



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES EN ALIMENTOS CRUDOS COMERCIALES (TIPO BIOLOGICALLY APPROPRIATE RAW FOOD) PARA PERRO ADULTO EN MANTENIMIENTO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MÉDICO VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:

IRMA VERÓNICA CID AYALA

Asesores:

DrC MPA MVZ Carlos Gutiérrez Olvera

MenC QA Juan Carlos Ramírez Orejel

Ciudad Universitaria, CD. MX. 2020





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA

A mis padres, por inculcarme el amor a la docencia, por ser mis mayores ejemplos a seguir, por apoyarme incondicionalmente, por guiarme con tanto amor.

A mi hermano, con mucho cariño, por compartir experiencias y aprendizajes.

A las almas más puras del mundo: Gussy, Lucy y Luna, por su existencia y compañía, y a todos los animales a quienes debemos nuestra gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la UNAM, a mi querida FMVZ, a todos los profesores y personas involucradas en mi formación académica y profesional.

A mi jurado:

Dr. René Rosiles Martínez
Dr. Jesús Ramírez Reyes
Dr. Alejandro Jiménez Reyes
Dr. Carlos Gutiérrez Olvera
Dra. Tania Pardo Fuentes

Por la paciencia, tiempo y atención que brindaron a mi trabajo. Agradezco sus valiosas enseñanzas, sus aportaciones y su confianza.

A mi asesor, Dr. Carlos Gutiérrez Olvera, por ser muchos años mamá gallina, por darme un espacio en su equipo, por aportar a mi vida muchísimo aprendizaje dentro y fuera del aula.

A mi asesor, MenC. Juan Carlos Ramírez Orejel, por ser mi guía en el laboratorio, por tenerme paciencia y resolver todas mis dudas en este proceso. Gracias por brindarme su apoyo y su amistad.

A la Dra. Adriana Ducoing Watty, por su invaluable ayuda en el análisis estadístico.

A Tania Pardo, gracias por ser un ejemplo a seguir, por enseñarme tanto, por motivarme a ser mejor, por reconocer mi trabajo y brindarme su amistad.

A los integrantes del DNAB, al “Dark side” y a los químicos que conocí durante este proceso, gracias por ayudarme en el trabajo de laboratorio, por los amigos que obtuve y por todo lo que aportaron a mi vida académica y personal.

A mis mejores amigos, Andy, Xeli y Gonz, por estar juntos toda la carrera y más.

A mi familia, sin ellos nada de esto sería posible.

CONTENIDO

PÁGINA

1	RESUMEN	1
2	INTRODUCCIÓN	2
2.1	Origen y evolución de la familia <i>Canidae</i>	2
2.2	Comportamiento alimenticio del perro.	3
2.3	Nutrición animal.	3
2.4	Alimentos comerciales.	5
2.5	Dieta BARF	7
2.6	Organismos reguladores.....	8
2.7	Elementos minerales.....	11
3	JUSTIFICACIÓN	14
4	HIPÓTESIS.....	15
5	OBJETIVOS.....	15
5.1	Objetivo general.....	15
5.2	Objetivos específicos.	15
6	MATERIAL Y MÉTODOS.....	16
6.1	Alimento analizado.....	16
6.2	Preparación de la muestra.	16
6.3	Equipo y procedimientos.....	18
6.4	Análisis estadístico.....	18
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
8	CONCLUSIONES	38
9	REFERENCIAS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 2.1. Origen y evolución del perro.	2
Figura 2.2. Clasificación de los nutrientes. Modificado de Hand.	4
Figura 2.3. Triada de la nutrición. Modificado de Gutiérrez, Cossío.....	5
Figura 2.4. Clasificación de los alimentos comerciales por aporte de humedad.	6
Figura 2.5. Ingredientes en las dietas BARF.....	8
Figura 6.1. Método de cuarteo.	16
Figura 6.2. Estufa para secado de muestras a 70° C.....	17
Figura 6.3. Calcinación de las muestras en parrilla de calentamiento.	17
Figura 6.4. Incineración de muestras en mufla a 500°C por 14 hrs.	17
Figura 6.5. Resuspensión de cenizas en parrilla de calentamiento (150°C- 220°C) con HCL al 25%.	17
Figura 6.6. Filtrado de la solución madre.	17
Figura 6.7. Equipo de espectrometría de absorción atómica.	18
Figura 6.8. Espectrofotómetro UV/VIS.	18
Figura 7.1. Porcentajes promedios de las cenizas en MS obtenidos en los alimentos tipo BARF y su comparación con los datos reportados en sus etiquetas.	21
Figura 7.2. Concentraciones promedio de Calcio obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	23
Figura 7.3. Concentraciones promedio de Fósforo obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	25
Figura 7.4. Valores de la relación calcio-fósforo obtenidos en los cinco alimentos analizados.....	27
Figura 7.5. Concentraciones promedio de Magnesio obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	28

Figura 7.6. Concentraciones promedio de Magnesio obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	29
Figura 7.7. Concentraciones promedio de Potasio obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	31
Figura 7.8. Concentraciones promedio de Hierro obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	32
Figura 7.9. Concentraciones promedio de Cobre obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	34
Figura 7.10. Concentraciones promedio de Zinc obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	35
Figura 7.11. Concentraciones promedio de Manganeso obtenidas en los cinco alimentos analizados.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

PÁGINA

Cuadro 2.1. Clasificación de los alimentos comerciales con base en su calidad nutricional (modificado de Hand, 2000).....	6
Cuadro 2.2. Valores de referencia de elementos minerales en la dieta de mantenimiento para perros adultos (Modificado de AAFCO 2017).....	14
Cuadro 7.1. Concentración de cenizas y macrominerales expresados en g/100g de materia seca (MS).....	20
Cuadro 7.2. Concentración de cenizas (g/100g de MS) y contenido de microminerales expresados en mg/kg en materia seca (MS).	20
Cuadro 7.3. Lista de ingredientes reportados en la etiqueta de los cinco alimentos tipo BARF analizados.....	22

1 RESUMEN

CID AYALA IRMA VERÓNICA. Evaluación de elementos minerales en alimentos crudos comerciales (tipo Biologically Appropriate Raw Food) para perro adulto en mantenimiento (bajo dirección de: DrC MPA MVZ Carlos Gutiérrez Olvera y MenC QA Juan Carlos Ramírez Orejel).

Debido al creciente interés en el mercado de productos para animales de compañía, han surgido diversas tendencias en la alimentación animal. Una de ellas es la “alimentación cruda biológicamente apropiada” (Biologically Appropriate Raw Food) conocida como BARF por sus siglas en inglés, la cual consiste en ofrecer al perro alimentos crudos para asemejar la dieta del lobo en vida silvestre. Dicha tendencia menciona mayores beneficios que una dieta basada en croquetas, sin embargo, no existe evidencia científica que avale estas dietas comerciales, por lo cual es necesario realizar la evaluación de este tipo de alimentos para comprobar que se encuentran balanceados. Debido a que la regulación de los alimentos comerciales para perros no hace obligatoria la declaración de la concentración de elementos minerales en las etiquetas de dichos productos, su análisis es de suma importancia. En el presente trabajo se analizaron cinco marcas de alimento comercial tipo BARF para perro adulto en mantenimiento, de los cuales se cuantificó la concentración de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, zinc y manganeso por el método de espectroscopía de absorción atómica. La concentración de fósforo se obtuvo por el método colorimétrico de metavanadato-molibdeno por espectrofotometría de UV-VIS. Como resultados se observó una variación en los lotes de cada marca de alimento, además de variación entre las diferentes marcas de alimentos. En cuanto a macrominerales 35% de los alimentos comerciales BARF presentan deficiencia o exceso en la inclusión de dichos elementos, mientras que el 65% cumple con los requerimientos. Por otro lado, el 70% de los alimentos presentó una deficiencia en la inclusión de microminerales, mientras que solo el 30% se encuentra dentro del rango establecido. Las determinaciones realizadas muestran un desbalance en el contenido de elementos minerales en los alimentos tipo BARF analizados.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Origen y evolución de la familia *Canidae*.

