



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA.

EFFECTO DE LOS MANANOOLIGOSACÁRIDOS (MOS) EN LA ABSORCIÓN
APARENTE DE ELEMENTOS MINERALES EN LA DIETA DE INSEPARABLES DE
NAMIBIA (*Agapornis roseicollis*).

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

JUAN SALVADOR EDAIN SOLIS MALDONADO

Asesores:

MVZ. MPA. DR.C. Carlos Gutiérrez Olvera.

MVZ. MSc. René Rosiles Martínez.

México, D.F.

2015



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

A mis padres, porque sin ellos no estaría aquí, todo lo que soy se los debo a ellos. Los amo.

A mis abuelos, Ofelia y Salvador, quienes han confiado en mí.

A mis abuelos Maria y Abel, quienes a pesar de que partieron hace mucho, siempre estarán
en mi corazón.

A mi tía Julia, quien me ha apoyado todos estos años.

A la familia Solis González.

A la familia Maldonado Rojas.

AGRADECIMIENTOS

A mis madre, gracias por todo, por los desvelos y desmañanadas que te provoque durante los primeros años de la vida que me diste y que a veces aun provocho, los regaños que me hicieron ver mis errores a tiempo y sobre todo corregirlos, los momentos en los cuales me prestaste tu hombro cuando sentía que todo se venia abajo, los animos y el apoyo incondicional que me has dado a lo largo de mi vida, por tu insistencia ante los estudios y al hecho de que eligiera la UNAM hace ya unos años. Muchas gracias mamá.

A mi padre, gracias por los consejos que me diste cuando me acerque a ti, la guía durante momentos de duda en los cuales pensé tirar la toalla, los animos que siempre me diste en los momentos justos, por confiar en mi durante tantos años a pesar de las dificultades, las desveladas esperándome por las clases y practicas que curse, y sobre todo, el poder estar aquí en este día conmigo, que es lo que mas agradezco. Al fin papá.

A mi abuelo Salvador y mi tía Julia, por apoyarme en estos años para poder alcanzar este logro, hubo momentos en los que sin ustedes, tal vez no estaría aqui. Gracias por aguantarme con todo y zoológico en casa, por las ideas locas que a veces tenía en las cuales me echaron la mano.

A mi abuela Ofelia, por todo el tiempo en que dedicaste a cuidarme y a guiarme durante mi infancia, por todo el cariño que me has expresado durante todos estos años y esa sonrisa que siempre me regalas al verme.

A mi tío Mario, gracias por el ánimo durante estos años de licenciatura, por los consejos que me dio para poder tomar las decisiones adecuadas durante mi estancia en la FMVZ.

A mi tía Estela, por la confianza y el apoyo que me ha dado a lo largo de estos años, por el hecho de animarme de inicio afín de cada año escolar desde que ingrese a la UNAM.

A mis tíos Ricardo, Margarita y Maria Antonieta, por su apoyo a lo largo de todos estos años, cada uno a su manera me ayudó a seguir adelante hasta ver este sueño realizado y estuvieron al pendiente durante todo el trayecto.

A mis tios Jose, Santiago, Abel, Manuel, Carla y Martha, quienes siempre me dieron me animaron para que concluyera mis estudios. Gracias por todos esos momentos juntos.

A mi hermano Adan, que a pesar de todo, a su manera ha estado a mi lado durante todo el trayecto.

A mi novia Lyz, quien me ha estado a mi lado en las buenas y en las malas en estos años, por la confianza y el amor dados, por hacerme ver una faceta profesional que no sabia de mi.

Al Dr. Carlos Gutierrez Olvera, por darme la oportunidad de trabajar con usted, que a pesar de las dificultades que aparecieron ha confiado en mí, además de la paciencia que me tuvo durante todas las materias que curse con usted.

Al Dr. René Rosiles Martínez, por su apoyo, consejo y dedicación a lo largo del proyecto. Gracias por su tiempo y paciencia cuando no lograba entender algo.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecia y la Universidad Nacional Autónoma de México, que para mí es un orgullo pertenecer a esta institución.

A todos los profesores quienes fueron parte de mi formación academica, quienes a su manera hicieron que me adentrara cada vez más en esta hermosa carrera.

A las MVZ Paulina Gutierréz, MVZ Elizabeth Chávez, MVZ Tania Pardo y MVZ MC Karina Cusió, así como a los pMVZ Alejandra Guerrero, pMVZ Erick Córdova y pMVZ Diego Torres por el apoyo y orientación recibidos estos meses.

A todos mis amigos, quienes me acompañaron y me brindaron su amistad lo largo de todos estos años.

A los inseparables de Namibia que me brindaron la oportunidad de trabajar con ellos en este proyecto.

A los proyectos PAPIIT IN218212 Empleo de probióticos y nutraceuticos (fructooligosacáridos y ácidos grasos omega 3) en la salud de animales de compañía y su repercusión en parámetros sanguíneos; y PAPIIME PE204811 Desarrollo e instrumentación de materiales didácticos innovadores para la enseñanza de la nutrición animal, nutrición y alimentación de perros y gatos, animales de compañía no convencionales y nutrición clínica en perros y gatos, por su apoyo en la realización de este proyecto.

A mi jurado:

Dr. Gary García Espinosa.

Dr. Jesús Manuel Cortéz Sánchez.

Q.A. Agueda García Pérez.

Dr. Félix Domingo Sánchez Godoy.

Por su tiempo y dedicación a este trabajo.

CONTENIDO

Página

Resumen.....	1
1. Introducción	
1.1. Generalidades.....	2
1.2. Inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>).....	2
1.3. Aparato digestivo.....	6
1.3.1. Pico.....	7
1.3.2. Orofaringe.....	9
1.3.3. Lengua.....	9
1.3.4. Glándulas salivales.....	10
1.3.5. Esófago.....	11
1.3.6. Ingluvis.....	12
1.3.7. Estómago.....	12
1.3.7.1. Proventrículo.....	12
1.3.7.2. Ventrículo.....	13
1.3.8. Intestino delgado.....	14
1.3.9. Intestino grueso.....	16
1.3.10. Sacos ciegos.....	17
1.3.11. Cloaca.....	17
1.3.12. Glándulas anexas.....	18
1.3.12.1. Páncreas.....	18
1.3.12.2. Hígado.....	19

1.4. Alimentación en vida libre.....	19
1.5. Alimentación en cautiverio.....	20
1.6. Nutrición.....	22
1.6.1. Minerales.....	24
1.6.1.1. Macrominerales.....	26
1.6.1.1.1. Calcio.....	26
1.6.1.1.2. Fosforo.....	29
1.6.1.1.3. Magnesio.....	30
1.6.1.1.4. Potasio.....	31
1.6.1.1.5. Sodio.....	33
1.6.1.2. Microminerales.....	34
1.6.1.2.1. Hierro.....	34
1.6.1.2.2. Cobre.....	36
1.6.1.2.3. Zinc.....	37
1.7. Alimentos funcionales.....	39
1.8. Prebióticos.....	40
1.9. Oligosacáridos no digestibles.....	41
1.10. Mananooligosacáridos.....	44
2. Justificación.....	45
3. Hipótesis.....	46
4. Objetivos.....	46
5. Material y métodos.....	47
5.1. Localización.....	47
5.2. Sujetos de estudio.....	47

5.3. Alojamiento.....	48
5.4. Manejo.....	49
5.5. Alimentos y alimentación.....	50
5.6. Recolección de muestras.....	52
5.7. Laboratorio.....	52
5.8. Análisis de muestras.....	52
5.9. Análisis estadístico.....	54
6. Resultados.....	55
7. Discusión.....	69
8. Conclusiones.....	77
9. Referencias.....	78

INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1. Ejemplar de Inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>).....	3
Figura 2. Nidos de tejedor republicano (<i>Philetus socius</i>).....	4
Figura 3. <i>Albizia sp.</i>	5
Figura 4. Tracto digestivo de un psitácido.....	7
Figura 5. Mezcla casera de semillas.....	21
Figura 6. Alimento comercial para psitácidos.....	22
Figura 7. Estructura química de algunos oligosacáridos no digeribles.....	42
Figura 8. Ejemplar macho de inseparables de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>).....	48
Figura 9. Jaula de acero.....	49

Figura 10. Consumo promedio de alimento durante el periodo experimental de todos los animales del estudio.....	56
Figura 11. Producción promedio de heces durante el periodo experimental de todos los animales del estudio.....	57
Figura 12. Ganancia de peso durante el periodo experimental de todos los animales del estudio.....	58
Figura 13. Porcentaje promedio de la absorción aparente de calcio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	60
Figura 14. Porcentaje promedio de la absorción aparente de fosforo en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) durante el estudio.....	61
Figura 15. Porcentaje promedio de la absorción aparente de magnesio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	62
Figura 16. Porcentaje promedio de la absorción aparente de potasio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	64
Figura 17. Porcentaje promedio de la absorción aparente de sodio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	65
Figura 18. Porcentaje promedio de la absorción aparente de hierro en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	67
Figura 19. Porcentaje promedio de la absorción aparente de cobre en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) durante el estudio.....	68

Figura 20. Pircentaje promedio de la absorción aparente de zinc en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) durante el estudio.....	69
Cuadro 1: Requerimientos minerales recomendados en en aves <i>Psittaciformes</i> y <i>Passeriformes</i>	26
Cuadro 2: Concentración de elementos minerales proporcionada en la etiqueta del alimento para pequeños psitácidos en mantenimiento marca Mazuri ®.....	51
Cuadro 3: Contenido mineral del alimento Mazuri para pequeños psitácidos ®.....	55
Cuadro 4: Contenido promedio de la absorción aparente de calcio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	59
Cuadro 5: Contenido promedio de la absorción aparente de magnesio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	62
Cuadro 6: Contenido promedio de la absorción aparente de potasio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	63
Cuadro 7: Contenido promedio de la absorción aparente de sodio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	65
Cuadro 8: Contenido promedio de la absorción aparente de hierro en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.....	66

RESUMEN

SOLIS MALDONADO JUAN SALVADOR EDAIN. Efecto de los mananooligosacáridos (MOS) en la absorción aparente de elementos minerales en la dieta de inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*). (Bajo la dirección de: MVZ. MPA. DR.C. Carlos Gutiérrez Olvera y MVZ. MSc. René Rosiles Martínez).

En México, en los últimos años los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) han aumentado su popularidad como aves de compañía, por lo que un manejo adecuado de la alimentación en casa aumentaría la calidad de vida de estas aves y a su vez disminuiría las enfermedades relacionadas con una mala nutrición.

El presente estudio tuvo como objetivo el información respecto a la complementación de mananooligosacáridos sobre la absorción de elementos minerales (Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Cu y Zn) en la dieta de *Agapornis roseicollis*. Se emplearon 10 inseparables de Namibia machos de un año de edad repartidos de manera aleatoria en un diseño de un factor con mediciones repetidas en el tiempo (MANOVA) empleando dos grupos alimentados con alimento Mazuri® para pequeños psitácidos: el primer grupo fue suplementado con mananooligosacáridos y al segundo se les dio un placebo. En ambos grupos tanto el consumo de alimento, ganancia de peso, producción de heces y absorción de K, Zn y Cu no se encontró diferencia significativa alguna ($p > 0.05$). Por lo que se concluye que la suplementación con mananooligosacáridos no tiene efecto alguno en la absorción de elementos minerales en esta especie.

1. INTRODUCCIÓN

1. 1. GENERALIDADES.

Las aves al igual que los peces, anfibios, reptiles y mamíferos son vertebrados, y su medula ósea está protegida por una serie de pequeños huesos, la columna vertebral. Solo los reptiles y las aves ponen huevos con cascara dura que permite que el embrión permanezca vivo fuera del agua. Como algunos reptiles (cocodrilos y caimanes) y todos mamíferos, las aves tienen cuatro cámaras en sus corazones; al igual que los mamíferos, las aves son endotérmicos ya que pueden regular su temperatura corporal fisiológicamente. Únicamente las aves tienen plumas, las cuales cubren la mayor parte de su cuerpo. Otra característica de las aves es que pueden volar, aunque no son los únicos vertebrados con esta capacidad si han desarrollado un aleteo de vuelo que ningún otro vertebrado ha igualado. La mayoría de las aves pueden volar y aquellas que no pueden, evolucionaron a partir de ancestros que podían volar (Podulka *et al.*, 2004).

1. 2. INSEPARABLE DE NAMIBIA (*Agapornis roseicollis*).

El inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) conocido también como inseparable cara de melocotón o inseparable de cara rosada (da Rosa Pinto, 1983; Forshaw, 2010) pertenece al orden de los *Psittaciformes* y la familia *Psittaculidae* (da Rosa Pinto, 1983), originaria del suroeste de África, principalmente de Namibia y Angola (da Rosa Pinto, 1983; Forshaw, 1989; Verhoerf-Verhallen, 2004 y Forshaw, 2010).

Es un ave de tamaño pequeño de 15-18 cm de longitud total y 10 cm de envergadura (da Rosa Pinto, 1983; Forshaw, 1989; Forshaw, 2010). En vida libre su cuerpo es color verde con

rabadilla azul (Forshaw, 2010). La cara y el cuello son rosados, siendo más oscuro y definido en la frente de animales adultos; mientras que en juveniles, no está muy marcada y es más pálida (da Rosa-Pinto, 1983; Forshaw, 1989). El iris es café oscuro y presentan anillo periocular, es decir, un fino plumón de color blanco bordeando al ojo (Forshaw, 1989). El pico es color crema o marfil, las plumas remeras negro y patas grises (Figura 1) (da Rosa-Pinto, 1983). No presentan dimorfismo sexual (Verhoerf-Verhallen, 2004).



Figura 1. Ejemplar de Inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*).

Existe dos subespecies: *A. r. roseicollis* cuyas plumas en la frente y entre los ojos es color rojo pasando al rosado en resto del rostro y parte superior del pecho, su rabadilla es azul; y *A. r. catumbella* cuya corona y mejillas son de color rojizo profundo (Forshaw, 1989; Forshaw, 2010).

Habitan en zonas desérticas y montañosas (sobre los 1600 metros sobre el nivel del mar) cercanas a cuerpos de agua en Angola y Namibia (da Rosa-Pinto 1983; Forshaw, 1989), exhibiendo conducta nómada cuando el agua escasea (Forshaw, 1989). En África, esta ave se encuentra en laderas y riveras arboladas, incluyendo cañones de ríos y terrenos rocosos donde la precipitación fluvial excede los 100 mm anuales (Rademaker y Corman, 2011). Son aves gregarias, con vocalización aguda y penetrante (Forshaw, 1989). Crían en colonias sobre acantilados de difícil acceso y tejados de casas (Forshaw, 2010; Rademaker y Corman, 2011), en ocasiones, utilizan los nidos abandonados de otras aves (da Rosa-Pinto 1983), como los construidos por el tejedor republicano (*Phileatus socius*) (Figura 2) (Forshaw, 1989).



Figura 2. Nido de Tejedor republicano (*Philetus socius*).

La época de apareamiento abarca de febrero a marzo (Forshaw, 1989). Las hembras llegan a poner de cuatro a seis huevos por postura de color blanco, alcanzando 25 huevos en toda su época reproductiva (da Rosa-Pinto 1983; Forshaw, 1989). La incubación dura 23 días y los

polluelos permanecen en el nido hasta los 43 días, alcanzando el tamaño adulto a los cuatro meses y siendo sexualmente maduros al año de edad (Forshaw, 1989).

Su dieta en vida silvestre se constituye de semillas, bayas, frutos y brotes verdes (Verhoerf-Verhallen, 2004; Forshaw, 2010). La alimentación de estas aves se basa en semillas de *Albizia sp.*, y *Acacia sp.*, flores de *Albizia sp.*, y brotes tiernos de hojas de *Euphorbia sp.*, y de otras plantas (Forshaw, 1989) (Figura 3). Cuando la comida abunda, estas aves pueden agruparse en parvadas de cientos de individuos, pudiendo llegar a visitar jardines y cultivos para obtener semillas de girasol y otros granos (Forshaw, 1989; Forshaw, 2010).



Figura 3. *Albizia sp*

Debido a su vistoso y colorido plumaje, aunado a su fácil adaptación al cautiverio, fueron motivo de exportación en masa, lo que provocó la caída de su población al sur de Angola a mediados del siglo XX (da Rosa-Pinto, 1983). Actualmente se desconoce con exactitud el número de población, sin embargo, es poco probable una contracción poblacional y es más probable un aumento en zonas anteriormente secas y con presencia de estructuras artificiales para anidar (Rademaker y Corman, 2011).

El inseparable de Namibia es muy popular en cautiverio, reproduciéndose fácilmente en cautividad, lo que ha promovido el nulo comercio de ejemplares silvestres en los últimos 20 años. Como consecuencia de su popularidad, su fácil reproducción, escapes y liberaciones ilegales por parte de propietarios sean la causa de la presencia de esta especie en vida libre en varios países (Rademaker y Corman, 2011).

Escapes de animales en cautiverio han originado diferentes poblaciones ferales en diversos países, siendo la de mayor tamaño la que se encuentra en Phoenix, Arizona E.U (Forshaw, 2010; Rademaker y Corman, 2011).

1. 3. APARATO DIGESTIVO.

El aparato digestivo comienza con el pico y la orofaringe, utilizados para manipular el alimento; continua con la cavidad oral y la faringe para deglutir; y el tubo digestivo para el paso, digestión y absorción de los nutrientes. El tubo digestivo incluye al esófago, buche, ingluvis, proventrículo, intestino delgado y grueso y las glándulas accesorias (salivales, hígado y páncreas) (Podulka *et al.*, 2004) (Figura 4). Este desemboca en la abertura externa

de la cloaca, órgano común entre el aparato digestivo, urinario y reproductor de las aves (Podulka *et al.*, 2004).

El tracto gastrointestinal de las aves es relativamente corto y su volumen es reducido para aligerar el peso del ave durante el vuelo. En consecuencia, las aves comen poco pero muy a menudo y extraen los nutrientes y energía rápidamente para mantener sus altas tasas metabólicas. Los tiempos de tránsito digestivo van de 16 minutos a 12 horas dependiendo de la especie (O'Malley, 2005).

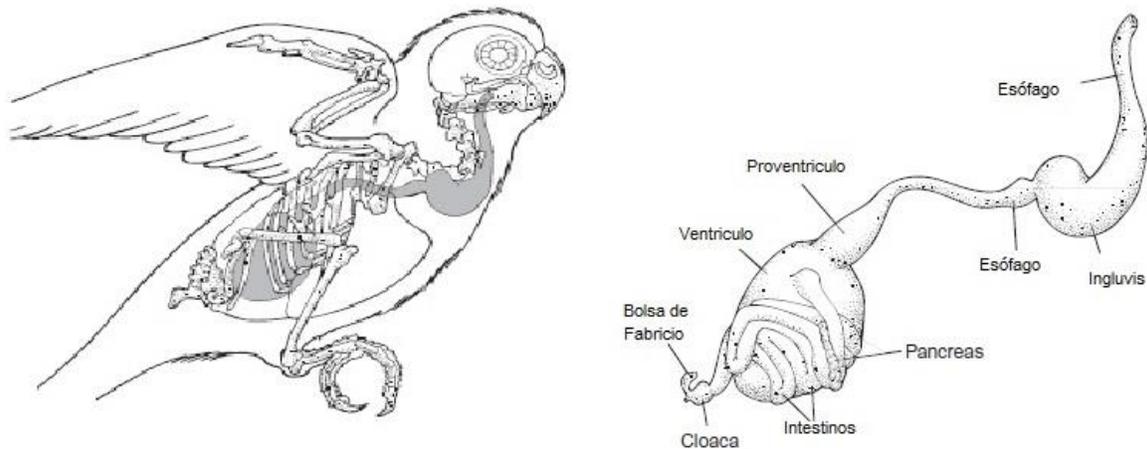


Figura 4. Tracto digestivo de un psitácido.

1. 3. 1. PICO.

