	0.004 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.07 <sup>ab</sup>	30.66 ± 19.69 <sup>ab</sup>	0.002 ± 0.001 <sup>ab</sup>	0.31 ± 0.24 <sup>ab</sup>	0.04 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.59 ± 2.61 <sup>ac</sup>
VR	0.005 ± 0.005 <sup>ab</sup>	2.50 ± 1.82 <sup>ab</sup>	0.74 ± 0.64 <sup>ab</sup>	113.74 ± 88.6 <sup>ab</sup>	0.04 ± 0.05 <sup>abcd</sup>	1.11 ± 0.68 <sup>ab</sup>	0.23 ± 0.35 <sup>ab</sup>	56.3 ± 68.84 <sup>ab</sup>
Ch*	0.006 ± 0.009 <sup>ab</sup>	3.81 ± 1.00 <sup>b</sup>	2.20 ± 2.16 <sup>b</sup>	113.85 ± 26.78 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.03 <sup>bcd</sup>	1.21 ± 0.20 <sup>b</sup>	0.70 ± 0.43 <sup>b</sup>	44.33 ± 22.87 <sup>bc</sup>
A	0.011 ± 0.006 <sup>ab</sup>	3.65 ± 0.80 <sup>b</sup>	1.00 ± 0.99 <sup>ab</sup>	114.63 ± 12.74 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.00 ± 0.23 <sup>b</sup>	0.81 ± 0.73 <sup>b</sup>	142.49 ± 87.34 <sup>b</sup>
SF	0.01 ± 0.00 <sup>ab</sup>	3.01 ± 0.26 <sup>ab</sup>	1.35 ± 1.10 <sup>ab</sup>	126.88 ± 20.32 <sup>b</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>cd</sup>	1.25 ± 0.20 <sup>ab</sup>	0.17 ± 0.03 <sup>ab</sup>	71.09 ± 39.11 <sup>b</sup>

Mun: municipio; \* = sitios mineros; NA= Noria de Ángeles; PN= Pánfilo Natera; P= Pinos; VR= Villa de Ramos; Ch= Charcas; A= Ahualulco; SF= San Felipe. Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 2.4. Concentraciones (mg/kg<sup>-1</sup>) de As y metales en músculo de rata de campo (*Neotoma* sp.) muestreadas en el Centro-Norte de México.

Mun	As	Cu	Cd	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
NA*	0.11 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.94 ± 2.43 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.05 <sup>ab</sup>	158.95 ± 170.69 <sup>ac</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>abc</sup>	2.78 ± 2.83 <sup>a</sup>	0.19 ± 0.23 <sup>ab</sup>	64.47 ± 74.90 <sup>ab</sup>
PN*	0.0002 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>ab</sup>	4.97 ± 1.67 <sup>ab</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>ac</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.01 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.98 ± 3.73 <sup>a</sup>
P	0.001 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.46 ± 0.66 <sup>b</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	4.54 ± 0.19 <sup>a</sup>
VR	0.008 ± 0.010 <sup>ab</sup>	0.57 ± 0.31 <sup>ab</sup>	0.001 ± 0.00 <sup>ab</sup>	44.82 ± 39.21 <sup>ab</sup>	0.01 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.22 ± 0.16 <sup>ab</sup>	0.07 ± 0.06 <sup>ab</sup>	38.65 ± 20.14 <sup>ab</sup>
Ch*	0.001 ± 0.001 <sup>b</sup>	1.04 ± 0.50 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>b</sup>	31.05 ± 12.63 <sup>ab</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.37 ± 0.24 <sup>b</sup>	179.80 ± 21.52 <sup>b</sup>
A	0.002 ± 0.00 <sup>ab</sup>	1.04 ± 0.50 <sup>ab</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>ab</sup>	34.89 ± 13.27 <sup>ab</sup>	0.02 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.53 ± 0.28 <sup>b</sup>	164.75 ± 67.49 <sup>b</sup>
SF	0.002 ± 0.002 <sup>ab</sup>	0.94 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.001 ± 0.001 <sup>ab</sup>	39.93 ± 10.85 <sup>ac</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>bc</sup>	0.19 ± 0.07 <sup>ac</sup>	0.11 ± 0.05 <sup>ab</sup>	12.34 ± 2.28 <sup>ab</sup>

Mun: municipio; \*= sitios mineros; NA= Noria de Ángeles; PN= Pánfilo Natera; P= Pinos; VR= Villa de Ramos; Ch= Charcas; A= Ahualulco; SF= San Felipe. Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Las ratas de campo de los sitios no mineros (Ahuatlulco y San Felipe) mostraron las concentraciones de Cu, Fe, Mn, Pb y Zn más altas comparadas con los sitios mineros (Noria de Ángeles, Pánfilo Natera y Charcas). Si bien el Cu, Fe, Mn y Zn son oligoelementos esenciales para los procesos biológicos, se ha demostrado que, en concentraciones elevadas, éstos son tóxicos (Påhlsson, 1989; López de Romaña *et al.*, 2010). Por el contrario, el As, Cd, Hg y Pb no son metales esenciales para los seres vivos y su toxicidad es bien conocida (Wren *et al.*, 1987; Nolan y Shaikh, 1992; Lara *et al.*, 2003; Feldman *et al.*, 2011).

No existen valores de referencia específicos para *Neotoma* sp. por lo que las comparaciones de concentraciones de los diferentes metales se realizaron con especies afines al género (Cuadro 2.5). En el presente estudio se identificó que las concentraciones de Zn en músculo de la rata de campo de sitios mineros y no mineros fueron mayores a las encontradas en *M. pennsylvanicus* y *C. glareolus*. Asimismo, las concentraciones de Fe y Zn en hígado y riñón de ejemplares muestreados en sitios mineros y no mineros fueron mayores que las de *Peromyscus* spp. Aun cuando el Zn es un elemento esencial para los seres vivos, se ha demostrado que éste es responsable de aberraciones cromosómicas en *Peromyscus leucopus* capturados en sitios contaminados con Zn (Husby *et al.*, 1999). No obstante que las concentraciones de Fe y Zn en la rata de campo (este estudio) se ubicaron en niveles fisiológicos aceptables, Damek-Poprawa *et al.* (2003) encontraron que en *Apodemus flavicollis* las concentraciones de Fe ( $449.4 \pm 35.7 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $394.4 \pm 119.8 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) y Zn ( $68.1 \pm 33.5 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $55.4 \pm 2.9 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) no causaron efectos histopatológicos. En cuanto a los niveles de Mn, éstos fueron menores a los registrados en *Peromyscus* spp., lo que en mamíferos se consideran normales (Lewis *et al.*, 2001; Méndez-Rodríguez y Álvarez-Castañeda, 2016).

La comparación de las concentraciones de Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn encontradas en este estudio debe usarse con reserva, pues ésta se realizó con especies que tienen diferentes requerimientos de hábitat, están expuestas a temperaturas y estrés nutricional específicos, los cuales intervienen en el secuestro de metales, afectan la producción de las metalotioneínas que se unen a metales esenciales y tóxicos para su transporte y

excreción (Husby *et al.*, 1999; Juárez-Rebollar *et al.*, 2014). Asimismo, se recomienda comparar los resultados de esta investigación con otros, donde se hayan registrado efectos adversos en roedores silvestres y de experimentación expuestos a As y metales. Lo anterior permitirá visualizar el riesgo al cual la rata de campo podría estar expuesta.

Aunque las concentraciones de As ( $0.09 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $0.10 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) de los ejemplares de Noria de Ángeles fueron las más altas del área de estudio, estas son menores a las que se encontraron en *Apodemus sylvaticus* ( $6.4 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $5.3 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) y *Clethrionomys glareolus* ( $2.16 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $4.1 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) provenientes de sitios contaminados con As (Erry *et al.*, 2000). Incluso son menores a las que se reportaron en *Chaetodipus nelsoni* y *Dipodomys merriami* ( $1.3 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado  $1.8 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón), en las cuales mediante electroforesis alcalina de células individuales se evidenció daño al ADN (Jasso-Pineda *et al.*, 2007; Espinosa-Reyes *et al.*, 2010), por lo que se puede deducir que no existe un riesgo potencial para la salud de la rata de campo en el área de estudio.