Hace aproximadamente 65 millones de años, surgió en el planeta un mamífero con dientes parcialmente especializados para el consumo de tejido animal conocido como *Miacis*, del cual se desarrollaron las familias actuales de carnívoros (Mech, 1970).

Aproximadamente 40 millones de años atrás, apareció la familia *Hesperocyonidae*, que desciende del *Miacis* y cuyos principales representantes fueron *Hesperocyon* (37 millones de años) y *Sunkahetanka* (28 millones de años). Después de *Sunkahetanka* se desarrolló *Cynodesmus* (25 millones de años), que dio origen a *Leptocyon* (nueve millones de años) considerado el padre de la familia *Canidae* (De Juan Guzmán, 2008), a la cual pertenecen el lobo (*Canis lupus*) y el perro (*Canis lupus familiaris*) (Arita, 2016).

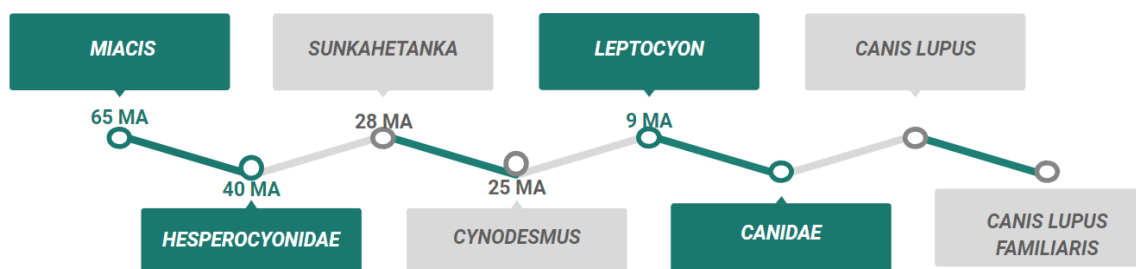


Figura 2.1. Origen y evolución del perro.

Las razas de perros más antiguas, descendientes de los lobos, se originaron en África y Asia (Payro, 2010). Debido a la alta competencia por espacio y alimento, algunos lobos comenzaron a acercarse al hombre para consumir los restos de presas cazadas. Gracias a esta interacción ambas especies se vieron beneficiadas; el lobo alimentándose de los restos de comida y el hombre obteniendo cierta protección de estos animales. Fue así como inició una selección artificial de aquellos animales más dóciles que permitían el acercamiento humano (Valadez, 2003). El registro fósil de lobos domésticos más antiguo data de hace 20,000 años (sitio de Afontova Gora II, Siberia oriental) (Olsen, 1985), suponiendo así el inicio de la domesticación del perro (Valadez, 2000).

2.2 Comportamiento alimenticio del perro.

Mediante el largo proceso de domesticación, los cánidos han modificado su morfología, fisiología y comportamiento (Koscinczuk, 2017). Pese a ello, el perro doméstico conserva características propias del lobo, por lo que es común recurrir a este último como modelo de estudio sobre el comportamiento alimenticio de los perros (Heiblum, 2011). Los lobos y los perros presentan la misma integración social; son depredadores, establecen jerarquías y el grupo depende del trabajo de todos los miembros (Heiblum, 2011). Bajo esta estructura, el lobo alfa será el primero en alimentarse. Sin embargo, en vida libre los lobos no pueden garantizar un abasto diario de presas, por lo cual desarrollaron la capacidad de distender su estómago con la finalidad de consumir la mayor cantidad de alimento posible en una sola ingesta. Aunado a esto, su apetito se volvió voraz, debido a la presencia de otros posibles predadores. Otra estrategia adoptada ha sido enterrar restos de su cacería para mantener una reserva en situaciones de escasez (Blank, 1994).

Aunque su antecesor silvestre tiene una dieta carnívora, se debe tener en cuenta que la prolongada convivencia con el hombre ha convertido al perro doméstico en una especie semi-omnívora (Blank, 1994). Es importante recordar estas características de comportamiento al momento de ofrecer un alimento, para lograr una nutrición óptima en los animales de compañía.

2.3 Nutrición animal.

La nutrición es el proceso biológico en el cual los organismos asimilan y utilizan los nutrientes para el adecuado funcionamiento, crecimiento y mantenimiento del organismo. En ocasiones se confunde este término con –alimentación–, el cual únicamente hace referencia a proporcionar sustancias normalmente ingeridas por los seres vivos (Case, 2013). Es debido a esta confusión que se pueden cometer errores al ofrecer o elaborar la dieta de los animales.

Un nutriente es aquel componente del alimento que cumple con alguna función específica en el organismo, como: componentes estructurales, participación en reacciones químicas, aporte de energía, mantenimiento de temperatura corporal.

Como se muestra en la Figura 2.2, los seis nutrientes básicos para los seres vivos son: agua, carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales y vitaminas. Estos se han clasificado en macronutrientes y micronutrientes, dependiendo de la concentración requerida para cumplir con su función en el organismo (Hand, 2000).

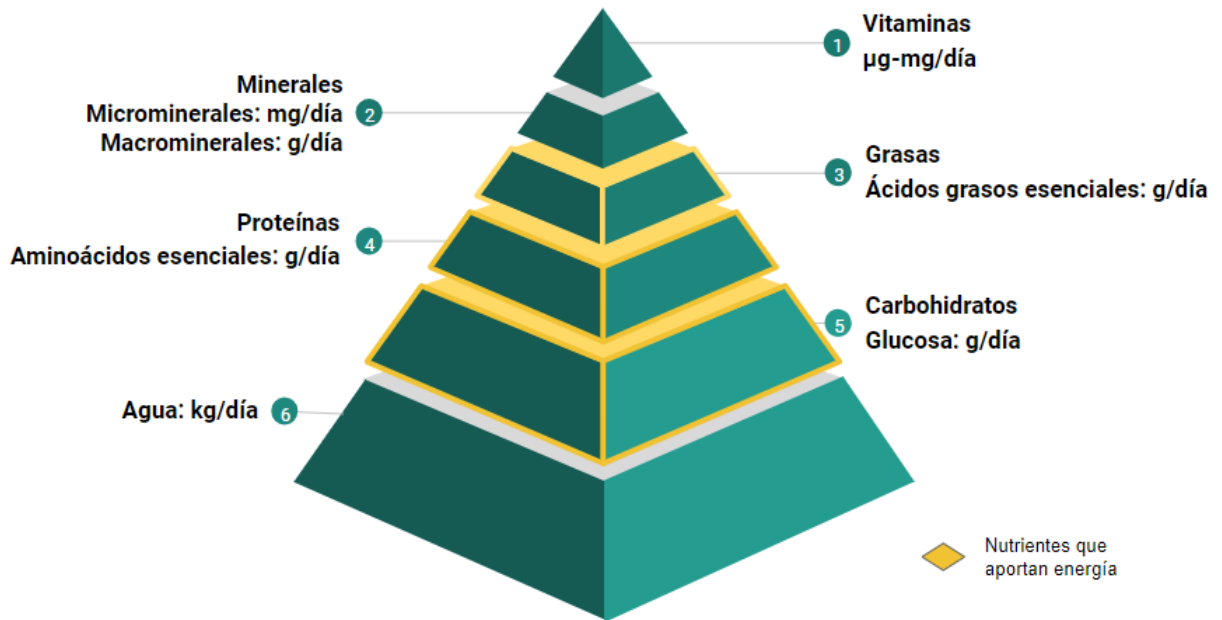


Figura 2.2. Clasificación de los nutrientes. Modificado de Hand.