Es una estructura dinámica compuesta de hueso, capas vasculares, queratina, articulaciones, dermis y una capa germinativa (Podulka *et al.*, 2004; Harrison y Lightfoot, 2006). En psitácidos, el maxilar y la mandíbula están conectadas al cráneo por una articulación cinética (Tully *et al.*, 2009). La vaina queratinizada que cubre el pico recibe el nombre de *ramfoteca*,

y se divide en queratina maxilar o *rinoteca* y queratina mandibular o *natoteca* (Ritchie *et al.*, 1994; Schmid *et al.*, 2003; Harrison y Lightfoot, 2006).

El borde dorsal de la rinoteca se llama culmen y el borde ventral de la natoteca se llama gonys (Ritchie *et al.*, 1994). La rinoteca se solapa ligeramente con la natoteca cuando el pico se cierra (Harrison y Lightfoot, 2006). La base ósea está cubierta por periostio, que está unido a la dermis por una capa de colágeno y elastina (Podulka *et al.*, 2004). La rinoteca y natoteca están formadas por epidermis modificada, cuyas células contienen fosfato de calcio libre y cristales de hidroxiapatita, así como abundante queratina (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006). La rinoteca es amplia con una curva rostral. La natoteca tiene una prominencia en forma de cincel romo que empuja contra el borde prominente que se encuentra en la superficie inferior de la rinoteca (Harrison y Lightfoot, 2006). El pico crece continuamente tanto de la capa germinal correspondiente a la banda coronaria y la capa que recubre el hueso de soporte. Se vuelve más gruesa hacia su extremo rostral a medida que crece (Harcourt-Brown y Chitty, 2005).

Los psitácidos han desarrollado un maxilar procinético que les permite mover el maxilar y la mandíbula de manera independiente. Esto permite una apertura de pico, la capacidad de colocar alimentos en el pico y proporciona una flexión y absorción de choque asociadas con la ruptura de semillas y nueces, así como con algunos comportamientos como el picoteo (Harrison y Lightfoot, 2006). Debido al desarrollo de los miembros anteriores en alas, las aves, en especial los psitácidos, manipulan sus alimentos a través del pico y las patas (Fowler y Lamberski, 2003; O'Malley, 2006). También sirve para trepar y diversas funciones del comportamiento, tales como morder y acicalarse (Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 2. OROFARINGE.

Las aves carecen de istmo orofaríngeo, pero las cavidades oral y faríngea se unen formando la orofaringe, las paredes de esta poseen numerosas glándulas salivales (Ritchie et al., 1994; Tully *et al.*, 2009). El paladar contiene una fisura media llamada coana, la cual conecta los senos nasales con la glotis (Ritchie *et al.*, 1994; Podulka *et al.*, 2004). La coana tiene forma de “V” en los psitácidos y esta bordeada caudalmente de estructuras llamadas papilas (Schmid et al., 2003; Hadley, 2005). El paladar está ubicado lateral y rostralmente a la coana (Hadley, 2005). Caudal a la coana y al paladar se halla la hendidura infundibular, la cual contiene tejido linfático abundante en su pared y que es la entrada común a las tubas auditivas, de la hendidura (Donoley, 2010).

El montículo de la laringe se encuentra detrás de la lengua y contiene la glotis, la apertura a la tráquea (Ritchie *et al.*, 1994). En la mayoría de las aves la glotis se encuentra directamente debajo de la porción caudal de la coana (Harrison y Lightfoot, 2006). Contiene papilas en su porción caudal que ayudan a la propulsión de los alimentos hacia el esófago durante la deglución (Ritchie et al., 1994).

1. 3. 3. LENGUA.

La lengua, al igual que el pico, se ajusta a los hábitos alimenticios de cada especie (Ritchie *et al.*, 1994; Podulka *et al.*, 2004). Tiene como función la fijación, manipulación y deglución del alimento (Donoley, 2010). Es un órgano corto, grueso y carnoso, que en psitácidos, esta no sobresale del pico y es de color oscuro. (Hadley, 2005). En los psitácidos hay músculos estriados adicionales que son independientes del aparato hioides que permiten mayor

flexibilidad y capacidad para manipulación del alimento (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006). Se origina en el suelo de la faringe y se moviliza por el aparato hioides (Harrison y Lightfoot, 2006). La porción caudal de la lengua contiene papilas caudalmente dirigidas llamadas montículo laríngeo (Harrison y Lightfoot, 2006).

La deglución implica un rápido movimiento rostro caudal de lengua y laringe, con asistencia de saliva. Durante la deglución la coana, la hendidura infundíbular y la glotis se cierran (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 4. GLÁNDULAS SALIVALES.

La principal función de las glándulas salivales es secretar saliva que sirve para humedecer el alimento (Podulka *et al.*, 2004). La presencia y desarrollo de las glándulas salivales en aves está en función del alimentos consumidos (Hadley, 2005). Las especies granívoras, herbívoras e insectívoras tienen glándulas salivales muy desarrolladas (Harrison y Lightfoot, 2006). En psitácidos son numerosas y ampliamente distribuidas en el techo de la orofaringe (maxilar, palatino, esenoide y pterigoides), lengua, piso de la cavidad oral, mejillas y faringe (Harcourt-Brown y Chitty, 2005; Donoley, 2010). Cada lóbulo se compone de muchos túbulos secretores que se abren en una cavidad común y que drenan a través de un solo conducto. Estos conductos son numerosos y se pueden ver a simple vista como pequeñas aberturas en toda la boca. Son estimulados por nervios parasimpáticos y secretan principalmente moco (Harcourt-Brown y Chitty, 2005). Los receptores del sabor se encuentran en la cavidad oral, en el piso de la orofaringe y base de la lengua (Ritchie *et al.*, 1994).

Se han informado que existen 350 receptores de sabor en comparación con los 9,000 de los humanos (Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 5. ESÓFAGO.

El esófago es un tubo muscular delgado y recto, se encuentra por debajo de la piel y del lado derecho de la tráquea (Ritchie *et al.*, 1994; Podulka *et al.*, 2004; Girling, 2013). Transporta el alimento por medio de movimientos peristálticos de la cavidad oral hacia el estómago (Harcourt-Brown y Chitty, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006). Tiene gran capacidad de dilatación gracias a los pliegues longitudinales en su pared (Harrison y Lightfoot, 2006; Donoley, 2010). Se divide en una porción cervical y otra torácica a partir de una dilatación llamada ingluvis o buche, el cual en psitácidos se estira transversalmente en el cuello (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006; Tully *et al.*, 2009; Girling, 2013).

La pared del esófago consta de mucosa, submucosa, túnica muscular y serosa (Harrison y Lightfoot, 2006). Presenta un epitelio estratificado escamoso, posee abundantes glándulas productoras de moco en la lámina propia, sobre todo en su porción torácica (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005). Este moco suaviza e hidrata al alimento antes de que este pase a la digestión química y mecánica en el estómago (Ritchie *et al.*, 1994).

1. 3. 6. INGLUVIS.

El ingluvis o buche se asemeja bastante a la del esófago, excepto que las glándulas mucosas se encuentran restringidas adyacentes al esófago (Ritchie *et al.*, 1994; Schmid *et al.*, 2003). Al igual que este último, el ingluvis presenta un epitelio estratificado escamoso queratinizado incompleto (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; O'Malley, 2005). Su función es la de almacenar alimento cuando el ventrículo se llena (Tully *et al.*, 2009; Donoley, 2010). Cuando el ventrículo está vacío, el alimento pasa directamente al proventrículo (Ritchie *et al.*, 1994). En muchas especies de psitácidos, el ingluvis puede dilatarse en forma de divertículo que sobresaliendo primero a la derecha y extendiéndose a la izquierda del cuello a través de la línea media (Schmid *et al.*, 2003; Hadley, 2005). Dentro de él, puede llegar a ocurrir cierta digestión de carbohidratos por efecto de la amilasa salival (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005). El ingluvis, en los psitácidos, tiene una función durante el cortejo, ya que la regurgitación del alimento es frecuente durante la época de reproducción entre macho y hembra (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 7. ESTÓMAGO.

El estómago aviar consta de una parte craneal glandular (proventrículo) y una caudal muscular (ventrículo) (Hadley, 2005; O'Malley, 2005; Tully *et al.*, 2009).

1. 3. 7. 1. PROVENTRICULO.

El proventrículo está conectado al ingluvis por su porción craneal (Hadley, 2005). No existe un límite definido entre estos dos órganos, excepto en aves carnívoras, donde el proventrículo

carece de pliegues longitudinales del esófago (Hadley, 2005). Su tamaño varía en cada especie, pero se caracteriza generalmente por su forma fusiforme (Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006). Tiene una pared delgada y su superficie luminal está revestida de papilas que sirven de abertura para las glándulas gástricas (Hadley, 2005). Contiene dos tipos de glándula, la primera de ellas, glándulas tubulares, secretan moco (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006; Donoley, 2010); mientras que la segunda, secreta pepsinógeno, que da origen a la pepsina, y ácido clorhídrico (Harrison y Lightfoot, 2006; Tully *et al.*, 2009; Donoley, 2010). El proventrículo tiene dos capas musculares, la capa circular interna y la capa longitudinal externa (Harrison y Lightfoot, 2006). Esta última está poco desarrollada o ausente en psitácidos, donde el plexo mioentérico se encuentra inmediatamente debajo de la capa serosa en lugar de las dos capas musculares (Harrison y Lightfoot, 2006). La zona intermedia entre el proventrículo y ventrículo, llamada istmo, es aglandular y carece de pliegues (O'Malley, 2005; Donoley, 2010). En psitácidos, se cierra herméticamente durante las contracciones ventriculares, para segregar el ventrículo del proventrículo (Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 7. 2. VENTRÍCULO.

También llamado molleja, sigue al proventrículo, facilita la digestión mecánica mediante trituración de alimentos, para que sean más susceptibles a los efectos de las enzimas proteolíticas y ácidos gástricos. En granívoros, el ventrículo tiene una pared gruesa y bien desarrollada para alojar diferentes tipos de alimento (Ritchie *et al.*, 1994; Schmid, 2003; Hadley, 2005; O'Malley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006). Se compone de dos pares de músculos opuestos. Los músculos caudoventrales y craneodorsales son delgados y se alienan

caudal y craneal al ventrículo. Dichos músculos son responsables de las contracciones del ventrículo. La disposición asimétrica de los cuatro músculos permite el mezclado durante la molienda del alimento (Ritchie *et al.*, 1994; O'Malley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006). Una capa de cutícula, un complejo de carbohidratos y proteínas, recubre la porción altamente muscular del ventrículo. La capa proteica protege a la cámara de lesiones durante el desglose de alimentos duros y del efecto de las enzimas proteolíticas y ácidos. Debido al reflujo de los pigmentos biliares duodenales, esta capa puede aparecer de color amarillo, verde o marrón. El píloro marca el final del ventrículo e inicio del duodeno (Ritchie *et al.*, 1994; Schmid, 2003; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006).

La motilidad estomacal en las aves se produce en tres fases. Durante la primera fase, en el istmo, o la región intermedia, los delgados músculos se contraen provocando que el píloro se dilate, permitiendo que el alimento sea movilizado al duodeno. En la segunda fase, el istmo se relaja, mientras que los músculos del duodeno y ventrículo se contraen, provocando un reflujo de alimento hacia el proventrículo. La contracción del proventrículo forma parte de la tercera y final fase para completar el ciclo de motilidad (Schmid *et al.*, 2003; Hadley, 2005; Tully *et al.*, 2009). El plexo nervioso presente en el istmo es considerado el marcapasos del ciclo de motilidad gastrointestinal (Hadley, 2005).

1. 3. 8. INTESTINO DELGADO.

El tracto intestinal en psitácidos es sumamente simple y corto. Por ejemplo, en el periquito australiano (*Melopsittacus undulatus*), el intestino está formado por cinco bucles antes de llegar al colon (Schmid *et al.*, 2003).

El intestino delgado es el sitio principal de la digestión enzimática y de la absorción de nutrientes en el intestino aviar (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006). De manera similar a los mamíferos, el intestino delgado se divide en duodeno, yeyuno e íleon, pero estas tres áreas del tracto gastrointestinal no son fácilmente diferenciables entre sí, ya sea por su grosor o histológicamente (Ritchie *et al.*, 1994). El duodeno surge del píloro y forma un bucle que recubre al páncreas. En él desembocan los productos pancreáticos y hepáticos (Hadley, 2005; O'Malley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006). La mucosa intestinal produce maltasa, amilasa, sacarasa, enteroquinasas, lipasas y peptidasas, que contribuye a la digestión enzimática. Estas enzimas se producen a partir de la distensión duodenal, al ácido clorhídrico, la estimulación vagal, la colicistoquinina, secretina y al péptido intestinal vasoactivo (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006). Los niveles de amilasa son mayores en el yeyuno, pero en aves no se puede diferenciar el yeyuno del íleon. Se cree que el yeyuno inicia después del asa duodenal ascendente empieza a dar marcha atrás sobre sí misma, donde las ramas yeyunales de la arteria mesentérica craneal comienzan (Harrison y Lightfoot, 2006). Entre el yeyuno y el íleon, junto a la porción distal de la arteria mesentérica craneal se encuentra el divertículo de Merkel, que es un remanente del saco vitelino y que contiene abundante tejido linfoide (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Tully *et al.*, 2009).

El íleon se cree que inicia posterior al divertículo de Merkel y finaliza en la unión recto-cecal (O'Malley, 2005). El epitelio intestinal contiene vellosidades, microvellosidades y criptas. El aumento del área de la superficie de las vellosidades permite una absorción eficiente de nutrientes y su sistema capilar permite el transporte a la sangre portal. Una gruesa capa de moco producida por las células caliciformes protege el epitelio intestinal del ácido gástrico y de la abrasión física, principalmente en el área cercada al píloro. Dos capas musculares

rodean al intestino, la circular interior y la longitudinal exterior, capas que permiten la mezcla y la propulsión digestiva a lo largo del tubo intestinal (Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 9. INTESTINO GRUESO.

Se extiende desde el final del intestino delgado hasta la cloaca. En su interior se lleva la absorción de carbohidratos, síntesis bacteriana de vitaminas del complejo B y reabsorción de agua (Fowler y Lamberski, 2003). El colon se encuentra entre la unión ileocecal y el coprodeum cloacal. Estructuralmente es diferente al colon de mamíferos, teniendo una arquitectura similar al intestino delgado, exceptuando por las vellosidades más pequeñas, que son ricas en folículos linfoides (Harrison y Lightfoot, 2006). El recto se encuentra en la pared dorsal de la cavidad celómica y es la continuación del colon (Ritchie *et al.*, 1994). Es un órgano pequeño y recto, que contiene una gran cantidad de vellosidades y pocas células caliciformes, productoras de moco (Hadley, 2005; O'Malley, 2005). La alta capacidad de reabsorción está relacionado con el aumento de los pliegues de la superficie de la mucosa, lo que aumenta el área de superficie (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; O'Malley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006).

El recto aviar exhibe retroperistalsis, llevando la orina desde el urodeum y coprodeum hacia el colon, permitiendo la absorción del agua en el colon. El recto, en psitácidos, entra desde el lado izquierdo en un ángulo de 60 a 90° hacia el coprodeum (Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 10. SACOS CIEGOS.

Los sacos ciegos son importantes en la fermentación de materia vegetal y en el equilibrio de agua. En algunos psitácidos existen como remanentes, y en el caso de los inseparables y el periquito australiano están ausentes. Aparecen histológicamente como un nódulo de tejido linfático en donde inicia el intestino grueso (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 11. CLOACA.

La cloaca es una estructura conformada por tres cámaras y es responsable de las deposiciones del tubo digestivo, aparato urinario y reproductor. Es mucho más amplia que el recto (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; O'Malley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006).

La primera cámara, la proximal, es el coprodeum donde desemboca el recto, es la mayor cámara en psitácidos. Está separada de la segunda cámara, el urodeum, por un esfínter llamado pliegue coprodeal. Dicho pliegue cierra completamente el coprodeum de las demás cámaras, previniendo la contaminación del huevo y semen durante la ovoposición y el apareamiento (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006; O'Malley, 2011). El urodeum es la cámara más pequeña en psitácidos. Recibe a los uréteres, al igual que el oviducto en hembras y al conducto deferente en machos. Los uréteres entran al urodeum en cada lado de la línea media dorsal. En las hembras, el conducto deferente tiene una abertura tipo roseta en la pared dorso lateral izquierda. En los machos, los conductos deferentes entran al urodeum de manera simétrica, en papilas situadas en la pared dorso lateral izquierda y derecha. Esta separado del proctodeum por el pliegue uroproctodeal

(Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006; O'Malley, 2011). El proctodeum es la cámara final de la cloaca, la cual da lugar a la bolsa de Fabricio en la línea medio dorsal al pliegue uroproctodeal. La bolsa de Fabricio es un órgano linfoide donde se diferencian los linfocitos B en animales jóvenes e involucrada en aves adultas (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006; O'Malley, 2011). La parte final del tracto gastrointestinal es el ano. Una abertura transversal en la pared ventrocaudal del cuerpo por donde los desechos corporales y productos reproductivos son expulsados del cuerpo. Está delimitado por los labios dorsal y caudal músculos que forman un esfínter. El acto de defecar implica la eversión parcial de los labios y provoca la formación de una abertura circular por donde las heces, orina y uratos son desechados (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006; O'Malley, 2011).

1. 3. 12. GLÁNDULAS ANEXAS.

1. 3. 12. 1. PÁNCREAS.

El páncreas está ubicado en el lado ventral izquierdo de la cavidad celómica, entre las asas ascendente y descendente del duodeno. Es un órgano trilobulado (dorsal, ventral y esplénico), donde, el tercer lóbulo o páncreas esplénico no está unido a los demás lóbulos. La secreción exocrina pancreática contiene enzimas similares a las secretadas por mamíferos, tales como amilasa, lipasas, tripsina y quimiotripsinas, carboxipeptidasas A, B, C, desoxiribonucleasas, ribonucleasas y elastasas. También produce bicarbonato que amortigua el pH intestinal (Ritchie *et al.*, 1994; Hadley, 2005; Harrison y Lightfoot, 2006).

1. 3. 12. 2. HÍGADO.

El hígado está formado por dos lóbulos, izquierdo y derecho, siendo este último el de mayor tamaño (Harcourt-Brown y Chitty, 2005; O'Malley, 2005).

El hígado desemboca en el duodeno distal a través de los conductos biliares. Su función digestiva es la producción de ácidos y sales biliares que ayudan a la emulsificación de grasas, lo que permite su digestión a través de la lipasa. Estos ácidos y sales, junto con el colesterol y fosfolípidos, son secretados en los canalículos biliares que drenan en el conducto biliar. La vesícula biliar está ausente en psitácidos (Hadley, 2005; O'Malley, 2005; Harcourt-Brown y Chitty, 2006).

1. 4. ALIMENTACIÓN EN VIDA LIBRE.

En general, los *Psittaciformes* consumen dietas basadas en vegetales, y se clasifican como herbívoros. Dentro de esta categoría, se pueden hacer más subclasificaciones sobre el tipo primario de las partes de la planta consumidas. Estas subclasificaciones incluyen a los granívoros (grano o dieta a base de semillas) dentro de la cual las aves más pequeñas tienden a seleccionar las semillas de la hierba y las aves más grandes tienden a seleccionarlas de arbustos; frugívoros (dieta a base de fruta) y nectarívoros (dieta a base de néctar). (Koutsos *et al.*, 2001; Orosz, 2014).

En contraste, muchos psitácidos consumen dietas variadas, por lo que hay frugívoros-granívoros (como la guacamaya escarlata, *Ara macao*) o nectarívoros que a menudo se alimentan de frutas, semillas e insectos (Koutsos *et al.*, 2001). En vida libre, los psitácidos

recorren grandes distancias en busca de alimento (Soto y Bert, 2011). El inseparable de Namibia en vida silvestre consume semillas, bayas, frutos y brotes verdes, siendo las semillas de *Albizia sp.*, y *Acacia sp.*, flores de *Albizia sp.*, y brotes tiernos de hojas de *Euphorbia sp.*, la base de su dieta (Forshaw, 1989). Cuando la comida abunda, pueden agruparse en parvadas de cientos de individuos (Forshaw, 1989; Verhoerf-Verhallen, 2004; Forshaw, 2010).

