



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA  
Y ZOOTECNIA

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES Y  
VITAMINAS EN ESPINAS DE ERIZO PIGMEO  
AFRICANO (*Atelerix albiventris*).

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

PRESENTA

**PAULINA GUTIÉRREZ CHÁVEZ**

Asesores:

MVZ. MPA. DR.C. Carlos Gutiérrez Olvera  
MVZ Janitzio Ariel Bautista Ordoñez

México, D.F.

2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

Mi chamaco, no solo este trabajo, te dedico todos mis esfuerzos, mis victorias, las derrotas, las fallas, las alegrías y las tristezas también, porque con esto espero ser un buen ejemplo, porque quiero que no falles como yo, que cumplas todas tus metas, que logres llegar más alto y que sientas orgullo de quien es tu mamá. Te doy gracias por estar ahí siempre apoyándome, dándome aliento y animándome todos los días; todo lo que soy es por ti y para ti, gracias por existir y doy gracias a Dios por mandarme un angelito como tú para que me cuidara, te debo toda mi existencia y espero estar haciendo un buen trabajo, TE AMO.

A mis padres porque sin ellos no sería lo que soy, aunque a veces parezca que no escucho lo que me dicen, siempre busco la manera de adecuar sus consejos y enseñanzas a mi vida, los amo y los admiro muchas gracias por todo el apoyo que me dieron y que me siguen dando.

A mis hermanos, quienes también son parte de mi formación y de lo que soy hoy en día, gracias por estar ahí siempre a pesar de las peleas y preocuparse por nosotros, los amo.

Por último para mis sobrinos, espero alguna vez leer la de ustedes ánimo y hagan todo con su mayor esfuerzo, los quiero muchísimo y espero cumplir como ejemplo, saben que siempre estaré ahí para ustedes.

## AGRADECIMIENTOS

A mi niño por aguantar las desveladas, mis ausencias, mis regaños pero dicen por ahí que es parte de una mamá moderna; así que gracias por estar ahí siempre incondicional.

A mi mamá, gracias por todo el apoyo, la ayuda, los regaños y todo lo que me das día a día, espero poder llegar a tener tu coraje y astucia para resolver los problemas que se me pongan enfrente, te quiero.

A mi papá, por apoyarme y siempre preocuparse por nuestro bienestar y comodidad, sé que me equivoque y que erré el camino un poquito pero desde el primer día he intentado regresar y ser digna de tu admiración y confianza, esto es por ti y ojalá ayude para que veas los frutos de tu esfuerzo; te quiero mucho y espero llegar a ser como tú.

A mi hermana Anette, que comparte mi pasión por la medicina, gracias por las pláticas y por ser tú; eres increíble sólo tienes que darte cuenta.

A mi hermano Lalo, por apoyarme siempre que puedes y por querer tanto a Andre, me has dado mucho de ti, así que gracias por eso.

A Paola, gracias por aguantar, querer y soportar a mi hermano sé que no es un trabajo fácil pero vale la pena.

A mis sobrinos Caremi y Alex, simplemente por existir.

A Yazmin y Jos por ser quiénes son y hacer mi vida más llevadera, las quiero mucho.

Al Dr. Carlos Gutiérrez Olvera por el apoyo, las enseñanzas, los regaños, los aplausos, el tiempo, la paciencia y la formación que me ha dado, ya que todo eso me lo llevo y espero ponerlo en práctica de la mejor manera.

A la familia Gutiérrez Torres; Rocío, Carlitos y Roci, por aguantarnos y siempre apoyarnos en todo lo posible.

A mis amigas, Irene, Erika, Paloma y Karla gracias por todas las aventuras y experiencias que pasamos juntas aprendí mucho de ustedes y espero haber podido enseñarles algo, las quiero muchísimo niñas y les deseo lo mejor.

A Diego, gracias por todo lo compartido te quiero mucho.

A Tania, no solo eres parte de mi trabajo ya eres parte de mi vida, gracias por compartir conmigo todas las experiencias, por apoyarme, defenderme, regañarme cuando lo necesité y por hacerme parte de tu vida, te quiero mucho y recuerda que siempre seremos el dúo dinámico. Eres una gran persona Tan y espero haber aprendido algo de ti.

Armin y Salvador, gracias por los momentos que compartimos, me divertí mucho con ustedes y espero seguirlo haciendo los quiero chamaquitos.

A todos mis hermano y medios hermanos del cubil en especial a: Mari, eres una gran mujer gracias por el ejemplo; Noemí, yo quiero llegar a ser como tú de trabajadora; Chaps, gracias por enseñarme y apoyarme siempre que te lo pedí

eres mi profe de laboratorio; Ari, no solo fuiste mi hermanita del cubil, también fuiste mi maestra de alimentos gracias por todo; Marce, eres una gran persona aprendí mucho de ti y me alegro da haberte conocido; Kari, gracias por prestarme tu casa para el estudio y por todo lo que compartimos en el cubil y por último Maru eres una persona muy divertida e inteligente espero también aprender de ti.

Al MVZ Janitzio por apoyarme en mi trabajo y siempre acudir cuando ya no sabía que hacer.

Al MVZ Rosiles, que aprendí a quererlo, es una gran persona y un excelente Médico lo admiro doc, y gracias por todo.

A doña Fer que siempre esta ahí para ayudarnos en lo que se nos ocurra.

A los erizos: Papá, Mamá, Moe, Lisa, Maggie, pelos y Olivia por haber hecho posible el estudio.

A todos los alumnos que conocí, porque también de ellos se aprende.

Al proyecto PAPIME PE204811, por su apoyo para realización de este trabajo.

A los Departamentos de Nutrición Animal y Bioquímica, y Fisiología y Farmacología, en especial a la Dra. Dinorah por el apoyo para realizar las lecturas de las muestras.

A mis mascotas: Kevin, Buridan, Andy, Marlon, Giovana, Rufo, Rosel y Lola porque ellos me ayudaron a convencerme que mi vida y mi pasión es esta gran profesión.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
1. Introducción.....	2
2. Material y Métodos.....	36
3. Resultados.....	48
4. Discusión.....	57
5. Referencias.....	62

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
CUADRO 1.....	49
Contenido de elementos minerales en las espinas de erizo pigmeo africano ( <i>Atelerix albiventris</i> ) (mg/g)	
CUADRO 2.....	50
Contenido promedio de elementos minerales en espinas de erizo pigmeo africano ( <i>Atelerix albiventris</i> )	
CUADRO 3.....	51
Contenido de elementos minerales en el alimento comercial para gato en crecimiento y en el alimento comercial para insectívoro (mg/g)	
CUADRO 4.....	52
Consumo por periodo de elementos minerales (mg/g)	
CUADRO 5.....	53

Consumo promedio por día de alimento (g) y elementos minerales (mg/g)

CUADRO 6.....54

Contenido de vitaminas en espinas de erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) ( $\mu\text{g/g}$ )

CUADRO 7.....55

Contenido promedio de vitaminas en espinas de erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) ( $\mu\text{g/g}$ )

CUADRO 8.....55

Contenido de vitaminas en el alimento comercial para gato en crecimiento y en el alimento comercial para insectívoro ( $\mu\text{g/g}$ )

CUADRO 9.....56

Consumo por periodo de vitaminas ( $\mu\text{g/g}$ )

CUADRO 10.....57

Consumo promedio por día de vitaminas ( $\mu\text{g/g}$ )

## RESUMEN

GUTIÉRREZ CHÁVEZ PAULINA. Cuantificación de vitaminas y minerales en espinas de erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*). Bajo la dirección de: MVZ. MPA. DR.C. Carlos Gutiérrez Olvera y MVZ. Janitzio Ariel Bautista Ordoñez.

Debido a la creciente popularidad de los animales de compañía no convencionales y a la escasa información sobre su mantenimiento, se ha tenido la necesidad de impulsar el desarrollo de estudios que permitan contar con herramientas útiles para emitir recomendaciones respecto al adecuado cuidado, alimentación y nutrición de las mismas. Dentro de esta variedad de géneros y especies, uno que actualmente ha incrementado su presencia en los hogares, es el erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*), cuyas dietas generalmente están basadas en alimento comercial para gato, alimento para insectívoros y/o alimento vivo. El presente estudio tuvo como objetivo, proporcionar datos referentes al perfil de minerales y vitaminas encontrados en espinas de erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) en cautiverio y su posible alteración al proporcionar una dieta diferente a la que consumían previo al estudio. Se emplearon 6 erizos pigmeos de 2 y 3 años de edad (3 hembras y 3 machos) repartidos de forma aleatoria en dos grupos mediante un estudio cruzado AB/B; durante el primer periodo el grupo 1 se alimentó con croquetas específicas para erizo y el grupo 2 con alimento comercial para gato en crecimiento y de manera inversa durante el segundo periodo. Las muestras de espinas y alimento se sometieron a una digestión ácida abierta para la posterior lectura de los siguientes elementos: calcio, fósforo, magnesio, zinc, hierro, cobre y potasio por espectrofotometría y vitaminas hidrosolubles por CLAR. Con los datos obtenidos se calculó la proporción de cada elemento en las espinas y en cada una de las dietas utilizadas. Como resultado se observó diferencia estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las espinas en el contenido de Ca y en consumo para Ca, Cu, P, Na, Vitamina C y B<sub>2</sub>. Al final se concluye que a pesar de haber encontrado cambios en el contenido de elementos minerales y vitaminas en las espinas, no se puede determinar si estas pueden o no evidenciar el estatus nutricional dentro del organismo de todos los elementos que se midieron.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ERIZO PIGMEO AFRICANO (*Atelerix albiventris*)

### • HISTORIA

Ya sea como un personaje en un libro de cuentos o como símbolo de un videojuego, el erizo ha venido tomando popularidad entre las personas ocasionando el aumento de estos ejemplares como animales de compañía no convencionales.<sup>1</sup>

A mediados de 1980, estos animales se importaban del continente africano para ser exhibidos en zoológicos, principalmente de Europa y gracias a su fácil manejo y cuidados, su cría se hizo popular para ser comercializado como animal de compañía.<sup>1</sup>

Por desgracia, muchos de estos propietarios ignoran las características físicas, fisiológicas y nutricionales de estos animales y por lo tanto muy pocos llegan a saber a ciencia cierta cómo se debe llevar a cabo el mantenimiento y cuidado adecuado en condiciones de cautiverio para brindarles una buena calidad de vida.<sup>2</sup>

Por tal motivo, en algunos países existen leyes que protegen a ciertas especies de erizos y así lograr evitar el abandono o maltrato de estos animales; dichas leyes incluyen la prohibición de la tenencia en cautiverio, la cría, venta e importación de los animales y las especies que pueden o no ser usadas como animales de compañía.<sup>2, 3</sup>

La Lista Roja de Especies en Peligro de La Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) lo cataloga como especie de Bajo

Riesgo de Extinción, a pesar de esto se establece la forma de comercio legal, estipulando que los ejemplares destinados a fauna de compañía no convencional deben de proceder de criaderos bajo registro, con el objetivo de evitar el comercio ilegal y la extracción de individuos de vida libre. Así que los animales que se venden actualmente como animal de compañía, son criados en cautiverio.<sup>1</sup>

- TAXONOMÍA

Existen 6 géneros y 15 especies de erizos en el mundo, entre ellos el europeo (*Erinaceus europaeus*), africano (*Atelerix albiventris*), moruno (*Erinaceus algirus*), egipcio u orejudo (*Hemiechinus auritus*); siendo el primero uno de los prohibidos como animal de compañía y el segundo el más popular para este fin, debido a sus características de conducta y temperamento.<sup>1</sup>

El erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) es en realidad un híbrido de dos especies africanas: el erizo de vientre blanco (*Atelerix albiventris*) de África subsahariana y el erizo moruno (*Erinaceus algirus* ó *Atelerix algirus*) del noroeste de África; pertenece al Reino Animalia, Phylum Chordata, Subphylum Vertebrata, Clase Mammalia, Subclase Theria, Infraclass Eutheria, Orden Erinaceomorpha (antes insectívora), Familia Erinaceidae Subfamilia Erinaceinae, Género *Atelerix*, Especie *Atelerix albiventrix*<sup>2, 3, 4, 5, 6,</sup>

7, 8, 9, 10

## • DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) también conocido como de vientre blanco o de cuatro dedos se distribuye de manera natural en las sabanas y estepas de África Central, desde Senegal hasta Sudán y Zambia en una zona que se extiende desde la parte sur del Sáhara hasta el Congo y en África del Este; incluso se le ha encontrado en el Monte Kilimanjaro en Tanzania en altitudes de hasta 1,800 m. En América del Norte no existen erizos nativos.<sup>1, 3, 6, 8</sup>