En la Figura 2.3 se mencionan los aspectos que deben considerarse para proporcionar una adecuada nutrición (Gutiérrez & Cosío, 2014):

1. Características y necesidades del animal: edad del animal, raza, estado de salud, etapa fisiológica, nivel de actividad, etc.
2. Características del alimento: presentación, nutrientes que aporta, ingredientes, etc.
3. Manejo y forma de proporcionar el alimento: régimen alimenticio, cantidad, raciones e intervalos.



Figura 2.3. Triada de la nutrición. Modificado de Gutiérrez, Cossío.

2.4 Alimentos comerciales.

Una de las teorías evolutivas del lobo a perro señala que la interacción del hombre con el lobo fue posible debido al beneficio mutuo que presentaron durante la cacería, desde entonces el hombre alimentó a estos animales con las sobras de su propia comida o en mejores casos con ingredientes de buena calidad (Valadez, 2003). Fue hasta 1860 que James Spratt elabora el primer alimento procesado, una “galleta” aún desbalanceada en nutrientes. Desde entonces comienza el desarrollo de la industria alimenticia para perros y gatos. En 1957 que Purina comercializa el primer alimento extrudizado completo y balanceado (Gutiérrez & Cosío, 2014) (Hand, 2000).

Los alimentos comerciales han sido bien aceptados debido a la practicidad que brindan para alimentar a las mascotas. Como consecuencia la industria ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos años, provocando la aparición de gran variedad de productos en el mercado (Case, 2013).

En términos generales estos alimentos se pueden clasificar de acuerdo con su porcentaje de humedad (seco, semi-húmedo, húmedo) y su calidad nutricional (valor, premium, super-premium) (Hand, 2000) (Figura 2.4). Sin embargo, esta última clasificación es subjetiva, ya que no existe una normatividad que indique las características de cada grupo de alimentos.



Figura 2.4. Clasificación de los alimentos comerciales por aporte de humedad.

Cuadro 2.1. Clasificación de los alimentos comerciales con base en su calidad nutricional (modificado de Hand, 2000).

Clasificación	Características
Valor	<ul style="list-style-type: none"> Ingredientes de bajo costo y calidad Menor digestibilidad Fórmula variable Cubren las necesidades nutricionales mínimas No contemplan etapas de vida ni razas específicas
Premium	<ul style="list-style-type: none"> Ingredientes de calidad media Mayor porcentaje de digestibilidad Fórmulas fijas Aportan una nutrición óptima Contemplan etapas de vida
Super premium	<ul style="list-style-type: none"> Ingredientes de alta calidad Mayor porcentaje de digestibilidad Fórmulas fijas Contemplan etapas de vida, alimentos específicos por razas y alimentos de prescripción médica Cuentan con respaldo científico

En los últimos años se han incrementado las tendencias que involucran una nutrición más natural, lo que provocó una mayor comercialización de productos naturales, orgánicos y crudos (Schenck, 2010).

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud, los alimentos naturales son de origen animal o vegetal sin procesar o mínimamente procesados, y no contienen sustancias añadidas (azúcar, sal, grasas, edulcorantes o aditivos).

Los alimentos orgánicos son obtenidos de animales y/o vegetales (productos y subproductos), los cuales son elaborados y procesados de manera amigable con el ambiente, evitan el uso de productos sintéticos como pesticidas, herbicidas y fertilizantes, cumpliendo con la regulación nacional que los certifiquen como alimentos orgánicos. (SENASICA SAGARPA).

Los alimentos crudos, conocidos como “BARF”, se abordan a continuación.

2.5 Dieta BARF

BARF es el acrónimo en inglés para “alimento crudo biológicamente apropiado”, también conocido como “huesos y alimentos crudos” (Billinghurst, 2001). Como lo indica su nombre, esta tendencia consiste en alimentar a los perros exclusivamente con ingredientes crudos. La idea surge con la intención de imitar la alimentación del lobo, como antecesor del perro en vida silvestre. Dicha tendencia fue popularizada por el doctor Australiano Ian Billinghurst a partir de 1990, no obstante, se puede suponer que el hombre ha ofrecido ingredientes crudos a sus mascotas desde el inicio de la domesticación del lobo, sin embargo, esta costumbre disminuyó con el auge de los alimentos procesados. En la actualidad, el interés en este tipo de dietas crudas ha incrementado, por lo cual es común encontrar en internet recetas caseras y dietas comerciales, algunas de las cuales incluyen variantes con verduras cocidas, dichas dietas se realizan empíricamente por propietarios (en su mayoría) que han optado por esta tendencia. Estos alimentos se comercializan en raciones que son molidas y congeladas para su almacenamiento. Algunas marcas sugieren descongelarlas a temperatura ambiente o en su defecto en microondas previo a su consumo. Otra presentación en el mercado son porciones deshidratadas que se mantienen en refrigeración, las cuales deben ser rehidratadas por los dueños antes

de ofrecerlas a sus mascotas (Case, 2013). AAFCO revisó etiquetas de diversas dietas comerciales tipo BARF, y enlistó los principales ingredientes reportados como: carne, huesos, vísceras, huevo, verduras, frutas, productos lácteos y diversas fuentes de carbohidratos en menor proporción (AAFCO, 2010).

Bajo el criterio de esta tendencia, un perro no difiere del lobo, y debe ser alimentado como si se tratara de un animal en vida silvestre, por lo tanto, la dieta BARF “promete” mayores beneficios, sin embargo, es importante recalcar que no existen estudios científicos que apoyen o refuten esta idea, por el contrario, los ingredientes crudos suponen un riesgo para la salud humana y animal (Case, 2013) (FDA, 2018). Diversos estudios demuestran un incremento en la incidencia de contaminación cruzada al manipular ingredientes crudos, por lo que los propietarios que ofrecen este tipo de alimentación han presentado zoonosis bacterianas y parasitarias, principalmente debido a *Salmonella* y *Listeria* (FDA, 2018).



Figura 2.5. Ingredientes en las dietas BARF.

2.6 Organismos reguladores.

Con el auge en la producción de alimentos comerciales surge la necesidad de regular su elaboración, por lo cual se crean diversos organismos internacionales y nacionales, que establecen guías para determinar los requerimientos nutricionales en perros.