1. 5. ALIMENTACIÓN EN CAUTIVERIO.

La mayoría de requerimientos nutricionales utilizados en nutrición de aves de compañía son extrapolados de los empleados en la industria avícola (Ritchie *et al.*, 1994; NRC, 1994; Harcourt-Brown y Chitty, 2005). Muchas veces se piensa que se puede emplear la misma dieta para las 353 especies de psitácidos, pero se debe de tomar en cuenta la variedad de alimentos que consumen difieren de entre ellas, cambiando los requerimientos nutricionales incluso en miembros de la misma especie por edad, estado fisiológico y salud. (Harrison y Lightfoot, 2006; Soto y Bert, 2011; Orosz, 2014).

Las dietas consumidas por aves en vida libre pueden raramente ser emuladas en cautiverio debido a la gran variedad de semillas y otros alimentos que no están disponibles en cantidades suficientes. Incluso si se llegaran a conseguir estos alimentos, u otros muy similares, no proporcionarían una dieta nutricionalmente adecuada. Esto porque las aves suelen comer una cantidad de alimento necesario para satisfacer sus necesidades de energía, y las aves de vida libre tiende a gastar una cantidad de energía considerable para apoyar la termorregulación, ampliar la búsqueda de alimento, defensas, etc. (Klasing, 1998; Bosque y Pacheco, 2000; Koutsos *et al.*, 2001).

Actualmente, la alimentación en cautiverio de psitácidos (como aves de compañía y en aviarios) tiende a basarse en la ecología de la alimentación en vida libre, anatomía y fisiología digestiva y requerimientos nutricionales de las especies (Koutsos et al., 2001; Harrison y Lightfoot, 2006; Leeson y Summers, 2008).

En cautiverio, los inseparables se son alimentados con dieta a base de semillas, la cual puede contener nueces, girasol, maíz, trigo, avena, mijo, arroz, alpiste, cáñamo, entre otras, se puede complementar con frutos, bayas y vegetales verdes (Verhoerf-Verhallen, 2004; Leeson y Summers, 2008; Soto y Bert, 2011).

De manera comercial existe alimento peletizado para psitácidos, de dos tipos: los estrurizados y los granulados peletizados (Koutsos *et al.*, 2001; Leeson y Summers, 2008; Soto y Bert, 2011). Con gran variedad de marcas y presentaciones (Figura 5 y 6).



Figura 5. Mezcla casera de semillas.



Figura 6. Alimento comercial para psitácidos.

1. 6. NUTRICIÓN.

La nutrición consiste en la ingesta, digestión, absorción, metabolismo y excreción. Una nutrición adecuada es esencial para la supervivencia y reproducción de los organismos (Carey, 1996). Determinar lo que constituye una nutrición adecuada para animales de vida libre supone un reto. Debido a esto, la desnutrición crónica es común en psitácidos en cautiverio, por lo que proporcionar una dieta adecuada es resultado del trabajo entre propietarios y médicos veterinarios. Lamentablemente existe poca investigación científica referentes a la nutrición de psitácidos (Carey, 1996; Harcourt-Brown y Chitty, 2005). Los psitácidos presentan signos clínicos cutáneos diferentes a las gallinas en deficiencia de aminoácidos y vitaminas (Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013). Por lo tanto las carencias o excesos de ciertos nutrientes pueden ocasionar problemas en la salud. Estas deficiencias

ocurren por diversos factores, tales como: selectividad de los alimentos en cautiverio, desconocimiento de las necesidades nutricionales de cada especie y la falta de información sobre la alimentación en vida libre (Baggio-Júnior y Gonçalves, 2013).

El estado nutricional depende de la accesibilidad a los nutrientes, la plasticidad metabólica, fisiológica, morfología y del comportamiento del animal para evitar o minimizar las discrepancias entre la disponibilidad y accesibilidad de alimentos (Carey, 1996, Orosz, 2014). Los requerimientos se determinan para tres estados fisiológicos: basal, mantenimiento y total (Orosz, 2014). Los requerimientos basales son los necesarios para mantener las funciones básicas de la vida (Orosz, 2014). El requisito de mantenimiento es la cantidad de nutrientes necesarios para las funciones basales, más la actividad de encontrar y consumir los alimentos, la interacción con otros animales, y el mantenimiento de la temperatura corporal (Carey, 1996, Orosz, 2014). Y el total es la combinación de todos los requisitos anteriores más la etapa productiva, crecimiento, reproducción y muda (Carey, 1996).

Existen más o menos 38 nutrientes necesarios para las dietas de aves, estos difieren con la especie. Entre ellos encontramos al agua, 10 aminoácidos esenciales, 14 elementos minerales, 13 vitaminas, ácidos grasos esenciales y ácido linoleico (Ritchie *et al.*, 1994; Carey, 1996; Harrison y Lightfoot, 2006; Orosz, 2014). La desnutrición se define como cualquier trastorno o desequilibrio nutricional asociado a deficiencia o exceso de nutrientes (Ritchie *et al.*, 1994; Girling, 2013). Estas alteraciones están asociados a cambios clínicos adversos llegando a ocasionar en ocasiones la muerte del individuo (Ritchie *et al.*, 1994; Girling, 2013). Se pueden clasificar en dos grupos principalmente: el primero (alteración de proteínas y pérdida de electrolitos) incluye vómito, diarreas, abscesos y mala asimilación; el segundo grupo (alteración de los requerimientos nutricionales) incluyen traumatismo, pérdidas

sanguíneas, enfermedad hepática, sepsis, interacción medicamento-nutriente, quemaduras, procedimientos quirúrgicos múltiples, enfermedad renal crónica, fiebre y neoplasias (Smith y Mullen, 1991; Heyland, 1998; Orosz, 2013).

Existe una relación recíproca entre la inmunidad y la nutrición. La deficiencia o desbalances de nutrientes suprimen la función inmunológica, por lo que el individuo es susceptible a contraer infecciones. Individuos sépticos presentan anorexia lo que conduce a desnutrición, mientras que algunas enfermedades alteran algunos requerimientos nutricionales (Chandra y Kumari, 1997; Orosz, 2013). Por ejemplo, una disminución en la ingesta proteica y energética es la causa más común de inmunodeficiencia secundaria causando una respuesta pobre del sistema inmune, que incluye la respuesta celular, la producción de IgA secretoria, la fagocitosis, la activación del complemento, la afinidad de anticuerpos, la producción de citosinas y la disminución de linfocitos T circulantes (Orosz, 2013).

1. 6. 1. MINERALES

El término “elemento mineral esencial” se limita a un elemento que ha demostrado tener un papel metabólico en el cuerpo. Para demostrar esto, dietas tienen que ser purificadas del elemento, así los signos de deficiencia que dicho elemento puede causar se pueden atribuir a él y prevenidos mediante la adición del elemento a la dieta experimental (McDonald *et al.*, 2011).

Los elementos minerales se clasifican en macrominerales y microminerales. Los macrominerales se pueden clasificar según su función como estructural (Ca y P), necesarios

para mantener la homeostasis corporal (Na, K, Cl) y elementos trazas (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Girling, 2013).

La disponibilidad de los minerales no solo depende de la concentración en los alimentos sino también de la forma química en la que estén presentes y de la interacción con otros minerales en los alimentos (Harcourt-Brown y Chitty, 2005; McDonald *et al.*, 2011). A medida que el proceso de digestión va degradando los alimentos, los minerales son liberados y los elementos catiónicos son convertidos en sales de cloruro en presencia del ácido clorhídrico gástrico. Una vez en el tracto intestinal estos son fácilmente disociados y absorbidos (Ritchie *et al.*, 1994). La absorción activa y la excreción de los minerales está regulado por el organismo para prevenir intoxicaciones o deficiencias (Harcourt-Brown y Chitty, 2005; McDonald *et al.*, 2011).

Las aves emplean los elementos minerales para la formación y mantenimiento del esqueleto, para homeostasis, equilibrio ácido-base, como partes integrales de hormonas y otras biomoléculas, como activadores enzimáticos y agentes reguladores de los gases en el metabolismo y la función celular (Carey, 1996). Las necesidades nutricionales de estos elementos dependen de su función y distribución. A excepción del calcio, la investigación en psitácidos de las necesidades de los demás minerales es deficiente (Carey, 1996; Harcourt-Brown y Chitty, 2005).

Las necesidades de minerales utilizados en la alimentación de aves de compañía se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Requerimientos minerales recomendados en aves *Psittaciformes* y *Passeriformes* (Ritchie *et al.*, 1994; NRC, 1994; Tully *et al.*, 2009; Orosz, 2014).

ELEMENTO	REQUISITO MÍNIMO	VALORES	VALORES TOXICOS
MINERAL	PARA MANTENIMIENTO	RECOMENDADOS PARA MANTENIMIENTO	
Calcio (%)	0.30	0.50	2.5
Fosforo disponible (%)	0.15	0.25	--
Fosforo total (%)	0.30	0.40	---
Sodio (%)	0.10	0.15	---
Cloro (%)	0.10	0.15	0.3
Potasio (%)	0.30	0.40	---
Magnesio (ppm)	500	600	12 000
Manganeso (ppm)	60	75	1500 - 3750
Hierro (ppm)	60	80	---
Zinc (ppm)	40	50	100-500
Cobre (ppm)	6	8	400
Iodo (ppm)	0.3	0.3	-----
Selenio (ppm)	0.1	0.1	5-10

Una dieta a base de granos es deficiente en algunos minerales, dependiendo de los granos a utilizarse, por lo que en los alimentos de aves es necesario suplementarlos o complementarlos con calcio, fosforo, las sales son necesarias en grandes cantidades (Tully *et al.* 2009; Soto y Bert, 2011).

1. 6. 1. 1. MACROMINERALES

1. 6. 1. 1. 1. CALCIO.

El calcio es el mineral predominante en el cuerpo (aproximadamente 1.5% del peso corporal) y es esencial para el desarrollo de los huesos y formación del cascaron del huevo, para la coagulación de la sangre, permeabilidad de membranas, para la excitabilidad normal

muscular y la transmisión nerviosa (Harper y Skinner, 1998; Koutsos *et al.*, 2001; McDonald *et al.*, 2011; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013).

Al igual que los mamíferos, el metabolismo del calcio está influenciado por la acción de la hormona paratiroidea, la vitamina D y la calcitonina, siendo más sensible en las aves. Su absorción en el tracto intestinal y su deposición en los huesos está regulada por la vitamina D. La calcitonina controla la hipercalcemia por la disminución de la reabsorción de calcio desde el hueso (Ritchie *et al.*, 1994; Koutsos *et al.*, 2001; Harrison y Lightfoot, 2006; Tully *et al.*, 2009; Girling, 2013). La vitamina D requiere un espectro de luz UV de entre 315-280 nm para la conversión de metabolitos activos, sin embargo, muchos de los psitácidos en cautiverio se mantienen en interiores (Harcourt-Brown y Chitty, 2005).

El calcio se absorbe en el duodeno por un sistema de transporte activo que involucra a la proteína de unión al calcio, una cantidad menor se absorbe en el íleon por difusión pasiva. Esto está regulado por la forma activa de la vitamina D (vitamina D₃) en respuesta a los bajos niveles de calcio en el plasma (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006; Tully *et al.*, 2009). Un alto nivel de proteína en la dieta y la acidificación de los intestinos y altas concentraciones de ácidos grasos facilitan la absorción de calcio. Compuestos como el ácido oxálico junto con el calcio forma oxalatos de calcio insoluble, mientras fitatos y fosfatos disminuyen la disponibilidad de calcio. Una vez absorbido, el calcio es transportado por el plasma unido a proteínas, como calcio ionizado y una pequeña parte quelado por la unión a complejos (citratos, fosfatos (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006). Existen tres fracciones de calcio en el suero de las aves: calcio unido a proteínas, como sal ionizada y formando complejos con una gran variedad de aniones (citrato, bicarbonato y fosfato). El calcio ionizado (Ca⁺⁺) es la fracción fisiológicamente activa del calcio sérico, con funciones

en la homeostasis sérica, muscular y la conducción nerviosa, la coagulación de la sangre y la secreción de ciertas hormonas (vitamina D3 y PTH). Las concentraciones de calcio ionizado son de importancia patológica, provocando disminución en la resistencia eléctrica y un aumento en la permeabilidad de membrana nerviosa (a sodio y potasio) causando hiperexcitabilidad de las fibras musculares y nerviosas. Esta fracción fisiológica se une a la albumina por lo que cualquier alteración de esta afectara al calcio (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013).

Un nivel adecuado de calcio en la dieta se puede afectar por un alto contenido de fosforo. La relación Ca:P en la dieta debe de oscilar entre 1:1 a 2:1 (Koutsos *et al.*, 2001; Harrison y Lightfoo, 2006; McDonald *et al.*, 2011).

Se ha observado que niveles mayores a 1% de calcio en la dieta disminuye la utilización de proteínas, grasas, vitaminas, fosforo, magnesio, hierro, yodo, zinc y manganeso (Ritchie *et al.*, 1994; Girling, 2013). La deficiencia de calcio en hembras reproductoras puede provocar fracturas, osteoporosis, huevos en fárfara, retención de huevos y problemas neurológicos (de Oliveira *et al.*, 2009; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013). Si la deficiencia ocurre en animales jóvenes en crecimiento, las necesidades para la formación de hueso no se cumplen, provocando raquitismo (huesos deformes, ampliación de las articulaciones, cojera y rigidez) (Harper y Skinner, 1998; Koutsos *et al.*, 2001); mientras que si ocurre en animales adultos, ocasionara osteomalacia, provocando huesos frágiles (Bauck, 1995; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013). La osteomalacia y el raquitismo también puede ocurrir si hay deficiencia de fosforo, una proporción anormal de la relación Ca:P o una deficiencia de vitamina D (Harper y Skinner, 1998; Koutsos *et al.*, 2001; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013).

La hipocalcemia en los loros grises africanos (*Psittacus erithacus*) es un síndrome clínico asociado a una incapacidad de movilizar el calcio óseo en respuesta inmediata de demandas fisiológicas o estrés (Bauck, 1995; Harper y Skinner, 1998; Koutsos *et al.*, 2001; Tully *et al.*, 2009; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013).

El hiperparatiroidismo nutricional secundario ocurre cuando hay una deficiencia de calcio y/o un desequilibrio calcio/fosforo, y es muy frecuente que se presente en aves en cautiverio, en especial en aves de presa (Ritchie *et al.*, 1994; Tully *et al.*, 2009; Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013).

1. 6. 1. 1. 2. FOSFORO.

Además de ser componente importante de huesos, forma parte de proteínas, carbohidratos y lípidos complejos que realizan funciones vitales en el cuerpo. Se utiliza en el almacenamiento de energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP), como componente de membranas celulares y de ácidos nucleicos (Ritchie *et al.*, 1994; Harper y Skinner, 1998; McDonald *et al.*, 2011; Baggio-Júnior y Gonçalves, 2013).

El fosforo se encuentra disponible como fosfatos, sales de ácido ortofosfórico y organofosforados. La absorción del fosforo en forma de ortofosfato tiene lugar principalmente en el duodeno, con una eficiencia de absorción de ser dependiente de la exigencia metabólica, y afectada por factores tales como su fuente, la relación calcio/fosforo, pH intestinal, niveles dietéticos de vitamina D, potasio, hierro, magnesio, manganeso y grasa. Una vez absorbido, se incorpora en los huesos y otros tejidos, siendo el hueso el depósito metabólico. Como el calcio, los niveles circulantes son regulados por la PTH y la

calcitonina, los niveles plasmáticos están inversamente relacionados con los niveles séricos de calcio. La excreción de niveles excesivos de fosforo se lleva a cabo en los riñones (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Baggio-Júnior y Gonçalves, 2013).

La deficiencia de fosforo es poco probable que se presente en las aves debido a que este elemento mineral se encuentra en abundancia en alimentos de origen vegetal, pero en algunas ocasiones, el fosforo puede estar unidos en forma de fitatos y no estar disponible (Harper y Skinner, 1998; Tully *et al.*, 2009; Baggio-Júnior y Gonçalves, 2013).

Cuando el fosforo rebasa por poco las proporciones recomendables de Ca:P, provocara una disminución del rendimiento e interferirá con la absorción intestinal de Ca (Ritchie *et al.*, 1994; Bauck, 1998). Los niveles séricos altos de fosforo pueden ocasionar un hiperparatiroidismo nutricional secundario mediante la supresión del Ca sérico, estimulando a la secreción de PTH por parte de la paratiroides (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Baggio-Júnior y Gonçalves, 2013). Un exceso tanto de calcio y fosforo en la dieta lleva a la formación de fosfato de calcio insoluble para el organismo, por lo que la disponibilidad de ambos disminuye (Baggio-Júnior y Gonçalves-Pita, 2013).

1. 6. 1. 1. 3. MAGNESIO.

La mayor parte del magnesio corporal se encuentra presente en el esqueleto, formando compuestos junto al Ca y Pb (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011). En los fluidos corporales, el magnesio se encuentra ligado a los eritrocitos y leucocitos, mientras que el Ca se encuentra en el plasma. Se encuentra en altas concentraciones en tejidos blandos, intracelularmente, tales como el hígado, musculo estriado, riñón y cerebro (Ritchie *et al.*,

1994). En dichos tejidos, el magnesio sirve como activador para muchas enzimas implicadas en el metabolismo y la transferencia de fosfatos (Ritchie *et al.*, 1994; Tully *et al.*, 2009; McDonald *et al.*, 2011). El magnesio se absorbe de una manera similar al calcio y fósforo, la eficiencia de absorción depende de la concentración en el tracto gastrointestinal. Con niveles bajos, la absorción tiende a ser muy eficiente (Ritchie *et al.*, 1994). La mayor parte se absorbe en el intestino delgado. Los niveles de calcio y fósforo en la dieta afectan el requisito de magnesio, con altos niveles de cualquiera de ellos tiende a aumentar el requisito de este último (Ritchie *et al.*, 1994; Girling, 2013). Cuando existe un déficit de magnesio puede ocasionar un escaso crecimiento, convulsiones, hiperirritabilidad neuromuscular y muerte súbita (Tully *et al.*, 2009; Soto y Bert, 2011). Mientras que el exceso puede ocasionar diarreas, irritabilidad, disminución de la producción de huevo y huevos en fáfara (McDonald *et al.*, 2011; Soto y Bert, 2011).

1. 6. 1. 1. 4. POTASIO.

El potasio se encuentra ampliamente distribuido en la mayoría de los alimentos, por lo que una deficiencia resulta poco probable en animales adultos. A diferencia del Na, el potasio se encuentra presente intracelularmente, con niveles altos en el musculo, eritrocitos, cerebro e hígado. Es el principal catión intracelular, con efectos en el equilibrio acido-base y la presión osmótica. Involucrado también en la síntesis de proteínas, en la captación celular de aminoácidos y como cofactor en varios sistemas enzimáticos. En los fluidos extracelulares, el potasio reduce la contractibilidad muscular induciendo a la relajación, por lo que tiene un efecto contrario al Ca (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Soto y Bert, 2011; Girling, 2013).

El potasio se absorbe predominantemente en la parte superior del intestino delgado por difusión pasiva, aunque la absorción se produce en menor medida en todo el tracto intestinal. El exceso de potasio se excreta a través de los riñones bajo la influencia de sodio y los niveles de aldosterona. El estrés severo puede crear hipokalemia debido a un aumento en el potasio renal, causando la excreción de proteínas plasmáticas elevadas, la hipokalemia puede extenderse durante la adaptación al estrés como el almacenamiento de potasio que se repone del hígado y el músculo (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Girling, 2013). Una deficiencia de potasio en las aves puede provocar retraso del crecimiento, debilidad, tetania y muerte (McDonald *et al.*, 2011). El requisito mínimo de potasio está influenciado por los niveles dietéticos de sodio, cloruros totales, el contenido energético del alimento y posiblemente la proteína (Ritchie *et al.*, 1994). Toxicidad por el potasio no es probable debido a la capacidad del riñón para excretar grandes concentraciones del mineral. Los excesos de tres veces la cantidad necesaria han presentado problemas en algunas especies de aves (Ritchie *et al.*, 1994).