El erizo pigmeo africano habita en una variedad de ambientes entre los que se encuentran los bosques, estepa y desiertos. Al contrario de algunas creencias populares, los erizos no tienen relación con puerco espines (roedores) o equidnas (monotremas).<sup>1, 9</sup>

## • ANATOMÍA

El erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) es un mamífero con miembros relativamente cortos similares a los de los insectívoros, cuenta con 5 dedos y 5 cojinetes en los miembros anteriores y 4 dedos y 6 cojinetes en los posteriores.<sup>1, 3, 5</sup>

Tiene 36 piezas dentarias que terminan en coronas afiladas y puntiagudas, el primer incisivo de cada cuadrante es grande y se encuentra proyectado hacia delante, los primeros incisivos mandibulares ocluyen en un espacio entre los primeros incisivos maxilares para ayudarles a atrapar insectos. Su fórmula dentaria es: 2 (I 3/2, C 1/1, PM 3/2, M 3/3) = 36; son braquiodontos ya que una vez que obtienen sus dientes definitivos estos dejan de crecer, teniendo

como característica una corona baja, poco desgaste y una raíz que conforme termina se va estrechando.<sup>3, 5, 12, 13</sup>

El rango de peso en los machos es de 500-600 g mientras que en las hembras es de 250-400 g. La esperanza de vida promedio en cautiverio es de 4-6 años aunque hay registros de erizos que han llegado incluso a los 8 ó 10 años de edad.<sup>4, 7, 14, 15</sup>

Una de las características distintivas del erizo pigmeo es su denso manto de espinas las cuales cubren el total de la superficie dorsal del cuerpo; un adulto puede tener hasta 5,000 espinas las cuales miden de 2 a 3 centímetros de longitud; la cara y la parte inferior del cuerpo están libres de éstas y quedan recubiertas por un pelo suave y blanco.<sup>1, 2</sup>

Estas espinas son pelos modificados, cada una llena por múltiples cámaras de aire y puentes de refuerzo que corren bajo la pared interna de cada tubo, están compuestas de queratina y debido a su estructura interna tienen ligereza, fortaleza y elasticidad. Hacia su base se vuelven más estrechas hasta formar un delgado cuello flexible angular, para ensancharse de nuevo y formar una pequeña bola incrustada en la piel; cada espina tiene un músculo conectado a la base para conferirle rigidez al momento de erizarlas, por tal motivo, son imposibles de arrancar del folículo sin romperlas.<sup>2, 3</sup>

Al nacer las espinas se encuentran bajo la epidermis y están cubiertas por una bolsa de agua individual, la cual se deshidrata rápidamente durante el primer día de vida y al pasar de cinco a doce horas las espinas salen a través de la piel; en este momento son blandas flexibles y de color blanco pero se vuelven rígidas y oscuras después de algunas horas,

desarrollándose por completo en los primeros tres días de vida.<sup>4, 6</sup>  
Histológicamente las espinas se encuentran en un estado de crecimiento continuo (fase anagénica) y son reemplazadas individualmente pudiendo durar hasta 18 meses.<sup>1, 14</sup>

El erizo pigmeo africano alcanza su madurez sexual alrededor de los dos meses de edad. La gestación dura de 34-44 días, teniendo por camada de 1-10 crías aunque el promedio es de 3-6. Es sexualmente activo durante todo el año y se le considera un animal prolífico. La hembra es poliéstrica y de ovulación inducida y en condiciones de cautiverio se reproduce durante todo el año.<sup>2, 3, 8, 14,</sup>

Su tracto gastrointestinal es muy parecido al de otros pequeños mamíferos, aunque es importante destacar que carece de ciego y presentan reflejo del vómito.<sup>3, 4, 5, 16</sup>

Es muy fácil distinguir entre un macho y la hembra cuando no se encuentran enrollados. Los machos presentan el pene en la región media-ventral del abdomen, los testículos son intrabdominales, por lo que no poseen escroto, tienen próstata, vesículas seminales y glándula bulbo uretral; en la hembra la vulva se encuentra a pocos milímetros en dirección craneal al ano, tienen útero bicorneal y vagina muy larga.<sup>1, 3, 6, 8</sup>

- **COMPORTAMIENTO**

El erizo africano es nocturno y solitario, vive en madrigueras o debajo de las piedras, raíces de árboles o montones de maleza, normalmente se desplaza varios kilómetros cada noche en busca de insectos, caracoles, babosas y lombrices de tierra de tamaño pequeño.<sup>3, 6, 7, 9, 14</sup>

Es un plantígrado bastante hábil adaptado para excavar, nadar, trotar y escalar ya que poseen extremidades muy fuertes especializadas para estas actividades.<sup>3, 9, 14</sup>

El erizo pigmeo africano tiene tendencia a ser nervioso por naturaleza y su capacidad visual es limitada por lo que para desplazarse usan principalmente su sentido del olfato, después el oído y por último la vista; la visión la utilizan generalmente para detectar peligros, el oído sirve para localizar sonidos interesantes o advertirles del peligro y el olfato lo utilizan para reconocer el entorno.<sup>10, 15, 17</sup>

Son más activos al anochecer y durante la noche. Durante el día generalmente duermen debajo de troncos, rocas, raíces de árboles o en sus madrigueras. En vida libre por lo general no hibernan excepto cuando hay escasez de alimento, aunque los insectívoros silvestres han adoptado esta actividad para evitar mantenerse activos cuando las condiciones en el ambiente en que se desarrollan no son las adecuadas. Si la temperatura en cautiverio cae por debajo de 15° C estos animales entran en hibernación disminuyendo los latidos por minuto y la temperatura corporal, debido a una

mala adaptación a cambios drásticos de temperatura o falta de alimento.<sup>2, 3, 6, 9, 14, 16</sup>

La hibernación en cautiverio no es adecuada ya que el animal empieza a utilizar las reservas de grasa acumulada en su cuerpo y al no tener una alimentación previa adecuada para mantener este proceso puede llegar a morir por la falta de reservas. Es por esto que una de las constantes que se debe de cuidar en un erizo pigmeo africano en cautiverio es la temperatura ambiental con un rango de 22 a 32° C.<sup>4, 7, 12, 17</sup>

Schicht en 1982 y Poduschka y Kieliger en 1972 mencionan que un animal que ha salido de la hibernación debe ser tratado con un tratamiento multivitamínico ya que el aporte de vitaminas en la dieta es un elemento importante para la nutrición de los animales.<sup>4</sup>

Uno de los comportamientos más característicos de los erizos pigmeos africanos y del cual no se tiene alguna explicación de su significado es la unción de las espinas con saliva, aunque se cree que sirve para limpiar las espinas, como un tipo de insecticida o bien, como parte del cortejo; este comportamiento lo hacen cuando hay algo nuevo en el ambiente, como por ejemplo un nuevo alimento o un olor extraño o desconocido, lo que hacen es tomar este alimento y masticarlo hasta formar espuma con la saliva y después unirla en las espinas.<sup>2</sup>

Cuando se tiene como animal de compañía es mejor mantener un animal por jaula ya que son solitarios y llegan a ser muy territoriales, con mayor frecuencia los machos, ya que las hembras pueden llegar a vivir en grupos y más cuando éste se ha formado desde que eran pequeñas. Se ha

comprobado que en época de apareamiento se pueden mantener machos y hembras en la misma jaula.<sup>3, 4, 7</sup>

Por otro lado es importante que al ser un animal nocturno los tiempos de horas luz que se les proporcionen sean en un rango de 10-14 horas al día.<sup>3</sup>

## • ALIMENTACIÓN

En vida libre la dieta del erizo se compone principalmente de insectos, aunque también llegan a ingerir pequeñas cantidades de vegetales y en algunas ocasiones pequeños vertebrados, es por esto que se llega a mencionar que el erizo pigmeo africano es un omnívoro oportunista.<sup>2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 16</sup>

Como en otras especies la fibra en las dietas de los insectívoros puede tener importantes implicaciones para la salud digestiva.<sup>18</sup>

Los animales mantenidos en cautiverio o en los zoológicos son generalmente alimentados con dietas a base de alimento comercial para gatos o perros con el ofrecimiento ocasional de insectos, los cuales se deben de ofrecer “lentos” o espolvoreados con calcio y deben de tomarse en cuenta dentro de la cantidad de energía que consume el animal diariamente; algunos insectos como los gusanos de seda, zophobas y tenebrios son altos en grasa por lo que se debe de tener cuidado al ofrecerlos en la dieta.<sup>6, 14, 18</sup>

Los alimentos comerciales utilizados para los animales en cautiverio deben tener un alto nivel de proteína (30-50% de materia seca) y una cantidad moderada de grasa (10-20% de materia seca). Estas dietas suelen ser las utilizadas para perro y gato y pueden variar en las presentaciones ya sea

alimento seco (croquetas) o alimento húmedo (enlatado), también se utiliza el alimento seco para hurones y productos específicos para erizos.<sup>1, 7</sup>

Se han identificado la existencia de quitinasa gástrica y pancreática en el erizo europeo (*Erinaceus europaeus*), lo que implica que los erizos potencialmente pueden utilizar la quitina (exoesqueleto de los insectos) como una fuente de fibra dietética.<sup>9, 18</sup>

Como en todos los insectívoros el aparato digestivo del erizo es muy simple, no son fermentadores por lo cual no presentan ciego, el estómago es simple, el colon no presenta austras, es decir, es liso por lo que confirma que no existe la fermentación en estos animales. Tienen un tiempo de retención gástrica que oscila entre 1.26 a 2.33 horas dependiendo de lo que hayan consumido.<sup>14</sup>

- **ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LA NUTRICIÓN**

Los erizos en cautiverio generalmente tienden a la obesidad, esto debido a dos principales razones: la alta cantidad de grasa que contienen los alimentos comerciales para conferirles una mejor palatabilidad y por consecuencia mayor consumo por parte del animal, y la falta de ejercicio ya que son muy pocos los erizos que tienen la oportunidad de realizar alguna actividad física; por tal motivo, deben ser alimentados en base a una ración determinada de alimento y calculada por individuo, dependiendo de sus características físicas como el peso. La consecuencia más común de la obesidad es la aparición de lipidosis hepática, como resultado del gran contenido de grasa en las dietas.<sup>2, 3, 5, 6, 11</sup>

Aunque es un problema que rara vez se observa, la maloclusión de los dientes puede llegar a ser un problema nutricional, ya que causa un bajo consumo de alimento lo que conlleva a una deficiente nutrición en estos individuos, lo que podría ocasionar anorexia.<sup>6, 11</sup>

Otra razón por la cual se puede presentar anorexia son las enfermedades periodontales las cuales suelen presentarse en adultos mayores. En los animales jóvenes al hacer un cambio muy rápido de un alimento a otro, se ocasionan desórdenes digestivos, que van desde la diarrea hasta la anorexia.<sup>5, 6</sup>

Existe una enfermedad conocida como hiperparatiroidismo nutricional secundario el cual es causado al haber un desequilibrio de calcio y fósforo en la dieta de los animales, este problema se puede observar en el erizo cuando su alimentación se basa en insectos sin proporcionarles complementos de calcio, ya que los estos son ricos en fósforo y deficientes en calcio. Esta enfermedad puede traer consecuencias en todo el organismo, principalmente en huesos como osteoporosis, calcificación de tejidos blandos, reblandecimiento de los huesos; debido a la respuesta del organismo para mantener la relación Ca-P. La relación calcio-fósforo que debe tener la dieta de los erizos debe ser de 2:1 o de 1.5:1.<sup>7</sup>

## 1.2 FACTORES NUTRICIONALES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DEL PELO

Los folículos pilosos son los tejidos metabólicamente activos que requieren de nutrientes para apoyar actividades tanto estructurales como funcionales. La mala nutrición puede reflejarse en la coloración, fuerza o grosor del cabello; los factores nutricionales que influyen en el crecimiento del pelo son muy complejos y pueden estar correlacionados con las deficiencias de proteínas, fósforo, yodo, zinc, cobalto, molibdeno, vitaminas A y E, así como excesos en la dieta de selenio, yodo y vitamina A, otros desequilibrios nutricionales que pueden afectar el crecimiento incluyen vitamina B y vitamina C.<sup>19</sup>