1. AAFCO (*Association of American Feed Control Officials*).

Constituida en 1909, la Asociación Americana para el Control de Alimentos, es una asociación de agencias locales, estatales y federales encargada por ley de regular la venta y distribución de alimentos y medicamentos para animales (AAFCO, 2010). Su publicación anual es la base de las regulaciones que se aplican a los alimentos comerciales de mascotas. En ella se especifican:

- Procedimientos de rotulación en los alimentos.
- Definiciones de ingredientes y nomenclatura de los alimentos.
- Niveles mínimos de nutrientes para animales en crecimiento, producción y en mantenimiento.
- Niveles máximos de nutrientes con capacidad de producir intoxicación.

AAFCO es la agencia con mayor poder decisivo en la regulación de alimentos comerciales para mascotas (Case, 2013) (Hand, 2000).

2. NRC (*National Research Council*).

El Consejo Nacional de Investigación es una organización privada sin fines de lucro que recopila y evalúa investigaciones, con la finalidad de emitir recomendaciones acerca de los requerimientos nutricionales para animales en varios estadios de vida (NRC, 2017). Las categorías que manejan son:

- Cantidades mínimas.
- Ingesta adecuada.
- Cantidad recomendada.
- Límite superior seguro.

3. FDA (*Food and Drug Administration*).

La FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) controla la seguridad de los alimentos y regula ciertas características de las etiquetas basándose en las publicaciones de AAFCO (FDA, 2018). La regulación para alimentos de mascotas

es similar a la de otros alimentos para animales. La Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (FFDCA, por sus siglas en inglés) exige que todos los alimentos para animales, así como de alimentos para humanos, sean (FDA, 2018):

- Seguros para el consumo.
- Producidos en condiciones sanitarias adecuadas.
- Libres de sustancias nocivas.
- Etiquetados con información verdadera.

3. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).

En México, SAGARPA es el organismo encargado de la regulación en productos alimenticios mediante dos Normas de carácter Oficial, sin embargo, estas normas no son específicas para productos alimenticios de mascotas. La primera norma se centra en productos químicos, farmacéuticos, biológicos. Mientras que la segunda norma engloba productos alimenticios de producción animal, en la cual se basan para regular los productos para mascotas. En cuanto alimentos BARF o alimentación cruda para animales, no existe una regulación por parte de SAGARPA.

- *NOM-012-ZOO-1993. Especificaciones para la regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos.* Menciona el proceso de elaboración de los productos, forma de almacenamiento, control de calidad y los requisitos de un producto terminado (envases, embalajes y etiquetado). En cuanto a productos alimenticios la norma señala:

“Debe incluirse el análisis químico proximal, la determinación cuantitativa de minerales, vitaminas, antibióticos, antiparasitarios, fungicidas, plaguicidas, cuando así se requiera. Los resultados analíticos deben ser revisados y avalados por un profesionista responsable del laboratorio, para lo cual se debe contar con un registro de los cálculos, observaciones y resultados obtenidos”.

- *NOM-061-ZOO-1999. Especificaciones zoonitarias de los productos alimenticios para consumo animal.* Dicha norma menciona:

“Los productos alimenticios terminados que se fabriquen o importen y que pretendan ser comercializados en el país, y que por sus características sean sujetos de control zoonitario, deben contar con el número de regulación SAGAR que otorga la Secretaría, una vez que el titular del producto cumpla con los requisitos establecidos para este fin”.

Menciona los requisitos zoonitarios de los productos para consumo animal (pruebas de estabilidad en anaquel), y hace referencia al etiquetado, en el cual debe especificarse la especie de procedencia en caso de utilizar materias primas de origen animal.

En términos generales, los organismos anteriormente mencionados proporcionan información para cumplir con las regulaciones establecidas, con la finalidad de lograr una nutrición adecuada de los animales (FDA, 2018). No obstante, la regulación de estos organismos no hace obligatoria la presentación de los niveles de elementos minerales contenidos en los alimentos comerciales para perros, lo cual determina la importancia de su cuantificación.

2.7 Elementos minerales.

Los alimentos están conformados mayormente por sustancias de origen orgánico y en menor concentración de sustancias de origen inorgánico, correspondiente a elementos minerales. Dichos elementos minerales son sustancias indispensables para los procesos metabólicos del organismo (Shimada, 2015), conformando el 4% del peso vivo del animal (Case, 2013).

Se conoce que más de 18 elementos minerales son esenciales para los mamíferos (McDowell, 1992). Estos se pueden clasificar de acuerdo con la concentración requerida en el organismo, como macrominerales (requeridos en porcentajes en la dieta) y microminerales (requeridos en miligramos o microgramos en la dieta) (Church, et al., 2013):

Macrominerales (gramos/día)

- Calcio
- Fósforo
- Magnesio
- Sodio
- Potasio
- Cloro
- Azufre

Microminerales (mg- μ g/día)

- Hierro
- Cinc
- Cobre
- Yodo
- Selenio
- Manganeseo
- Cobalto
- Molibdeno
- Flúor
- Boro
- Cromo

Las funciones de los elementos minerales en el organismo son (Hand, 2000):

- Componentes estructurales de órganos y tejidos.
- Componentes de líquidos como electrolitos, ayudando al mantenimiento de la presión osmótica, el equilibrio ácido-base, contracción muscular y permeabilidad de membrana.
- Cofactores enzimáticos y hormonales.

De acuerdo con Hand, cada elemento mineral cumple una función específica en el organismo:

Calcio (Ca): constituyente importante de huesos y dientes, participa en la coagulación de la sangre, función muscular, transmisión nerviosa y permeabilidad de la membrana.

Fósforo (P): componente de huesos y dientes, componente de membranas celulares, esencial en la producción de fosfolípidos y energía (metabolismo de grasas, carbohidratos y proteínas), y elemento estructural del ADN y ARN.

Magnesio (Mg): forma parte estructural de huesos y dientes, constituyente de líquidos intracelulares, transmisión neuromuscular; y participa en el metabolismo de energía como componente activo de numerosas enzimas.

Sodio (Na): participa en la regulación de la presión osmótica, en el equilibrio ácido-base, y la transmisión de impulsos nerviosos.

Potasio (K): importante en la transmisión de impulsos nerviosos, contracción muscular, contribuye al equilibrio ácido-base, balance osmótico, y es un cofactor enzimático.

Cloro (Cl): contribuye a la regulación de la presión osmótica y al equilibrio ácido-base.

Azufre (S): importante en la síntesis de condroitín fosfato, forma parte de las proteínas del organismo, presente en los aminoácidos cisteína y metionina.

Hierro (Fe): constituyente enzimático, activador de oxidasas y oxigenasas, componente de hemoglobina y mioglobina, importante para el transporte de oxígeno.

Cobre (Cu): componente de numerosas enzimas (oxidasas); catalizador en la formación de hemoglobina; reduce el daño ocasionado por radicales libres, importante en la síntesis de mielina y melanina, y desarrollo del tejido conectivo.

Zinc (Zn): cofactor de 200 enzimas involucradas en el metabolismo de carbohidratos, metabolismo de ácidos nucleicos y síntesis proteica, por lo tanto, está relacionado con la salud de la piel, cicatrización de heridas y desarrollo fetal.

Manganeso (Mn): componente y activador de enzimas (glucosil transferasas); importante para el desarrollo óseo (formación de la matriz orgánica) y la integridad de la membrana celular (mitocondria).

Selenio (Se): como componente del glutatión peroxidasa ayuda a reducir el daño ocasionado por radicales libres, involucrado en la función inmunitaria.