En *Chaetodipus arenarius* la concentración de  $9.7 \text{ mg/kg}^{-1}$  de Cu registrada en sitios de referencia se considera normal en mamíferos pequeños; al respecto Méndez-Rodríguez y Álvarez-Castañeda (2016) establecen que el monitoreo del Cu en roedores no es requerido pues éstos lo regulan satisfactoriamente. En contraste, Banu *et al.* (2004) demostraron mediante electroforesis alcalina de células individuales que, en roedores, las concentraciones de Cu de 1.25, 2.50, 5.00, 7.50, 10.00 y  $12.50 \text{ mg/kg}^{-1}$  provocaron ruptura de sus cadenas de ADN; en este sentido, la rata de campo de todos los sitios estudiados, con excepción de Pánfilo Natera y Pinos, Zacatecas, podría enfrentar efectos adversos por su exposición al Cu.

Con respecto al efecto del Hg en mamíferos pequeños existen pocas referencias bibliográficas. Las concentraciones de Hg registradas en este estudio para rata de campo de sitios mineros ( $0.01 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado,  $0.01 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón y  $0.006 \text{ mg/kg}^{-1}$  en músculo) y no mineros ( $0.01 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado,  $0.05 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón y  $0.01 \text{ mg/kg}^{-1}$  en músculo) fueron menores a las reportadas en musarañas capturadas en sitios contaminados ( $2.24 \text{ mg/kg}^{-1}$ ) y en sitios de referencia ( $0.93 \text{ mg/kg}^{-1}$ ) (Sánchez-Chardi *et al.*, 2007). Por su tasa metabólica, las musarañas bioacumulan metales más rápidamente

Cuadro 2.5. Concentraciones (mg/kg<sup>-1</sup>) de metales en tejido de roedores silvestres y en rata de campo (*Neotoma* sp.) muestreada en sitios mineros y no mineros (este estudio).

Organismo	Nombre científico	Metal	Tejido			Referencia
			Hígado	Riñón	Músculo	
Ratón de campo	<i>Microtus pennsylvanicus</i> (Sitio minero)	Cu	28	19.8	3.6	Cloutier <i>et al.</i> , 1985
		Fe	1450	640	190	
		Pb	2	1.2	1	
		Zn	70	72	42	
Ratón de campo	<i>Apodemus sylvaticus</i> (Sitio minero)	Cd	0.71	1.78	-	Cook <i>et al.</i> , 1990
		Pb	12.8	22.5	-	
		Zn	218	401	-	
Ratón de campo	<i>Microtus agrestis</i> (Sitio minero)	Cd	1.8	5.27	-	
		Pb	11.1	22.2	-	
		Zn	79.8	84	-	
Topillo rojo	<i>Clethrionomys glareolus</i> (sitio minero)	Cd	0.3	1.9	0.04	Milton <i>et al.</i> , 2003
		Pb	2	16.1	3.6	
		Zn	77.7	72	51.9	
Topillo rojo	<i>Clethrionomys glareolus</i> (sitio minero)	Cu	19.96	19.7	-	Topolska <i>et al.</i> , 2004
		Cd	1.18	4.33	-	
		Fe	615.33	422	-	
		Zn	90.33	92.7	-	
Ratón de patas blancas	<i>Peromyscus</i> pp.	Cu	5.07	2.17	-	Lewis <i>et al.</i> , 2001
		Fe	21.3	-	-	
		Mn	1.82	-	-	
		Pb	1.9	0.62	-	
		Zn	34.2	21.1	-	
Rata de campo	<i>Neotoma</i> sp. (sitios mineros)	Cu	2.67 ± 1.76	1.97 ± 1.61	1.44 ± 1.77	Este estudio
		Cd	0.19 ± 0.23	0.95 ± 1.70	0.02 ± 0.03	
		Fe	193.52 ± 164.20	60.83 ± 48.28	65.82 ± 113	
		Mn	1.79 ± 1.37	0.86 ± 0.75	0.96 ± 2.01	
		Pb	0.21 ± 0.26	0.28 ± 0.36	0.23 ± 0.25	
		Zn	64.39 ± 144.86	26.02 ± 27.43	103.60 ± 116.10	
Rata de campo	<i>Neotoma</i> sp. (sitios no mineros)	Cu	2.97 ± 1.80	2.52 ± 1.66	0.66 ± 0.48	
		Cd	0.11 ± 0.10	0.83 ± 0.87	0.00 ± 0.00	
		Fe	239.21 ± 181.34	98.82 ± 57.87	30.77 ± 25.70	
		Mn	1.84 ± 1.10	0.95 ± 0.53	0.14 ±	
		Pb	0.24 ± 0.23	0.36 ± 0.51	0.18 ± 0.25	
		Zn	67.89 ± 43.97 ± 46.98	26.02 ± 27.43	103.60 ± 116.10	

por lo que han sido estudiadas ampliamente (Reinecke *et al.*, 2000; González *et al.*, 2008; Schmidt *et al.*, 2016) como excelentes bioindicadores (Ma, 1989; Talmage y Walton 1991).

*Chaetodipus nelsoni* y *Dipodomys merriami* presentaron efectos genotóxicos por su exposición a concentraciones de Cd ( $0.8 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $2.2 \text{ mg/kg}$  en riñón) y Pb ( $0.2 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $0.9 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) (Jasso-Pineda *et al.*, 2007). Por ello, las ratas de campo de Villa de Ramos, Charcas, Ahualulco y San Felipe podrían presentar efectos adversos en su salud y presentar cambios histopatológicos como se encontró en *Apodemus flavicollis*, la cual presentó daño hepático e hinchazón de los glomérulos y los tubos proximales del riñón por su exposición al Cd ( $0.25 \pm 0.08 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $1.16 \pm 0.38 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) y Pb ( $0.22 \pm 0.4 \text{ mg/kg}^{-1}$  en hígado y  $1.43 \pm 0.22 \text{ mg/kg}^{-1}$  en riñón) (García-Arribas *et al.*, 2001; Damek-Poprawa *et al.*, 2003). Además, se identificó que las concentraciones de  $1.5$  y  $1.7 \text{ mg/kg}^{-1}$  de Cd en *Clethrionomys glareolus* redujeron la absorción de calcio, lo que podría afectar su reproducción, crecimiento y supervivencia (Shore *et al.*, 1995). Asimismo, las concentraciones de  $2$  y  $4 \text{ mg/kg}^{-1}$  de Cd conducen a la apoptosis, y al estrés oxidativo y endoplásmico en el hígado (Jin *et al.*, 2016).

Las ratas de campo muestreadas en sitios no mineros presentaron concentraciones de Cd, Hg y Pb más altas que las provenientes de sitios mineros, lo que sugiere que la bioacumulación de estos metales está influenciada también por factores externos (movilidad y disponibilidad de los metales y la capacidad del organismo para adquirirlos) no contemplados en esta investigación.

Debido a que la rata de campo construye sus madrigueras y realiza sus actividades en el suelo, se esperaría que las concentraciones de As y metales en sus tejidos fueran muy similares a las del suelo; sin embargo, no se encontró tal relación. El suelo juega un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales, la cual depende del número de cargas y de la energía de retención de los metales y se ve influenciada por factores externos (pH, temperatura, humedad, ambiente químico etc.) (Navarro-Aviñó *et al.*, 2007; Galán *et al.*, 2008); asimismo, las plantas secuestran metales y los ingresan a la cadena trófica (Méndez *et al.*, 2009).

La rata de campo basa su dieta en el consumo de nopal (*Opuntia* sp.), maguey (*Agave* sp.) (Villanueva-Hernández *et al.*, 2017), mezquite (*Prosopis* sp) y huizache (*Acacia* sp.) (Castleberry *et al.*, 2001; Lombardi *et al.*, 2017). El mezquite (*Prosopis juliflora*) y huizache (*Acacia farnesiana*) en zonas de jales mineros acumulan y traslocan As y Zn a sus hojas sin sufrir daño aparente, por lo que son plantas con potencial fitorremediador (Puga y Sosa, 2006; Noriega-Luna *et al.*, 2016). Por otra parte, el nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) y nopal robusto (*Opuntia robusta*) acumulan y toleran al Pb; particularmente, el nopal pachón (*Opuntia* spp.) es un hiperacumulador de este metal (Manzanares-Acuña *et al.*, 2006). Sin embargo, para entender la dinámica de ingreso de As y metales a la rata de campo, se necesita investigar sobre las concentraciones de estos elementos en la vegetación del hábitat de la rata, conocer las características físico-químicas del suelo donde la rata construye sus madrigueras y forrajea, y tomar en cuenta los componentes de su dieta.