## 1.3 ELEMENTOS MINERALES

El término mineral es generalmente usado para nombrar a todos los elementos inorgánicos que se encuentran en los alimentos y que se expresan como cenizas dentro del perfil nutrimental; estos compuestos inorgánicos participan en múltiples procesos dentro de los organismos y se pueden encontrar en todos los tejidos animales pero en cantidades y proporciones diferentes. Más de 18 elementos minerales son considerados esenciales para los mamíferos y se clasifican en dos grupos: los esenciales y los no esenciales, este criterio de esencialidad se basa en la presencia de los minerales en los tejidos vivos desde el nacimiento, en la concentración corporal constante entre individuos, en las funciones bioquímicas que desempeñan, en los cambios fisiológicos que se presentan ante una

deficiencia y la reversibilidad de estos cambios ante la administración del mineral.<sup>20, 21,22</sup>

Todos los minerales tienen una curva biológica de dosis-respuesta la cual identifica un límite de concentraciones que abarca tres áreas principales: las concentraciones bajas que producen deterioro consistente y reproducible de la función fisiológica definido como deficiencia, las concentraciones óptimas que es el aporte del nutriente cuando alcanza los niveles necesarios para cubrir los requerimientos del animal y las concentraciones excesivas que pueden producir efectos farmacológicos tóxicos (toxicidad); estos niveles varían dependiendo de la especie, la etapa de vida del animal, el sexo, el tipo de mineral, entre otros.<sup>21, 23</sup>

Existe otra clasificación que divide a los minerales en macro y micro minerales. Los macrominerales son aquellos que se requieren en mayor porcentaje dentro de la dieta de los animales tales como: Ca, P, Na, Mg, K, Cl y S; y se expresan en mg; y los microminerales o minerales traza son los que se requieren en pequeñas cantidades en la dieta y son: Fe, Zn, Cu, I, Se, Mn, Co, Mo, F, Br y Cr; y se expresan en ppm.<sup>21</sup>

Para facilitar la comprensión de las funciones que desempeñan los minerales dentro de los organismos son clasificados en tres grupos principales: estructurales (Ca, P, Mg), electrolíticos (Na, K, Cl) y traza (Cu, Zn, Mn, Fe, I, Mo, Se, S, Co, F).<sup>22</sup>

- **CALCIO**

Es el elemento mineral que más predomina dentro del organismo, el 99% se encuentra de forma estructural en los huesos y dientes cumpliendo dos funciones fisiológicas:

- Como material estructural dentro del hueso
- Como reservorio del ion el cual se encuentra en equilibrio con el calcio ionizado sérico y está bajo control homeostático estricto

El 1% restante es principalmente extracelular con cuatro funciones importantes:

- Efectos de la membrana incluyendo la regulación de la permeabilidad, la acción de la bomba de calcio, contracciones musculares incluyendo la cardiaca, la excitabilidad del tejido nervioso y formando parte del cemento intercelular.
- Como parte de la regulación de los fluidos del cuerpo (sistema buffer), la viscosidad, la transferencia de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y los mecanismos de coagulación sanguínea.
- Es parte de la regulación de la división celular (mitosis)
- Regula la secreción hormonal<sup>21,22, 24</sup>

El calcio se encuentra en todas las plantas y animales siendo esencial para la vida, el crecimiento normal, el desarrollo y la vida útil en todos los seres vivos, excepto en algunos insectos y bacterias.<sup>24</sup>

Existen muchos factores que influyen en la absorción, distribución y excreción del calcio. El calcio es absorbido desde el intestino (duodeno) por medio de un mecanismo de transporte activo donde la vitamina D juega un papel muy importante, incluso se dice que esta absorción es dependiente de la presencia de esta vitamina; esta absorción es regulada para satisfacer las necesidades del organismo y aumenta cuando la dieta es deficiente o cuando la etapa de vida lo requiere (crecimiento, lactación, gestación).<sup>25</sup>

El calcio también puede ser absorbido a través de difusión pasiva de iones, este proceso puede estar regulado por la vitamina D y ocurre en la parte distal del intestino delgado (yeyuno).<sup>24</sup>

Los factores que principalmente afectan el metabolismo del calcio son la edad del animal, el fósforo al ser su principal sinergia y tener una relación muy estrecha con el calcio, la acción de la vitamina D, los sistemas hormonales de la paratohormona (PTH) que es la encargada de incrementar la resorción del calcio óseo, aumentar la excreción renal de fosfatos y reducir la eliminación renal de calcio; la calcitonina que es hipocalcemiante y actúa en respuesta a niveles elevados de calcio plasmático, es antagonista de la PTH ya que reduce la tasa de desdoblamiento óseo; y vitamina D<sub>3</sub> que actúa principalmente aumentando la absorción intestinal del mineral y a nivel óseo incrementando la remoción del calcio depositado en los huesos, esta última función es sinérgica de la PTH. El efecto hipercalcemiante de la vitamina D<sub>3</sub> es tal, que un exceso de la misma puede causar raquitismo u osteomalacia por la remoción excesiva del calcio óseo, y problemas que se

relacionan con el depósito del mineral en los vasos sanguíneos y músculos.

22, 23

## • FÓSFORO

Al igual que con el calcio su mayor concentración se encuentra en huesos y dientes, donde se localiza el 85% del fósforo del organismo. En el plasma lo encontramos principalmente en forma inorgánica aunque en los glóbulos rojos esta en forma orgánica. Este mineral es el que más funciones tiene en el organismo, además de las funciones que desempeña en los huesos también es un componente estructural del RNA y DNA, es un componente de los enlaces fosfato en el metabolismo de los carbohidratos en forma de ATP y ADP, forma parte de las fosfoproteínas, coenzimas y ligaduras de gran contenido energético como los acetilfosfatos (1,3-difosfoglicerato), enolfosfatos (fosfoenolpiruvato), pirofosfatos (adenina trifosfato) y aminofosfatos (creatina fosfato) y se encuentra formando parte de las membranas celulares en forma de fosfolípidos y tomando un papel en el mecanismo de buffer de los fluidos corporales.<sup>20, 24, 25</sup>

Cerca del 60 a 70% del fósforo absorbido proviene de la dieta, en general la disponibilidad es mayor cuando los ingredientes son de origen animal, que cuando son de origen vegetal; debido a que en los ingredientes de origen animal el fósforo se encuentra en forma orgánica por lo que es más disponible que en los tejidos de origen vegetal donde el fósforo se encuentra en forma de ácido fítico que para los animales no rumiantes no es tan

biodisponible al carecer de la enzima específica para su desdoblamiento (fitasa) como lo sería para un animal rumiante.<sup>21</sup>

La absorción intestinal (duodeno) del fósforo puede aumentar cuando en la dieta se ofrecen niveles por debajo de lo necesario para cada especie animal, este mecanismo es regulado por la vitamina D<sub>3</sub> activa que también aumenta los niveles de calcio sérico, lo que causa una disminución en la secreción de PTH y a nivel renal se aumenta la retención de este mineral; y si por el contrario los niveles exceden lo normal dentro del organismo, el riñón aumenta la excreción por este medio.<sup>21, 22</sup>

El fósforo se debe encontrar en los animales en cantidades tales que la relación Ca:P sea 1.0-1.3:1.0 un exceso de calcio con respecto al fósforo puede ocasionar problemas de deficiencia de zinc o absorción intestinal y posterior deficiencia de fósforo; de la misma manera un exceso de fósforo puede influir en la absorción y el metabolismo del calcio y también disminuir la disponibilidad de otros minerales.<sup>22</sup>

- **MAGNESIO**

Este elemento es el tercero en importancia en cuanto a cantidad que se encuentra en el hueso ya que el 75% del magnesio corporal se encuentra ahí; en los tejidos blandos se encuentra a nivel intracelular. Este mineral se absorbe a través del intestino delgado con una eficiencia del 20-70% la cual representa la suma de dos sistemas de transporte, uno mediado por transportadores a bajas concentraciones a nivel luminal y otro de difusión simple a concentraciones más elevadas.

Este mineral actúa como catalizador de un gran número de enzimas, participa en el metabolismo de carbohidratos y lípidos; es importante en la oxidación celular como en la producción de ATP, cataliza la mayoría de los transportadores de fosfato mantiene la integridad de las partículas celulares como los ribosomas y mitocondria, también está involucrado en la biosíntesis proteica en la reacción del tRNA con los aminoácidos, en la contracción muscular tiene una función secundaria a la del calcio, al que puede sustituir; ejerce una influencia potente sobre la actividad neuromuscular.<sup>20</sup>

Una deficiencia de magnesio puede producir hipocalcemia teniendo como efecto el estímulo a la producción de PTH, sin embargo no existe un incremento del desdoblamiento óseo como efecto de la hipocalcemia. También se llega a ver un retraso en el crecimiento, hiperirritabilidad y tetania, vasodilatación periférica, incoordinación muscular e incluso convulsiones.<sup>21</sup>

Un exceso en la dieta de calcio y fósforo puede causar una deficiencia de magnesio y un exceso de potasio en la dieta puede inhibir la absorción y utilización del magnesio en el rumiante.<sup>24</sup>

Los riñones desempeñan un papel muy importante en el equilibrio de los niveles séricos de magnesio ya que alrededor del 70% de éste se filtra en los glomérulos y en los riñones sanos se reabsorbe el 95% del magnesio filtrado, este proceso depende de numerosos factores fisiológicos y metabólicos así como el efecto de fármacos y estados patológicos.<sup>22</sup>

- SODIO

Es el principal catión del líquido extracelular, sus funciones incluyen la regulación de la presión osmótica, interviene en el equilibrio ácido-base, en la transmisión de los impulsos nerviosos, el potencial de la membrana, la absorción de nutrimentos como monosacáridos, aminoácidos y sales biliares. Las concentraciones insuficientes de sodio reducen la utilización de las proteínas digeridas y de la energía, el sodio también influye sobre la absorción y la movilización del calcio y puede afectar la absorción de numerosas vitaminas hidrosolubles que están acopladas a este.<sup>20, 22</sup>

La homeostasis sérica del sodio/potasio se mantiene gracias a la acción de la hormona aldosterona que es producida en las glándulas adrenales y que es responsable de incrementar la reabsorción renal del sodio ya que al haber niveles bajos de sodio se inicia la producción de renina la cual se convierte en angiotensina I y después angiotensina II que estimula la producción o liberación de la aldosterona; aparentemente la hormona adrenocorticotropa también tiene un efecto similar en las glándulas adrenales, una tercera hormona, la natriurética, que parece ser que es excretada en el tejido cardiaco, tiene un efecto opuesto a la aldosterona al incrementar la eliminación renal del sodio.<sup>22, 23</sup>

Uno de los casos donde puede haber deficiencias del sodio es cuando el animal este cursando con algún padecimiento renal, de las glándulas adrenales o bien del intestino que impida el buen funcionamiento de estos órganos.<sup>21</sup>

Muchos son los factores que influyen en los requerimientos de este mineral, como por ejemplo: la necesidad se eleva durante la reproducción, lactancia, etapas de crecimiento rápido y de estrés por calor, o cuando se aumentan los niveles de potasio en la dieta.<sup>20</sup>

## • POTASIO

Es el tercer mineral más abundante en el fluido intracelular, siendo los músculos especialmente ricos en este mineral; tiene participación en múltiples funciones como mantener el equilibrio ácido-base, mantener el balance osmótico, la transmisión de impulsos nerviosos, contractilidad muscular y actúa como cofactor de numerosos sistemas enzimáticos.<sup>21</sup>

Este mineral es absorbido principalmente mediante un proceso de difusión simple desde la región superior del intestino delgado aunque también llega a ser absorbido en la parte inferior de este y en el intestino grueso. La disponibilidad del potasio es elevada (95% o más) en la mayoría de los alimentos, pero a diferencia de otros minerales no se almacena y requiere un aporte diario con la dieta.<sup>20, 25</sup>

El exceso de potasio en la dieta no induce a una hiperpotasemia a menos de que haya alguna afección renal que impida la excreción adecuada del mineral. El requerimiento de potasio aumenta con el incremento de las proteínas, la densidad energética o el contenido de cloruro en la dieta y con otros factores como el estrés.<sup>20</sup>

Algunos de los síntomas de deficiencia incluyen reducciones en el ritmo de crecimiento y en la eficiencia alimenticia, menor excitabilidad muscular y

nerviosa y ligera reducción en la cantidad de minerales óseos. Estas deficiencias pueden estar dadas por diversos factores como diarreas, estados de inanición, diuresis y mal funcionamiento de las glándulas adrenales o de los riñones.<sup>23</sup>

- **COBRE**

Este mineral es esencial para muchas funciones importantes dentro del organismo por lo que es de suma importancia que los alimentos cumplan con las necesidades de este mineral.<sup>22, 25</sup>

El cobre está involucrado en el metabolismo del hierro así como la formación de elastina y colágeno, la producción de melanina y manteniendo la integridad del sistema nervioso central al formar parte de las enzimas monoaminoxidasas que permiten el control de neurotransmisores y neuropéptidos, así como de la citocromo C oxidasa y superóxido dismutasa (SOD) que son esenciales en los pasos finales del metabolismo oxidativo y en la defensa contra los radicales superóxido. La absorción del cobre para la mayoría de las especies se lleva a cabo en el intestino delgado en las porciones del duodeno y yeyuno, esta absorción se ve afectada por la forma química en la que se ingiera el mineral, por ejemplo el carbonato de cobre así como las formas hidrosolubles, el sulfato de cobre, nitrato y cloruro son absorbidas en mayor medida en comparación al óxido de cobre. Los aminoácidos que se encuentran en el lumen intestinal forman un papel importante en la incorporación celular del mineral y ya que el proceso requiere de ATP se piensa que es de tipo activo y saturable con bajas

concentraciones en la dieta y existe otro proceso que se ha descrito en donde la absorción es de forma pasiva o insaturable donde las concentraciones del mineral son muy elevadas.<sup>20, 24</sup>

El sistema biliar es la vía excretora más importante para el cobre en la mayoría de las especies, aunque también es excretado durante la transpiración y la lactancia; en los casos donde el sistema biliar se encuentra obstruido la excreción del cobre se lleva a cabo por el sistema urinario.