Yodo (I): importante para el adecuado metabolismo basal como componente de la tiroxina y de la triyodotironina.

Boro (Br): regula la hormona paratiroidea, influye sobre el metabolismo del calcio, fósforo, magnesio y el colecalciferol.

Cromo (Cr): potencializa la acción de la insulina y mejora la tolerancia a la glucosa.

Cuadro 2.2. Valores de referencia de elementos minerales en la dieta de mantenimiento para perros adultos (Modificado de AAFCO, 2017).

Elemento mineral	Valores de referencia en Base Seca
Calcio (Ca)	0.5% mín.; 2.5% máx.
Fósforo (P)	0.4% mín.; 1.6% máx.
Potasio (K)	0.6% mín.
Sodio (Na)	0.08% mín.
Magnesio (Mg)	0.06% mín.
Hierro (Fe)	40.0 mg/kg mín.
Zinc (Zn)	80.0 mg/kg mín.
Cobre (Cu)	7.3 mg/kg mín.
Manganeso (Mn)	5.0 mg/kg mín.

3 JUSTIFICACIÓN

Las nuevas tendencias alimenticias enfocadas a una alimentación más “natural” (de acuerdo con la especie), han provocado una mayor comercialización de dietas tipo BARF para perros adultos en mantenimiento. Debido a que los organismos reguladores, tanto nacionales como internacionales, no exigen que las etiquetas informen la concentración de elementos minerales que poseen los alimentos comerciales, su cuantificación es de suma importancia para evaluar el cumplimiento de los requerimientos mínimos y máximos de estos micronutrientes, ya que tanto deficiencias, como excesos y desbalances podrían tener graves repercusiones en la salud animal (AAFCO, 2010).

4 HIPÓTESIS

Las cinco marcas de dietas comerciales tipo BARF para perro adulto en mantenimiento cumplen con las especificaciones mínimas y máximas de elementos minerales recomendadas por la *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO) para perros adultos en mantenimiento.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general.

Cuantificar las concentraciones de Ca, P, Na, K, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn en cinco marcas de alimentos comerciales tipo BARF para perro, y comparar los resultados con las recomendaciones establecidas por la *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO) para perro adulto en mantenimiento, con el fin de conocer si se encuentran dentro de las especificaciones mínimas y máximas.

5.2 Objetivos específicos.

1. Analizar las concentraciones de macro-elementos minerales (Ca, Mg, Na y K) en cinco marcas de alimentos comerciales tipo BARF para perro adulto en mantenimiento, por medio de espectroscopía de absorción atómica, y compararlas contra las especificaciones mínimas y máximas de AAFCO.
2. Analizar la concentración del macro-elemento mineral P, en cinco marcas de alimentos comerciales tipo BARF para perro adulto en mantenimiento, por medio del método colorimétrico de metavanadato- molibdeno por espectrofotometría de UV-VIS, y compararlas contra la media de especificaciones mínimas y máximas de AAFCO.
3. Analizar las concentraciones de micro-elementos minerales (Fe, Cu, Zn y Mn) por medio de espectroscopía de absorción atómica, en cinco marcas de alimentos comerciales tipo BARF para perro adulto en mantenimiento, y compararlas contra la media de especificaciones mínimas y máximas de AAFCO.

4. Comparar la concentración de elementos minerales con los requerimientos para perro adulto en mantenimiento de AAFCO.

6 MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Bromatología II del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

6.1 Alimento analizado.

Se emplearon cinco marcas de alimentos comerciales BARF para perro adulto en mantenimiento, de los cuales se analizaron cinco lotes diferentes por cada marca de alimento, obteniendo un total de 25 lotes. Por cada lote se realizaron tres repeticiones. Los alimentos se encontraban en su empaque original, cerrados, con fecha de caducidad vigente y sin ningún tipo de daño hasta el momento de tomar la muestra para realizar su análisis.

6.2 Preparación de la muestra.

El proceso de toma de muestra consistió en homogeneizar el alimento previo a realizar el método de cuarteo, ejemplificado en la Figura 6.1, para obtener una muestra representativa de cada lote de alimento.

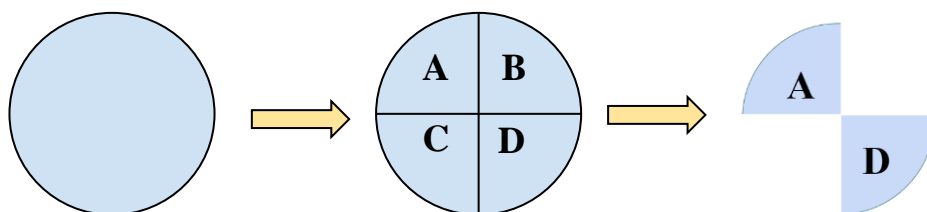


Figura 6.1. Método de cuarteo.

Posteriormente se realizó el secado de las muestras en estufa a 70°C (Fig. 6.2), para la obtención de materia seca según el método de la AOAC 930.15; y se procedió a la molienda del alimento, para la determinación de cenizas de acuerdo con el método de la AOAC 942.05 (Fig. 6.3 y 3.4).

La solución madre se preparó siguiendo el método de la AOAC 968.08 Da (Fig. 6.5 y 6.6). El procedimiento se realizó por triplicado para cada lote de alimento.



Figura 6.2. Estufa para secado de muestras a 70° C.



Figura 6.3. Calcinación de las muestras en parrilla de calentamiento.



Figura 6.4. Incineración de muestras en mufla a 500°C por 14 h.



Figura 6.5. Resuspensión de cenizas en parrilla de calentamiento (150°C- 220°C) con HCl al 25%.



Figura 6.6. Filtrado de la solución madre.

6.3 Equipo y procedimientos.

Se llevó a cabo la obtención de las concentraciones de elementos minerales en los alimentos:

1. La concentración de Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe, Zn y Mn se obtuvo por espectroscopía de absorción atómica (Fig. 6.7), de acuerdo con el método AOAC 968.08.



Figura 6.7. Equipo de espectrometría de absorción atómica.

2. La concentración de P se obtuvo por el método colorimétrico de metavanadato-molibdeno por espectrofotometría de UV-VIS (Fig.6.8), de acuerdo con el método AOAC 965.17,1990.



Figura 6.8. Espectrofotómetro UV/VIS.

6.4 Análisis estadístico.

Para fines de este estudio se realizó un análisis de varianza con factor fijo y un factor anidado, por medio del programa JMP® 7.0 del Sistema de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés), donde se comparó el promedio de la concentración de elementos minerales entre lotes y marcas de cada alimento comercial.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los elementos minerales, esenciales o no, tienen el potencial de ocasionar efectos adversos en el organismo cuando se incluyen en concentraciones mayores a las requeridas o cuando se presenta una deficiencia de estos micronutrientes por un tiempo prolongado. Diversos factores como edad, etapa fisiológica, estado nutricional, fuente mineral, interacciones entre diversos elementos minerales, duración de la exposición a niveles excesivos o deficientes influyen en el potencial dañino que puedan tener dichos compuestos (NRC, 1980). Por lo cual la adecuada concentración de elementos minerales en la dieta es de suma importancia para preservar la salud de los individuos (Hand, 2000) (Church, et al., 2013).