Los habitantes de las comunidades rurales del Centro-Norte de México complementan su dieta a través del consumo de rata de campo. Para identificar el nivel de toxicidad de metales presentes en organismo provenientes de sitios mineros y no mineros, sus concentraciones se compararon con los límites máximos permisibles para el consumo humano con normas de referencia. La Unión Europea (UE) establece los procedimientos que permiten evaluar el nivel de toxicidad admisible de los contaminantes presentes en los productos alimenticios para asegurar y ofrecer un alimento inocuo; en este sentido la UE, en su reglamento número 1881/2006 establece el contenido de ciertos contaminantes en los productos alimenticios (Cuadro 2.6) (Lozano *et al.*, 2017). Por otra parte, el *Codex Alimentarius*, organismo internacional subsidiario de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) fija las normas de seguridad alimentaria de referencia para el comercio de productos alimenticios (Cuadro 2.6) (FAO, 1999).

Cuadro 2.6. Concentraciones (mg/kg<sup>-1</sup>) de metales en tejidos de rata de campo (este estudio), que de acuerdo con la Unión Europea y el *Codex Alimentarius* representan un riesgo para el consumo humano.

Mun	Cd			Hg			Pb		
	H	R	M	H	R	M	H	R	M
A	-	1.00 ± 0.99	-	-	0.05 ± 0.01	-	-	0.81 ± 0.73	0.53 ± 0.28
SF	-	1.35 ± 1.10	-	-	-	-	-	-	0.11 ± 0.05
Ch	-	2.20 ± 2.16	-	-	-	-	-	0.70 ± 0.43	0.37 ± 0.24
NA	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19 ± 0.23
EU	0.5	1.00	0.05	-	-	0.5	0.5	0.5	0.1
CA	-	-	-	-	0.5	-	0.5	0.5	-

Mun: Municipio; A= Ahualulco; SF= San Felipe; Ch= Charcas; Na= Noria de Ángeles; H= hígado; R= riñón y M= músculo; UE= Unión Europea; CA= *Codex Alimentarius*.

De acuerdo a la UE y el *Codex Alimentarius*, los municipios en los que se identificaron niveles altos de metales en rata de campo fueron, Ahualulco, San Felipe, Charcas y Noria de Ángeles. Las concentraciones de metales en tejidos de roedores son similares a las que se han encontrado en humanos; por ello, los roedores resultan útiles para detectar efectos adversos que provocados por la exposición constante a metales.

Algunos estudios han documentado que el Cd, Hg y Pb no son esenciales para el organismo y cuya presencia, causan daños al sistema nervioso central (Evans, 1993; Romero *et al.*, 2008; Driscoll *et al.*, 2013; Duan *et al.*, 2017). El porcentaje del Cd y Pb que no son absorbidos, afectan la microbiota intestinal y a su vez al tracto gastrointestinal y la homeostasis intestinal (Breton *et al.*, 2013a). Asimismo, se ha demostrado que dichos metales perturban la homeostasis de los metales esenciales, conducen a una deficiencia de Fe y al aumento de Zn, provocando inflamación y enfermedades infecciosas en el tracto gastrointestinal (Breton *et al.*, 2013b; Min *et al.*, 2008)

En ratas preñadas el consumo de Cd ocasionó efectos teratogénicos y daños en la mucosa yugal (Lara *et al.*, 2003), así como efectos embriotóxicos (Ara *et al.*, 2016) y a este metal se le relaciona con el daño estructural y funcional del hígado, útero y riñón (García y Hernández, 2017; Elbaghdady *et al.*, 2018a). Asimismo, una concentración alta de Cd en roedores machos ocasiona anemia, daño nervioso o cerebral, tumores en sus testículos (Waalkes *et al.*, 1997; ASTDR, 2012), disminución en la producción y calidad de espermatozoides (Elbaghdady *et al.*, 2018b).

La exposición crónica de roedores al Pb en una concentración de 1 a 25 mg/kg<sup>-1</sup> provoca hipertensión arterial, aumento de peso y modifica el funcionamiento normal del metabolismo (Riera *et al.*, 2001; Feldman *et al.*, 2011); además, induce disbiosis de la microbiota intestinal (Xia *et al.*, 2018). También provoca alteraciones en la estructura mitocondrial, inflamación y fibrosis en los pulmones e hiperplasia y daño de los túbulos y glomérulos (Nolan y Shaikh, 1992). En neonatos de ratas, el consumo de Pb, alteró el comportamiento y redujo el número de interneuronas GABAélicas (Duan *et al.*, 2017). Cabe señalar que el Pb se libera lentamente del organismo y que su presencia continua en pequeñas dosis ocasiona una intoxicación (Rodríguez-Rey *et al.*, 2016).

Los efectos tóxicos del Hg han sido ampliamente estudiados en animales acuáticos, animales domésticos y humanos, pero estos efectos se desconocen en mamíferos silvestres terrestres; sin embargo, se ha documentado que el Hg en ratas atraviesa la placenta, provoca daños en el neurodesarrollo del feto (Yang *et al.*, 1972; Wren *et al.*, 1987), ocasiona alteraciones a nivel glomerular con congestión vascular y aumento de celularidad glomerular moderada (Condori y Santiago, 2017) y provoca alteraciones epiteliales en el páncreas (Mendes *et al.*, 1998).

En este estudio cuantificamos las concentraciones de As y metales pesados en suelo y tejido de ejemplares de la rata de campo provenientes de sitios mineros y no mineros de siete municipios de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Guanajuato. El suelo de Noria de Ángeles, Zacatecas, fue el único que rebasó el límite máximo permisible de As establecido por la NOM-147-SEMARNAT-2004. En tejido de rata de campo, se identificó que las concentraciones de Cd, Hg y Pb de los ejemplares de Noria de Ángeles, Charcas, Ahualulco y San Felipe superan el límite establecido por la UE y el *Codex Alimentarius*, por lo que representan un riesgo potencial para el consumo humano. Estos resultados son la pauta para evaluaciones de riesgo ecológico y pueden considerarse para establecer planes de manejo de la especie a fin de garantizar un alimento libre de contaminantes y aportan información ecotoxicológica útil para estudios futuros.

## 2.6. CONCLUSIONES

Los contenidos de As, Cu, Cd, Hg, Mn, Pb y Zn en el suelo de los sitios mineros fueron mayores a los no mineros. Las concentraciones que fueron mayores a los niveles de fondo geológico fueron; Cd, Mn, Pb, y Zn en Pánfilo Natera, Pb y Zn en charcas; Mn y Pb en San Felipe y Mn en Ahualulco. En relación con la NOM-147-SEMARNAT-2004, Noria de Ángeles es el único municipio contaminado con As; sin embargo, los valores de referencia de CEQG y de la Eco-SSL demostraron que Pánfilo Natera está contaminado con As, Cd, Pb y Zn, Ahualulco con As y Charcas con Cd y Zn, por lo que representan un riesgo potencial para la salud de la rata de campo, humanos y para la biota. Los sitios del estado de Zacatecas presentaron la mayor contaminación por As, Cd, Pb y Zn en comparación con los sitios de San Luis Potosí y Guanajuato.

Las concentraciones más altas de As, Cu, Fe y Mn se encontraron en el hígado, las de Cd y Hg en el riñón y las de Zn en el músculo. No se identificaron diferencias entre las concentraciones de As y metales en hígado y músculo en los sitios mineros y no mineros. Sin embargo, en el riñón se identificaron diferencias significativas en las concentraciones de Fe y Hg, las cuales fueron mayores en los sitios no mineros. Las concentraciones de Cd, Cu y Pb encontrados en los tejidos de la rata de campo son similares a los reportados en otros estudios. Conforme a las concentraciones de metales que establece la Unión Europea y el *Codex Alimentarius*, los municipios en los que la rata de campo se encuentra contaminada con Cd, Hg y Pb son; Ahualulco, San Felipe, Charcas y Noria de Ángeles. Ante este panorama es importante evaluar los efectos adversos en la rata de campo por la presencia de As y metales, y estimar el riesgo potencial para la salud de los consumidores.