Los problemas asociados con la deficiencia del mineral son diferentes dependiendo de la especie animal y la intensidad de la deficiencia. Algunos de los signos son ataxia, anemia, despigmentación, desórdenes en tejidos conectivos, ruptura aórtica, enfisema pulmonar, fragilidad ósea, hipertrofia cardíaca, alteraciones en el sistema nervioso central, entre otros.<sup>23</sup>

- **ZINC**

Este mineral es un activador o componente de más de 200 enzimas por lo que participa en diversas funciones fisiológicas como el metabolismo de los ácidos nucleicos, la síntesis proteica, el metabolismo de los carbohidratos, en la inmunocompetencia, en la salud de la piel y su cicatrización, replicación y diferenciación celular y en el crecimiento y reproducción de los animales, la producción de hormonas principalmente testosterona, corticoides adrenales e insulina.<sup>20, 21</sup>

El balance de este mineral se controla a través de su absorción y excreción, aunque aún no se sabe a ciencia cierta el mecanismo de absorción la cual tiene lugar en las tres porciones del intestino delgado y en una pequeña

porción del estómago. El metabolismo se produce principalmente en el hígado, cuando el contenido hepático del mineral supera los niveles normales el exceso de este se asocia con metalotioneína, una proteína fijadora de metales a la cual se le atribuye un papel en el depósito y la detoxificación de zinc, cobre, cadmio y otros minerales.<sup>23</sup>

El depósito de zinc es limitado excepto en el hueso, es por esto que se miden las concentraciones en los huesos para calcular su absorción, ya que el zinc sérico solo es confiable en condiciones experimentales controladas.

La excreción de este mineral se realiza por las heces donde se encuentran sus formas no absorbidas y endógenas (jugo pancreático, bilis, otras secreciones digestivas). La excreción del zinc endógeno en heces depende del balance entre la absorción verdadera y las necesidades metabólicas, esta variabilidad de la excreción es uno de los puntos clave para mantenerlo en balance, de esta manera tanto la excreción como la absorción son reguladores.<sup>24</sup>

Es probable que la deficiencia de zinc sea un problema más importante que la toxicidad debido a que es relativamente no tóxico, su disponibilidad disminuye debido a numerosos factores entre los que se encuentra los niveles elevados de calcio, fosfato, cobre, hierro, cadmio y cromo en la dieta. Los signos de deficiencia incluyen anorexia, reducción del índice de crecimiento, alopecia, paraqueratosis, deterioro reproductivo, depresión de la función inmunitaria y trastornos del crecimiento esquelético.<sup>25</sup>

Aunque el zinc está relativamente exento de toxicidad se debe tener cuidado con incluir niveles altos en la dieta, porque puede interferir con otros minerales como el cobre y el hierro.<sup>24</sup>

- **HIERRO**

El hierro es un mineral esencial para todos los animales y plantas, se ocupa de las actividades celulares de vital importancia como la respiración y el transporte de oxígeno.<sup>22, 25</sup>

Su función más conocida es ser parte de la hemoglobina y otras proteínas sanguíneas, siendo la anemia el síntoma característico de su deficiencia; sin embargo se le asocia también con el metabolismo de los lípidos ya que produce hiperlipemia e hígado graso. Algunos de los otros compuestos de los que forma parte el hierro son las llamadas hemoenzimas y otras enzimas como la deshidrogenasa succínica, la xantina-oxidasa y la NADH-deshidrogenasa.<sup>24</sup>

Debido a la capacidad limitada del organismo para excretar el hierro, el balance de este elemento se mantiene en especial mediante el ajuste de su absorción. La cantidad de hierro absorbido depende de tres factores: el nivel corporal de hierro, la disponibilidad del hierro en la dieta y las cantidades de hierro hem y no hem en el alimento; ya que el hierro hem es aquel que se encuentra unido a la molécula de la hemoglobina o mioglobina y en la que no se ve afectada la absorción por otros factores; y el hierro no hem que es el que no se encuentra unido a ninguna molécula sanguínea y que su absorción

se puede afectar por la presencia en la dieta de fitato, taninos, exceso de calcio, fosforo , magnesio, zinc, cobre y ácido ascórbico.<sup>21, 25</sup>

La excreción del hierro es limitada y se realiza a través de la orina, las heces (hierro no absorbido) y existe una pérdida constante en el sudor, pelo y uñas.<sup>23</sup>

## 1.4 VITAMINAS

Las vitaminas son sustancias orgánicas compuestas generalmente por carbono e hidrógeno que realizan funciones esenciales en el metabolismo, de manera que si no se encuentran en la cantidad adecuada se presentan síntomas característicos de deficiencia. Se requieren en cantidades muy pequeñas en comparación con otros nutrientes.

Se clasifican en dos grupos: liposolubles e hidrosolubles, dentro de las primeras se encuentra la A D E y K mientras que en el otro grupo se considera las del complejo B y C.<sup>21, 22, 25</sup>

Estas diferencias de solubilidad y estructura química determinan las diferencias en la absorción. Las vitaminas liposolubles requieren la presencia de sales biliares y grasa para ser transportadas hacia el hígado pasando por el sistema linfático. En cambio la mayor parte de las vitaminas hidrosolubles se absorben mediante un mecanismo de transporte activo, requiriendo una proteína portadora denominada factor intrínseco o una bomba de absorción dependiente del sodio y mediada por portadores.<sup>25</sup>

Las vitaminas liposolubles al solubles en grasa es muy difícil que se presente una deficiencia ya que se almacenan en tejido adiposo, pero también por

este motivo pueden llegar a causar toxicidad; en cambio los depósitos de las vitaminas hidrosolubles son limitados, por lo tanto desaparecen con mayor velocidad del organismo y de esta manera es más fácil que se presente una deficiencia pero más difícil que haya una intoxicación.<sup>26</sup>

El diagnóstico de la deficiencia de vitaminas del complejo B que ocurre en medicina veterinaria es difícil ya que no hay pruebas analíticas de disponibilidad rápidas por lo tanto prácticamente se depende casi por completo de los signos clínicos y la historia nutricional del paciente.<sup>22</sup>

Una vitamina debe satisfacer cinco características básicas: debe ser un compuesto orgánico diferente de una grasa, una proteína o un carbohidrato, debe ser un componente de la dieta, debe ser esencial en cantidades mínimas para el desempeño de las funciones fisiológicas normales, su ausencia puede ocasionar un síndrome de deficiencia y el organismo no debe sintetizarla en cantidades suficientes para el desempeño de las funciones fisiológicas normales.<sup>24</sup>

Las vitaminas tienen funciones muy diversas, actúan como potenciadores o cofactores de reacciones enzimáticas, también participan en la síntesis de ADN, la liberación de energía de los nutrientes, el desarrollo óseo, el balance de calcio, la función ocular normal, la integridad de las membranas celulares, la coagulación sanguínea, la depuración de radicales libres, el metabolismo de aminoácidos y proteínas y la transmisión de impulsos nerviosos.<sup>22, 25</sup>

- VITAMINA B<sub>2</sub>

También llamada riboflavina es la precursora de un grupo de cofactores enzimáticos denominados flavinas que son coenzimas de alrededor de 50 enzimas en el organismo de los mamíferos, participan en el metabolismo intermedio de la energía y en especial las reacciones redox. Las dos coenzimas principales derivadas de la riboflavina son el mononucleótido de flavina (FMN) y el dinucleótido flavina adenina (FAD).

La mayor parte de la vitamina que se encuentra en el cuerpo está en forma de derivados de la coenzima libre. Los tres compuestos de la flavina se hidrolizan antes de su absorción en la parte superior del tracto GI, después de esto aproximadamente el 50% de la riboflavina sérica se une a la albúmina y el resto a las globulinas, los tejidos que requieren riboflavina la convierten en FMN por fosforilación y luego a FAD. El exceso de la vitamina es excretado por los riñones como riboflavina.<sup>21, 22, 24, 25, 26</sup>

- VITAMINA B<sub>6</sub>

Las formas de piridoxina con actividad biológica son las coenzimas piridoxal fosfato (PLP) y piridoxamina fosfato (PMP), la primera participa en mayor parte de las reacciones del metabolismo de los aminoácidos como transaminación, descarboxilación, desulfidación y desaminación oxidativa, además participa en el catabolismo del glucógeno y en el metabolismo de lípidos, la síntesis de adrenalina, serotonina, noradrenalina, entre otras. La piridoxina participa en la vasodilatación mediante la producción de histamina y es necesaria en la vía de producción de la niacina a partir del triptófano,

también contribuye a la síntesis de taurina a partir de la cisteína y participa con el ácido ascórbico y el  $\text{NAD}^+$  en la síntesis de carnitina a partir de lisina.

Las diferentes formas de la vitamina se absorben en forma libre por difusión pasiva en el intestino delgado, la forma conjugada con glucuronido no se absorbe. Después pasa a torrente sanguíneo donde la fosforilación de la vitamina es una parte esencial para la retención intracelular de la vitamina aunque solo se almacenen porciones muy pequeñas; los metabolitos se excretan por vía renal donde el más importante es el ácido piridóxico el cual no es detectable en animales que presentan deficiencia de la vitamina y por lo tanto se convierte en un metabolito útil para la evaluación clínica del estado corporal de la vitamina. Otra forma de evaluar el estado de la vitamina en el cuerpo es midiendo los niveles de PLP y de transaminasa eritrocitaria.

El requerimiento de esta vitamina depende de muchos factores como la etapa de vida, la composición de la dieta, la síntesis microbiana, entre otras.

La deficiencia se manifiesta por retraso del crecimiento, debilidad muscular, signos neurológicos (hiperirritabilidad y convulsiones), anemia microcítica leve, lesiones renales irreversibles y anorexia. La toxicidad parece tener poca relevancia aunque se llega a ver signos como ataxia y pérdida del control motor fino.<sup>21, 22, 24, 25, 26</sup>

- VITAMINA B<sub>12</sub>

Esta vitamina tiene una relación intrínseca con el metabolismo de los folatos; son importantes en las relaciones metabólicas con transferencia de unidades de carbono.

La absorción depende de la ingesta alimentaria y de una función gastrointestinal adecuada; la vitamina debe atravesar los siguientes pasos antes de su absorción:

- a) Hidrólisis gástrica y pancreática a través de los péptidos de la dieta
- b) Conjugación con el factor intrínseco (una glucoproteína esencial para la absorción de la vitamina), presente en las células parietales gástricas.
- c) Absorción ileal a través de receptores específicos de la superficie celular.
- d) Transporte en la sangre unida a la proteína holotranscobalamina II (20%) hacia todas las células que sintetizan ADN
- e) Almacenamiento en el suero (80%) unida a la proteína sérica haptocorrina
- f) Captación celular mediante receptores específicos de la superficie celular.