1. 6. 1. 1. 5. SODIO.

El sodio es el principal catión del líquido extracelular y es predominantemente responsable de la regulación del equilibrio ácido-base mediante la asociación con cloruro o bicarbonato. El sodio es crítico en el mantenimiento de una adecuada presión osmótica corporal, en la protección contra la pérdida excesiva de líquidos corporales. Está implicado en la transmisión de impulsos nerviosos, la permeabilidad celular y actúa en la inhibición de sistemas enzimáticos mitocondriales, que son activados por iones intracelulares potasio (K^+) o

magnesio (Mg^{++}) (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Soto y Bert, 2011; Girling, 2013).

Las sales de sodio son fácilmente absorbidas en el tracto intestinal, principalmente en el íleon, y pueden ser eficientemente conservadas cuando hay un déficit en la dieta. Mientras que su exceso puede ser eficientemente excretado por los riñones por un aumento en el consumo de agua. La retención de sodio está regulada por la aldosterona, que mantiene los niveles de sodio plasmático adecuados y regula la excreción de sodio (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006). Dependiendo de la especie, el hueso contendrá entre 25 y 50% del sodio corporal total, que está unido a la matriz inorgánica del hueso, el resto se encuentra predominantemente en el líquido extracelular con concentraciones más altas en el plasma, tejido nervioso y muscular (Ritchie *et al.*, 1994).

El cuerpo tiene un mecanismo específico para la concentración de sodio en el líquido extracelular mientras se concentra el potasio en el líquido intracelular. Esta alta concentración es mantenida por el gradiente de concentración de Na-K más el sistema de bomba de ATPasa. Este sistema transporta Na^+ fuera de la célula, mientras que el transporte de K^+ hacia el interior. Es un proceso que requiere energía que utiliza ATP como fuente de energía, el sodio intracelular activa un sistema enzimático, que utiliza Mg^{++} como un cofactor (Ritchie *et al.*, 1994).

Cuando ocurre enfermedad renal crónica, principalmente cuando el animal presenta acidosis, los niveles de sodio disminuyen debido a la mala reabsorción tubular renal y al uso del sodio como amortiguador en la acidosis. Tanto la enfermedad renal y la diarrea pueden ocasionar una hiponatremia. Esto a menudo será seguido por una rápida pérdida de peso por deshidratación (Ritchie *et al.*, 1994; Harper y Skinner, 1998).

La deficiencia de sodio en la dieta conduce a una disminución de la presión osmótica, lo que resulta en la deshidratación del cuerpo. Los síntomas de deficiencia de sodio incluyen un pobre crecimiento y la reducción de la utilización de proteínas y energía. En las gallinas, la producción de huevos y el crecimiento se ven afectados negativamente (McDonald *et al.*, 2011).

Aumentos moderados del sodio en la dieta no son tóxicos proporcionando una adecuada cantidad de agua. Niveles de nueve y 55 veces el requisito puede ocasionar una disminución en el crecimiento y la pérdida de apetito en aves jóvenes. En todas las etapas de la vida, habrá un considerable aumento en el consumo de agua que resulta en heces más flojas. Los niveles más altos de sodio provocan polidipsia, poliuria, nerviosismo, edema, deshidratación y muerte (Ritchie *et al.*, 1994).

1. 6. 1. 2. MICROMINERALES.

1. 6. 1. 2. 1. HIERRO.

El hierro es necesario para la producción de hemoglobina y mioglobina, moléculas que intervienen en el proceso de respiración celular. Si bien la excreción de hierro es insignificante, las reservas corporales se reciclan de manera eficiente y la absorción intestinal se controla para evitar excesos en la acumulación (Ritchie *et al.*, 1994; Tully *et al.*, 2009; McDonald *et al.*, 2011). En el cuerpo existe hierro en dos formas: como hierro hemo (que está quelado con un grupo de porfirina) y el hierro no hemo (que se encuentra unido a proteínas) (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006).

El principal método de pérdida corporal de hierro es a través del sangrado. Cualquier indicio de hierro presente en las heces es generalmente resultado del hierro que no fue absorbido en la dieta. Debido a que el cuerpo no tiene ninguna vía normal para la excreción del exceso de hierro, la absorción intestinal es cuidadosamente controlada para evitar la acumulación. En situaciones normales, la absorción del hierro en el intestino es pobre, sin embargo, si el cuerpo se vuelve deficiente, la absorción mejora hasta que la situación se corrige (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011).

Normalmente, el hierro hemo (de fuentes animales) se considera disponible de un 20-25%, mientras que el hierro no hemo (de fuentes vegetales) están menos disponibles llegando a ser menos del 5% disponible. Además, el hierro no hemo presente en la mayoría de los alimentos se encuentra en la forma férrica (Fe^{+++}), que se absorbe mal. Este puede estar presente ya sea como el ion férrico libre o asociado con un compuesto orgánico. Para la correcta absorción a tener lugar, el hierro férrico se debe reducir al estado ferroso (Fe^{++}). En la forma ferrosa, el hierro se vuelve más soluble y por lo tanto se mejora la absorción. Esto se puede lograr adicionando cualquier compuesto reductor en el alimento, con ácido ascórbico. Las proteínas también aumentan la absorción, probablemente mediante la formación de aminoácidos solubles quelando al hierro. Además, la absorción se puede mejorar por ácidos orgánicos (por ejemplo, citrato, lactato), fructosa y vitamina E, así como por dietas bajas en fósforo. La secreción gástrica normal es necesaria para solubilizar hierro y aumentar su disponibilidad (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006; McDonald *et al.*, 2011).

El exceso de hierro puede reducir el rendimiento, sin embargo, mediante la creación de interacciones con otros minerales puede interferir en la absorción de estos, por ejemplo la reducción de la absorción de fósforo a través de la formación de un compuesto de fosfato de

hierro insoluble o la adsorción de vitaminas u otros minerales traza (Ritchie *et al.*, 1994; Harcourt-Brown y Chitty, 2006; Tully *et al.*, 2009).

Crónicamente la alta ingesta de hierro puede dar lugar a un elevado nivel en sangre, al aumento de las concentraciones en tejidos (especialmente en el hígado y el bazo) y al eventual desarrollo de hemosiderosis y, posiblemente, la hemocromatosis. El daño hepático y a veces fibrosis pancreática se produce en esta condición, que en otras especies es más a menudo debido a la genética anómala (absorción extremadamente eficiente). Las enfermedades por almacenamiento de hierro se han visto frecuentemente en tucanes, tucanetas, trogones y quetzales, así como aves frugívoras e insectívoras. Clínicamente las aves que cursan con estas enfermedades presentan insuficiencia hepática (Ritchie *et al.*, 1994; Harcourt-Brown y Chitty, 2005; Tully *et al.*, 2009). La deficiencia de hierro puede causar anemia microcítica hipocrómica y mala pigmentación de la pluma (Tully *et al.*, 2009; McDonald *et al.*, 2011).

1. 6. 1. 2. 2. COBRE.

Las principales reservas de cobre en el organismo se encuentran en el hígado. El cobre es necesario para la síntesis de hemoglobina, eritropoyetina y en la formación de varias enzimas, incluyendo las implicadas en la formación y síntesis de elastina, colágeno, melanina, queratina y mantenimiento del sistema nervioso (Ritchie *et al.*, 1994; Tully *et al.*, 2009, McDonald *et al.*, 2011). El cobre se encuentra presente en la mayoría de los alimentos y de una manera equilibrada, por lo que la probabilidad de una deficiencia de cobre empleando una dieta mixta es poco probable. La disponibilidad puede ser afectada por la forma química

del cobre, así como el estado del animal, se producen con una absorción más eficiente cuando el animal es deficiente o cuando la dieta tiene una concentración baja (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011).

Las deficiencias de cobre se han asociado con ruptura de la aorta, anemia, desangrado, fragilidad ósea, trastornos gastrointestinales, lesiones en el sistema nervioso central, mala pigmentación de las plumas, disminución en la producción y anomalías en la cascara de huevo (Tully *et al.*, 2009, McDonald *et al.*, 2011). También deteriora la capacidad del animal para absorber hierro, movilizarlo desde los tejidos y emplearlo para la formación de hemoglobina (McDonald *et al.*, 2011).

Aunque la toxicidad del cobre ha sido ignorada en la salud de las aves de compañía, se ha identificado como fuente de enfermedad en el pollo de engorda y aves acuáticas, provocando proventriculitis y atrofia testicular en los pollos, necrosis y desprendimiento del proventrículo y ventrículo en los segundos (Henderson y Winterfield, 1975; Shivanandappa *et al.*, 1983; Wideman *et al.*, 1996; Osofsky *et al.*, 2001).

1. 6. 1. 2. 3. ZINC.

El zinc es crítico para las aves en crecimiento, para la reproducción y la longevidad normal a causa de su participación en reparación de tejidos y la cicatrización de heridas (Ritchie *et al.*, 1994). Funciona en reacciones del metabolismo de proteínas, carbohidratos y la formación de mucopolisacáridos (McDonald *et al.*, 2011). También funciona en la movilización de vitamina A en el hígado (Ritchie *et al.*, 1994). El zinc es necesario en una gran variedad de enzimas, ya sea como un activador enzimático o como un componente de

ciertas metaloenzimas (Ritchie *et al.*, 1994; McDonald *et al.*, 2011; Orosz, 2013). El zinc es necesario para la formación de insulina (Tully *et al.*, 2009). El zinc está implicado en la duplicación celular y el desarrollo de cartílago y hueso (McDonald *et al.*, 2011). Las concentraciones normales en el suero de psitácidos oscila entre 0.5 a 0.8 ppm (7.65 a 84 mol/l) (Harrison y Lightfoot, 2006).

El zinc se encuentra ampliamente distribuido en los alimentos, pero en general no está presente en cantidad adecuada para cubrir las necesidades de los jóvenes o reproductores. En fuentes vegetales, los fitatos pueden unirse activamente al zinc, produciendo diversos grados de disponibilidad de zinc. Además, los requisitos de zinc se aumentan con el agregado de calcio en la dieta (Ritchie *et al.*, 1994).

La deficiencia de zinc puede ocasionar hiperqueratosis, deformación ósea, disminución de la respuesta inmune, alteraciones en la división celular, muerte embrionaria temprana, polluelos débiles al eclosionar, crecimiento retardado, retraso en el desarrollo sexual y anomalías del plumaje (McDonald *et al.*, 2011; Orosz, 2013). El exceso de zinc afecta las concentraciones de α -tocoferol en el organismo (Harrison y Lightfoot, 2006).

La intoxicación con zinc es muy frecuente cuando las aves se exponen al masticar el recubrimiento galvanizado de las jaulas, comederos y bebederos. Los signos clínicos que se presentan generalmente son inespecíficos, pero generalmente se puede observar vómito, diarrea amarillenta, signos neurológicos y muerte (LaBonde, 1994; Bauck, 1995; Harper *et al.*, 1998; Styles y Phalen, 1998; Hadley, 2005).

1.7. ALIMENTOS FUNCIONALES.

En los últimos años se ha supuesto un cambio en los conceptos básicos de nutrición, hasta ahora la idea tradicional de una “dieta adecuada” se refería únicamente al aporte de nutrientes suficientes para asegurar la supervivencia de un individuo, cubrir sus necesidades metabólicas y nutritivas (Diplock *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2004). En la actualidad, se presta mayor atención a la potencialidad de ciertos alimentos para promover la salud, mejorar el bienestar físico y reducir el riesgo de contraer enfermedades (Pérez *et al.*, 2004; Olagnero *et al.*, 2007). Así, el concepto de nutrición adecuada tiende a ser sustituido por nutrición óptima, en cuyo ámbito aparecen los alimentos funcionales (Pérez *et al.*, 2004).

Esto constituye una oportunidad de contribuir a la mejora en calidad de dieta y selección de alimentos que pueden afectar de forma positiva la salud y bienestar del consumidor. Por lo que el concepto de alimento funcional incluye que, estos componentes habituales de la dieta, deben ejercer sus efectos en cantidades que son consumidas normalmente en una dieta equilibrada (Pérez *et al.*, 2004).

Se le llama alimento funcional a aquellos alimentos que han demostrado que afectan de forma beneficiosa una o varias funciones del organismo para proporcionar una mejora en el estado de salud (Diplock *et al.*, 1999; Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2004; Olagnero, 2008). Dentro de este grupo de alimentos se encuentran los prebióticos, que son ingredientes alimenticios no digeribles que benefician a quien los consume mediante la estimulación selectiva del crecimiento y/o actividad de un número limitado de bacterias en colón, mejorando así la salud del hospedador; los probióticos son microorganismos vivos, que al administrarse en cantidades adecuadas, causan modificación a la microflora normal del tracto gastrointestinal del hospedador que confieren beneficios a la salud de este; los simbióticos,

son una combinación de los dos anteriores; y los nutracéuticos, que son cualquier sustancia que una vez ingerida produce efectos benéficos en la salud, como son prevención y tratamiento de enfermedades (Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2004; Schoolz-Ahrens *et al.*, 2007; Olagnero, 2008; Jackson y McLaughlin, 2009; Qiang *et al.*, 2009).

1.8. PREBIOTICOS.

Un prebiótico es un ingrediente no digerible que afecta de forma benéfica a quien lo consume mediante la estimulación selectiva del crecimiento y/o actividad de un número limitado de bacterias en colon, mejorando así la salud del hospedero (Gibson y Roberfroid, 1995; Pérez *et al.*, 2004; Roberfroid, 2007; Jackson y McLaughlin, 2009; Qiang *et al.*, 2009). Para que un ingrediente sea clasificado como prebiótico debe cumplir lo siguiente:

- No debe de ser hidrolizado ni absorbido en la parte anterior del tracto gastrointestinal hospedero (Gibson y Roberfroid, 1995; Pérez *et al.*, 2004; Olagnero *et al.*, 2007; Roberfroid, 2007).
- Debe constituir un sustrato selectivo para un número limitado de bacterias comensales benéficas del colon, estimulando su crecimiento y/o metabolismo (Gibson y Roberfroid, 1995; Pérez *et al.*, 2004; Olagnero *et al.*, 2007; Roberfroid, 2007).
- Modificar la composición de la microflora del colon, facilitando el desarrollo de especies benéficas (Gibson y Roberfroid, 1995; Pérez *et al.*, 2004; Olagnero *et al.*, 2007; Roberfroid, 2007).

- Inducir efectos en lumen o sistémicos que sean benéficos para la salud de quien los consuma (Gibson y Roberfroid, 1995; Pérez *et al.*, 2004).

Los carbohidratos no digeribles (oligosacáridos y polisacáridos), algunos péptidos y proteínas, y ciertos lípidos (ésteres y éteres) son considerados como prebióticos. Debido a su estructura química, estos compuestos no son absorbidos en la parte anterior del tracto gastrointestinal o no son hidrolizados por las enzimas digestivas (Gibson y Roberfroid, 1995; Pérez *et al.*, 2004).

1.9. OLIGOSACÁRIDOS NO DIGESTIBLES.

Un oligosacárido no digestible (OND) es un carbohidrato que permite cambios específicos en la composición y/o actividad de la microflora intestinal, no son digeridos y llegan intactos al colon donde sirven de sustrato para bacterias intestinales, las cuales proporcionan al organismo energía, sustratos metabólicos y nutrientes esenciales (Pérez *et al.*, 2004; Morales-López, 2007; Olagnero *et al.*, 2007; Jackson y McLaughlin, 2009; Bonos *et al.*, 2011).

El concepto de OND se debe a que el átomo de C anomérico (C₁ ó C₂) de las unidades de monosacáridos de algunos oligosacáridos dietéticos presentan una configuración que hace que sus enlaces osídicos no sean digeribles por la actividad enzimática del tracto digestivo. Los principales oligosacáridos actualmente disponibles o en desarrollo incluyen a carbohidratos en los cuales la unidad de monosacárido puede ser fructosa, glucosa, galactosa y/o xilosa (Crittenden y Playne, 1996; Pérez *et al.*, 2004). Algunos ejemplos de OND se pueden apreciar en la Figura 7.

Entre los efectos fisiológicos de la fermentación de los OND incluyen el aumento de las bifidobacterias en heces, aumento en la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), acidificación del pH intestinal, aumento del peso del contenido cecal, de la altura de las criptas, en el número celular de la mucosa intestinal y en el flujo sanguíneo de la arteria cecal (Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Jackson y McLaughlin, 2009; de Oliveira *et al.*, 2009).

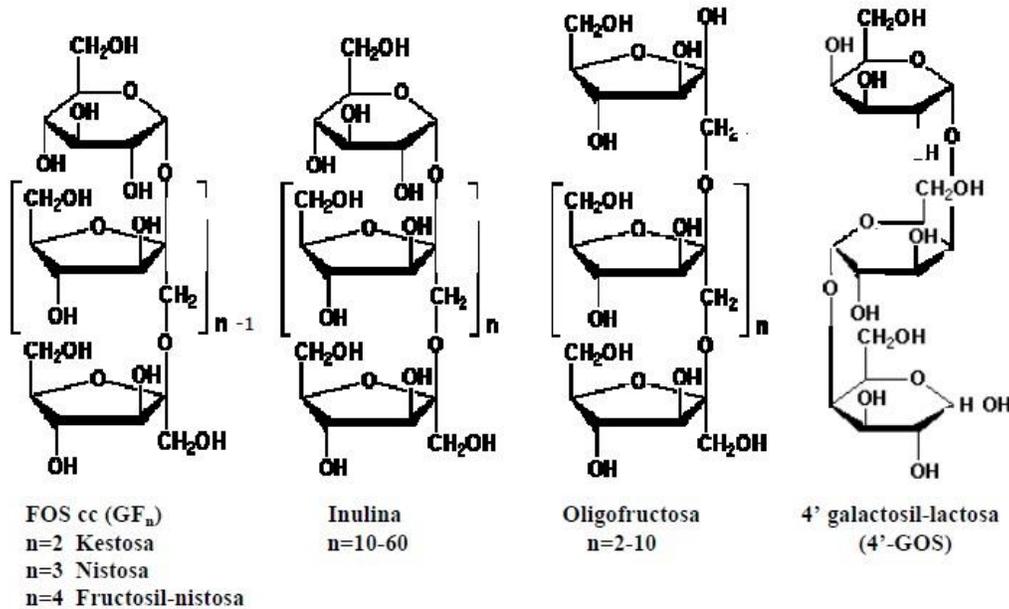


Figura 7. Estructura química de algunos oligosacáridos no digeribles.

También se encuentra su efecto sobre la absorción mineral dentro del organismo, en especial con respecto al Ca, P, Mg, Zn y Fe (Roberfroid, 2000; Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Qiang *et al.*, 2009; Bonos *et al.*, 2011). El aumento en absorción de elementos minerales después del consumo de OND tiene lugar en el ciego y colon, pero no en el intestino delgado (Roberfroid, 2000; Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Schoolz-Ahrens *et al.*, 2007).

Entre los posibles mecanismos implicados en la estimulación de la absorción mineral por los OND se encuentran:

- El OND pasa a través del tracto gastrointestinal y alcanza al ciego y colon donde por medio de fermentación selectiva aumenta la población bacteriana benéfica. Por lo que la población de bifidobacterias y lactobacilos aumentan la producción de AGCC disminuyendo el pH intestinal por lo que se incrementaba el contenido cecal, la pared de la mucosa y aumentando la ionización de minerales (Ca^{++} , Mg^{++}), condición que favorece la difusión pasiva (Roberfroid, 2000; Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Schoolz-Ahrens y Schrezenmeir, 2002; de Oliveira *et al.*, 2009).
- El aumento de la altura de las vellosidades, el número de células epiteliales por cripta, el flujo sanguíneo cecal se incrementa por los OND, por lo que se incrementa la absorción de minerales, en especial por difusión pasiva (Roberfroid, 2000; Scholz-Ahrens *et al.*, 2001; Schoolz-Ahrens y Schrezenmeir, 2002; de Oliveira *et al.*, 2009).
- La expresión de calbidin-D9K se estimula para la absorción de Ca por efecto de los OND (Scholz-Ahrens *et al.*, 2001).
- Los OND pueden mejorar la absorción mineral debido a un efecto osmótico que transfiere agua al intestino grueso, aumentando así el volumen de fluido donde los minerales se pueden disolverse, especialmente Ca y Mg (Roberfroid, 2000).