Los contenidos de metales en suelo y tejido de rata de campo no se correlacionaron, pues en Ahualulco y San Felipe no se registró contaminación (de acuerdo con las normas de referencia) en suelo por Cd, Hg y Pb, pero si en la rata, por lo que en estudios futuros se recomienda investigar la presencia de As y metales en la vegetación presente en el hábitat de la rata de campo y en los componentes de la dieta, así como las propiedades físico-químicas del suelo donde la rata de campo construye sus madrigueras.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- Acuña, G., Amelo, H. J., Rodríguez, L., de Castro, N., y Rodríguez, G. 2016. Farmacocinética del zinc en ratas mediante bootstrap, *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 2 (1): 1-10.
- Andrews, S. M., Johnson, M. S., and Cooke, J. A. 1984. Cadmium in small mammals from grassland established on metalliferous mine waste. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 33 (2): 153-162.
- Ara, C., Asmatullah, Andleeb, S., Tahir, M., Khan, A. R., and Ahmad Khan, M. K. 2016. Cadmium induced teratogenic effects in developing mus musculus. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(1): 73-81.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological) 2012. profile for Cadmium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Banu, S. B., Ishaq, M., Danadevi, K., Padmavathi, P., and Ahuja, Y. R. 2004. DNA damage in leukocytes of mice treated with copper sulfate. *Food and Chemical Toxicology*, 42 (12): 1931-1936.
- Breton, J., Le Clère, K., Daniel, C., Sauty, M., Nakab, L., Chassat, T., ... Foligné, B. 2013b. Chronic ingestion of cadmium and lead alters the bioavailability of essential and heavy metals, gene expression pathways and genotoxicity in mouse intestine. *Archives of Toxicology*, 87(10): 1787-1795.
- Breton, J., Massart, S., Vandamme, P., De Brandt, E., Pot, B., and Foligné, B. 2013a. Ecotoxicology inside the gut: impact of heavy metals on the mouse microbiome. *BMC pharmacology & toxicology*, 14: 62.
- Castleberry, S. B., Ford, W. M., Wood, P. B., Castleberry, N. L., and Mengak, M. T. 2001. Movements of allegheny woodrats in relation to timber harvesting. *The Journal of Wildlife Management*, 65 (1): 148-156.
- Cerón-Rivera, C., Martínez-Montoya, J. F., Olmos-Oropeza, G., Palacio-Núñez, J., and Espinosa-Reyes, G. 2018. Potentially toxic minerals in environmental liabilities in Noria de Ángeles, Zacatecas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(3): 329-337.
- Chung, Y. S., Kim, S. H., Moon J. H., Kim, Y. J., Lim, J. M., and Lee, J. H. 2005. Source identification and long-term monitoring of airborne particulate matter (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) in an urban region of Korea. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 267 (1): 35-48.
- Cloutier, N. R., Clulow, F. V., Lim, T. P., and Davé, N. K. 1985. Metal (Cu, Ni, Fe, Co, Zn, Pb) and Ra-226 levels in meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*) living on nickel and uranium mine tailings in Ontario, Canada: environmental and tissue levels. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical*, 10 (1): 19-46.

- Condomina, J., Zornoza-Sabina, T., Granero, L., and Polache, A. 2002. Kinetics of zinc transport in vitro in rat small intestine and colon: interaction with copper. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16 (4): 289-295.
- Condori, E., y Santiago, J. 2017. Toxicidad crónica de metil-mercurio sobre los niveles de creatinina y alteración histológica de riñón en *Rattus Norvegicus* variedad Sprague Dawley. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín 63 p.
- Cooke, J. A., Andrews, S. M., and Johnson, M. S. 1990. The accumulation of lead, zinc, cadmium and fluoride in the wood mouse (*Apodemus sylvaticus* L.). *Water, Air, & Soil Pollution*, 51 (1): 55-63.
- Damek-Poprawa, M., and Sawicka-Kapusta, K. 2003. Damage to the liver, kidney, and testis with reference to burden of heavy metals in yellow-necked mice from areas around steelworks and zinc smelters in Poland. *Toxicology*, 186 (1): 1-10.
- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J., and Pirrone, N. 2013. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects. *Environmental Science & Technology*, 47 (10): 4967-4983.
- Duan, Y., Peng, L., Shi, H., and Jiang, Y. 2017. Los efectos del plomo sobre las interneuronas GABAérgicas en roedores. *Toxicology and Industrial Health*, 33(11): 867-875.
- Elbaghdady, H. A. M., Alwaili, M. A., and EL-Demerdash, R. S. 2018b. Amelioration of cadmium-induced testes' damage in rats by the bone marrow mesenchymal stem cells. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 763-769.
- Elbaghdady, H. A. M., Alwaili, M. A., and EL-Demerdash, R. S. 2018a. Regenerative potential of bone marrow mesenchymal stem cells on cadmium chloride-induced hepato-renal injury and testicular dysfunction in sprague dawley rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164: 41-49.
- EPA (United State Environmental Protection Agency) 2016. Interim Ecological Soil Screening Level Documents. <https://www.epa.gov/chemical-research/interim-ecological-soil-screening-level-documents>. Fecha de consulta 23 de agosto de 2018.
- EPA (United State Environmental Protection Agency) 1996. SW-846 Test Method 3052: Microwave assisted acid digestion of Siliceous and organically bases matrices. <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based>. Fecha de consulta 13 de abril de 2018.
- Erry, B. V., Macnair, M. R., Meharg, A. A., and Shore, R. F. 2000. Arsenic contamination in wood mice (*Apodemus sylvaticus*) and bank voles (*Clethrionomys glareolus*) on abandoned mine sites in southwest Britain. *Environmental Pollution*, 110 (1): 179-187.
- Espinosa-Reyes, G., González-Mille, D. J., Ilizaliturri-Hernández, C. A., Mejía-Saavedra, J., Cilia-López, V. G., Costilla-Salazar, R., and Díaz-Barriga, F. 2014. Effect of

- mining activities in biotic communities of Villa de la Paz, San Luis Potosi, Mexico. *BioMed Research International*, 2014: 1-13.
- Espinosa-Reyes, G., Torres-Dosal, A., Ilizaliturri, C., González-Mille, D., Díaz-Barriga, F., and Mejía-Saavedra, J. 2010. Wild rodents (*Dipodomys merriami*) used as biomonitors in contaminated mining sites. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 45 (1): 82-89.
- Evans, P. H. 1993. Free radicals in brain metabolism and pathology. *British Medical Bulletin*, 49 (3): 577-587.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 1999. *Que es el Codex Alimentarios*. <http://www.fao.org/noticias/1999/codex-s.htm>. Fecha de consulta 7 de agosto de 2018.
- Farris, F. F., Dedrick, R. L., Allen, P. V., and Smith, J. C. 1993. Physiological model for the pharmacokinetics of methyl mercury in the growing Rat. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 119 (1): 74-90.
- Feldman, G., Chain, S., Soria, N., Bautista, N., y Riera, N. M. 2011. Presencia de síndrome metabólico en ratas inducido por distintas concentraciones de plomo. *Insuficiencia Cardiaca*, 6 (3): 112-117.
- Feldman, M., Friedman, L. S., and Brandt, L. J. 2017. *Sleisenger y Fordtran. Enfermedades digestivas y hepáticas: Fisiopatología, diagnóstico y tratamiento*. Elsevier Health Sciences. 2656 p.
- Ferrer, A. 2003. Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26: 141-153.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. Geology of Mexico a synopsis in: *Biological diversity of Mexico, origins and distributions*. En: Ramamoorthy, T. P., Bye R, Lot, A. (eds). Oxford University Press, Oxford. 3-107 p.
- Festa, F., Cristaldi, M., Ieradi, L. A., Moreno, S., and Cozzi, R. 2003. The Comet assay for the detection of DNA damage in *Mus spretus* from Doñana National Park. *Environmental Research*, 91 (1): 54-61.
- Galán, E., Fernández-Caliani, J. C., González, I., Aparicio, P., and Romero, A. 2008. Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of south–west Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 98 (3): 89-106.
- García Amaro de Miranda, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 50: 67-76.
- García, M. M., y Hernández, E. M. 2017. Evaluación del riesgo de toxicidad crónica por exposición a cadmio en ratas (*Rattus norvegicus*). *Ciencia e Investigación*, 17(2): 74-79.
- García-Arribas, O., Pérez-Calvo, M., Muñoz, S., Escribano, J. M., Miranda, J. M., Sancho, M., ... Ribas, B. 2001. Determinación de la permitividad y conductividad eléctrica