La deficiencia es muy rara pero puede producir retraso del crecimiento y neuropatías; como la vitamina B<sub>12</sub> proviene de la síntesis microbiana y se encuentra en tejidos animales, una dieta vegetariana puede conducir a una deficiencia. La evaluación directa de la vitamina se realiza midiendo los

niveles séricos de esta y la forma indirecta es midiendo el ácido metilmalónico (MMA) sérico o urinario ya que este último aumenta al cursar con una deficiencia de esta vitamina.<sup>21, 22, 24, 25, 26</sup>

- VITAMINA C

Es un compuesto muy lábil que se oxida con rapidez por lo que requiere de una enzima reductora para volver a transformarse en la forma activa. La vitamina C es un antioxidante y depurador de radicales libres aunque es mejor conocida por su papel en la síntesis de colágeno ya que participa en la hidroxilación de los residuos prolil y lisil de procolágeno; también participa en el metabolismo de fármacos, esteroides y de la tirosina y en el transporte celular de electrones. El ácido ascórbico es necesario para la síntesis de carnitina, un portador importante de grupos acilo a través de las membranas mitocondriales.

Los animales incapaces de sintetizar esta vitamina llevan a cabo la absorción mediante un mecanismo de transporte activo saturable mediado por transportadores y dependiente del sodio. El ácido ascórbico tiene una amplia distribución en los tejidos y es excretado por orina, sudor y heces, estas dos últimas formas de excreción son mínimas.

La deficiencia aguda de la vitamina produce escorbuto (en animales que no la sintetizan) y en general se considera que la ingesta de cantidades elevadas no produce toxicidad.<sup>21, 22, 24, 25, 26</sup>

## 1.5 ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA MEDICIÓN DE VITAMINAS Y MINERALES EN PELO.

Como bien se sabe la nutrición en todos los animales es fundamental para el buen funcionamiento del organismo y por lo tanto para mantener la salud de cada individuo, es por esto que las investigaciones relacionadas con la nutrición son de vital importancia para el conocimiento de la manutención de cualquier ejemplar en cautiverio.<sup>27</sup>

Algunas de estas investigaciones son indirectas, es decir, que no evalúan como tal el contenido de nutrientes que aporta una dieta si no que se evalúa el impacto que tienen estos nutrientes en el organismo y que pueden verse relacionados con el adecuado aporte y aprovechamiento de dichos nutrientes por el animal.<sup>28</sup>

Novak y Bergeim (1944), realizaron un estudio donde midieron vitaminas hidrosolubles en ratas albinas de diferentes edades y humanos del género masculino de diferentes edades y con diferente color de cabello para concluir que las vitaminas encontradas en el pelo de animales jóvenes es mayor a las encontradas en animales de mayor edad, además midieron estas vitaminas en 4 diferentes dietas para ver si la deficiencia de las vitaminas influía en el contenido de estas en el cabello; y si al complementar la dieta con las vitaminas los niveles en pelo se modificaban, concluyendo que al haber una deficiencia se disminuía el contenido de estos y aumentaban al complementar las dietas.<sup>29</sup>

Strain *et al* realizaron un estudio donde inocularon vía intravenosa 4 minerales (I, Mn, Sr y Zn) a ratas para evidenciar que hay un reflejo de estos elementos como consecuencia de su metabolismo, estos minerales los midieron en pelos arrancados y pelo cortado y encontraron que no había diferencia en el contenido de estos minerales en el pelo excepto en el Zn y concluyeron que para este mineral la ruta principal de absorción no es a través del folículo como en el caso de los otros minerales, pero también notaron que el contenido del Zn en pelo era menor en animales viejos en comparación con animales jóvenes.<sup>30</sup>

Neseni en 1970 realizó una investigación en ganado en crecimiento donde midió los niveles de fósforo en pelo y observó que los animales con niveles menores de 200 ppm del mineral en pelo tenían una menor ganancia de peso en comparación con los animales que tenían niveles mayores a 200 ppm del mineral.<sup>31</sup>

Kellaway *et al* en 1978 realizaron un estudio con novillos Hereford, donde midieron los niveles de cobre en hígado, pelo y plasma; usando dietas con diferentes niveles de molibdeno y azufre y concluyeron que los niveles de cobre en el pelo son una útil herramienta de diagnóstico en la detección de hipocuprosis esto debido a que el pelo proporciona un registro integral de la disponibilidad del cobre durante el periodo de crecimiento y por lo tanto puede ser una mejor evidencia que el plasma que sólo representa un punto en el tiempo.<sup>32</sup>

Miller *et al* 1966 hicieron un estudio en cabras donde midieron los niveles de zinc en diferentes tejidos incluyendo el cabello, en dos grupos de animales,

el grupo control y el grupo al que alimentaron con una dieta deficiente en zinc y concluyeron que las concentraciones de zinc en el pelo es un reflejo más fiel del contenido de zinc en la dieta que otros tejidos.<sup>33</sup>

Galaviz, en 2010 realizó un estudio en yeguas y sus potros, midió niveles de minerales (Ca, P, Mg, Na, K, Zn, Cu y Se) en leche, sangre y pelo de las yeguas y en el pelo de los potros para determinar si había diferencia en los niveles encontrados en las yeguas en diferentes momentos de la lactación y ver si esto repercutía en los niveles encontrados en el pelo de los potros también en diferentes etapas de la lactación, concluyendo que la medición de magnesio en pelo es una buena herramienta diagnóstica para evaluar la concentración de este mineral en el organismo.<sup>34</sup>

Flores, 2012, realizó un estudio en conejo teporingo (*Romerolagus diazii*) para conocer su estado nutricional mediante la medición de la concentración de los nutrimentos en pelo y así mostrar si su dinámica es semejante al de los conejos domésticos. La conclusión del estudio concuerda con lo descrito por Combs que afirma que hay una correlación en las concentraciones de cobre y magnesio en sangre con las concentraciones encontradas en pelo para varias especies por una influencia de la dieta, esto permite explicar que el análisis de pelo no constituye un criterio absolutamente confiable para evaluar el estatus de Cu y Mg de los animales pero si proporciona una idea de lo que ha sucedido con los niveles; estos durante un periodo de tiempo (principalmente equivalente al periodo de crecimiento del pelo) a diferencia de las muestras de plasma o hígado, que solo reflejan el estatus mineral del animal al momento del muestreo, pero suelen resultar invasivas.<sup>27</sup>

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

Considerando que la información sobre el manejo y la nutrición del erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) es escasa, las investigaciones han sido dirigidas hacia la obtención del manejo nutricional de estos animales utilizando técnicas no invasivas. Dentro de estas técnicas se encuentran las que utilizan muestras de pelo como un indicador de la concentración y aprovechamiento de los minerales y vitaminas; debido a que las espinas del erizo pigmeo africano son pelos modificados, estas podrían ser utilizadas como una forma de evaluar el estatus mineral y vitamínico de estos individuos.

Como característica importante, las espinas se encuentran en un constante crecimiento (fase anagénica) por lo cual las modificaciones en la dieta podrían verse reflejados de inmediato en éstas al evaluar la alteración en su composición mineral y vitamínica.

## 1.7 HIPÓTESIS

- HIPÓTESIS NULA

La cuantificación de las vitaminas y elementos minerales en las espinas del erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) no es indicativo del estado nutricional del animal en relación con el aporte nutricional del alimento.

- **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

La cuantificación de las vitaminas y elementos minerales en las espinas del erizo pigmeo africano (*Atekerix albiventris*) puede servir como un indicador del estado nutricional del animal en relación con el aporte nutricional del alimento.

## 1.8 OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la concentración de elementos minerales Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Sodio ( $\text{Na}^{1+}$ ) y Potasio ( $\text{K}^{1+}$ ) y vitaminas hidrosolubles en espinas de erizos pigmeos africanos (*Atekerix albiventris*) alimentados con croquetas para gato en crecimiento marca Whiskas® y alimento para insectívoros marca Mazuri®; para poder demostrar la existencia o no en la relación de los nutrientes encontrados en las espinas y los aportados en la dieta.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Determinar la concentración de minerales Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA), Sodio ( $\text{Na}^{1+}$ ) y Potasio ( $\text{K}^{1+}$ ) por espectrofotometría por emisión de flama (EE) y Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) por espectrometría de absorción UV visible en espinas de erizos pigmeos africanos (*Atekerix albiventris*) y de los dos alimentos utilizados en el estudio para conocer la concentración de estos elementos y su relación con el consumo.

- b. Determinar la concentración de vitaminas hidrosolubles en espinas de erizos pigmeos africanos (*Atelerix albiventris*) y de los dos alimentos utilizados en el estudio para conocer su relación con lo consumido en la dieta, a través de la técnica de CLAR.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 LOCALIZACIÓN

Este trabajo se llevó a cabo del 2 de Mayo 2011 al 12 de Junio 2011, en un domicilio particular ubicado en norte 72 # 5420, Delegación Gustavo A. Madero, México, Distrito Federal, en donde se acondicionó una habitación exclusiva para el estudio, con las siguientes dimensiones, 3.3 m de ancho por 3.6 m de largo por 4.0 m de alto. Tomando en cuenta las necesidades de la especie, se reguló la temperatura manteniendo un rango de 23 a 27°C, una humedad de 30 a 35% las cuales son condiciones propias de la zona.

### 2.2 SUJETOS DE ESTUDIO

Se utilizaron 6 erizos pigmeos africanos (3 hembras y 3 machos) de 2 y 3 años de edad, se formaron 2 grupos de 3 erizos cada uno conforme a su alimentación anterior quedando en el grupo 1 los animales que habían comido alimento para insectívoro de Mazuri® toda su vida y en el grupo 2 los que se alimentaban con Whiskas® para gato en crecimiento.

## 2.3 ALOJAMIENTO

Los animales se alojaron en jaulas individuales con piso de plástico y cubierta tipo reja de fierro con dimensiones de 60 cm de largo por 32 cm de ancho por 30 cm de alto, cada jaula se mantuvo perfectamente cerrada como medida preventiva y dentro de las mismas había una caja de cartón de aproximadamente 15 cm de largo por 30 cm de ancho por 20 cm de alto que funcionó como madriguera.

En un extremo de la jaula se encontraban el plato de comida de porcelana con un peso aproximado de 50 g para evitar que el animal lo fuera a voltear y el bebedero de tipo despachador por goteo de plástico con una capacidad de 50 ml, mientras que del lado opuesto se encontraba la madriguera; el espacio restante se cubrió con una capa de un sustrato absorbente que permitió un control de olor y de residuos.

Para el enriquecimiento ambiental los erizos contaron con un espacio de recreo en piso de 1 m de ancho por 1.8 m de largo que se dividió con malla forrada de papel periódico para evitar lesiones y contacto directo entre los animales, además se colocaron cajas de cartón y tubos de PVC de diferente forma y tamaño que funcionaron como escondites y túneles; y dos tinas con agua.

Se sacaron a hacer caminatas todos los días en dos horarios, por las mañanas de 1 a 2 horas, tiempo en el cual se limpiaron las jaulas, se tomaron las muestras de las espinas, se cambió el sustrato y se dio agua limpia y fresca; y por la tarde 1 hora con 30 minutos aproximadamente;

tiempo en donde se pesaba el alimento que no habían consumido, se pesaba 30 gramos de alimento y se ponía en el comedero a cada uno, también se recolectaban las espinas que llegaran a estar en la jaula y de ser necesario se cambiaba el agua nuevamente.

## 2.4 ALIMENTO

Se compraron 3 bultos de alimento comercial para gato en crecimiento de 1.5 kg y tres botes de alimento comercial para insectívoro de 1 kg del mismo lote cada uno. Para unificarlo se vaciaron en un contenedor de plástico y se homogeneizaron, posteriormente se regresaron a su lugar de origen, se sellaron con cinta adhesiva y se almacenaron en un lugar limpio y fresco.

## 2.5 ALIMENTACIÓN

El estudio tuvo una duración de 5 semanas empezando el día 9 de mayo 2011 y terminando el día 12 de Junio 2011, y una semana previa de adaptación empezando el día 2 de Mayo 2011 y terminando el día 8 de Mayo 2011. En la semana de adaptación se colocaron las jaulas tal como estarían durante el experimento para brindarles tiempo a que lograran adaptarse al nuevo lugar, al ambiente externo, la temperatura y humedad; así como a los nuevos integrantes del grupo. En este tiempo se realizó el cambio gradual de alimento al que iban a consumir en el estudio.

En las primeras dos semanas del estudio al grupo 1 se le dió alimento comercial para insectívoro mientras que el grupo 2 comía alimento comercial para gato en crecimiento. Durante la tercera semana hubo un periodo de adaptación y de cambio paulatino de la dieta para que en las semanas 4 y 5

el grupo 1 comiera el alimento para gato en crecimiento y el grupo 2 el alimento para insectívoro, con el fin de ver si había un cambio que repercutiera en la deposición de los minerales y vitaminas en las espinas de estos animales.