1.10. MANANOOLIGOSACÁRIDOS.

Los manano oligosacáridos (MOS) son complejos de manosa derivados de fragmentos de la pared celular de levaduras como la *Saccharomyces cerevisiae*, los cuales se cree que bloquean la colonización de patógenos digestivos al aumentar la competencia por los sitios de unión en el tracto digestivo suprimiendo el crecimiento de bacterias patógenas, la estimulación de la respuesta inmune, mejoran el crecimiento y la salud del individuo (Oguz y Parlat, 2004; Morales-López, 2007; Salze *et al.*, 2008; Bonos *et al.*, 2011; Oso *et al.*, 2014). Los MOS bloquean la colonización de patógenos digestivos, incrementan la competición por los sitios de unión en el tracto gastrointestinal, mejorar el desarrollo de la mucosa digestiva, y por tanto, mejoran la salud intestinal de las aves (Morales-López, 2007; Oso *et al.*, 2014).

La producción de paredes celulares de levaduras se realiza como un paso alterno y posterior a la producción industrial de las levaduras activas. Cuando la cantidad de levaduras es la adecuada dentro de los fermentadores, se realiza un proceso térmico que provoca la autólisis de las células de las levaduras. A partir de ese punto, se lleva a cabo un proceso de centrifugación del producto autolizado que provocara la separación de la pared celular y del contenido intracelular (extracto de levadura). Posteriormente los productos separados son concentrados y secados cuidadosamente para conservar sus características nutricionales (Morales-López, 2007).

La pared celular de la levadura está constituida por polisacáridos y glicoproteínas en forma de una red tridimensional que funciona como una estructura dinámica y adaptable al medio que la rodea. La pared celular de la levadura es capaz de adaptarse a cambios fisiológicos y morfológicos o a los cambios ambientales de su entorno (Morales-López, 2007). Los

polisacáridos que constituyen la pared celular de la levadura, corresponden a moléculas de 1, 3- β glucanos, 1-6- β glucanos, mananooligosacáridos, mananoproteínas y quitina, todos ellos con diferentes grados de polimerización, tamaño o peso molecular (Morales-López, 2007).

Entre los efectos benéficos de los MOS se tiene mejora en ganancia de peso y del sistema inmunológico, disminución de mortalidad, disminución de efectos de micotoxinas en especies pecuarias, por mencionar algunas (Oguz y Parlat, 2004; Landeros *et al.*, 2008; Salze *et al.*, 2008; Sang *et al.*, 2009).

La investigación referente a la suplementación con MOS en la dieta de aves comercial, tales como pollo de engorda, codorniz y gallina de Guinea, y por ende en todas las aves en general, es escasa (Oso *et al.*, 2014).

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a que de las necesidades nutricionales de los elementos minerales en los psitácidos del género *Agapornis* no se han estudiado adecuadamente, se desconoce si la mayoría de los alimentos comerciales llegan a satisfacer los requerimientos de estos. Debido a esto, la utilización de productos que promuevan una mejor salud intestinal, como son los mananooligosacáridos (MOS), puedan resultar de gran relevancia para mejorar su aprovechamiento y utilización de los elementos minerales. Por lo que la investigación científica es de vital importancia para la obtención de datos que abalen las primicias aquí planteadas.

3. HIPOTESIS

La complementación de MOS en la dieta de inseparables de Namibia mejorará la absorción intestinal de Ca, K, P, Mg, Zn, Cu, Na y Fe con respecto a inseparables de Namibia a los cuales no se les proporcionará los MOS en la dieta.

4. OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL.**

Analizar la concentración de elementos minerales Calcio (Ca^+), Fosforo (P), Potasio (K^{1+}), Magnesio (Mg^{2+}), Zinc (Zn^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Sodio (Na^{1+}) y Hierro (Fe^{3+}) en heces de inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) alimentados con una dieta comercial para pequeños psitácidos marca Mazuri® y además de dicha dieta complementada con mananoligosacáridos (MOS) durante un periodo de 60 días.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Analizar la concentración de elementos minerales Calcio (Ca^+), Zinc (Zn^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Hierro (Fe^{3+}) y Magnesio (Mg^{2+}) en alimento y heces mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA) para determinar la absorción aparente de dichos nutrientes en los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*).

Analizar la concentración de elementos minerales Sodio (Na^{1+}) y Potasio (K^{1+}) en alimento y heces mediante espectrofotometría por emisión de flama para determinar la absorción aparente de dichos nutrientes en los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*).

Analizar la concentración del elemento mineral Fosforo (P) en alimento y heces mediante espectrofotometría de absorción UV para determinar la absorción aparente de dicho nutriente en las aves en los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*).

5. MATERIAL Y METODOS.

5.1. LOCALIZACIÓN.

El presente trabajo se llevó a cabo del 1 de junio al 18 de agosto de 2014, en un domicilio particular ubicado en Sur 26 #55, colonia Agrícola Oriental, Delegación Iztacalco, México, Distrito Federal, en donde se acondiciono un espacio exclusivo para el estudio con una dimensión de 4x4 m. Tomando en cuenta las necesidades de la especie, se mantuvieron a los animales a temperatura ambiental máxima de 28° Celsius y temperatura mínima de 21° Celsius; con 12 horas luz al día y una humedad relativa entre el 70 y 80% correspondientes a las condiciones medioambientales propias de la zona durante los meses de junio, julio y agosto.

5.2. SUJETOS DE ESTUDIO.

Se utilizaron diez ejemplares de inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) machos, de un año de edad, sanos, en etapa de mantenimiento, divididos, de forma aleatoria, en dos grupos de cinco individuos (Figura 8). A un grupo se le proporciono el alimento comercial complementado con MOS y al otro, testigo, el alimento junto con un placebo (agua potable). El sexo de cada ejemplar se determinó a través de pruebas molecular de ADN, para lo cual se tomó una muestra sanguínea, a partir del corte de uña. La muestra sanguínea se colectó en un papel filtro. Las muestras se identificaron correctamente (nombre del propietario,

nombre científico, número de anillo, etc.) y enviados en condiciones adecuadas al Departamento de Genética y Bioestadística de la FMVZ-UNAM para su procesamiento.



Figura 8. Ejemplar macho de inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*).

5.3. ALOJAMIENTO.

Cada ejemplar permaneció alojado en una jaula individual de acero (dimensiones: 33 por 24 por 27 cm). Dentro de cada jaula se colocó un bebedero y un comedero de plástico (Figura 9). Los animales tuvieron un periodo de adaptación de 15 días a las condiciones medioambientales del lugar al que se alojaron. Durante la realización del experimento, se realizó el examen físico general cada siete días a cada uno de los individuos para vigilar el estado de salud.



Figura 9. Jaula de acero.

5.4. MANEJO.

Las aves fueron expuestas a la luz del sol dos horas diarias por la mañana, contando con un área de sombra.

Se le proporciono 20 gramos de alimento comercial para pequeños psitácidos marca Mazuri® diariamente a las 8 a.m.

Por las mañanas a las 8 a.m., se retiraban los comederos, se pesaba el alimento no consumido y las heces producidas en un lapso de 24 horas, cada una de manera individual, en una balanza de precisión (ADAM, modelo PGL2002, capacidad 2,000 g +/- 0.01 g) y se volvía a proporcionar 20 gramos de alimento. De igual manera se cambiaba y lavaba el bebedero y se proporcionó agua potable para consumo humano (Electropura ®) diariamente.

Para la administración de los mananooligosacáridos (MOS), se empleó el producto BIO-MOS® a dosis de 1g/kg de alimento empleado para pollo de engorda, codorniz y gallina de guinea (Morales-López, 2007; Bonos et al., 2011; Oso et al., 2014). Equivaliendo a una dosis de 10 mg por cada 10 g de alimento consumido, el cual se pesó en una balanza analítica (ADAM, modelo PW124, capacidad 120 g +/- 0.0001 g), dicha muestra se colocó en una jeringa de 3 mL junto a un mL de agua potable para consumo humano (Electropura ®). Se manipulo a cada ejemplar del grupo experimental utilizando una toalla limpia de 10x10 cm (individual), tomándolos por la espalda y envolviéndolos con la toalla de manera que esta cubriera la espalda y las alas dejando descubierta la cabeza. Para esto se retiró previamente cualquier objeto de la jaula para evitar lesiones en el ejemplar. La solución se administró abriéndoles el pico a las aves por medio de un clip grande como si fuera un abrepico. (Ritchie *et al.*, 1994; Harrison y Lightfoot, 2006). Colocando al ejemplar en posición vertical, para evitar una broncoaspiración, se administró la solución procurando desperdiciar lo menos posible. Una vez que el ejemplar consumió la solución de MOS, se regresó a su respectiva jaula.

Con las aves del grupo control se realizó el mismo manejo con la diferencia de que se proporcionó agua potable como placebo en lugar de la solución de MOS.

5.5. ALIMENTO Y ALIMENTACIÓN.

Se utilizó un alimento comercial para pequeños psitácidos marca Mazuri® (Cuadro 2) con un análisis garantizado de 14.5% de proteína cruda, 5% de grasa cruda, 5% de fibra cruda, 9% de cenizas. La alimentación fue regulada con base a los requerimientos de energía en mantenimiento 3,200 kcal/kg (Ritchie *et al.*, 1994; Harper y Skinner, 1998). Se pesó a cada ejemplar y con base en el peso se calculó el aporte energético en mantenimiento utilizando el dato anterior. También se midió el consumo voluntario por animal, pesando diariamente el alimento que se ofreció por la mañana y 24 horas después se pesó el sobrante y por diferencia de pesos se obtuvo el consumo voluntario. Se proporcionó alimento extra teniendo

en cuenta el desperdicio de alimento. Se realizó un muestreo por cuarteo para la obtención de la muestra de alimento que se analizó en el laboratorio bajo las mismas pruebas que las heces para obtener la concentración de cada elemento mineral.

Para la complementación con MOS se utilizó un producto comercial (Bio-Mos) de la empresa Alltech (mananoligosacárido fosforilado derivado de la pared celular de *Sacharomyces cerevisaie*, bolsa de 25 kg), utilizando la dosis indicada de 1 g/kg de alimento empleado para pollo de engorda, codorniz y gallina de guinea (Morales-López, 2007; Bonos *et al.*, 2011; Oso *et al.*, 2014), equivaliendo a una dosis de 10 mg por cada 10 gramos de alimento consumido, en un mL de agua potable y se proporcionó de forma oral por medio de una jeringa abriéndoles el pico y colocando el prebiótico dentro de este y comprobando la deglución del mismo (en el grupo control solo se proporcionó agua potable de forma oral).

Cuadro 2. Concentración de elementos minerales proporcionada en la etiqueta del alimento para pequeños psitácidos en mantenimiento marca Mazuri ®. **

Elemento Mineral	Proporción
Ca %	0.9
P total %	0.71
P disponible %	0.45
K %	0.52
Mg %	0.16
Na %	0.12
Cl %	0.26
Fe ppm	110

****La etiqueta señala que son contenidos aproximados sin hacer énfasis de ser mínimos o máximos.**

5.6. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.

Se recolectó y peso el total de heces producidas diariamente tomándolas de la charola de la jaula. Las cuales fueron almacenadas en una bolsa de polietileno, en conjunto con las heces producidas por cada 7 días identificándolas por ave. Todas las muestras fueron puestas en congelación hasta su análisis en laboratorio.

5.7. LABORATORIO.

El análisis de muestras se realizó a cabo en el Laboratorio de Bromatología y el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

5.8. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.

Una vez identificadas y almacenadas cada muestra, se realizó el procesamiento de las mismas. Las muestras de cada semana se colocaron en una caja de Petri, a la cual se identificó con el ave y la semana a la cual correspondían. Posteriormente, las muestras se colocaron en un horno de desecación (Fabricantes de equipos de Laboratorio e industrias Fe 291) a una temperatura de 70° Celsius durante 18 horas para deshidratar la muestra.

Una vez concluido el secado de las muestras, se procedió a pesar cada una de estas en una balanza analítica (ADAM, modelo PW124, capacidad 120 g +/- 0.0001 g) para determinar la cantidad de materia seca de las muestras mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad: } ((\text{muestra inicial} - \text{muestra final}) / (\text{muestra inicial})) \times 100$$

$$\% \text{ Materia seca} = 100 - \text{humedad}$$

Se pesó de cada muestra cerca de medio gramo, con precisión en miligramos, dentro de un tubo de ensaye de diez mL, previamente tarado, dentro de una balanza analítica (ADAM, modelo PW124, capacidad 120 g +/- 0.0001 g). A continuación fueron expuestas a una digestión acida 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 un mL de agua desmineralizada (H_2O) y tres mL de ácido nítrico (HNO_3) al 70% a cada una de las muestras en baño maría, con la ayuda de un termo platina a una temperatura de 170° Celsius, por un tiempo de tres a cuatro horas o hasta que las muestras estuviesen completamente digeridas (AOAC 1990, Pelkin Elmer, 1994) . Después de iniciada la digestión, esta se aceleró con la administración diez gotas de peróxido de hidrogeno (H_2O_2), un mL de ácido nítrico (HNO_3) o un mL de ácido perclórico ($HClO_4$) continuandose por cuatro horas más. Una vez concluida, se realizó el filtrado de las muestras utilizando papel filtro del # 1 y aforándose a un volumen de 15 mL con agua desmineralizada, para ser almacenadas e identificadas en frascos de polietileno de 20 mL y colocadas en refrigeración a una temperatura de cuatro grados Celcius.

Para la lectura en el espectrofotometro de absorción atómica de los elementos macrominerales se realizó una dilución de 1:100 para que los valores obtenidos estuvieran dentro de rango. Para la realización de las lecturas en las muestras se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) por el método de flama para Ca^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} y Mg^{2+} , en el caso del P por espectrofotometría de absorción UV visible (EAUV, AOAC 1990) y para Na^{1+} y K^{1+} por espectrofotometría por emisión atómica (EEA); llevándose a cabo el proceso de acuerdo con las especificaciones del manual del fabricante del equipo Perkin-Elmer Analyst modelo 3110 (Norwalk, EUA) en el laboratorio de Toxicología de la FMVZ-UNAM (AOAC, 1990; Pelkin Elmer, 1994).

Para el cálculo de la concentración de elementos minerales en heces y alimento se realizó lo siguiente:

- Se obtuvo la absorbancia de los estándares de cada elemento leído, así como de cada muestra de heces diferenciando entre ave, tratamiento y periodo de tiempo (AOAC, 1990, Pelkin Elmer, 1994).
- Se obtuvo el coeficiente de regresión, la intersección de eje y la pendiente entre las partes por millón (ppm) y la absorbancia de los estándares (Pelkin Elmer, 1994). utilizando el programa computacional Microsoft Excel®.

- Se obtuvo la concentración inicial de elementos minerales (y) de cada una de las muestras a través de la siguiente fórmula: intersección del eje + la pendiente x la absorbancia (a+bx) (Pelkin Elmer, 1994).
- Se obtuvo la concentración en microgramos de cada mineral por gramo de muestra con la siguiente fórmula:
$$[(\text{Concentración inicial} \times \text{aforo al que se llevó la muestra}) / \text{peso de la muestra}]$$
- Para el caso del cálculo de la concentración en microgramos del P se realizó la siguiente fórmula:
$$[(\text{Concentración inicial} \times \text{aforo}) / \text{peso de la muestra}] / \text{Volumen de la muestra.}$$
- Se obtuvo el cálculo en porcentaje del mineral en cada una de las muestras con la siguiente fórmula:
$$[(\text{Concentración inicial} \times \text{aforo al que se llevó la muestra}) / \text{peso de la muestra}] \times 0.0001.$$
- Se obtuvieron los miligramos contenidos de cada mineral por gramo de muestra con la siguiente fórmula:
$$[(\text{Concentración inicial} \times \text{aforo al que se llevó la muestra}) / \text{peso de la muestra}] / 1000.$$
- Para el cálculo de la absorción aparente (%) de cada elemento mineral se utilizó la siguiente fórmula:
$$[(\text{Concentración en alimento} - \text{excreción fecal}) / \text{concentración en alimento}] \times 100.$$

5.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se realizó un diseño de un factor con mediciones repetidas en el tiempo (MANOVA), se obtendrán intervalos de confianza para una media al 95% cuando se encuentre diferencias significativas en tratamiento, tiempo o interacción tiempo*tratamiento, utilizando el programa estadístico JMP versión 6 y el paquete estadístico SPSS versión 22 (Salkind, 1998; Daniel, 2007).

6. RESULTADOS

6.1. CONTENIDO DE ELEMENTOS MINERALES EN EL ALIMENTO.

El contenido de elementos minerales tanto del análisis químico garantizado del alimento Mazuri como el obtenido en laboratorio se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido mineral del alimento Mazuri para pequeños psitácidos®.

ELEMENTO MINERAL	Mazuri, Pequeños psitácidos ®*	ANALISIS DE LABORATORIO**
Ca %	0.9	0.36
P %	0.71	0.35
Mg %	0.16	0.26
K %	0.52	0.43
Na %	0.12	0.57
Fe ppm	110	173
Cu ppm	12	28
Zn ppm	100	109

*Información proporcionada por la etiqueta (Base húmeda).
** Datos obtenidos mediante EAA, EAUV, EEA (Base húmeda).

6.2. CONSUMO DE ALIMENTO.

La cantidad promedio del consumo de alimento para el tiempo, los tratamientos y la interacción Tiempo*Tratamiento no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). El promedio de consumo por periodo quincenal se puede observar en la figura 10.

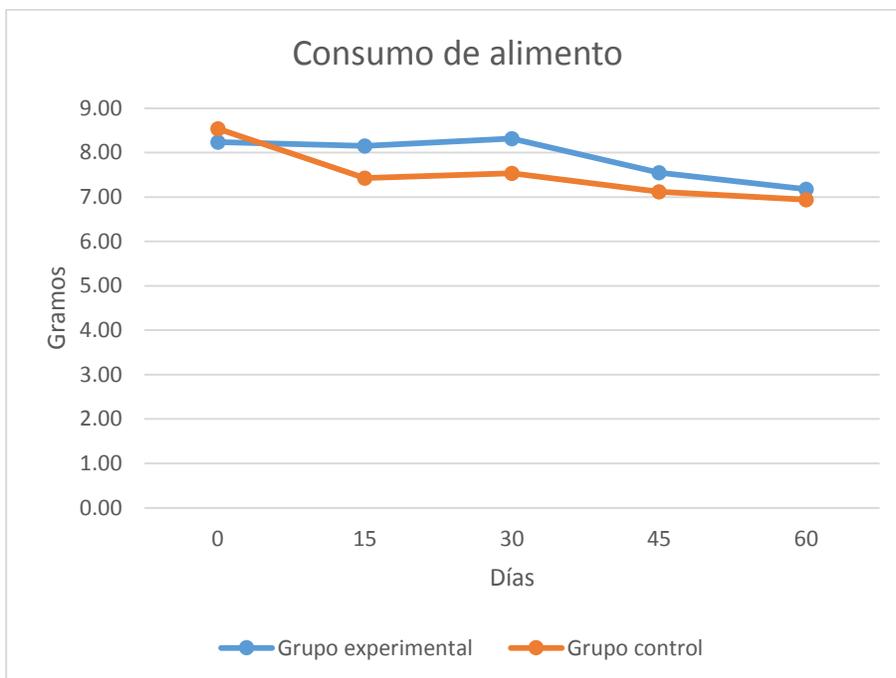


Figura 10. Consumo promedio de alimento durante el periodo experimental de todos los animales del estudio.