- a la frecuencia de microondas de varios tejidos de rata tratadas con cadmio. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, 67 (1): 15-25.
- Giménez de Azcárate, J., y González, C. O. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). *Acta Botánica Mexicana*, 94: 91-123.
- Giulio, R. T. D., and Hinton, D. E. 2008. *The Toxicology of Fishes*. CRC Press. 1096 p.
- González, X. I., Aboal, J. R., Fernández, J. A., and Carballeira, A. 2008. Evaluation of some sources of variability in using small mammals as pollution biomonitors. *Chemosphere*, 71 (11): 2060-2067.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., y López-Enríquez, I. L. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100: 351-403.
- Hermoso, M., García, M., Rodríguez, F. S., y López, M. P. 2008. Los mamíferos salvajes terrestres como bioindicadores: nuevos avances en Ecotoxicología. *Observatorio Medioambiental*, 11: 37-62.
- Herrera-Dueñas, A., Pineda-Pampliega, J., y Antonio, M. T. 2013. Arsenic bioaccumulation in animal tissues after consumption of contaminated water experimentally. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica: órgano del Instituto de Ciencias Naturales José de Acosta*, 107 p.
- Huertos, E. G., y Baena, A. R. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10: 48-60.
- Husby, M. P., Hausbeck, J. S., and McBee, K. 1999. Chromosomal aberrancy in white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) collected on abandoned coal strip mines, Oklahoma, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18 (5): 919-925.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2005. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>. Fecha de consulta 7 de agosto de 2018.
- Jasso-Pineda, Y., Espinosa-Reyes, G., González-Mille, D., Razo-Soto, I., Carrizales, L., Torres-Dosal, A., ... Díaz-Barriga, F. 2007. An integrated health risk assessment approach to the study of mining sites contaminated with arsenic and lead. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3 (3): 344-350.
- Jin, Y., Zhang, S., Tao, R., Huang, J., He, X., Qu, L., and Fu, Z. 2016. Oral exposure of mice to cadmium (II), chromium (VI) and their mixture induce oxidative- and endoplasmic reticulum-stress mediated apoptosis in the livers. *Environmental Toxicology*, 31(6): 693-705.
- Juárez-Rebollar, D., and Méndez-Armenta, M. 2014. Aspectos funcionales de la metalotioneína en el sistema nervioso central. *Arch Neurociencia*, 19 (1): 34-41.
- Khazaee, M., Hamidian, A. H., Alizadeh Shabani, A., Ashrafi, S., Mirjalili, S. A. A., and Esmaeilzadeh, E. 2016. Accumulation of heavy metals and As in liver, hair, femur,

- and lung of persian jird (*Meriones persicus*) in Darreh Zereschk copper mine, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (4): 3860-3870.
- Lara, C. P., Watanabe, I.-S., Lopes, R. A., Sala, M. A., y Picoli, F. 2003. Efectos del cadmio en la mucosa yugal de la rata durante la lactancia. estudio morfológico e histométrico. *International Journal of Morphology*, 21 (3): 191-198.
- Leradi, L. A., Cristaldi, M., Mascanzoni, D., Cardarelli, E., Grossi, R., and Campanella, L. 1996. Genetic damage in urban mice exposed to traffic pollution. *Environmental Pollution*, 92 (3): 323-328.
- Lewis, L. A., Poppenga, R. J., Davidson, W. R., Fischer, J. R., and Morgan, K. A. 2001. Lead toxicosis and trace element levels in wild birds and mammals at a firearms training facility. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41 (2): 208-214.
- Lombardi, J. V., Mengak, M. T., Castleberry, S. B., and Terrell, V. K. 2017. Mammal occurrence in rock outcrops in Shenandoah National Park: Ecological and anthropogenic factors influencing trap success and co-occurrence. *Natural Areas Journal*, 37 (4): 507-514.
- López de Romaña, D., Castillo D, C., y Diazgranados, D. 2010. El zinc en la salud humana -1. *Revista chilena de nutrición*, 37 (2): 234-239.
- Lozano S. G., Lozano Bilbao, E., Gutiérrez, A., Hardisson de La Torre, A., y Melón Rodríguez, E. 2017. Legislación de la Unión Europea sobre metales pesados en alimentos marinos. *VIERAEA*, 45: 381-392.
- Ma, W. 1989. Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 18 (4): 617-622.
- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., y Giraldoth, D. 2008. Contaminación por metales (pb, zn, ni y cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24 (4): 171-182.
- Manzanares-Acuña, E., Vega-Carrillo, H. R., Salas-Luévano, M. Á., Hernández-Dávila, V. M., Letechipía-de León, C., y Bañuelos-Valenzuela, R. 2006. Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo, Zacatecas, México. *Salud Pública de México*, 48 (3): 212-219.
- Marguí, E., Salvadó, V., Queralt, I., and Hidalgo, M. 2004. Comparison of three-stage sequential extraction and toxicity characteristic leaching tests to evaluate metal mobility in mining wastes. *Analytica Chimica Acta*, 524 (1): 151-159.
- Martínez-Flores, K., Souza-Arroyo, V., Bucio-Ortiz, L., Quiroz, G., Enrique, L., Ruiz, G., y Concepción, M. 2013. Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta toxicológica argentina*, 21 (1): 33-49.
- Martiniaková, M., Omelka, R., Jančová, A., Stawarz, R., and Formicki, G. 2011. Concentrations of selected heavy metals in bones and femoral bone structure of

- bank (*Myodes glareolus*) and common (*Microtus arvalis*) voles from different polluted biotopes in Slovakia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 60 (3): 524-532.
- Mendes, G. E. F., Azoubel, R., Lopes, R. A., Sala, M. A., Lacerda, D., A. S., ... R, A. 1998. Efectos de la exposición a bajas dosis de metilmercurio sobre el páncreas de fetos de ratas.: estudios morfométrico y estereológico. Revista chilena de anatomía, 16 (2): 177-183.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., y García, F. P. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10 (1): 29-44.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., y García, F. P. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10 (1): 29-44.
- Méndez-Rodríguez, L. C., and Álvarez-Castañeda, S. T. 2016. Assessment of trace metals in soil, vegetation and rodents in relation to metal mining activities in an arid environment. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 97 (1): 44-49.
- Milton, A., and Johnson, M. 1999. Biomonitoring of contaminated mine tailings through age accumulation of trace metals in the bank vole (*Clethrionomys glareolus*). Journal of Environmental Monitoring: JEM, 1 (3): 219-225.
- Milton, A., Cooke, J. A., and Johnson, M. S. 2003. Accumulation of lead, zinc, and cadmium in a wild population of *Clethrionomys glareolus* from an abandoned lead mine. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 44 (3): 405-411.
- Min, K.-S., Ueda, H., Kihara, T., and Tanaka, K. 2008. Increased hepatic accumulation of ingested Cd is associated with upregulation of several intestinal transporters in mice fed diets deficient in essential metals. Toxicological Sciences, 106 (1): 284-289.
- Mireles, F., Davila, J. I., Pinedo, J. L., Reyes, E., Speakman, R. J., and Glascock, M. D. 2012. Assessing urban soil pollution in the cities of Zacatecas and Guadalupe, Mexico by instrumental neutron activation analysis. Microchemical Journal, 103 (2012): 158-164.
- Mitkovska, V., Chassovnikarova, T., Atanasov, N., and Dimitrov, H. 2012. DNA damage detected by Comet assay in *Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834) from Strandzha Natural Park, 4: 155-158.
- Navarro-Aviñó, J. P., Alonso, I. A., y López-Moya, J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Revista Ecosistemas, 16 (2): 10-25.
- Nolan, C. V., and Shaikh, Z. A. 1992. Lead nephrotoxicity and associated disorders: biochemical mechanisms. Toxicology, 73 (2): 127-146.
- Nordberg, G. 1986. Metales: propiedades químicas y toxicidad. Enciclopedia de salud y trabajo, 76 p.