Todos los días durante el tiempo de recreo de la tarde se pesaba el alimento sobrante para saber el consumo diario de cada uno de ellos y se anotaba en una libreta de registros, posteriormente se pesaban de nuevo los 30 g del alimento que estaban consumiendo y se les colocaba en la jaula.

## 2.6 TOMA DE MUESTRAS

El muestreo de los alimentos sólo se realizó una vez y fue al inicio del estudio cuando después de homogeneizarlos se tomaron 5 mg de cada uno de los bultos o botes para obtener una muestra final de 15 mg, se colocó en una bolsa de plástico y se mantuvo en un lugar fresco y ventilado para su almacenamiento.

Las muestras de las espinas fueron recolectadas diariamente durante los dos periodos de recreo que tenían los erizos, siendo el periodo de la mañana cuando se hacía la limpieza de la jaula, en donde se encontraban una mayor cantidad de estas espinas y por la tarde sólo se recogían las espinas que se llegaran a ver al momento de hacer el pesaje del alimento; también se recogían del piso las espinas que hubieran tirado mientras estaban en el momento de recreo. Estas espinas fueron almacenadas en un lugar fresco y ventilado, en sobres de papel identificados previamente con el nombre del erizo y el periodo en el que se encontraban, diferenciando de esta manera

solamente entre el periodo 1 y el periodo 2 y obteniendo así dos muestras de espinas por individuo durante todo el estudio.

## 2.7 LABORATORIO

Esta etapa del estudio se realizó en dos laboratorios ubicados en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, uno en el Laboratorio de Toxicología en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica y el segundo en el Departamento de Fisiología y Farmacología.

## 2.8 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ESPINAS

Una vez identificadas y almacenadas las muestras se realizó el procesamiento de las mismas; la muestra total de cada uno de los periodos se colocó en una charola de aluminio separados de manera independiente; después se lavaron de forma cuidadosa con jabón Extran® al 10% agitando suavemente las espinas y empleando agua desmineralizada para liberar los sobrantes de jabón con el fin de eliminar los residuos contaminantes que se pudiera encontrar en las espinas.

Posteriormente se colocaron en un horno de desecación a una temperatura de 35°C por un tiempo promedio de 5 horas, para deshidratar la muestra; estas condiciones se determinaron mediante pruebas piloto hasta que las espinas tuvieran un peso constante.

Una vez terminado el secado, se pesó la muestra para determinar la cantidad total que se obtuvo por periodo por erizo y se separaron 20 mg de espinas para la medición de las vitaminas y 20 mg para la medición de minerales.

- ELEMENTOS MINERALES

Una vez pesada la muestra se colocaron e identificaron cada una en tubos de ensayo de 10 mililitros (mL). Las muestras fueron expuestas a una digestión ácida abierta, mediante la técnica empleada en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ, UNAM, la cual consiste en adicionar 1 mL de ácido nítrico al 70% sometiendo las muestras de espinas completas a digestión en baño maría con la ayuda de una termo platina a una temperatura de 170°C por un tiempo aproximado de 1 a 3 horas o hasta que las muestras estuvieran totalmente digeridas. Posteriormente, se hizo el proceso de filtrado con la ayuda de un papel Whatman® No. 4 de 125 mm y se aforaron a 10 mL con agua desmineralizada con la ayuda de un matraz aforado, concluido esto las muestras se almacenaron en tubos de cultivo de 10 mL a una temperatura de refrigeración de 4°C. Para realizar la lectura de los elementos minerales en las muestras se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) por el método de flama para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , y  $\text{Mg}^{2+}$ , al  $\text{PO}_4^{3-}$  por espectrometría de absorción UV visible (AOAC 964.06) y de espectrofotometría por emisión atómica al  $\text{Na}^{1+}$  y  $\text{K}^{1+}$ ; todo el proceso se llevó a cabo de acuerdo con las especificaciones del manual del fabricante del equipo Perkin-Elmer Analyst modelo 3110 (Northwalk, EUA) en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ, UNAM.<sup>35, 36</sup>

- VITMAMINAS

Se cortaron las espinas en trozos hasta obtener un aproximado de 25 mg de muestra por tratamiento por individuo y se pesó nuevamente una cantidad cercana a 20 mg, esto para evitar las pérdidas durante el corte y se colocaron en tubos de ensayo de 3 mL, posteriormente se adicionó 1 mL de acetonitrilo grado CLAR y se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos, realizando al terminar un filtrado previo con ayuda de papel Whatman® No. 4 de 125 mm, y un segundo filtrado con acrodiscos Millex™ HN nylon 0.45µm por 13mm; con ayuda de jeringas de 3mL, dicho filtrado se almacenó en viales ámbar de 1.5 mL y tapas azules de polipropileno previamente identificados y refrigerados a una temperatura de 4°C especiales para la inyección de la muestra en la unidad de CLAR de la marca Jasco, modelo CO-2067 Plus. Para poder determinar la concentración de las vitaminas C, B<sub>2</sub> y B<sub>6</sub> presentes en cada una de las muestras se elaboraron estándares de 10 mg/10 mL para cada vitamina y empleando la técnica de CLAR descrita por Van Nierkerk® en 1988 y contemplando la metodología descrita por Altech®, la que consiste en la detección de vitaminas hidrosolubles con una columna C18 5 µm, 150 x 4.6 mm, una fase móvil 0.25 M de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> y CH<sub>3</sub>CN (97:3) con un pH de 3.0, la cual fue filtrada con una membrana de polímero de 0.22 µm. Las condiciones que se emplearon fueron de 1.0 ml/min de flujo, un detector UV en una longitud de onda de 254 y con una inyección de 100 µm, esta técnica permite separar los componentes de una mezcla basándose en diferentes tipos de interacciones químicas entre las

sustancias analizadas y la columna cromatográfica. Este proceso se llevó a cabo en el Departamento de Fisiología y Farmacología de la FMVZ, UNAM.<sup>37, 38, 39</sup>

## 2.9 PROCESAMIENTO DE LA MUESTRAS DE ALIMENTO

Una vez obtenidos los 15 g de muestra se colocaron en una charola de aluminio y se metieron al horno de desecación a una temperatura de 50°C promedio por un periodo de 12 horas, concluido el tiempo se volvió a pesar la muestra y se determinó la materia seca por diferencia de pesos; después se molió con la ayuda de un molino de café, terminando esto se separaron 20 mg para la medición de las vitaminas y 250 mg para la medición de minerales.

### • ELEMENTOS MINERALES

Las muestras para la medición de minerales se colocaron en vasos de precipitado previamente identificado en donde se añadió 4 ml de ácido nítrico para que se efectuara una digestión ácida abierta con la ayuda de una termo platina a una temperatura de 190°C y por un periodo de 12 horas aproximadamente o hasta que la muestra estuviera totalmente digerida; cada vaso de precipitado fue tapado con un matraz Kjeldahl con una cantidad de 2/3 de agua con la finalidad de servir como condensadores y evitar la libre emisión de gases.

Posteriormente se aforaron con agua desmineralizada a 25 mL con ayuda de un matraz aforado y fueron depositadas en frascos de nalgeno de 100 mL

previamente identificados y se almacenaron en un lugar fresco y seco hasta su medición.

- **VITAMINAS**

Una vez pesada la muestra se colocó en un tubo de ensayo de 3 mL adicionando 1 mL de acetonitrilo grado CLAR y se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos, posteriormente se realizó un filtrado previo con ayuda de papel filtro poro fino y un segundo filtrado con acrodiscos Millex™ HN nylon 0.45µm por 13mm; con ayuda de jeringas de 3mL; dicho filtrado se almacenó en viales ámbar de 1.5 mL y tapas azules de polipropileno previamente identificados y refrigerados a una temperatura de 4°C especiales para la inyección de la muestra en la unidad de CLAR de la marca Jasco, modelo CO-2067 Plus (flujo de 1.0 ml/m, detector UV de 254 de longitud de onda).

## 2.10 CÁLCULO ARITMÉTICO

- **ELEMENTOS MINERALES**

En el caso de las espinas se obtuvieron las cantidades de cada uno de los minerales a través de los siguientes pasos:

- a) Se obtuvo la absorbancia de los estándares usados de cada uno de los minerales así como la absorbancia de cada una de las muestras diferenciando el erizo, el periodo y el tratamiento.
- b) Se obtuvo el coeficiente de correlación, la intersección con el eje y la pendiente entre las partes por millón (ppm) y la absorbancia de los estándares.

- c) Se obtuvo la concentración inicial de cada una de las muestras mediante la siguiente fórmula: intersección con el eje + pendiente x la absorbancia, es decir  $y = a + bx$ .
- d) Se obtuvo el porcentaje del mineral en cada una de las muestras por medio de la siguiente fórmula: [(concentración inicial x aforo al que se llevó la muestra) / peso de la muestra] x 0.0001.
- e) Se obtuvieron los miligramos contenidos de cada mineral por cada gramo de muestra (mg/g) de cada una de las muestras siguiendo la fórmula: [(concentración inicial x aforo al que se llevó la muestra) / peso de la muestra] / 1000.

- **VITAMINAS**

Para sacar la cantidad de  $\mu\text{g}$  de vitamina por gramo de muestra se tomaron las gráficas obtenidas del cromatógrafo tanto de las muestras como de los estándares y se siguieron los siguientes pasos:

- a) Identificar en la gráfica del estándar el pico correspondiente a la vitamina y tomar los datos de absorbancia (área bajo la curva) así como el tiempo de retención de la muestra.
- b) Identificar con los datos anteriores en las gráficas de cada una de las muestras cual pico es el correspondiente a la vitamina y tomar el tiempo de retención y la absorbancia.
- c) Obtener los  $\mu\text{g/g}$  de cada una de las muestras por medio de la siguiente fórmula: (absorbancia de la muestra / absorbancia del estándar) x

(concentración del estándar (mg/ml) / peso (g) de la muestra) x la dilución.

## 2.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño del estudio es un diseño cruzado AB/BA con seis repeticiones por tratamiento.

Se realizó para todas las respuestas estudiadas, el análisis correspondiente a un diseño de un solo factor cruzado cuyo modelo es:

$$Y_{ijk} = \mu + D_j + P_k + E_i + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, 12$$

$$j = 1, 2$$

$$k = 1, 2$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : valor de la respuesta estudiada para el erizo  $i$ , de la dieta  $j$ , en el periodo  $k$ .

$D_j$ : efecto de la dieta  $j$ .

$P_k$ : efecto del periodo  $k$ .

$E_i$ : efecto del erizo  $j$ , aleatorio.

$\varepsilon_{ijk}$ : residual

Para evaluar la relación entre el contenido de vitaminas y minerales en el consumo con el contenido de vitaminas y minerales en espinas se hizo un estudio de parcelas divididas; el modelo utilizado fue el mismo que el de los casos anteriores pero utilizando como variable respuesta el contenido en

espinas e incluyendo en las explicativas el consumo para cada uno de los minerales y vitaminas estudiados.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + D_j + P_k + E_i + C_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, 12$$

$$j = 1, 2$$

$$k = 1, 2$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : valor de contenido de mineral o vitamina en espinas del erizo  $i$ , de la dieta  $j$ , en el periodo  $k$ .

$D_j$ : efecto de la dieta  $j$ .

$P_k$ : efecto del periodo  $k$ .

$E_i$ : efecto del erizo  $j$ , aleatorio.

$C_{ijk}$ : contenido del mineral o vitamina en el consumo promedio del erizo  $i$ , de la dieta  $j$ , en el periodo  $k$ .

$\varepsilon_{ijk}$ : residual del erizo  $i$ , de la dieta  $j$ , en el periodo  $k$ .

Para explicar el contenido en espinas de vitaminas y minerales mediante el consumo de estos se realizó un análisis de regresión lineal

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 ELEMENTOS MINERALES

- ESPINAS

Para los niveles obtenidos de minerales en la espinas podemos observar que en el caso del calcio, fósforo, magnesio y sodio se observó que durante el segundo periodo del estudio la cantidad de los minerales en las espinas fue mayor en todos los animales y en ambos tratamientos en comparación al primer periodo. En el caso del zinc sólo el erizo cuatro en el periodo dos y tratamiento uno superó el miligramo por gramo de muestra, y todos los animales excepto el erizo 6 tuvieron un nivel más alto cuando consumieron Mazuri®. Para el potasio se obtuvieron datos constantes excepto en el erizo uno del periodo dos en el tratamiento 2; donde las cantidades obtenidas fueron muy elevadas en comparación con el resto de los animales. En los niveles encontrados en hierro sólo en el erizo 3 fue la misma cantidad que se obtuvo al consumir las dos dietas, tal como se describe en el cuadro 1.