En el presente estudio se observó una variación en el contenido de cenizas obtenido en los diferentes alimentos empleados. Dicho porcentaje se comparó con el valor reportado en las etiquetas de cuatro marcas utilizadas (uno de los cinco alimentos no reporta el contenido de cenizas en su alimento), encontrándose diferencias entre los valores reportados y los obtenidos experimentalmente. En la concentración de elementos minerales, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los lotes propios de cada marca y entre los cinco alimentos analizados. Con el objetivo de verificar el cumplimiento de los requerimientos de elementos minerales para perros adultos en mantenimiento, se realizó una comparación con las concentraciones establecidas por la *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO), la cual ha determinado valores mínimos para los nueve elementos minerales analizados y niveles máximos para dos de los elementos minerales cuantificados (Calcio y Fósforo).

En los **Cuadros 7.1 y 7.2** se muestran los promedios obtenidos de cenizas y elementos minerales (Calcio, Fósforo, Magnesio, Sodio, Potasio, Cobre, Hierro, Zinc y Manganeso) en las cinco marcas de alimentos empleados en este estudio.

Cuadro 7.1. Concentración de cenizas y macrominerales expresados en g/100g de materia seca (MS).

ALIMENTO	Cenizas	Ca	P	Mg	Na	K
1	8.029 ^d	2.369 ^c	1.693 ^c	0.105 ^b	0.233 ^a	0.405 ^a
2	6.406 ^c	1.697 ^b	1.196 ^b	0.096 ^b	0.291 ^b	0.598 ^b
3	4.339 ^b	0.123 ^a	0.764 ^a	0.123 ^c	0.555 ^c	1.022 ^c
4	2.587 ^a	0.168 ^a	0.646 ^a	0.124 ^c	0.261 ^{a,b}	0.571 ^b
5	2.721 ^a	0.092 ^a	0.663 ^a	0.075 ^a	0.305 ^b	0.663 ^b

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En rojo se muestran aquellos elementos minerales que se encontraron por debajo de la concentración mínima establecida por AAFCO. En azul se presenta el valor encontrado por arriba del máximo establecido por AAFCO.

Cuadro 7.2. Concentración de cenizas (g/100g de MS) y contenido de microminerales expresados en mg/kg en materia seca (MS).

ALIMENTO	Cenizas	Cu	Fe	Zn	Mn
1	8.029 ^d	0.422 ^a	59.293 ^a	45.346 ^c	2.462 ^{a,b}
2	6.406 ^c	1.509 ^{a,b}	59.150 ^a	36.722 ^{a,b}	1.576 ^a
3	4.339 ^b	38.003 ^c	80.953 ^b	38.441 ^{a,b}	3.923 ^b
4	2.587 ^a	5.944 ^b	91.036 ^{b,c}	40.180 ^{b,c}	1.241 ^a
5	2.721 ^a	4.335 ^{a,b}	106.055 ^c	34.007 ^a	0.752 ^a

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En rojo se muestran aquellos elementos minerales que se encontraron por debajo de la concentración mínima establecida por AAFCO.

Cenizas

Las cenizas de un alimento representan la materia inorgánica que queda después de calcinar la materia orgánica, y pueden indicar cierta calidad de algunos alimentos, debido a que esta materia inorgánica no es aprovechada por el organismo, a excepción de ciertas fuentes minerales (AAFCO, 2010) (Kirk et al, 1996). Los organismos encargados de la regulación de los alimentos comerciales para perro no hacen obligatorio reportar el contenido de cenizas en la etiqueta de estos productos, sin embargo, cuando este dato se reporta suele expresarse como

porcentaje máximo incluido (AAFCO, 2010). Es importante mencionar que AAFCO recomienda valores menores al 10% de cenizas en materia seca.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de cenizas entre los alimentos 1, 2, 3 y 4, este último a su vez resultó sin diferencias estadísticamente significativas con respecto al alimento 5.

Debido a que cuatro de los alimentos reportaron el contenido de cenizas en su etiqueta, se realizó la comparación de estos datos con lo obtenido en el presente trabajo. En la **Figura 7.1** se muestra la variación en la cantidad de cenizas presentes en los diferentes alimentos tipo BARF empleados, con porcentajes obtenidos entre 8.029% hasta 2.587% en MS.

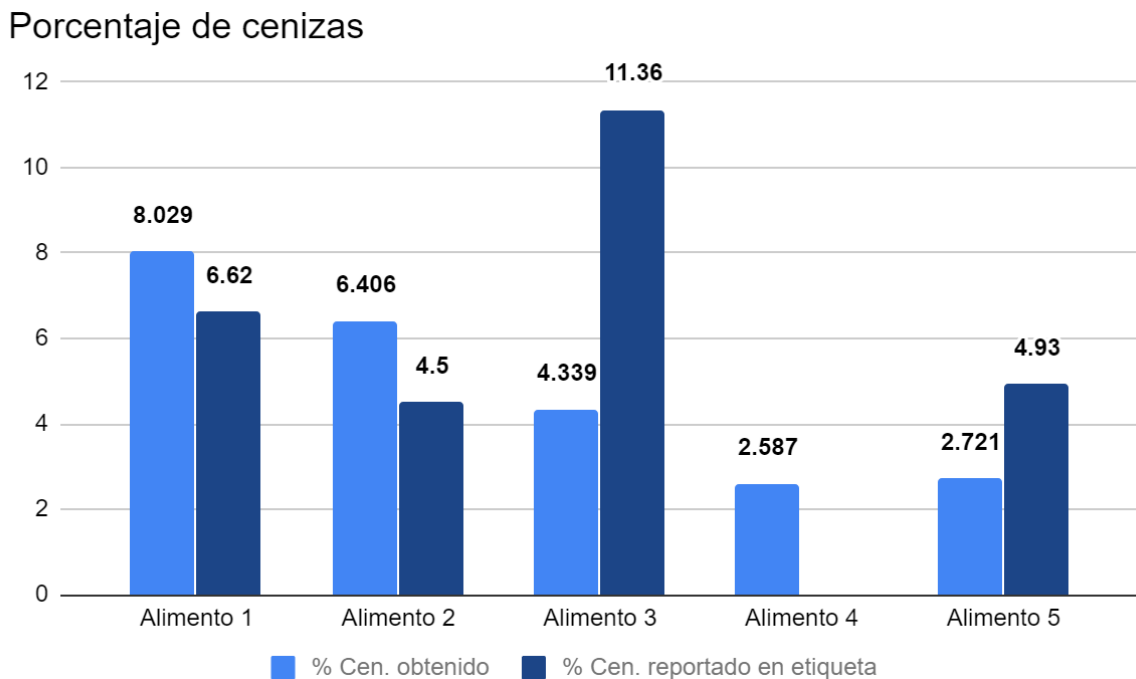


Figura 7.1. Porcentajes promedios de las cenizas en MS obtenidos en los alimentos tipo BARF y su comparación con los datos reportados en sus etiquetas.

Al realizar la inspección de las etiquetas se observó que el alimento 2 reportó contenido de cenizas mínimo, el alimento 3 reportó contenido de cenizas máximo, los alimentos 1 y 5 no especifican el contenido de cenizas como mínimo o máximo, mientras que el alimento 4 no reporta ningún dato para cenizas. Por lo tanto, los alimentos empleados técnicamente no incumplen con la información que otorgan,

sin embargo, se puede observar la variación existente con el contenido de cenizas obtenido en el presente estudio, el cual puede atribuirse a una variación en el empleo de materias primas (**Cuadro 7.3**) y el porcentaje de inclusión de estas.