- Noriega-Luna, B., Morales-Rodríguez, A. A., Luna-Quintanilla, R., Ulloa-Vázquez, T., Cruz-Jiménez, G., Serafín-Muñoz, A. H., y Gutiérrez-Ortega, N. L. 2016. Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 26 (2): 71-77.
- Påhlsson, A. M. B. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47 (3-4): 287-319.
- Pérez O, M. M., y Betancur V, A. 2016. Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. *Sociedad y Ambiente*, 10: 95-122.
- Petersson, G. K. and Oskarsson, A. 2000. Cadmium in milk and mammary gland in rats and mice. *Archives of Toxicology*, 73 (10–11): 519-527.
- Pineda-Martínez, L. F. 2005. Descripción del clima y modelación numérica de fenómenos meteorológicos en San Luis Potosí, México. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. San Luis Potosí. 67 p.
- Pradit, S., Pattarathomrong, M. S., and Panutrakul, S. 2013. Arsenic cadmium and lead concentrations in sediment and biota from Songkhla Lake: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 91: 573-580.
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., y Campos, A. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5 (1–2): 149-155.
- Puga, S., y Sosa, M. 2006. Concentraciones de as y zn en vegetación nativa cercana a una presa de jales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(2): 78-82.
- Purcell, P. W., Hynes, M. J., and Fairley, J. S. 1992. Lead levels in irish small rodents (*Apodemus sylvaticus* and *Clethrionomys glareolus*) from around a tailings Pond and along motorway Verges. *Proceedings of the royal irish academy. Section B: Biological, Geological, and Chemical Science*, 92B: 79-90.
- Reinecke, A. J., Reinecke, S. A., Musilbono, D. E., and Chapman, A. 2000. The transfer of lead (Pb) from earthworms to shrews. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39 (3): 392-397.
- Riera, N. M., Yacumo, R. A. S., y Villa, N. R. de M. 2001. Efectos de la exposición a bajas concentraciones de plomo en ratones sobre diferentes parámetros bioquímicos. *Revista de Toxicología*, 18 (2): 82-86.
- Rodríguez-Rey, A., Cuéllar-Luna, L., Maldonado-Cantillo, G., Espinosa, S., y Elena, M. 2016. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35 (3): 251-271.
- Romero A., Cabaleiro T., Caride A., y Lafuente A. 2008. Posible papel protector de la metatonina frente a la toxicidad neuroendocrina inducida por cadmio. *Revista Toxicología*, 25: 33-11.

- Sánchez-Chardi, A., López-Fuster, M. J., and Nadal, J. 2007. Bioaccumulation of lead, mercury, and cadmium in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, from the Ebro Delta (NE Spain): sex- and age-dependent variation. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 145 (1): 7-14.
- Schmidt, K., Steiner, K., Petrov, B., Georgiev, O., and Schaffner, W. 2016. Short-lived mammals (shrew, mouse) have a less robust metal-responsive transcription factor than humans and bats. *BioMetals*, 29 (3): 423-432.
- SGM. (Servicio Geológico Mexicano) 2018. GeolInfoMex, El Banco de Datos del SGM. <https://www.sgm.gob.mx/GeolInfoMexGobMx/#>. Fecha de consulta 09 de septiembre 2018.
- Shore, R. F., Myhill, D. G., Routledge, E. J., and Wilby, A. 1995. Impact of an environmentally-realistic intake of cadmium on calcium, magnesium, and phosphate metabolism in bank voles, *Clethrionomys glareolus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 29 (2): 180-186.
- Silva, J., Freitas, T. R. O., Marinho, J. R., Speit, G., and Erdtmann, B. 2000. An alkaline single-cell gel electrophoresis (comet) assay for environmental biomonitoring with native rodents. *Genetics and Molecular Biology*, 23 (1): 241-245.
- Souza, A. R., Martins, L. P., Faria, L. C., Martins, M. E. P., Ferreira, R. N., Silva, A. M., Conceição, E. C. 2007. Estudios sobre la biodisponibilidad de zinc en ratas suplementadas con dos diferentes compuestos zinc-metionina. *Latin American Journal of Pharmacy*, 26 (6): 825-830.
- Suter, G. W. (Ed.). 2007. *Ecological risk assessment* (2nd ed). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis. 676 p.
- Talmage, S. S., and Walton, B. T. 1991. Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 119: 47-145.
- Topolska, K., Sawicka-Kapusta, K., and Cieślik, E. 2004. The effect of contamination of the Kraków region on heavy metals content in the organs of bank voles (*Clethrionomys glareolus*, Schreber, 1780). *Polish Journal of Environmental Studies*, 13 (1): 103-109.
- Villanueva, R. O. C. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42 (3): 131-143.
- Villanueva-Hernández, A. I., Delgado-Zamora, D. A., Heynes-Silerio, S. A., Ruacho-González, L., and López-González, C. 2017. Habitat selection by rodents at the transition between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Plateau, México. *Journal of Mammalogy*, 98 (1): 293-301.
- Waalkes, M. P., Rehm, S., and Devor, D. E. 1997. The effects of continuous testosterone exposure on spontaneous and cadmium-induced tumors in the male fischer (F344/NCr) rat: loss of testicular response. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 142 (1): 40-46.

- Wren, C. D., Hunter, D. B., Leatherland, J. F., and Stokes, P. M. 1987. The effects of poly chlorinated biphenyls and methylmercury, singly and in combination, on Mink. I: Uptake and toxic responses. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 16 (4): 441-447.
- Xia, J., Jin, C., Pan, Z., Sun, L., Fu, Z., and Jin, Y. 2018. Chronic exposure to low concentrations of lead induces metabolic disorder and dysbiosis of the gut microbiota in mice. *Science of The Total Environment*, 631–632: 439-448.
- Xi-Biao Y., Hua F., Jin-Liang Z., Wei-Min N., Yi-Wen L., Xing-Ya K., Shui-Liang Y. 1999. A study on oxidative stress in lead-exposed workers. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 57 (3): 161-172.
- Yang, M. G., Krawford, K. S., Garcia, J. D., Wang, J. H. C., y Lei, K. Y. 1972. Deposición de mercurio en cerebro fetal y materno. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 141 (3): 1004-1007.
- Yáñez, L., García-Nieto, E., Rojas, E., Carrizales, L., Mejía, J., Calderón, J., ... Díaz-Barriga, F. 2003. DNA damage in blood cells from children exposed to arsenic and lead in a mining area. *Environmental Research*, 93 (3): 231-240.
- Zivna, H., Zivny, P., Vokurkova, D., Svejkovska, K., and Palicka, V. 2010. The effect of chronic iron losses on liver regeneration in male and female rats. *Biomedical papers of the medical faculty of the university palacky, Olomouc, Czechoslovakia*, 154 (2): 153-158.

## 2.8. CONCLUSIONES GENERALES

La caracterización del hábitat en los sitios donde se capturaron las ratas de campo (*Neotoma* sp.), demostró que esta especie construye sus madrigueras en terrenos con pendientes bajas (4 %), en las cuales existe mayor cobertura y densidad de arbustos en comparación con los sitios aleatorios. La asociación de la rata de campo con nopales y arbustos sugiere que este organismo prefiere esta vegetación pues son una fuente de alimento y de protección contra depredadores, los arbustos se utilizan como materiales para la construcción de sus madrigueras. También su asociación con la cobertura de arbustivas y gramíneas puede indicar que la rata tiene una estrategia para evitar competencia en su nicho. El 40.4 % de las madrigueras fueron construidas en la base de magueyes y el 36.4 % en nopales; sin embargo, los C-R aseguran que es más común encontrarlas en los nopales. Por otra parte, los C-R aseguran que la cacería de rata no es una actividad que tenga repercusiones en el hábitat; no obstante, se desconoce el índice de aprovechamiento de éstas y el impacto que pudiera tener en sus poblaciones.

El consumo de rata se realiza sin la certeza que ésta sea un alimento libre de contaminantes; sin embargo, se ha encontrado que los roedores silvestres acumulan y evidencian la presencia de contaminantes en sus hábitats, principalmente en lugares donde existe o existió explotación minera. En esta investigación se identificó que el suelo donde la rata de campo construye sus madrigueras en los sitios mineros (Noria de Ángeles, Pánfilo Natera y Charcas) mostraron las mayores concentraciones de As, Cu, Cd, Hg, Mn, Pb y Zn y que de acuerdo con los límites máximos permisibles de la NOM-147-SEMARNAT-2004, la CEQG y la Eco-SSL, dichos sitios y Ahualulco (sitio no minero) están contaminados con As, Cd, Pb y Zn.

Aunque se ha reportado una relación directa entre los metales presentes en el suelo y a los encontrados en tejidos de roedores, en esta investigación no se identificó tal relación. Por ejemplo, en Ahualulco y San Felipe, no se encontró contaminación en el suelo por Cd, Hg y Pb; sin embargo, de acuerdo a la UE y el *Codex Alimentarius*, las ratas de campo de estos municipios superaron los niveles de seguridad establecidos. Por ello, el consumo de rata de campo constituye un riesgo potencial para el consumidor.