**CUADRO 1**

**CONTENIDO DE ELEMENTOS MINERALES EN LAS ESPINAS DE ERIZO**

**PIGMEO AFRICANO (*Atelerix albiventris*) (mg/g)**

ER	TR	PE	Ca	P	Mg	Cu	Zn	K	Fe	Na
1	1	1	1.055	0.421	0.229	0.008	0.107	1.669	0.087	0.879
2	1	1	1.677	0.514	0.506	0.017	0.103	1.331	0.085	0.472
3	1	1	1.654	0.827	0.419	0.019	0.128	1.525	0.138	0.625
4	1	2	3.573	0.388	1.004	0.018	1.038	1.447	0.086	3.760
5	1	2	3.461	1.633	1.012	0.019	0.112	1.340	0.142	5.609
6	1	2	2.669	1.077	0.866	0.018	0.110	0.976	0.137	6.698
1	2	2	3.458	1.919	0.752	0.019	0.098	8.758	0.139	7.965
2	2	2	3.462	0.632	1.130	0.016	0.097	0.950	0.120	3.407
3	2	2	3.387	1.654	1.026	0.029	0.123	1.307	0.138	7.505
4	2	1	2.173	0.280	0.743	0.019	0.250	2.101	0.140	0.515
5	2	1	2.048	1.121	0.495	0.018	0.108	1.270	0.134	0.559
6	2	1	1.539	0.877	0.391	0.019	0.732	1.650	0.140	0.726

ER = Erizo, PE= Periodo, TR = Tratamiento. Periodo 1 = semana 1 y 2 del estudio, Periodo 2 = semana 3 y 4 del estudio. Tratamiento 1 = alimento Mazuri® Insectivore diet, Tratamiento 2 = alimento Whiskas® gato en crecimiento

En este estudio solo se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre las dietas en el contenido de calcio en las espinas.

Las medias de los minerales encontrados en las espinas del erizo así como sus errores estándar para cada una de las dietas se pueden observar en el cuadro 2.

**CUADRO 2**  
**CONTENIDO PROMEDIO DE ELEMENTOS MINERALES EN ESPINAS DE**  
**ERIZO PIGMEO AFRICANO (*Atelerix albiventris*) (mg/g)**

MINERAL	DIETA INSECTIVORO <sup>1</sup>		DIETA GATO EN CRECIMIENTO <sup>2</sup>	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE
CALCIO	2.3480629	0.08269421	2.6777725	0.08269421
FOSFORO	0.8099027	0.14735544	1.0805328	0.14735544
MAGNESIO	0.67265362	0.03013179	0.75607708	0.03013179
COBRE	0.01656590	0.00137359	0.01984482	0.00137359
ZINC	0.26649179	0.14418404	0.23449701	0.14418404
POTASIO	1.3813810	0.87513498	2.6724996	0.87513498
HIERRO	0.11248593	0.00869167	0.13521663	0.00869167
SODIO	3.0070227	0.55505418	3.4460460	0.55505418

1. Mazuri® Insectivore diet

2. Whiskas® gato en crecimiento

- **ALIMENTO**

Los resultados obtenidos en mg/g de cada uno de los minerales para cada una de las muestras de las dietas, así como el periodo y el tratamiento, se describen en el cuadro 3.

**CUADRO 3**  
**CONTENIDO DE ELEMENTOS MINERALES EN EL ALIMENTO COMERCIAL**  
**PARA GATO EN CRECIMIENTO Y EN EL ALIMENTO COMERCIAL PARA**  
**INSECTIVORO (mg/g)**

DIETA	Ca	P	Mg	Cu	Zn	K	Fe	Na
1	13	18	1.2	.0148	0.11	7.33	1.09	0.005428
2	10	18	1.11	0.0110	0.10	5.36	1.09	0.003905

Dieta 1 = Mazuri® Insectivore diet

Dieta 2 = Whiskas® gato en crecimiento

Para obtener la cantidad de minerales que se consumieron se multiplicó los mg/g de los minerales obtenidos en el alimento por la cantidad de alimento promedio consumido; estos resultados se muestran en el cuadro 4.

Se observó que en cuanto al consumo de los minerales para el Ca, Cu, K, y Na en todos los animales fue mayor el nivel cuando se alimentaron con Mazuri® y en el caso del P, Mg, Zn y Fe fue mayor el nivel cuando consumían Whiskas® en los erizos 1 y 5.

**CUADRO 4**  
**CONSUMO POR PERIODO DE ELEMENTOS MINERALES (mg/g)**

ER	TR	PE	Ca	P	Mg	Cu	Zn	K	Fe	Na
1	1	1	105.674	146.318	9.769	0.120	0.894	59.545	8.841	0.044
2	1	1	265.304	367.344	24.526	0.302	2.245	149.492	22.197	0.111
3	1	1	231.750	320.884	21.424	0.264	1.961	130.585	19.39	0.097
4	1	2	234.882	325.221	21.714	0.268	1.987	132.349	19.652	0.098
5	1	2	160.346	222.017	14.823	0.183	1.357	90.350	13.416	0.067
6	1	2	178.063	246.548	16.461	0.203	1.507	100.333	14.898	0.074
1	2	2	92.245	166.042	10.196	0.101	0.922	49.441	10.059	0.036
2	2	2	144.859	260.746	16.011	0.159	1.449	77.641	15.797	0.057
3	2	2	148.568	267.423	16.421	0.163	1.486	79.629	16.201	0.058
4	2	1	140.944	253.699	15.578	0.155	1.409	75.543	15.37	0.055
5	2	1	158.802	285.844	17.552	0.175	1.588	85.114	17.318	0.062
6	2	1	125.077	225.139	13.825	0.138	1.251	67.038	13.64	0.049

ER = Erizo, PE= Periodo, TR = Tratamiento. Periodo 1 = semana 1 y 2 del estudio, Periodo 2 = semana 3 y 4 del estudio. Tratamiento 1 = alimento Mazuri® Insectivore diet, Tratamiento 2 = alimento Whiskas® gato en crecimiento

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido promedio del consumo entre las dietas para calcio, cobre, potasio y sodio. No se encontraron diferencias significativas ni para el consumo ni para los otros minerales.

Las medias de consumo por mínimos cuadrados para todos los minerales con sus respectivos errores estándar se presentan en el cuadro 5.

**CUADRO 5**  
**CONSUMO PROMEDIO POR DÍA DE ALIMENTO (g) Y ELEMENTOS**  
**MINERALES (mg/g)**

	DIETA 1		DIETA 2	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE
<b>CONSUMO</b>	15.0077157	1.0580738	13.508271	1.0580738
<b>Ca</b>	196.00304	14.569413	135.08271	14.569413
<b>P</b>	271.38882	19.045329	243.14888	19.045329
<b>Mg</b>	18.119491	1.2946858	14.930661	1.2946858
<b>Cu</b>	0.22337801	0.01673374	0.14854808	0.01673374
<b>Zn</b>	1.6584873	0.11880654	1.3508271	0.11880654
<b>K</b>	110.44235	8.2990541	72.40103	8.2990541
<b>Fe</b>	16.398836	1.1501968	14.730877	1.1501968
<b>Na</b>	0.08184369	0.00617257	0.05274532	0.00617257

Dieta 1 = Mazuri® Insectivore diet Dieta 2 = Whiskas® gata en crecimiento EE = Error Estándar

### 3.2 VITAMINAS

#### • ESPINAS

Los resultados de las vitaminas obtenidas ( $\mu\text{g} / \text{g}$ ) para cada una de las muestras se presentan en el cuadro 6. Se puede observar que para el caso de la vitamina B<sub>2</sub> en el tratamiento uno no en todas las muestras se obtuvieron resultados. Para la vitamina C el valor más bajo se obtuvo en el erizo uno del periodo uno y del tratamiento 1. En el caso del erizo 3 en ambas vitaminas se obtuvieron niveles más altos para el consumo de Mazuri®, al contrario de el resto de los erizos que tenían mayor cantidad de vitaminas cuando consumieron Whiskas®.

**CUADRO 6**  
**CONTENIDO DE VITAMINAS EN ESPINAS DE ERIZO PIGMEO AFRICANO**

*(Atelerix albiventris)* (µg/g)

ERIZO	TRATAMIENTO	PERIODO	VIT B <sub>2</sub>	VIT C
1	1	1	0	54.3019733
2	1	1	334.14165	141.716906
3	1	1	441.841877	673.899626
4	1	2	443.332069	241.459981
5	1	2	0	167.813746
6	1	2	0	208.67381
1	2	2	456.201907	344.967679
2	2	2	520.822044	257.065759
3	2	2	430.868646	273.252285
4	2	1	552.183808	572.209257
5	2	1	654.392685	490.292826
6	2	1	475.371193	393.773858

Periodo 1 = semana 1 y 2 del estudio, Periodo 2 = semana 3 y 4 del estudio. Tratamiento 1 = alimento Mazuri® Insectivore diet, Tratamiento 2 = alimento Whiskas® gato en crecimiento

Para el caso de las vitaminas no se encontraron diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) en cuanto al contenido promedio en espinas para ninguna de las vitaminas que se midieron.

El contenido promedio de vitaminas en las espinas de erizo pigmeo africano con sus respectivos errores estándar se exponen en el cuadro 7.

### CUADRO 7

#### CONTENIDO PROMEDIO DE VITAMINAS EN ESPINAS DE ERIZO PIGMEO

#### AFRICANO (*Atelerix albiventris*) ( $\mu\text{g/g}$ )

VITAMINA	DIETA INSECTIVORO <sup>1</sup>		DIETA GATO EN CRECIMIENTO <sup>2</sup>	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE
B <sub>2</sub>	883.479	73.759	514.963	73.759
C	247.97767	75.233751	388.59361	75.233751

1. Mazuri® Insectivore diet

2. Whiskas® gato en crecimiento

#### • ALIMENTO

Los datos obtenidos del contenido de vitaminas para cada una de las muestras se muestran en el cuadro 8.

### CUADRO 8

#### CONTENIDO DE VITAMINAS EN EL ALIMENTO COMERCIAL PARA GATO EN

#### CRECIMIENTO Y EN EL ALIMENTO COMERCIAL PARA INSECTIVORO ( $\mu\text{g/g}$ )

DIETAS	VIT B <sub>2</sub>	VIT B <sub>6</sub>	VIT B <sub>12</sub>	VIT C
1	998.293053	62.61225245	1574.74686	6.42079136
2	125.650266	30.2630644	1612.23874	2.94074521

Dieta 1 = Mazuri® Insectivore diet

Dieta 2 = Whiskas® gato en crecimiento

Para obtener la cantidad de vitaminas que se consumieron se multiplicaron los  $\mu\text{g/g}$  de las vitaminas obtenidas en el alimento por la cantidad de alimento promedio consumido; estos resultados se muestran en el cuadro 9.

A pesar de haber obtenido resultados de las vitaminas B<sub>6</sub> y B<sub>12</sub> para el alimento no se tomaron en cuenta para compararlas con las obtenidas en las espinas ya que para estas vitaminas no hubo reporte en las espinas.

Se obtuvieron cantidades más altas para ambas vitaminas en todos los animales cuando consumieron Mazuri®.

**CUADRO 9**  
**CONSUMO POR PERIODO DE VITAMINAS (µg/g)**

ER	TR	PE	VIT B <sub>2</sub>	VIT C
1	1	1	424.268457	52.1932783
2	1	1	2674.17821	131.035645
3	1	1	2040.51822	114.46284
4	1	2	2096.03999	116.009635
5	1	2	976.825437	79.195911
6	1	2	1204.61177	87.9463521
1	2	2	250.234654	27.1270411
2	2	2	617.090112	42.599352
3	2	2	649.095303	43.6900893
4	2	1	584.184649	41.4480182
5	2	1	741.602333	46.6997164
6	2	1	460.060895	36.7820863

ER = Erizo, PE= Periodo, TR = Tratamiento. Periodo 1 = semana 1 y 2 del estudio, Periodo 2 = semana 3 y 4 del estudio. Tratamiento 1 = alimento Mazuri® Insectivore diet, Tratamiento 2 = alimento Whiskas® gato en crecimiento

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las dietas en cuanto al contenido promedio de vitamina C y vitamina B<sub>2</sub> en el alimento consumido, por otro lado las medias de consumo para las vitaminas con sus respectivos errores estándar se presentan en el cuadro 10.