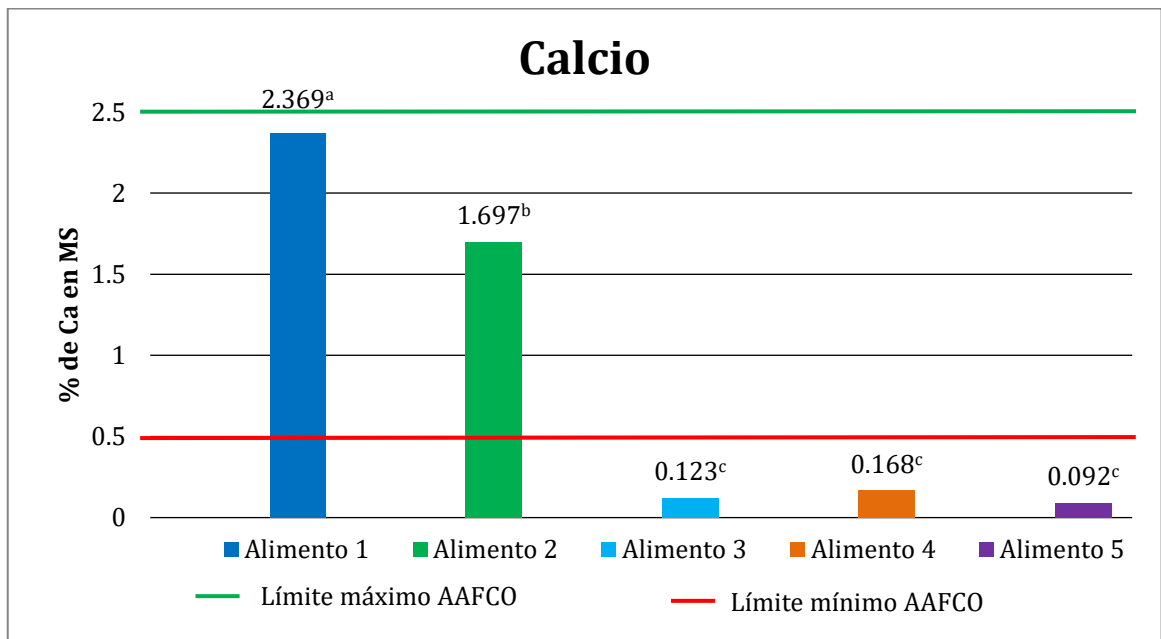
Cuadro 7.3. Lista de ingredientes reportados en la etiqueta de los cinco alimentos tipo BARF analizados.

ALIMENTO	LISTA DE INGREDIENTES
1	Carne de pollo, hueso, órganos de pollo, vegetales, semillas, ácidos grasos.
2	Carne de res, carne de pollo, zanahoria, calabaza y/o chayote y/o pepino, apio, espinaca, lechuga, brócoli, berro y aceite de pescado.
3	Carne de res, carne de pollo, pescado, vísceras de res, manzana, pera, mora, zanahoria, brócoli, apio, espinaca, chícharo y semilla de calabaza.
4	Carne, panza de res, chayote, apio, hierbabuena, calabaza, nabo, linaza, chía, amaranto, ajonjolí, semilla de girasol, aceite de oliva.
5	Derivados de carne molida de res y/o cordero y/o conejo. Vegetales: calabaza y/o zanahoria y/o apio y/o chayote y/o yerbabuena y/o brócoli y/o acelga y/o espinaca. Semillas de chía y/o ajonjolí y/o amaranto y/o semilla de girasol y/o linaza. Aceite de origen vegetal. Minerales: sulfato de calcio, cloruro de potasio, sulfato de zinc, sulfato de cobre, yoduro de potasio. Vitaminas: suplementos de vitamina A, D3 y E, pantotenato de calcio, mononitrato de tiamina (vitamina B1), biotina. Fuente de ácido linoleico, tripolifosfato de sodio.

MACROMINERALES

Ca Calcio

Los alimentos 1 y 2 cumplen con las especificaciones mínimas y máximas establecidas por la AAFCO (0.5% mín.; 2.5% máx. en MS). Por otro lado, los alimentos 3, 4 y 5 no cumplen con el mínimo establecido (**Figura 7.2**).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de Ca entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$)

Figura 7.2. Concentraciones promedio de Calcio obtenidas en los cinco alimentos analizados.

El alimento 1 reporta huesos en su lista de ingredientes, a lo que se atribuye sea el alimento con mayor concentración de calcio con 2.369%.

La alta concentración de calcio (1.697%) en el alimento 2 se puede atribuir a la carne de res y pollo que reportan, suponiendo que estas carnes tuvieran una porción de hueso, ya que no especifica la adición de otras fuentes minerales. Un ingrediente con alto porcentaje de calcio incluido en este alimento es la espinaca (554 mg de Ca en MS), sin embargo, este elemento mineral puede unirse ácido oxálico

formando oxalatos, disminuyendo la biodisponibilidad de este micronutriente (Gutiérrez & Cosío, 2014) (NRC, 1980).

El alimento 3 menciona carnes y vísceras, las cuales poseen una baja cantidad de calcio, y al igual que el alimento anterior, contiene espinacas que podrían aportar calcio a la dieta, sin embargo, este alimento se encuentra por debajo del límite inferior establecido por AAFCO con 0.123%. El alimento 4 también se encuentra por debajo de este límite con 0.168% de calcio, este alimento reporta en su etiqueta carne y vísceras, además de diferentes verduras que no aportan una adecuada concentración de calcio a la dieta.

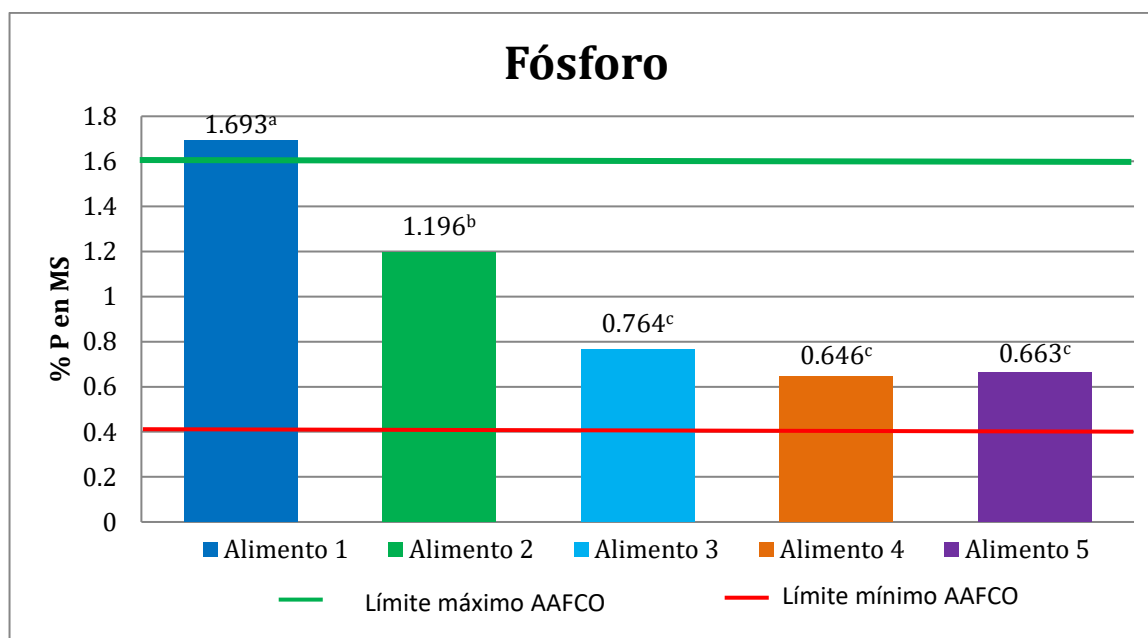
El alimento 5 menciona en su etiqueta sulfato de calcio como fuente de este elemento mineral, pese a tener mayor biodisponibilidad que otras fuentes de calcio, este alimento resultó con una concentración de 0.092%, siendo el más bajo de todos los porcentajes obtenidos. Lo que indicaría una baja inclusión de esta fuente mineral o errores en la formulación de la dieta.