Considerando los niveles en los que se han reportado efectos genotóxicos, las ratas de campo de Villa de Ramos, Charcas, Ahualulco y San Felipe son las que podrían tener efectos adversos por su exposición a Cd, Cu y Pb. Estos resultados representan un primer acercamiento acerca de la caracterización del habitat de la rata de campo y su uso como bioindicador. Por ello, esta información puede utilizarse para realizar evaluaciones de riesgo ecológico y establecer planes de manejo de la especie.

## 2.9. ANEXOS

### Anexo 1 Permiso de colecta científica

**SEMARNAT**  
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE

Oficio N° SGPA/DGVS/04895/17

Ciudad de México, 14 junio de 2017

“2017, AÑO DEL CENTENARIO DE LA PROMULGACIÓN DE LA  
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS”

DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARAMBULA  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS  
CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ  
AMPIACION DE LA FE No. 13  
COLONIA. GUADALUPE  
GUADALUPE, ZACATECAS.  
C.P. 98615 - MÉXICO  
TEL. 01 (492) 492 58 43, E-MAIL: [ltarango@colpos.mx](mailto:ltarango@colpos.mx)

Considerando que ha dado cumplimiento a los requisitos establecidos para efectuar investigación y colecta científica de flora y fauna silvestres en territorio mexicano y con fundamento en el Artículo 32 Bis fracciones I, III, XXII, XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; Artículo 19 fracción XXV y 32 fracción VI, XVIII, XXI, XXIV del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de noviembre de 2012; 79, 80 fracción I, 82, 83 y 87 párrafo cuarto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; Artículos 9º. Fracción XII, 97 y 98 de la Ley General de Vida Silvestre; 12, 123 Fracción IV y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre; Artículo 85, Artículo 88, fracciones I y II, Artículo 105, fracciones II y III del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas (ANP's); las disposiciones relativas de la Norma Oficial Mexicana NOM-126-SEMARNAT-2000, por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional; la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo, la Dirección General de Vida Silvestre **autoriza** la licencia de colecta científica o con propósitos de enseñanza en materia de vida silvestre, por proyecto, para desarrollar las siguientes actividades inherentes al proyecto de investigación denominado **“Metales en la rata nopalera (*Neotoma spp*) del altiplano Potosino Zacatecano”** para realizar las siguientes actividades:

Página - 1 - de 4  
Ejército Nacional número 223, Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Hidalgo, Ciudad de México, C.P. 11320  
Tels: (55) 56 24 33 00 / 01 800 0000247 www.semarnat.gob.mx

Colecta de hasta diez (10) ejemplares de **Roedores del Genero Neotoma** por especie y localidad de colecta que no se encuentran en riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Las actividades se llevarán a cabo en los municipios Charcas, Villa de Ramos, Ahualulco en el Estado de San Luis Potosí y en los municipios de Angeles, General Pánfilo Natera y Pinos en el Estado de Zacatecas. **Fuera de las Áreas Naturales Protegidas (ANP)**. La presente autorización tendrá una **vigencia de un (01) año** a partir de la emisión de la misma.

La presente se expide con el aval del **Colegió de Postgraduados, Campus San Luis Potosí**, con la colaboración de la **Ing. Alma Delia Hernández Juárez** y el titular queda sujeto a las **siguientes condicionantes:**

- 1.- **Cumplir con las disposiciones Administrativas, Fiscales y de Sanidad exigibles por las autoridades competentes en la materia, sean Federales, Estatales o Municipales, así como con las disposiciones establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas y demás disposiciones legales aplicables.**
- 2.- En todo momento el investigador será responsable de los impactos significativos que haya sobre las poblaciones de la flora o fauna silvestres y sus hábitats, por lo que deberá considerar el riesgo de perturbación del ecosistema, antes de su ejecución y no llevarlo a cabo si el riesgo es alto.
- 3.- La colecta de ejemplares autorizados y que fue avalada por la Colegió de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, se deberá evitar actos de tensión, sufrimiento, traumatismo y dolor de los ejemplares mediante la utilización de los medios físicos y químicos adecuados, quedando estrictamente prohibido todo acto de crueldad a los ejemplares colectados. Los estudios para obtener las biopsias de hígado, riñón y musculo, deberá ser bajo la responsabilidad de un médico veterinario, que cuente con cédula profesional, con el fin de reducir el riesgo de los ejemplares.
- 4.- Previo al inicio de las actividades de campo, deberá enviar obligatoriamente por escrito y utilizando cualquier medio su programa de trabajo a las Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el Estado de Sonora 01 (662) 259 2708, enviando

copia del mismo a la Dirección General de Vida Silvestre. De igual manera, al término de dichas actividades lo notificará a esa Delegación Federal, enviando un reporte detallado por escrito.

5.- La totalidad del material colectado deberá destinarse exclusivamente a los fines específicos del proyecto, objeto de la presente autorización. Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre, el material biológico las biopsias de tejido y los ejemplares colectados serán depositados para su análisis en las instalaciones de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), y el titular de la autorización asume la responsabilidad de remitir a esta Dirección General, copia de la(s) constancia(s) del(los) depósitos(s) debidamente firmado(s), especificando la cantidad del material depositado.

6.- Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre, el responsable del proyecto deberá someter a la consideración de la Dirección General de Vida Silvestre, en un plazo no mayor de 30 (TREINTA) días de concluida la vigencia de la presente, un informe que describa **detalladamente** las actividades realizadas, los resultados obtenidos, la problemática del área trabajada, las potenciales alternativas de solución y -en su oportunidad, la(s) publicación(es) y sobre tiros producto de la investigación.

7.- Queda estrictamente **prohibido** efectuar cualquier aprovechamiento de las especies de flora y fauna silvestres, cualesquiera que sea su estatus, excepto lo aquí autorizado, así como realizar actividades **en áreas naturales protegidas de México, sean Estatales o Federales, sin previa autorización.**

8.- **De acuerdo al Artículo 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y al Capítulo IV, Artículo 97 de la Ley General de Vida Silvestre, esta autorización no ampara el aprovechamiento del material biológico colectado para fines comerciales, ni de utilización en biotecnología.**

Se recomienda que durante sus actividades de campo, en el caso de observar ejemplares de especies listadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, se notifique de ello (la especie, ubicación geográfica y la fecha) a esta Dirección General, en el informe de actividades antes mencionado.

La presente autorización es personal e intransferible y habrá de mostrarse a las Autoridades Federales, Estatales y Municipales cuantas veces lo soliciten. Así mismo y tomando en consideración lo establecido en el Artículo 87 de la Ley General de Vida Silvestre el titular de la presente deberá contar con el consentimiento previo, expreso e informado de los legítimos propietarios de la(s) tierra(s) donde pretende desarrollar el proyecto.

**El incumplimiento de las condiciones aquí establecidas, dará origen a la instauración de un procedimiento administrativo ante la autoridad competente, para proceder a la cancelación de la autorización y a la aplicación de la legislación correspondiente, según sea el caso.**

Notifíquese la presente resolución al **DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARAMBULA**, en su carácter de Investigador del Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí, por alguno de los medios legales previstos por el artículo 35 y demás relativos y aplicables de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
EL DIRECTOR GENERAL



LIC. JOSÉ LUIS PEDRO FUNES IZAGUIRRE

"Por un uso eficiente del papel, las copias de conocimiento de este asunto son remitidas vía electrónica".

C.c.e.p. C. Joel González Moreno.- Director General de Inspección de Vida Silvestre, Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros, PROFEPA. e-mail: [vida\\_silvestre@profepa.gob.mx](mailto:vida_silvestre@profepa.gob.mx), [jmeja@profepa.gob.mx](mailto:jmeja@profepa.gob.mx)  
C. Lilibia Lizzette Santa Ana Castro.- Delegada Federal de la SEMARNAT en el Estado de San Luis Potosí.- e-mail: [lilibia.santaana@slp.semarnat.gob.mx](mailto:lilibia.santaana@slp.semarnat.gob.mx)  
C. Julio César Nava de la Riva.- Delegado Federal de la SEMARNAT en el Estado de Zacatecas.- e-mail: [julio.nava@zacatecas.semarnat.gob.mx](mailto:julio.nava@zacatecas.semarnat.gob.mx)  
C. Miguel Ángel Espinosa Luna.- Coordinador de Asesores de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental.- e-mail: [coordinación.sgpa@semarnat.gob.mx](mailto:coordinación.sgpa@semarnat.gob.mx)  
Subdirección de Comercio Nacional, Internacional y Otros Aprovechamientos.