**CUADRO 10**  
**CONSUMO PROMEDIO POR DÍA DE VITAMINAS (µg/g)**

	DIETA 1		DIETA 2	
	ME	EE	ME	EE
<b>VIT B<sub>2</sub></b>	1569.4070	234.94977	550.3780	234.94977
<b>VIT C</b>	96.807278	7.9417501	39.724384	7.9417501

Dieta 1 = Mazuri® Insectivore diet Dieta 2 = Whiskas® gata en crecimiento ME = Media EE = Error Estándar

#### 4. DISCUSIÓN

Según Combs en 1987, la presencia de los minerales en el pelo es un reflejo de la asimilación que se produjo en la etapa de crecimiento de este, por lo tanto si las espinas del erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) son definidas como pelos modificados, pueden llegar a ser una evidencia del estado nutricional de los animales.

Es importante mencionar que la edad y etapa fisiológica de los animales juega un papel importante para determinar las necesidades nutricionales, así como la manera en que estos nutrientes interactúan y fluyen dentro del organismo, tal como lo describe Novak y Bergeim en 1944, por lo tanto si se compara esto con lo encontrado en la variación del contenido de dicha vitamina en las espinas de erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) se puede inferir que la diferencia de edades dentro de los sujetos de estudio pudo afectar a la deposición de este elemento.

Combs en 1987, menciona que el cabello es un filamento de grabación del efecto metabólico que ocurrió dentro del periodo de formación del pelo, y Mauugh en 1978, señaló que la concentración de la mayoría de los elementos traza en el pelo son más altos que los encontrados en sangre, por lo tanto, al ser el erizo pigmeo africano una especie que tiene la característica de que sus espinas se encuentran en estado de crecimiento durante toda su vida, el reflejo del metabolismo de los nutrientes se ve manifestado con mayor rapidez en comparación con otras especies donde hay tres periodos de desarrollo del pelo: crecimiento (etapa anagénica), reposo (catagénica) y caída (telogénica) donde el cambio en el metabolismo de estos elementos se puede manifestar en tiempos más prolongados.

Por otro lado, este mismo autor reporta que el reflejo del metabolismo de los minerales, no sólo se da en la fase de crecimiento debido a que también se puede encontrar esta evidencia en la etapa de descanso, gracias a las secreciones de las glándulas sebáceas que son ricas en elementos traza y que se absorben en la superficie del pelo; tal es el caso del zinc que según Strain en 1971, la principal ruta de depósito es a través del sudor.

Esto se puede evidenciar en la investigación donde solo uno de los erizos superó el miligramo de Zn por gramo de muestra, cabe mencionar que en especial ese erizo era el único que realizaba ejercicio durante todo el día; además de ser el erizo más joven, es factible suponer que tuvo un mayor almacén de este mineral a través del sudor; asimismo el zinc no tiene la misma capacidad de depositarse en el pelo de los animales viejos en comparación con los animales más jóvenes.

En este estudio el único mineral en las espinas en el que se encontró diferencia estadísticamente significativa fue el Ca, esto se puede manifestar tomando en cuenta que el Ca es un mineral que al interactuar con otros minerales juega un papel antagónico, limitando la absorción de otros elementos en las espinas, tal como lo observó Anke en 1966, donde las dietas con suplementación dietética de Ca tenía un efecto antagonista sobre el contenido de P de pelo pigmentado de ganado lechero. Este desequilibrio entre el nivel de Ca y P obtenidos en el pelo no se lograrían ver en una muestra de sangre, ya que aquí se equilibra gracias a la acción de hormonas como la PTH y la calcitonina.

Se obtuvieron niveles más altos de Ca, P, Mg y Na en el segundo periodo del muestreo debido a que, a pesar de que estos minerales se encuentran en igual proporción en las dos dietas, los animales consumieron mayor cantidad de alimento durante el segundo periodo, por lo tanto, hubo mayor consumo de minerales y en consecuencia un aumento en el depósito de estos en las espinas, tal como lo describen Novak y Bergeim en 1944, donde observaron que las dietas que contenían una mayor concentración de vitaminas se veía reflejado en las concentraciones encontradas en las espinas.

El bajo contenido de vitaminas en las espinas se puede explicar debido a que las vitaminas que se midieron en este estudio fueron hidrosolubles, lo que nos indica que son vitaminas que al poder disolverse en agua es difícil que lleguen a acumularse en el organismo.

Para el caso de la vitamina C donde si se encontraron niveles más altos que la vitamina B<sub>2</sub>, se puede indicar que esta vitamina participa en la formación de colágeno y debido a la conformación de la espina, se habla de su presencia en estos resultados.

#### 4.1 CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de manejo ambiental, físico y nutricional; y a las características específicas de la especie, como el crecimiento continuo de las espinas; se puede concluir que la técnica utilizada para la medición del estado vitamínico y mineral de los erizos puede funcionar para manifestar el estado de interacción de los micronutrientes dentro del organismo, y lograr evaluar el estado nutricional de los animales.

Por otro lado debido al continuo crecimiento de las espinas, se observó que al cambiar las dietas, y a pesar del corto tiempo de transición entre ellas hubo cambios en las concentraciones de Ca y vitamina C en las espinas de erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*).

Como recomendaciones se exhorta a realizar más estudios con erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*), con una duración más prolongada para monitorear de mejor manera la interacción de los elementos dentro del organismo para lograr dar un mejor diagnóstico acerca de la absorción y metabolismo de los nutrientes.

Otro aspecto a considerar en estudios posteriores es utilizar grupos de estudio homogéneos, refiriéndose al sexo, la edad, el parentesco y el medio ambiente previo al estudio, así como aumentar la población; con la finalidad

de establecer una muestra representativa y obtener conclusiones estadísticamente significativas entre las diferencias de absorción de los elementos a evaluar.

Es importante también tener el conocimiento de la fuente de los ingredientes de las dietas a ofrecer, ya que estas pueden influir en la absorción de los elementos a nivel intestinal y por lo tanto influir en el depósito de estos en las espinas; además de tomar a consideración la existencia o no de acidificantes dentro de las dietas ofrecidas, debido a que pueden influir en la absorción de los nutrientes.

## 5. REFERENCIAS

1. FLORES RE. Manual para el manejo veterinario del erizo pigmeo africano (*Atelerix albiventris*) en cautiverio: estudio Recapitulativo (tesis de licenciatura). México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
2. JUDAH V, NUTTALL K. Hedgehogs. Exotic animal care and management. Canada: Thompson Delmar Learning, 2008
3. IVEY E, CARPENTER JW. African Hedgehogs. In: Quesenberry KE, Carpenter JW, editors. Ferrets, rabbits and rodents clinical medicine and surgery. St Louis Missouri: Saunders, 2000: 339-356.
4. GREGORYST MW. Erizos. En: Beynon PH, Cooper JE editors. Manual de animales exóticos. Barcelona, España: Harcourt Brace, 1999: 73-79.
5. JONES MD. Hedgehogs In: Ballard B, Cheek R editors. In: Exotic animal medicine for the veterinary technician. Iowa, USA: Wiley-blackwel, 2010: 327-347.
6. MITCHELL MA, TULLY TN. Manual of exotic pet practice. St Louis Missouri: Sounder Elsevier, 2009: 433-455
7. VETERINARY PRACTICE PUBLISHING COMPANY. Care of Pet Hedgehogs. Veterinary Practice 1995; 7:21-24.
8. RAMÍREZ JL, CHÁVEZ SL, ABURTO FE, RAMOS LA. Carcinoma de glándulas sebáceas en un erizo africano (*Atelerix albiventris*). Vet Mex. 2008; 39: 91-96.

9. DIERENFELD ES. Feeding behavior and nutrition of the African pygmy hedgehog (*Atelerix albiventris*). *Vet clin exot anim*. 2009; 12: 335-337.
10. WILSON DE, REEDER DM. Mammal species of the world a taxonomic and geographic reference. 3<sup>rd</sup> ed. USA: The Johns Hopkins University press, 2005.
11. LARSEN RS, CARPENTER JW. Husbandry and medical management of African hedgehogs. *Veterinary Medicine*. 1999; 877-889.
12. JOHNSON-DELANEY CA. Anatomy and Physiology of the Gastrointestinal System of the Ferret and Selected Exotic Carnivores. *Association of Exotic Mammal Veterinarians (AEMV) Sessions*, 2006:29-38.
13. "NORTH AMERICAN VETERINARY CONFERENCE Orlando, Florida", Número 1. (8-12 January 2005).
14. CATANIA KC. Evolution of sensory specializations in insectivores. *The anatomical record Part A*. 2005; 287 A: 1038-1050
15. SMITH AJ. Husbandry and Nutrition of Hedgehogs. In Jenkins, JR editor. *The Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. Philadelphia: Saunders Co, 1999
16. SANTANA EM, JANTZ HE, BEST TL. *Atelerix albiventris* (Erinaceomorpha: Erinaceidae). *Mammalian Species*. 2010; 42: 99-110.
17. "SOUTHERN EUROPEAN VETERINARY CONFERENCE Barcelona, Spain". Número 1. (2-4 Octubre 2009)

18. GRAFFAM WS, FITZPATRICK MP, DIERENFELD ES. Fiber digestion in the african White-bellied hedgehog (*Atelerix albiventris*): a preliminary evaluation. Nutrition for health. 1998; 128: 2671S–2673S.
19. JUÁREZ-SÁNCHEZ AD, ESTRADA CG. Guía ilustrada de pelos para la identificación de mamíferos medianos y mayores de Guatemala. Dirección de Investigación Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Nov. 2007.
20. MC DOWEL LR. Mineral in animal and human nutrition. USA: Academic Press, INC, 1992.
21. CASE H, CAREY D. Nutrición canina y felina. Guía para profesionales de los animales de compañía. 2ª ed. Madrid, España: HARCOURT, 2001.
22. POND WG, CHURCH DC, POND KR, SCHOKNECHT PA. Basic animal nutrition and feeding. 5<sup>th</sup> ed. Danvers (MA): WILEY, 2005.
23. NRC. Mineral tolerance of domestic animals. USA: National Academy Press.
24. KUTSKY RJ. Handbook of vitamins, minerals and hormones. 2<sup>nd</sup> ed. USA: Van Nostrand Reinhold Company, 1981.
25. SHIMADA MA. Nutrición Animal. 2<sup>nd</sup> ed. México (D.F) : Trillas, 2009
26. MC DOWEL LR. Vitamins in animal and human nutrition. 2<sup>nd</sup> ed. USA: Iowa State University Press/Ames, 2000.
27. FLORES JL. Evaluación de elementos minerales y vitaminas hidrosolubles en pelo, heces, suero sanguíneo y alimento del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), en cautiverio (tesis de maestría). México (DF):

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.

28. COMBS DK, GOODRICH RD, MEISKE JC. Mineral concentrations in hair as indicator of mineral status: a review. *J anim sci.* 1982; 54: 391-398.
29. NOVAK LJ, BERGEIM O. Water-soluble vitamins in hair as influenced by diet. *University of Illinois.* 1944; 283-290.
30. STRAIN WH, PORIES WJ, FLYNN A, HALL OA. Trace element nutriture and metabolism through head hair analysis. In: Hemphill D editor *Trace substances in Environmental Health.* Missouri, Columbia: 1971:383.
31. COMBS DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *J anim sci.* 1987; 65:1753-1758.
32. KELLAWAY RC, SITORUS P, LEIBHOLZ JML. The use of copper levels in hair to diagnose hypocuprosis. *Vet Sci.* 1978; 24:352.
33. MILLER WJ, BLACKMON DM, POWELL GW, PERKINS HF. Influence of zinc deficiency on zinc and dry matter content of ruminant tissues and on excretion of zinc. *J Dairy Sci.* 1966; 51:1453.
34. GALAVIZ GC. Determinación del perfil mineral en leche, pelo y sangre de yeguas recién paridas y la concentración de estos elementos en pelo de sus potros (tesis de licenciatura). México (DF): Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
35. PERKIN ELMER. *Analytical methods for atomic absorption spectrometry.* US: Perkin Elmer, 1994.
36. AOAC. *Official methods of analysis.* 15<sup>a</sup> ed. Arlington: Virginia, 1990.

37. GUÍA DE CROMATOGRAFÍA. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Caracas, 2008.
38. YOST RW, ETTRE LS. Introducción a la cromatografía líquida práctica. Perkin-Elmer. USA, 1980.
39. VAN NIERKERK PJ. Determination of vitamins. In: HPLC in food analysis. London: R Macrae, 1988.
40. MAUGH TH. Hair: A diagnostic tool to complement blood serum and urine. Sci. 1978; 202:1271.
41. ANKE M. Major and trace elements in cattle hair as an indicator of Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo and Co. Effect of additional supplements on mineral composition of cattle hair. Arch Tierzucht. 1966; 16: 57.