6.3. PRODUCCIÓN DE HECES.

La cantidad promedio de la producción de heces para el tiempo, los tratamientos y la interacción Tiempo*Tratamiento no se encontró diferencia estadística ($P > 0.05$). El promedio de producción de heces se puede ver en la figura 11.

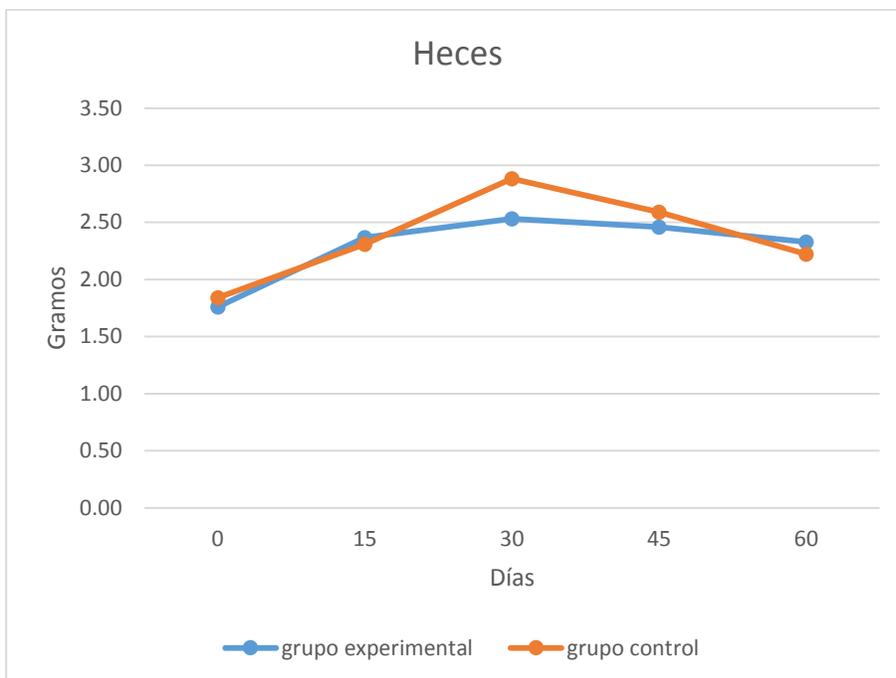


Figura 11. Producción promedio de heces durante el periodo experimental de todos los animales del estudio.

6.4. GANANCIA DE PESO.

La cantidad promedio de ganancia de peso para el tiempo, los tratamientos y la interacción Tiempo*Tratamiento no se encontró diferencia estadística ($P > 0.05$). La ganancia de peso se puede ver en la figura 12.

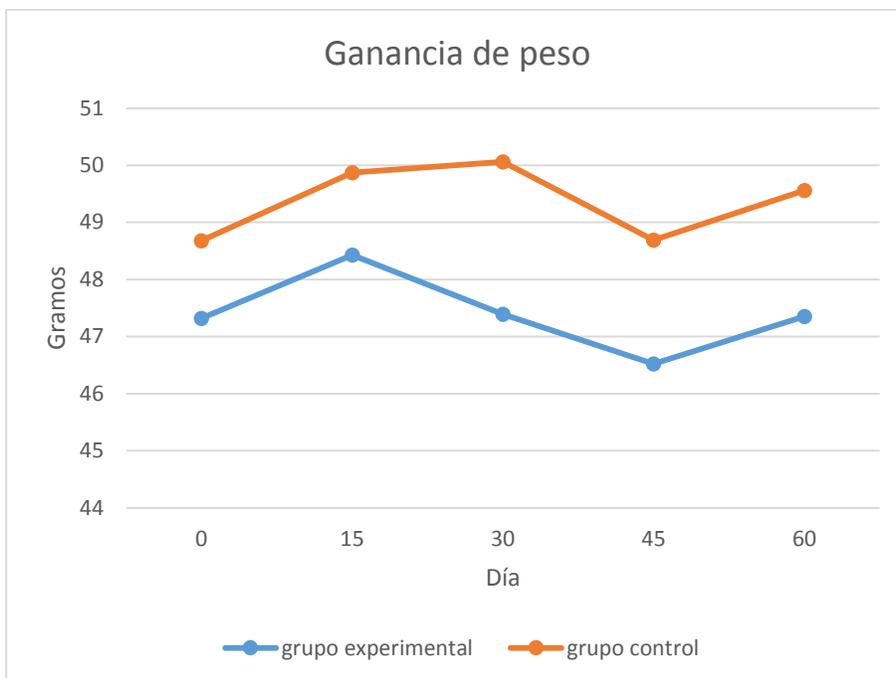


Figura 12. Ganancia de peso durante el periodo experimental de todos los animales del estudio.

6.5. MACROMINERALES

6.5.1. CALCIO.

La cantidad promedio de calcio (Ca^{2+}) para la interacción tiempo*tratamiento y entre tratamientos no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). Sin embargo para el promedio de calcio a través del tiempo si mostro diferencias ($P=0.0042$). Las medias y la desviación estándar para cada tiempo se muestran en el cuadro 4 y en la figura 13. En el mismo cuadro se muestra que hay diferencia entre las medias del tiempo 2.

Cuadro 4. Contenido promedio de la absorción aparente de calcio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

Tiempo (días)	Media±Desv. Est.(n)	Intervalo de Confianza al 95%
0	83.77±9.32 (n=10)	(77.1,90.44)
15	78.69±6.76 (n=10)	(70.93,85.45)
30	63.39±7.79 (n=10)	(55.57,71.18)
45	59.19±12.00 (n=10)	(47.19,71.19)
60	60.84±8.69 (n=10)	(52.15,69.53)
	Tiempo	Significancia
	0-15	0.1216
	15-30	<0.0001**
	30-45	0.1660
	45-60	0.5990
**Significativos (P<0.05)		

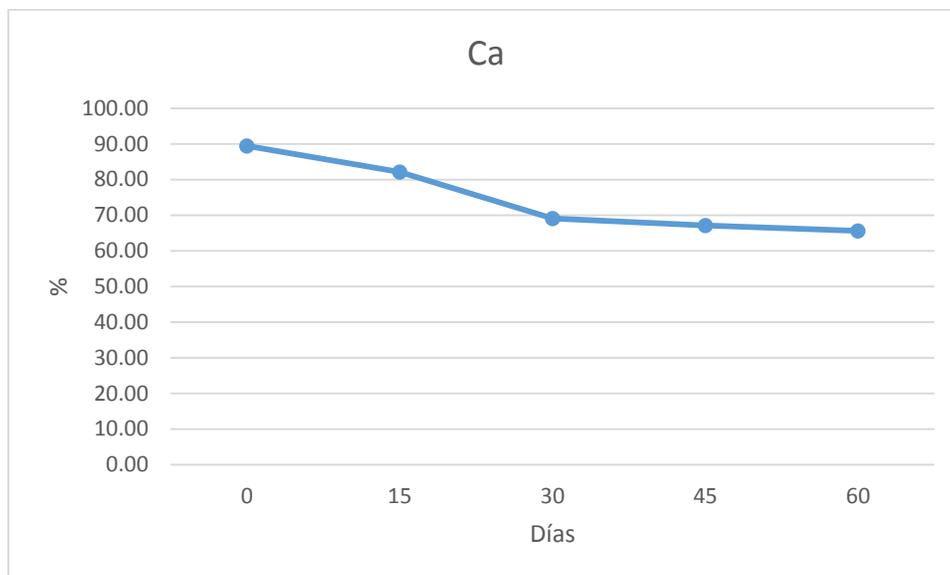


Figura 13. Porcentaje promedio de la absorción aparente de calcio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

6.5.2. FOSFORO.

La cantidad promedio de fosforo para el tiempo, los tratamientos y la interacción Tiempo*Tratamiento no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). El promedio de la absorción de fosforo se puede observar en la figura 14.

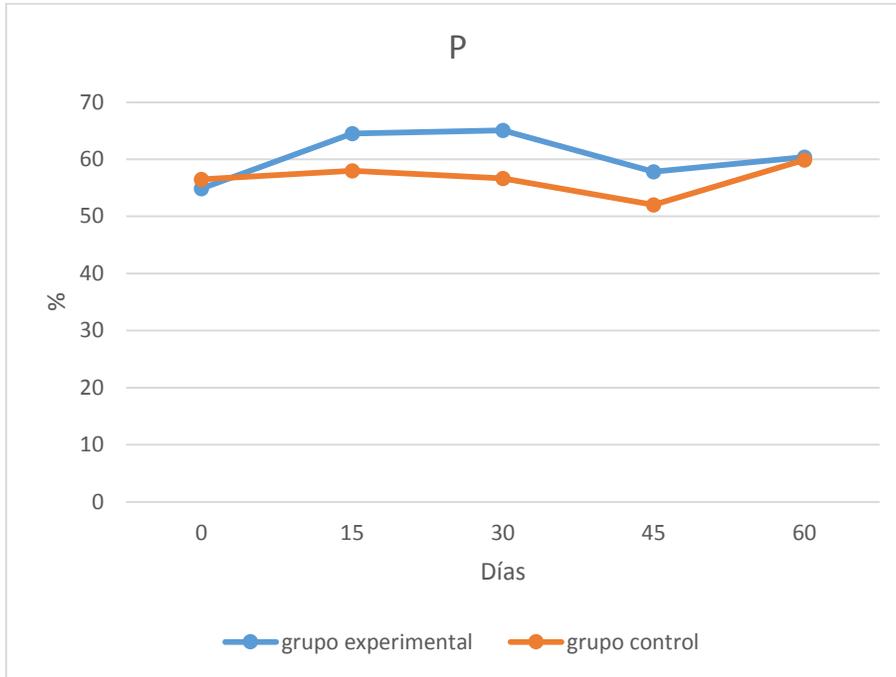


Figura 14. Porcentaje promedio de la absorción aparente de fosforo en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) durante el estudio.

6.5.3. MAGNESIO.

La cantidad promedio de magnesio (Mg^{2+}) para la interacción tiempo*tratamiento y entre tratamientos no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). Sin embargo para el promedio de magnesio a través del tiempo si mostro diferencias ($P=0.0020$). Las medias y la desviación estándar para cada tiempo se muestran en el cuadro 5 y en la figura 15. En el mismo cuadro se muestra que hay diferencia entre las medias del tiempo 1 y 2.

Cuadro 5. Contenido promedio de la absorción aparente de magnesio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

Tiempo (días)	Media±Desv. Est.(n)	Intervalo de Confianza al 95%
0	89.40±5.66 (n=10)	(85.35,93.45)
15	82.15±4.57 (n=10)	(78.88,85.42)
30	69.07±7.26 (n=10)	(63.88,74.26)
45	67.14±8.24 (n=10)	(61.25,73.03)
60	65.60±6.92 (n=10)	(66.65,70.55)

Tiempo	Significancia
0-15	<0.0001**
15-30	<0.0001**
30-45	0.2639
45-60	0.5032

**Significativos (P<0.05)

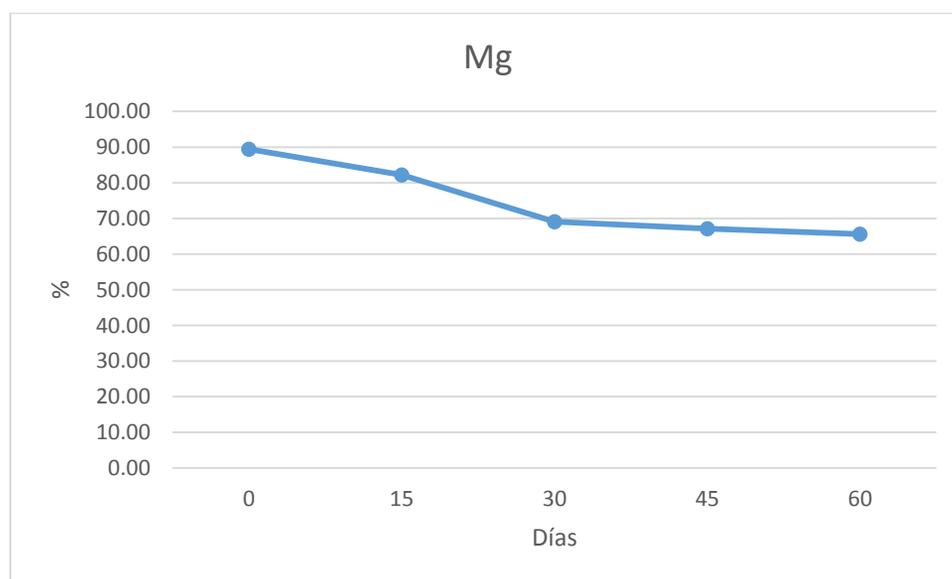


Figura 15. Porcentaje promedio de la absorción aparente de magnesio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

6.5.4. POTASIO.

La cantidad promedio de potasio (K^{1+}) para la interacción tiempo*tratamiento y entre tratamientos no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). Sin embargo para el promedio de potasio a través del tiempo si mostro diferencias ($P=0.0124$). Las medias y la desviación estándar para cada tiempo se muestran en el cuadro 6 y en la figura 16. En el mismo cuadro se muestra que hay diferencia entre las medias del tiempo 4.

Cuadro 6. Contenido promedio de la absorción aparente de potasio en inseparable de Namibia (<i>Agapornis roseicollis</i>) a través del tiempo.		
Tiempo (días)	Media±Desv. Est.(n)	Intervalo de Confianza al 95%
0	81.89±8.33 (n=10)	(75.93,87.85)
15	70.72±9.58 (n=10)	(63.87,77.57)
30	65.88±9.59 (n=10)	(59.02,72.74)
45	63.75±12.90 (n=10)	(54.52,72.98)
60	34.43±15.29 (n=10)	(23.49,45.37)
	Tiempo	Significancia
	0-15	0.0340**
	15-30	0.1402
	30-45	0.6333
	45-60	0.0004**

**Significativos ($P<0.05$)

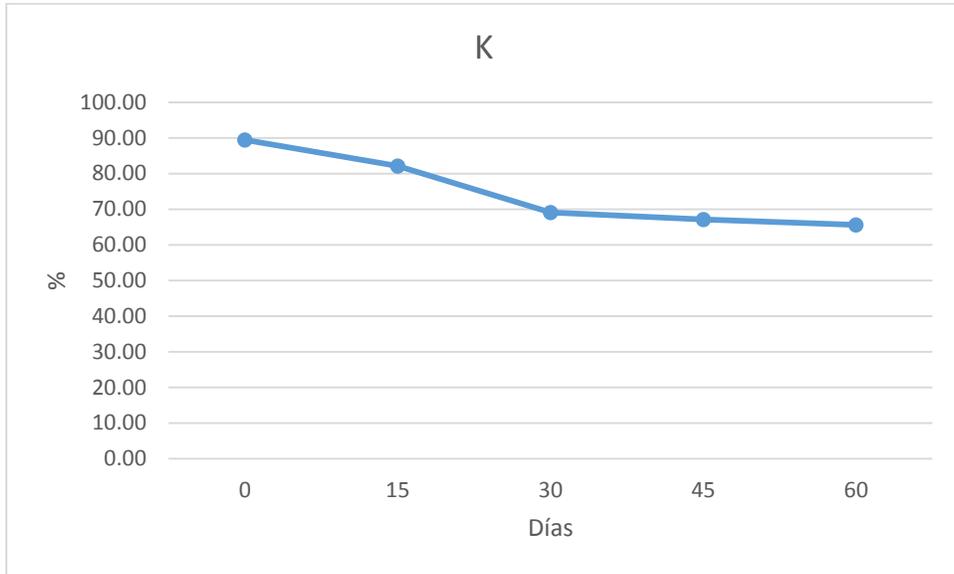


Figura 16. Porcentaje promedio de la absorción aparente de potasio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

6.5.5. SODIO

La cantidad promedio de sodio (Na) para la interacción tiempo*tratamiento y entre tratamientos no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). Sin embargo para el promedio de sodio a través del tiempo si mostro diferencias ($P=0.0013$). Las medias y la desviación estándar para cada tiempo se muestran en el cuadro 7 y en la figura 17. En el mismo cuadro se muestra que hay diferencia entre las medias del tiempo 2 y 4.

Cuadro 7. Contenido promedio de la absorción aparente de sodio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

Tiempo (días)	Media±Desv. Est.(n)	Intervalo de Confianza al 95%
0	91.10±12.00 (n=10)	(82.52,99.68)
15	87.82±3.70 (n=10)	(85.17,90.50)
30	77.25±6.32 (n=10)	(72.79,81.71)
45	74.92±6.15 (n=10)	(70.52,79.32)
60	58.63±7.93 (n=10)	(52.63,64.30)

Tiempo	Significancia
0-15	0.4264
15-30	<0.0001**
30-45	0.0958
45-60	<0.0002**

**Significativos (P<0.05)

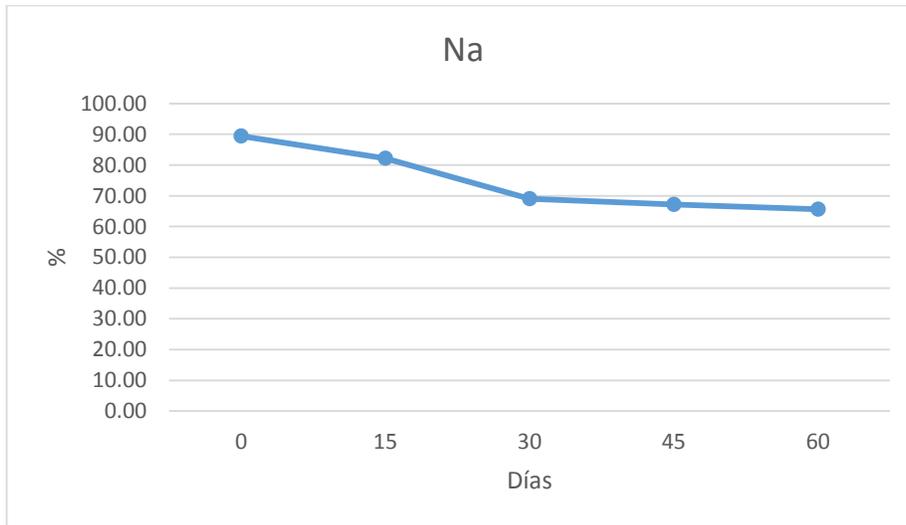


Figura 17. Porcentaje promedio de la absorción aparente de sodio en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

6.6. MICROMINERALES.

6.6.1. HIERRO.

La cantidad promedio de hierro (Fe^{3+}) para la interacción tiempo*tratamiento y entre tratamientos no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). Sin embargo para el promedio de hierro a través del tiempo si mostro diferencias ($P=0.0176$). Las medias y la desviación estándar para cada tiempo se muestran en el cuadro 8 y en la figura 18. En el mismo cuadro se muestra que hay diferencia entre las medias del tiempo 3 y 4.