Archivo (09/K6-1042/05/17)

car/colecta client/perm- Dr Luis Antonio Tarango Arambula (roedores) (14-06-17) SUNIVS

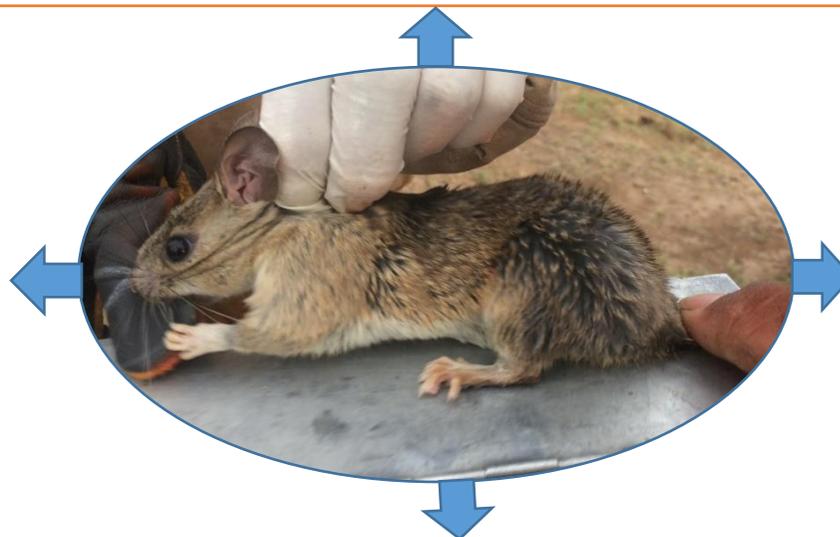


Página - 4 - de 4

Ejército Nacional número 223, Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Hidalgo, Ciudad de México, C.P. 11320  
Tels. (55) 56 24 33 09 y 10 www.gob.mx/semarnat

## Anexo 2 Características de las especies del género *Neotoma*

**Características:** La rata de campo (*Neotoma* spp.), es un animal de pelo suave de coloración café y rojiza en la parte del dorso, en las extremidades el color es café oscuro y color blanco de la parte de la garganta hasta las patas, la cola esta moderadamente cubierta de pelo al igual que las extremidades, a excepción de la parte plana de ambas extremidades, tiene los ojos grandes, las orejas son grandes, redondeadas, delgadas, anchas y cubiertas de pelo.



### Clasificación taxonómica

Filo	Chordata
Clase	Mammalia
Orden	Rodentia
Suborden	Myomorpha
Superfamilia	Muroidea
Familia	Cricetidae
Género	<i>Neotoma</i>

**Morfometría:** Las hembras tienen una longitud de  $32 \pm 3.8$  cm y un peso de  $252.25 \pm 56.01$  g. Los machos tienen una longitud de  $34.7 \pm 3.49$  con un peso de  $287.58 \pm 60.27$  g. EL tamaño de las orejas de hembras y machos oscila entre 3 y 3.45 cm respectivamente.

*Neotoma* presenta una distribución potencial en todo el territorio mexicano, sin embargo, las especies que se pueden encontrar en el Centro-Norte de México son *N. mexicana* y *N. leucodon*. *Neotoma mexicana* no muestra una asociación por un tipo de vegetación, no obstante, se ha encontrado en bosque de enebro y de pino-encino. *Neotoma leucodon* habita en matorrales, áreas rocosas y en rodales de nopales y cardenches, principalmente. Ambas especies tienen una dieta que se basa en el consumo de material vegetal verde (incluyendo la yuca), frutas y semillas, construyen sus madrigueras con material vegetal seco que se encuentra disponible en su hábitat y tienen un periodo de vida de 2 años.



### Anexo 3 formatos para caracterizar los ejemplares de Rata de campo

Estado: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_ Nombre del sitio: \_\_\_\_\_

Fecha de colecta: \_\_\_\_\_ Nombre del colector: \_\_\_\_\_ N° de hoja: \_\_\_\_\_

N° de ejemplar	N° de Parcela	Coordenadas UTM	Longitud (cm)				Sexo	Peso (gr)	Observaciones
			total	Cola	Oreja	Pata trasera			

### Anexo 3 Cuestionario para el conocimiento empírico



#### METALES PESADOS EN LA RATA NOPALERA (*Neotoma* spp) DEL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO

Nombre: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_

**Objetivo: Recopilar información acerca del aprovechamiento y arte culinario de la rata nopalera en el Altiplano Potosino-Zacatecano.**

1. ¿Consumes rata nopalera? a) Si      b) No
2. ¿Cuál es la finalidad o razón de su consumo?  
a) Uso tradicional    b) Uso nutricional    c) Uso medicinal    Otros: \_\_\_\_\_
3. ¿Desde cuándo la consume? \_\_\_\_\_
4. ¿Considera que la rata se utiliza para tratar algunas enfermedades?  
a) Si      b) No
5. ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
6. ¿Considera que la rata es un animal sano? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_
7. ¿Cuántas ratas consume al mes?    a) 1-4    b) 5-7    c) Más de 7
8. ¿De su familia, quienes la consumen?  
a) Toda la familia    b) Sólo usted    b) su esposa y usted
9. ¿En qué tipo de platillos se prepara la rata?  
\_\_\_\_\_
10. ¿Usted la prepara?    a) Si      b) No
11. ¿Antes de prepararla, la lava?    a) Si      b) No
12. ¿Cómo? \_\_\_\_\_
13. ¿Qué partes de la rata consume? \_\_\_\_\_



14. ¿Dónde la adquiere? \_\_\_\_\_

15. ¿Conoce el lugar de su procedencia? a) Si      b) No

16. ¿Cuál es? \_\_\_\_\_

Nota: En la siguiente pregunta, si la respuesta es específicamente "c" seguir en la pregunta 42.

17. ¿Usted captura las ratas y las vende o solo las consume?

a) Cazador   b) vendedor   c) consumidor   d) todas las anteriores

18. ¿Con que frecuencia captura ratas? \_\_\_\_\_

19. ¿Qué distancia recorre hasta el lugar donde captura? \_\_\_\_\_

20. ¿Esta distancia se ha incrementado con el tiempo? \_\_\_\_\_

21. ¿Alguna vez ha capturado ratas cerca de un sitio minero? a) Si      b) No

22. ¿Abandonado o activo? \_\_\_\_\_

23. ¿Cuál es la mejor temporada para la captura de rata? \_\_\_\_\_

24. ¿Cuál es la planta preferida por la rata para construir su madriguera?

a) Nopal      b) Maguey      c) Palma

25. ¿En cuál tipo de planta las ratas son más grandes? \_\_\_\_\_

26. ¿De qué se alimenta la rata? \_\_\_\_\_

27. ¿Cuál es la planta que más consume la rata? \_\_\_\_\_

28. ¿Existe una rata por madriguera? a) Si      b) No

29. ¿Qué aspectos considera importantes para capturar una rata?  
\_\_\_\_\_

30. ¿Cuántas ratas captura al mes? \_\_\_\_\_

31. ¿Cuántas ratas se considera una buena caza? \_\_\_\_\_



32. ¿Qué herramientas utiliza para la captura? \_\_\_\_\_

33. Describa brevemente la técnica que utiliza para la captura

\_\_\_\_\_

34. Una vez que las captura ¿Cómo las conserva?

\_\_\_\_\_

35. ¿En dónde las vende? a) Con vecinos b) En el mercado c) No las vende

36. ¿Cuál es el precio por rata? \_\_\_\_\_

37. ¿Cada cuando las vende? \_\_\_\_\_

38. ¿Cuánto tiempo tarda en venderlas? \_\_\_\_\_

39. ¿Cuál es lugar de mayor demanda de consumo de rata? \_\_\_\_\_

40. ¿La abundancia de rata ha mantenido a través del tiempo?

- a) Aumentado b) Disminuido c) Estable

41. ¿Qué aspectos considera importantes para conservar este recurso y poder incrementarlo a través del tiempo?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**¡MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!**