Cuadro 8. Contenido promedio de la absorción aparente de hierro en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

Tiempo (días)	Media±Desv. Est.(n)	Intervalo de Confianza al 95%
0	82.62±5.69 (n=10)	(78.55,86.69)
15	77.40±6.04 (n=10)	(72.88,82.04)
30	81.73±6.03 (n=10)	(77.42,86.04)
45	84.78±3.62 (n=10)	(82.19,87.37)
60	75.07±5.30 (n=10)	(69.77,78.86)
	Tiempo	Significancia
	0-15	0.0543
	15-30	0.1118
	30-45	0.0462**
	45-60	0.0004**
**Significativos ($P<0.05$)		

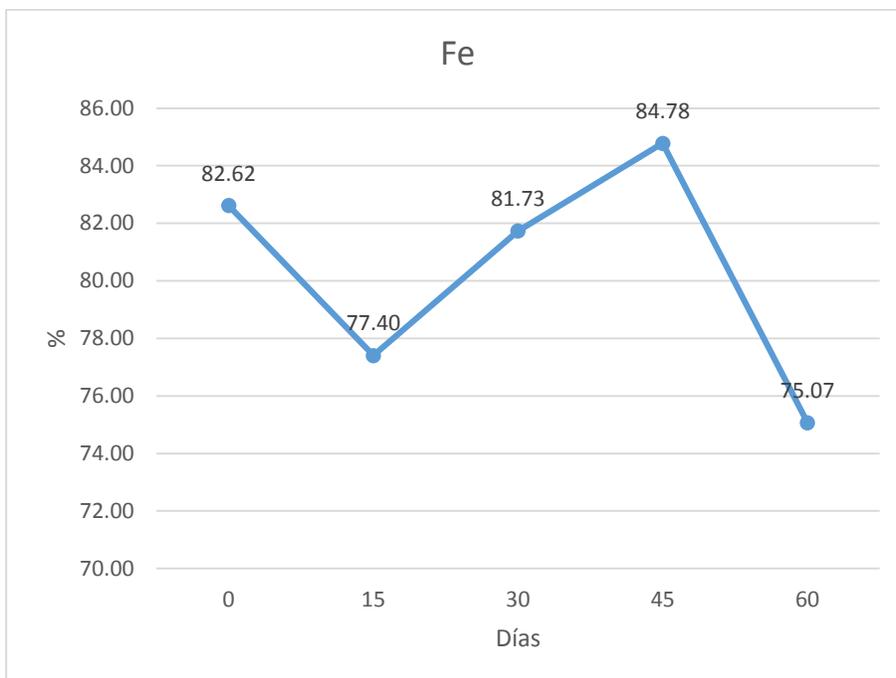


Figura 18. Porcentaje promedio de la absorción aparente de hierro en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) a través del tiempo.

6.6.2. COBRE.

La cantidad promedio de cobre (Cu^{2+}) para el tiempo, los tratamientos y la interacción Tiempo*Tratamiento no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). El promedio de la absorción de cobre se puede observar en la figura 19.

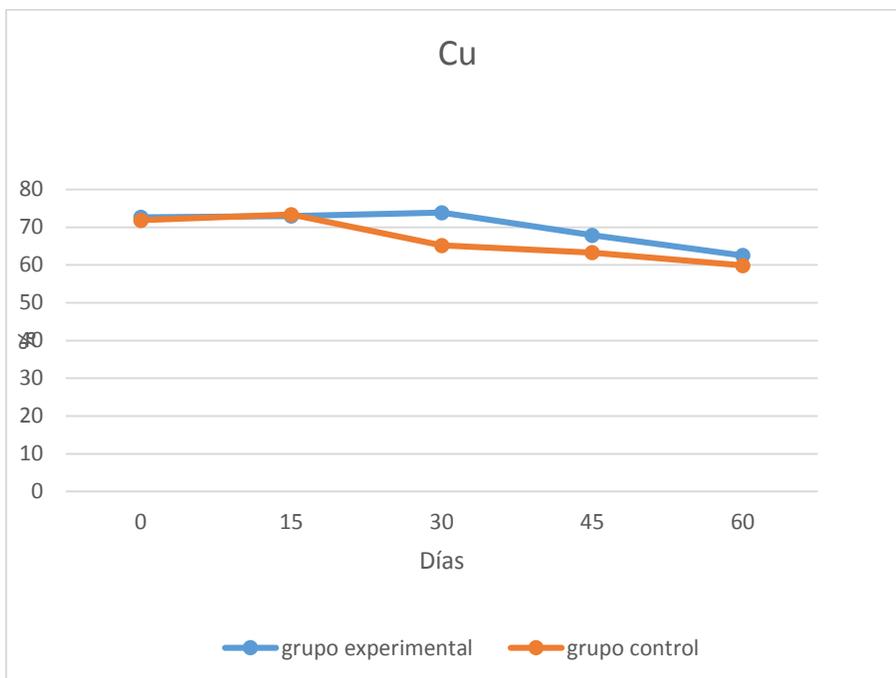


Figura 19. Contenido promedio de la absorción aparente de cobre en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) durante el estudio.

6.6.3. ZINC.

La cantidad promedio de zinc (Zn^{2+}) para el tiempo, los tratamientos y la interacción Tiempo*Tratamiento no se encontró diferencia estadística ($P>0.05$). El promedio de la absorción de zinc se puede observar en la figura 20.

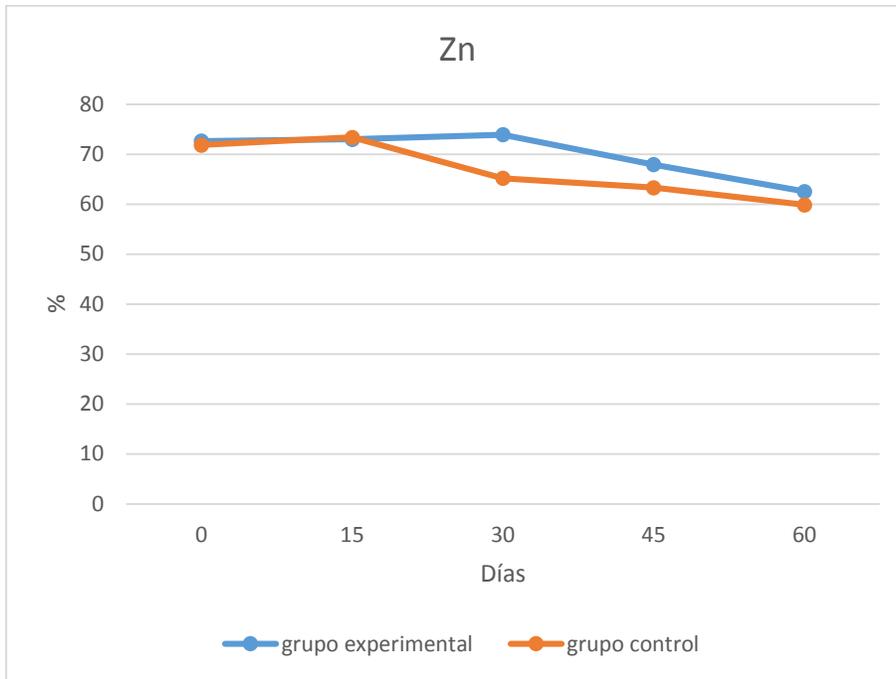


Figura 20. Contenido promedio de la absorción aparente de zinc en inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) durante el estudio.

7. DISCUSIÓN.

7.1. ALIMENTO.

Los resultados obtenidos por EEA, EAUV y EAA en el presente trabajo se encontraron niveles superiores a los reportados en la etiqueta del producto en Mg, Na, Fe, Cu y Zn; y niveles inferiores a los reportados en Ca, P y K. Sin embargo, a pesar de que la etiqueta señala que los niveles de elementos minerales son aproximados, estos difieren en gran medida a lo señalado en la etiqueta, siendo en ocasiones llegando a ser un tercio de la cantidad señalada.

De acuerdo con Tully et al. (2009), Ritchie et al. (1994) y Orosz (2014) los requerimientos aproximados referidos en la etiqueta del producto comercial en Ca, P, K, Fe, Zn y Cu exceden las necesidades nutricionales que necesitan las aves de compañía; mientras que los resultados obtenidos por EAA, EAUV y EEA en el presente trabajo, muestra que el alimento excede los requerimientos señalados (P, K, Mg, Na, Fe, Cu y Zn) por los autores sin llegar a los niveles tóxicos, mientras que los niveles de Ca encontrados están sobre los mínimos requeridos. Cabe

destacar que el nivel de P llega a ser el doble del requerimiento mínimo, pero este no llega a provocar algún problema de salud debido a que se mantiene los niveles de Ca:P dentro de lo recomendado por los autores (1:1 hasta 2:1). Durante la realización del estudio las aves no presentaron signos clínicos de enfermedad nutricional por los excedentes en los requerimientos señalados en la literatura, debido a que las enfermedades nutricionales son de curso crónico.

De acuerdo con Ritchie *et al.*, (1994) una dosis de 9 a 55 veces mayor al requerimiento de Na disminuye el apetito, provoca heces flojas, polidipsia, poliuria, nerviosismo, edema, deshidratación y muerte. Además, los autores señalan que los excesos de este mineral pueden ser eficientemente excretados por los riñones si el ave aumenta su consumo de agua. Teniendo en cuenta esto y lo observado en la espectrofotometría en el presente estudio, a pesar del exceso aparente de Na en la dieta, se necesitaría que la concentración del mineral fuese de 5.13 a 31.35 % de inclusión en la dieta, lo cual no paso con la cantidad del Na presente fue de 3.8 % de inclusión, de igual manera se debe hacer énfasis que el consumo de agua por los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) fue *ad libitum* con cambios de agua purificada para consumo humano de manera diaria, por lo que si el ave requería una mayor ingesta de esta, no se afectaría por la cantidad y calidad disponible.

Un aumento de Fe en la dieta puede provocar una disminución del rendimiento, en la absorción proteica, de vitaminas y otros minerales traza de acuerdo a lo mencionado por Tully *et al.* (2009), Harcourt-Brown y Chitty (2005), Ritchie *et al.* (1994), Girling (2013) y Bauck (1995). En el presente estudio, no se observaron signos de deficiencia de alguno de los nutrientes que se pueden ver afectados por un aumento de Fe en la dieta, ya que el cuerpo regula la absorción de este mineral, siendo pobre en el intestino debido a que el cuerpo no tiene una vía normal para la excreción de los excesos. Cabe mencionar que la realización de una química sanguínea durante el muestreo puede ser de ayuda para detección de signos de enfermedad nutricional.

Se menciona por Henderson y Winterfield (1975), Shivanandappa *et al.* (1983), Wideman *et al.* (1996) y Osofsky *et al.* (2001) que la intoxicación de Cu es rara, pero que en casos experimentales a dosis de 400 ppm se ha visto que provoca proventriculitis, necrosis y atrofia testicular en pollos de engorda. En el presente estudio no se presentaron signos por

intoxicación de Cu en las aves, ya que a pesar de que las cantidades en la dieta de dicho mineral eran 3.5 veces superiores al requerimiento para aves de compañía no alcanzaba a llegar a las 400 ppm. El hecho de que dicha intoxicación solo ha sido reportada en pollos de engorda de manera experimental, no quiere decir que esta no ocurra en las aves de compañía, ya que los requerimientos mínimos y máximos para cada especie aviar no han sido determinadas para la mayoría de las especies, teniendo en cuenta de igual manera la susceptibilidad de cada especie para este tipo de intoxicación.

Una de las intoxicaciones mejor estudiadas en la literatura es la intoxicación por Zn y en el presente estudio a pesar de encontrar una dosis alta de Zn en el alimento, esta solo fue 2.09 veces más alta de los niveles recomendados por la literatura para aves de compañía en general. Dado que dicha intoxicación suele presentarse por la utilización de comederos y bebederos de acero galvanizado, mientras que en este estudio se utilizaron comederos y bebederos de plástico, por lo que una posible intoxicación por este elemento es poco probable.

Es importante hacer énfasis en la falta de estudios sobre las necesidades nutricionales de las diferentes especies aviares, ya que los requerimientos que se emplean son extrapolados de la avicultura industrial, por lo que generación de este tipo de información puede llegar a evitar problemas referentes a la nutrición en las especies, no solo de aves de compañía, sino también de ornato y aves silvestres en colecciones privadas dada la gran variabilidad de alimentos que consumen en vida libre.

Por esto último, no se sabe realmente si las concentraciones reportadas de elementos minerales en el alimento en el presente estudio correspondan a las necesidades metabólicas para machos adultos en mantenimiento de inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) debido a la inexistencia de los mismos.

7.2. CONSUMO DE ALIMENTO.

No se encontró un aumento en el consumo de alimento dentro del grupo experimental como en el control durante la suplementación de mananoligosacáridos (MOS) en la dieta. Esto concuerda con lo observado por Morales-López (2007) y Bonos et al. (2011) empleando

MOS durante 28 y 42 días en la dieta de pollo de engorda y codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) adultos respectivamente ($p>0.05$). Sin embargo Oguz y Parlat (2004) si encontraron una disminución en el consumo de alimento al suplementar MOS en codornices japonesas (*Coturnix japonica*) durante 45 días ($p<0.05$). Cabe señalar que en dicho estudio se administraron aflatoxinas en la dieta, por lo que las aves fueron expuestas a una enfermedad durante el experimento (Oguz y Parlat, 2004). La nula diferencia estadística encontrada en el presente trabajo es resultado de proporcionar una dieta equilibrada de mantenimiento para pequeños psitácidos en cantidad y manera constante (20 g/d) durante los 60 días del experimento. Cabe señalar que las aves se alimentaban con una mezcla de semillas comercial (alpiste compuesto) antes del periodo de adaptación con la diera comercial, por lo que el consumo fue disminuyendo paulatinamente desde el inicio al proporcionarles un alimento con mayor concentración de energía y nutrientes en comparación a lo consumido con anterioridad, por lo que con una menor cantidad de alimento estos cubrían sus necesidades básicas, teniendo un promedio de consumo de 7.7 g durante todo el estudio.

7.3. GANANCIA DE PESO.

No se encontró una relación entre la suplementación de MOS en la dieta y la ganancia de peso dentro de los dos grupos. Esto concuerda con lo observado por Zdunczyk *et al.*, (2005), Baurhoo *et al.*, (2007), Morales-López (2007) y Bonos *et al.*, (2011) empleando MOS durante 16 semanas, 42, 28 y 42 días en la dieta de pavos machos, pollo de engorda y codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) adultos respectivamente y pollos de 5 días de edad (Bourhoo 2007) ($p>0.05$). Sin embargo Oso *et al.*, (2014) empleando MOS durante 84 días en gallinas de guinea machos (*Numidia meleagris*) adultos donde si hubo un aumento en la ganancia diaria de peso. De igual manera Parks *et al.*, (2001), Attia *et al.*, (2014) y Sohail *et al.*, (2012) si observaron un aumento en la ganancia de peso ($p<0.05$) en la utilización del prebiótico en pollo de engorda (hembras y machos) y pavos machos de un día de edad durante 42, 35 días y 20 semanas respectivamente. La razón por la cual en el presente estudio no se encontró un aumento en la ganancia de peso significativa fue resultado de la edad de las aves (adultos) y al confinamiento de los mismos por lo que sus necesidades de mantenimiento eran menores comparadas con las necesidades de los animales en los estudios donde los autores reportan

un aumento significativo en la ganancia de peso, aunado a la diferencia anatómica de que estas últimas aves (pollos, gallina de guinea) ya que cuentan con cámaras fermentativas por lo que los MOS y la materia vegetal tuvieron un sitio idóneo para poder ser aprovechados.

Con lo reportado en la literatura se puede concluir que la suplementación de MOS en las dietas para aves puede tener efectos positivos en la ganancia de peso en animales jóvenes o con deficiencias nutricionales, no así en animales adultos y con una dieta balanceada.

7.4. PRODUCCIÓN DE HECES.

En el presente estudio no se vieron efectos de la suplementación de MOS en la dieta de aves de compañía con respecto a la cantidad de heces producidas.

En diferentes estudios realizados por Spring et al. (1996), Schoeni y Wong (1994) y Fairchild et al., (1999) observaron una disminución en la contaminación fecal en pavos y pollo de engorda expuestos a *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* y *Campylobacter yeyuni* respectivamente. Esto debido a la función de los MOS como sustrato a bacterias benéficas, promoviendo la producción de ácidos grasos esenciales por parte de estas para acidificar el pH intestinal y disminuir la carga bacteriana patógena (Roberfroid, 2000; Scholz-Ahrens et al., 2001; Schoolz-Ahrens y Schrezenmeir, 2002; de Oliveira et al., 2009; Bonos et al., 2011). En caso de la utilización de otros oligosacáridos no digeribles (NOD) de origen vegetal, se puede tener un aumento en el tránsito intestinal por efecto de la fibra dietética en estos prebióticos por lo que aumentan la cantidad de heces. Dado que en ambos grupos experimentales en el presente trabajo no se encontró diferencia significativa entre tratamientos con respecto a la producción de heces se puede concluir que los MOS no tienen efecto laxante ni en la producción de estas en animales sanos.

7.5. ELEMENTOS MINERALES.

7.5.1. MACROMINERALES.

En el presente estudio no se encontraron efectos de la suplementación de MOS en la dieta de aves de compañía sobre la absorción aparente de elementos minerales, esto concuerda con lo observado por Ellegard *et al.*, (1997) y Zentek *et al.*, (2002), quienes tampoco observaron diferencia ($p > 0.05$) en la absorción aparente y excreción de elementos minerales en perros Beagle adultos y pacientes humanos a quienes se les realizó ileostomía por enteritis ulcerativa respectivamente. Sin embargo, de Oliveira *et al.* (2009) si observaron un aumento en la absorción y utilización del Ca dietas suplementadas con MOS y Ca durante 40 días en codornices japonesas con deficiencias de Ca. La razón por la cual el presente estudio difiere del estudio de Oliviera, es la presencia de sacos ciegos en la especie utilizado por ellos (codorniz japonesa) y la suplementación adicional de Ca a la dieta, ya que dentro de los efectos de los MOS a nivel entérico se tiene un aumento en la producción de ácidos grasos de cadena corta que disminuye el pH intestinal mejorando la absorción de Ca.

Con respecto al efecto de otros OND en la absorción de elementos minerales, Ohta *et al.*, (1995-a), Ohta *et al.*, (1995-b), Delzenne *et al.*, (1995), Chonan *et al.*, (1995) y Feitas dos Santos *et al.*, (2011) observaron un aumento en la absorción y/o disminución de Ca y Mg ($p < 0.05$) empleando fructooligosacáridos (FOS), galactooligosacáridos (GOS) e inulina en la dieta de ratas y humanos. La diferencia entre el empleo de otros OND y MOS y el efecto aparente en la absorción de macrominerales en los estudios citados y en el presente, radica en la utilización de animales jóvenes, en crecimiento, en hembras jóvenes ovariectomizadas, en deficientes de Mg, Fe y Ca, animales anémicos, animales gastrectomizados, en comparación de los ejemplares adultos y sanos de inseparable de Namibia (*Agapornis roseicollis*) quienes aparentemente no sufrían de ninguna deficiencia mineral. Como ya se mencionó, la acidificación del pH intestinal aumenta la concentración de minerales ionizados lo que facilita su absorción por difusión pasiva.

De acuerdo con Tully *et al.*, (2009), Ritchie *et al.*, (1994) y McDonald (2011) el Ca, P, Mg y K se absorben en mayor cantidad en el duodeno mientras que una cantidad menor se absorbe en el íleon por difusión pasiva, siendo este el principal sitio de absorción para el Na.

Teniendo en cuenta esto, el no encontrar absorción aparente en el presente estudio tiene relación con el sitio de absorción de estos minerales junto con el sitio de acción de los MOS, siendo este el intestino grueso, por lo que si hubo absorción mineral por parte del intestino grueso esta fue mínima y no afecto de manera significativa la absorción aparente de elementos minerales en los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*).

7.5.2 MICROMINERALES

Como ocurrió con los macrominerales, la suplementación de MOS en la dieta de los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) no interfiere de manera positiva o negativa a la absorción aparente de elementos minerales. Esto concuerda con lo observado por Ellegard *et al.*, (1997) y Zentek *et al.*, (2002) donde no se vio efecto de la suplementación de OND en pacientes humanos a quienes se les realizó ileostomía por enteritis ulcerativa en la absorción y excreción de Fe y Zn. Sin embargo Ohta *et al.*, (1995) y Sohail *et al.*, (2011) encontraron un aumento en la absorción en Fe y de Cu, Zn y Mn suplementando FOS y MOS en la dieta en ratas adultas durante 13 días y de pollos de engorda de un día de edad durante 42 días respectivamente. Cabe señalar que en dichos estudios donde hubo un aumento en la absorción mineral se trataba de animales con deficiencias minerales o donde se investigó la respuesta fisiológica al estrés calórico por lo que el cuerpo estuvo expuesto a un daño oxidativo y a un desbalance mineral, el organismo actuara para cubrir esos desbalances además de la capacidad de los prebióticos para transferir agua al ciego lo que provoca un efecto osmótico que facilita la absorción de los minerales, por lo que una vez más se hace referencia a la carencia de cámaras fermentativas en los inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) en el presente estudio y su efecto en la posible carencia de la absorción significativa hacia los elementos minerales.

Ritchie y Harrison (1994) y McDonald (2011) mencionan que la mayor parte del Fe, Cu y Zn se absorbe en el intestino delgado, siendo pobre la absorción de Fe independientemente del intestino delgado o grueso. Sin embargo, si el cuerpo se vuelve deficiente en alguno de estos minerales, la absorción mejora hasta que la situación se corrige. En el caso del Zn la presencia de fitatos aumentan su disponibilidad y un aumento de Ca en la dieta aumenta los requerimientos del primero. Teniendo en cuenta esto, el uso de una dieta equilibrada

disminuye la posibilidad de que se presente una deficiencia de alguno de estos minerales y por lo tanto, una mayor absorción de estos no ocurre. Por dicha razón, en el presente estudio no se encontró un aumento en la absorción de los microminerales.

Cabe señalar que los resultados positivos obtenidos en la absorción de elementos minerales en el implemento de alguna clase de OND incluyendo a los MOS los animales de prueba y pacientes eran jóvenes, hembras ovariectomizadas, con deficiencia de minerales, anémicos y con gastrectomía parcial. Por lo que un efecto positivo se puede asumir tanto al efecto de estos como en la capacidad del organismo para compensar las deficiencias nutricionales cuando en la dieta se suplementan dichos elementos.

De igual modo, el tipo de muestra a analizar puede cambiar la manera en la que los elementos pueden ser encontrados, habiendo diferencia entre la obtenida por los medios empleados en el presente trabajo (a través de heces), con las que se pueden encontrar si se miden en plumas, pelo y/o sangre y el método de laboratorio empleado para obtener dicha información.

Las diferencias estadísticas con respecto al tiempo observadas en el presente estudio ($p < 0.05$) en los diferentes elementos minerales en ambos grupos no está asociada a la suplementación de MOS sino al cambio de dieta, ya que los animales antes de ingresar al estudio se alimentaban con una mezcla de granos, la cual por si sola presenta deficiencia de elementos minerales. Por lo que los picos y caídas en la absorción observadas en las gráficas pueden asociarse con la capacidad del organismo para adaptarse a las demandas cuando puede existir una deficiencia de ciertos elementos y su capacidad de regular la absorción de estos para evitar los excesos y provocar un estado de desnutrición. Hay que tener en cuenta las características del alimento comercial, el cual está formulado para cumplir los requerimientos nutricionales de aves en compañía en general, así como la calidad de ingredientes que se utilizan en el mismo, los cuales fueron factor para que las aves consumieran menos alimento y por ende cubrir sus requerimientos nutricionales. De igual manera, se hace énfasis en la característica anatómica de los psitácidos granívoros de carecer de cámaras fermentativas y de que los MOS actúan en su mayoría en el intestino grueso sacos ciegos, además los elementos minerales estudiados en el presente trabajo se absorben de mayor manera en el intestino delgado y poco en el intestino grueso. Por lo cual no es extraño que no se hayan encontrado una mayor absorción aparente de minerales en el presente trabajo a comparación

de aquellos estudios realizados en aves de producción citados, las cuales cuentan con sacos ciegos pudiendo así aumentar el tiempo de tránsito intestinal y por consecuente el tiempo que tienen las bacterias para actuar sobre el alimento y la utilización de materia vegetal de manera óptima.

8. CONCLUSIONES.

Se concluye que con la adición experimental de MOS en una dieta equilibrada ofrecida a individuos sanos y adultos de inseparables de Namibia (*Agapornis roseicollis*) no tendrá efecto sobre la absorción aparente de elementos minerales a dosis de 10 mg/ave durante 60 días, debido al hecho de que las aves psitaciformes del genero *Agapornis* carecen de sacos ciegos, órganos donde los MOS actúa de mayor manera.

Posiblemente empleando animales enfermos, con deficiencia de algún elemento mineral y/o la suplementación de estos en la dieta más el uso de MOS o algún otro OND a diferentes dosis y tiempos, se pueda observar un aumento en la absorción de algún elemento. La utilización de otro tipo de material orgánico (órganos o plumas) y de diferentes técnicas de laboratorio se podría obtener diferentes resultados.

Aún queda mucho por hacer en el ámbito de la investigación con respecto a los requerimientos nutricionales no solo de las diferentes especies de inseparables, si no de todas las especies, no solo de aves, si no de animales de compañía no convencionales y de fauna silvestres que se tienen hoy en día en los hogares y colecciones privadas. Esto para poder ofrecer una mejor alimentación y una nutrición acorde con lo que se alimentarían en vida libre sin importar la gran variabilidad de alimentos que estos consuman en vida libre. Por lo que se podrán disminuir de gran manera las enfermedades producidas por una mala nutrición en cautiverio, ya que esta equivale a más de la mitad de las consultas por enfermedad de estas especies.

9. REFERENCIAS.

1. AOAC. (1990). Official methods of analysis. 15th ed. Virginia, USA: Arlington.
2. Attia, Y.A.; Al-Hamid, I.M.S.; Al-Harhi, M.A.; Bovera, F. y Elnaggar, ASH. (2014). Productive performance, biochemical and hematological traits of broiler chickens supplemented with propolis, bee pollen, and mannan oligosaccharides continuously or intermittently. *Livestock Science*. 164, 87–95.
3. Baggio-Júnior, R. y Gonçalves-Pita, C. (2013). A importância do cálcio e fósforo na nutrição de psitacídeos e passeriformes – uma revisão. *PubVet* 7(19).
4. Bauck, L. (1995). Nutritional Problems in Pet Birds. . *Seminars in Avian and Exotic Pets Medicine*. 4(1), 3-8.
5. Baurhoo, B.; Phillip, L. y Ruiz-Feria, C.A. (2007). Effects of Purified Lignin and Mannan Oligosaccharides on Intestinal Integrity and Microbial Populations in the Ceca and Litter of Broiler Chickens. *Poultry Science*. 86, 1070–1078.
6. Bonos, E.; Christaki, E.; Abraham, A.; Soultos, N. y Florou-Paneri, P. (2011). The influence of mannan oligosaccharides, acidifiers and their combination on caecal microflora of Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Anaerobe*. 17, 436-439.
7. Bosque, C. y Pacheco, M.A. (2000). Dietary nitrogen as a limiting nutrient in frugivorous birds. *Revista Chilelan de Historia Natural*. 73, 441-450.
8. Carey, C. (1996). *Avian Energetics and nutritional ecology*. USA: Chapman&Hall.
9. Chandra, R.K. y Kumari, S. (1994). Nutrition and immunity: an overview. *Journal of Nutrition*. 124, 1433S-1435S.

10. Chonan, O.; Matsumoto, K. y Watanuki, M. (1995). Effect of galactooligosaccharides on calcium absorption and preventing bone loss in ovariectomized rats. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*. 59:236–9.
11. Crittenden, R.G. y Playne, M.J. (1996). Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends in Food Science & Technology*. 7(11), 353-361.
12. Daniel, D. (2007). *BIOESTADÍSTICA. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. 4ª ed. México: Limusa-Wiley.
13. da Rosa-Pinto, A. (1983). *Ornitologia de Angola. Vol I*. Lisboa, Portugal: Instituto do investigação científica tropical.
14. de Oliveira, M.C.; Garcia, M.M.; Nunes, G.B.; Marques, R.M.C. y Alves, A.F. (2009). Dietas com mananoligosacarídeo e níveis reduzidos de cálcio para cordonas japonesas. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38(11), 2193-2197.
15. Delzenne, N.; Aertssens, J.; Verplaetse, H.; Roccaro, M. y Roberfroid, M. (1995) Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. *Life Sciences*. 57:1579–87.
16. Diplock, A.T.; Aggett, P.J.; Ashwell, M.; Bornet, F.; Fern, E.B. y Roberfroid, M. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. *Br. Journal of Nutrition*. 81(Suppl.), 1S-27S.
17. Donoley, B. (2010). *Avian Medicine and Surgery in Practice Companion and aviary birds*. London, England: Manson Publishing.
18. Ellegard, L.; Andersson, H. y Bosaus, I. (1997). Inulin and oligofructose do not influence the absorption of cholesterol, or the excretion of cholesterol, Ca, Mg, Zn,

- Fe, or bile acids but increases energy excretion in ileostomy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*. 51(1), 1-5.
19. Fairchild, A.S.; Grimes, J.L.; Edens, F.W.; Wineland, M.J.; Jones, F.T. y Sefton, A.E. (1999). Effect of hen age, Bio-Mo and Flavomycin on susceptibility of turkey poult to oral *Escherichia coli* challenge. Pages 185–201 *in*: Proceedings of Alltech's 15th Annual Symposium, Under the Microscope: Focal Points for the New Millenium. Biotechnology in the Feed Industry. T. P. Lyons and K. A. Jacques, ed. Nottingham, UK. Nottingham University Press.
20. Forshaw, J.M. (1989). Parrots of the world. 3rd ed. Australia: Lansdowne.
21. Forshaw, J.M. (2010). Parrot of the world. New Yersey, USA: Princeton University Press.
22. Fowler, M. y Lamberski, N. (Ed). (2003). Psitaciformes. Zoo and Wild Animal Medicine. USA: Saunders.
23. Gibson, G.R. y Roberfroid, M.B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*. 125, 1401-1412.
24. Girling, S.J. (2013). Veterinary Nursing of Exotic Pets. 2nd ed. India: Wiley-Blackwell.
25. Hadley, L.T. (2005). Disorders of the Pssitacine Gastrointestinal Tract. *Veterinary Clinics Exotic Animal Practice*. 8: 329-349.
26. Harcourt-Brown, N. y Chitty, J. (2005). BSAVA Manual of Psittacine Birds. 2nd ed. England; British Small Animal Veterinary Association.
27. Harper, E.J. y Skinner, B.S. (1998). Clinical Nutrition of Small Psittacines and Passerines. *Seminars in Avian and Exotic Pets Medicine*. 7(3), 116-127.

28. Harrison, G.J. y Lightfoot, T.S. (2006). *Clinical Avian Medicine*. Florida, USA: Spinx Publishing.
29. Henderson, B.M, y Winterfield, R.W. (1975). Acute copper toxicosis in the Canada goose. *Avian Diseases*. 19(2), 385 -387.
30. Heyland, D.K. (1998). Nutritional support in the critically ill patient. A critical review of the evidence. *Critical Care Clinics* 14(3), 423-440.
31. Jackson, A. y McLaughlin, J. (2009). Digestion and absorption. *Basic Science*. 27(6), 231-236.
32. Klasing, K.C. (1998). *Comparative Avian Nutrition*. New York, USA: CAB International.
33. Koutsos, E.A.; Matson, K.D. y Klasing, K.C. (2001). Nutrition of Birds in the Order Psittaciformes: A Review. *Journal of Avian Medicine and Surgery*. 15(4), 257-275.
34. LaBonde, J. (1994). Toxicity in Pets Avian Patients. *Seminars in Avian and Exotic Pets Medicine*. 4(1), 23-31.
35. Landeros, P.; Reyes, W.P.; Lucas, E.; Albarrán, E.; López, Y. y Quezada, T. (2008). Evaluación de dos absorbentes (Mananoligosacáridos y clinoptilolita) en dietas de pollos de engorde contaminadas con fumonisina B₁. *Rev. Salud Anim.* 30(1), 50-58.
36. Leeson, S. y Summers, J.D. (2008). *Commercial Poultry Nutrition*. 3rd ed. Ontario, Canada: University Books.
37. McDonald, P.; Edwards, R.A.; Greenhalgh, J.F.D.; Morgan, C.A.; Sinclair, L.A. y Wilkinson, R.G. (2011). *Animal Nutrition*. 7th ed. UK: Pearson.
38. Morales-López, R. (2007). Las paredes celulares de levadura de *Saccharomyces cerevisiae*: un aditivo natural capaz de mejorar la productividad y salud del pollo de

- engorde. Tesis de doctorado. Barcelona, España, Universidad Autónoma de Barcelona.
39. NRC. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. Washington DC, USA: National Academy Press.
 40. Oguz, H.; y Parlat, S.S. (2004). Effects of dietary mannanoligosaccharide on performance of Japanese quail affected by aflatoxicosis. *South African Journal of Animal Science*. 34(3), 144-148.
 41. Ohta, A.; Ohtsuki, M.; Baba, S.; Adachi, T.; Sakata, T. y Sakaguchi, E.I. (1995). Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *Journal of Nutrition*. 125, 2417-24.
 42. Ohta, A.; Ohtsuki, M.; Baba, S.; Takizawa, T.; Adachi, T. y Kimura, S. (1995). Effects of Fructooligosaccharides on the Absorption of Iron, Calcium and Magnesium in Iron-deficient Anemic Rats. *Journal of Nutrition Science*. 41(3), 281-291.
 43. Olagnero, G.; Abad, A.; Bendersky, S.; Genevois, C.; Granzella, L. y Montonati, M. (2007). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *DIETA*. 25(121), 21-33.
 44. O'Malley, B. (2005). ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE LOS ANIMALES EXÓTICOS, Estructura y función de mamíferos, aves, reptiles y anfibios. España: Elsevier.
 45. Orosz, S. (2014). Clinical Avian Nutrition. *Veterinary Clinics of North America Exotic Animal Practice*. 17(3), 397-413.
 46. Orosz, S.E. (2013). Critical Care Nutrition for Exotic Animals. *Journal of Exotic Pet Medicine*. 22(2), 163-177.

47. Osofsky, A.; Jowett, P.L.H.; Hosgood, G. y Tully, T.N. (2001). Determination of Normal Blood Concentrations of Lead, Zinc, Copper, and Iron in Hispaniolan Amazon Parrots (*Amazona ventralis*). *Journal of Avian Medicine and Surgery*. 15(1), 31-36.
48. Oso, A.O.; Williams, G.; Jegede, A.V.; Sobayo, R.; Idowu, O.M.O. y Fafiolu, A.O. (2014). Effect of combination of whole millet feeding organ weights of growing guinea fowls (*Numidia melieagris*). *Livestock Science*. 159, 46-52.
49. Parks, C.W.; Grimes, J.L.; Ferket, P.R. y Fairchild, A.S. (2001). The Effect of Mannanoligosaccharides, Bambermycins, and Virginiamycin on Performance of Large White Male Market Turkeys. *Poultry Science*. 80, 718–723.
50. Pelkin Elmer. (1994). Analytical methods for atomic absorption spectrometry. USA: Pelkin Elmer.
51. Pérez, D.; López, G. y Ros, G. (2004). Principales prebióticos y sus efectos en la alimentación humana. *Anales de Veterinaria de Murcia*. 20, 5-20.
52. Podulka, S.; Rohrbaugh R.W. y Bonney R. (2004). *Handbook of bird biology*. New York, USA: Cronell Lab of Ornithology & Princeton University Press.
53. Qiang, X.; YongLie, C. y QianBing, W. (2009). Health benefit application of functional oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*. 77, 435-441.
54. Rademaker, K.A. y Corman, T.E. (2011). Status of the Rosy-faced Lovebird in Phoenix, Arizona. *The Journal of the Arizona Field Ornithologist*. Disponible en http://www.azfo.org/journal/articles_index1.html.
55. Ritchie, B.W.; Harrison, G.J. y Harrison, L.R. (1994). *Avian Medicine: Principles and Application*. Florida, USA: Wingers Publishing.

56. Roberfroid, M. (2000). Prebiotics and Probiotics: are they functional foods? American Society for Clinical Nutrition. 71(06), 1682s-1687s.
57. Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: The Concept Revisited. Journal of Nutrition. 137(3 suppl 2), 830s-837s.
58. Salkind, N. (1998). Métodos de Investigación. México: Prentice Hall.
59. Salze, G.; McLean, G.; Schwarz, M.H. y Craig, S.R. (2008). Dietary mannan oligosaccharide enhances salinity tolerance and gut development of larval cobial. Aquaculture. 274, 148-152.
60. Sang, H.M.; Ky, L.T. y Fotedar, R. (2009). Dietary supplementation of mannan oligosaccharide improves the immune responses and survival of marron, *Cherax tenuimanus* (Smith, 1912) when challenged with different stressors. Fish and Shellfish Immunology. 27, 341-348.
61. Shivanandappa, T.; Krishnakumari, M.K. y Majumde, S.K. (1983). Testicular atrophy in *Gallus domesticus* fed acute doses of copper fungicides. Poultry Science. 62(2), 405-408.
62. Schmid, R.E.; Reavill, D.R. y Phalen, D.N. (2003). Pathology of Pets and Aviary Birds. Iowa, USA: Blackwell Publishing.
63. Schoeni, J.L. y Wong, A.C.L. (1994). Inhibition of *Campylobacter jejuni* colonization in chicks by defined CE bacteria. Applied and Environmental Mircobiology. 60, 1191-119.
64. Schoolz-Ahrens, K.E.; Ade, P.; Marten. B.; Weber, P.; Timm, W.; Asil, Y.; Glüer, C. y Schrezenmeir, J. (2007). Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics Affect Mineral Absorption, Bone Mineral Content, and Bone Structure. Journal of Nutrition. 137(3 suppl 2), 838s-846s.

65. Scholz-Ahrens, K.E.; Schaafsma, G.; van den Heuvel, E.G.H.M. y Schrezenmeir, J. (2001). Effects of prebiotics on mineral metabolism. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 73, 459S-464S.
66. Scholz-Ahrens, K.E. y Schrezenmeir, J. (2002) Inulin, oligofructose and mineral metabolism: experimental data and mechanism. *British Journal of Nutrition*. 88(2), s179-s186.
67. Smith, L.C. y Mullen, J.L. (1991). Nutritional assessment and indications for nutritional support. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice*. 71(3), 449-457.
68. Sohail, M.U.; Rahman, Z.U.; Ijaz, A.; Yousaf, M.S.; Ashraf, K.; Yaqub, T.; Zaneb, H.; Anwar, H. y Rehman, H. (2011). Single or combined effects of mannan-oligosaccharides and probiotics supplements on the total oxidants, total antioxidants, enzymatic antioxidants, liver enzymes, and serum trace minerals in cyclic heat-stressed broilers. *Poultry Science*. 90, 2573–2577.
69. Sohail, M.U.; Hume, M.E.; Byrd, J.A.; Nisbet, B.J.; Ijaz, A.; Sohail, A.; Shabbir, M.Z. y Rehman, H. (2012). Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. *Poultry Science*. 91, 2235–2240.
70. Soto, C. y Bert, E. (2011). Principios de alimentación de psitácidas. *REDVET*, 12(11), 115-123.
71. Spring, P.; Dawson, K.A.; Newman, K.E. y Wenk, C. (1996). Effect of MOS on different cecal parameters and on cecal concentrations of enteric bacteria in challenged broiler chicks. *Poultry Science*. 75(Supp. 1), 138.

72. Styles, D.K. y Phalen, D.V. (1998). Clinical Avian Urology. *Seminars in Avian and Exotic Pets Medicine*. 7(2), 104-113.
73. Tully, T.N.; Dorrestein, G.M. y Jones, A.K. (2009). *Handbook of Avian Medicine*. 2nd ed. London, England: Saunders Elsevier.
74. Verhoerf-Verhallen, E.J.J. (2004). *La enciclopedia de los pájaros domésticos*. España: Libsa.
75. Wideman, R.F.Jr.; Kochera, K.Y, y Barton, T.L. (1996). Excess dietary copper triggers enlargement of the proventriculus in broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*.5, 219–230.
76. Zentek, J.; Marquart, B. y Pietrzak, T. (2002). Intestinal Effects of Mananoligosaccharides, Transgalactooligosaccharides, Lactosa and Lactulose in Dog. *Journal of Nutrition*. 132(6 suppl 2), 1682s-1684s.