El calcio es el catión más abundante en los animales, comprendiendo del 1 al 2% del peso total del individuo. Aproximadamente el 99% del calcio se encuentra constituyendo la estructura de huesos y dientes, mientras que el calcio restante se encuentra en tejidos blandos y en el líquido intracelular, cumpliendo con funciones esenciales para el mantenimiento de la homeostasis del organismo como la contracción muscular, la coagulación y la transmisión de impulsos nerviosos. (Shimada, 2015) (Gutiérrez & Cosío, 2014) (NRC, 1980). Diversos factores pueden afectar la absorción, distribución y excreción del calcio. Su absorción se realiza a nivel de duodeno y yeyuno por medio de difusión pasiva y mediante transporte activo dependiente de vitamina D, por lo que una deficiencia de esta vitamina puede involucrar problemas fisiológicos relacionados con una hipocalcemia. Por otro lado, la formación de compuestos insolubles como oxalatos y fitatos de calcio ocasionan baja biodisponibilidad de este elemento mineral (Church, et al., 2013) (Shimada, 2015) (Gutiérrez & Cosío, 2014) (NRC, 1980). La deficiencia de calcio origina osteoporosis en animales adultos, lo que conlleva a la presentación de cojeras y fracturas, además disminuye la coagulación. Por el contrario, un exceso de calcio

en el organismo puede provocar osteopetrosis, arteroesclerosis, nefrosis y depósitos de calcio en tejido blando.

P Fósforo

Se observó que todos los alimentos cumplen con los requerimientos mínimos establecidos por la AAFCO (0.4% mín. en MS), además el alimento 1 se encuentra ligeramente arriba del valor máximo establecido (1.6% máx. en MS) (**Figura 7.3**).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de P entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$)

Figura 7.3. Concentraciones promedio de Fósforo obtenidas en los cinco alimentos analizados.

La lista de ingredientes de los cinco alimentos evaluados señala ingredientes de origen animal (carne y vísceras) los cuales podrían estar aportando el porcentaje de fósforo adecuado para un perro adulto en mantenimiento, además el alimento 2, 3 y 5 de acuerdo a sus etiquetas contienen espinaca, este ingrediente contiene una alta cantidad de fósforo (3.94g de P en MS), sin embargo es importante señalar que se desconoce la biodisponibilidad de este elemento, debido a la interacción con

otros elementos minerales y la formación de compuestos que interfieran en su absorción (NRC, 1980).

El fósforo es uno de los principales componentes estructurales de huesos, dientes y membranas, tiene un papel importante en la formación de fosfolípidos de membranas, componente de ácidos nucleicos, ADN y ARN, y como cofactor enzimático (Church, et al., 2013) (Hand, 2000). Su absorción se lleva a cabo en el duodeno, la cual dependerá de la fuente mineral, el pH intestinal y la relación calcio-fósforo existente en el organismo. El valor de fósforo plasmático está relacionado con el valor de calcio en sangre, ya que la concentración de ambos elementos minerales está regulada por la hormona paratiroidea PTH, la cual tiene un efecto hipercalcemiante en el organismo, y por la calcitonina, que produce un efecto hipocalcemiante. Debido a esta relación, un desequilibrio en cuanto a la concentración existente de calcio y fósforo promueve la presentación de hiperparatiroidismo nutricional secundario, estado en el cual se estimula la liberación de PTH, provocando la movilización del calcio en los huesos hacia la sangre, por lo cual se presenta debilidad ósea y depósitos de calcio en órganos blancos. Además, el exceso de fósforo promueve en el organismo el reemplazo de tejido óseo por tejido fibroso, provocando deformación de los huesos (Case, 2013) (Church, et al., 2013) (McDowell, 1992).

Relación Calcio- Fósforo

En cuanto a la relación Calcio-Fósforo, la AAFCO recomienda una relación de 2:1 hasta 1:1. En los alimentos estudiados se encontró que el alimento 1 y 2 cumplen con la relación establecida por AAFCO. Por otro lado, los alimentos 3, 4 y 5 tienen una relación menor a la mínima recomendada (**Figura 7.4**).

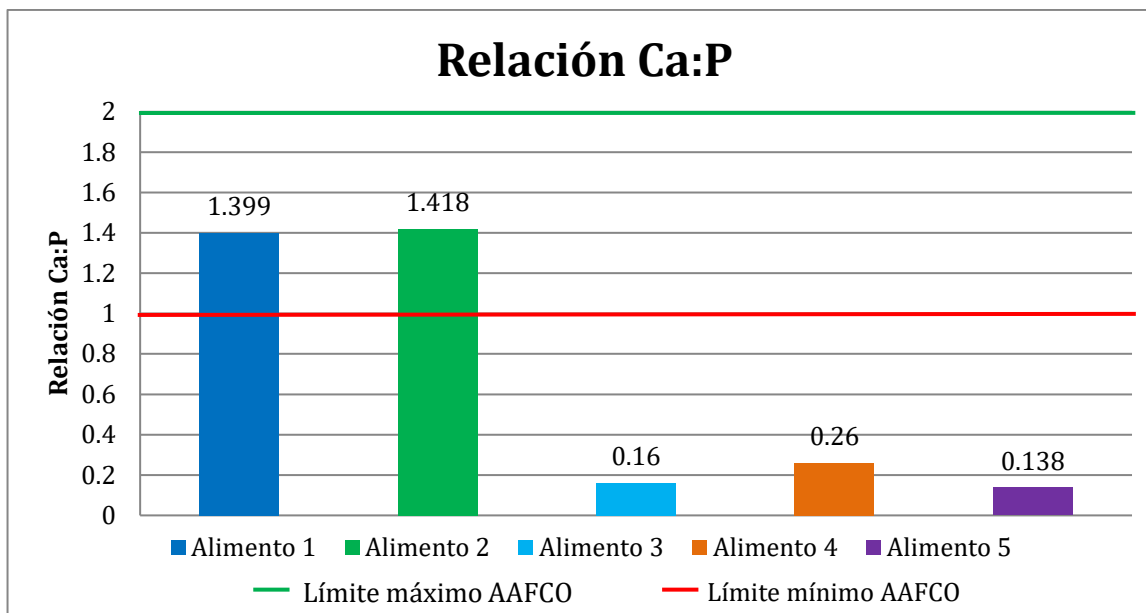


Figura 7.4. Valores de la relación calcio-fósforo obtenidos en los cinco alimentos analizados.

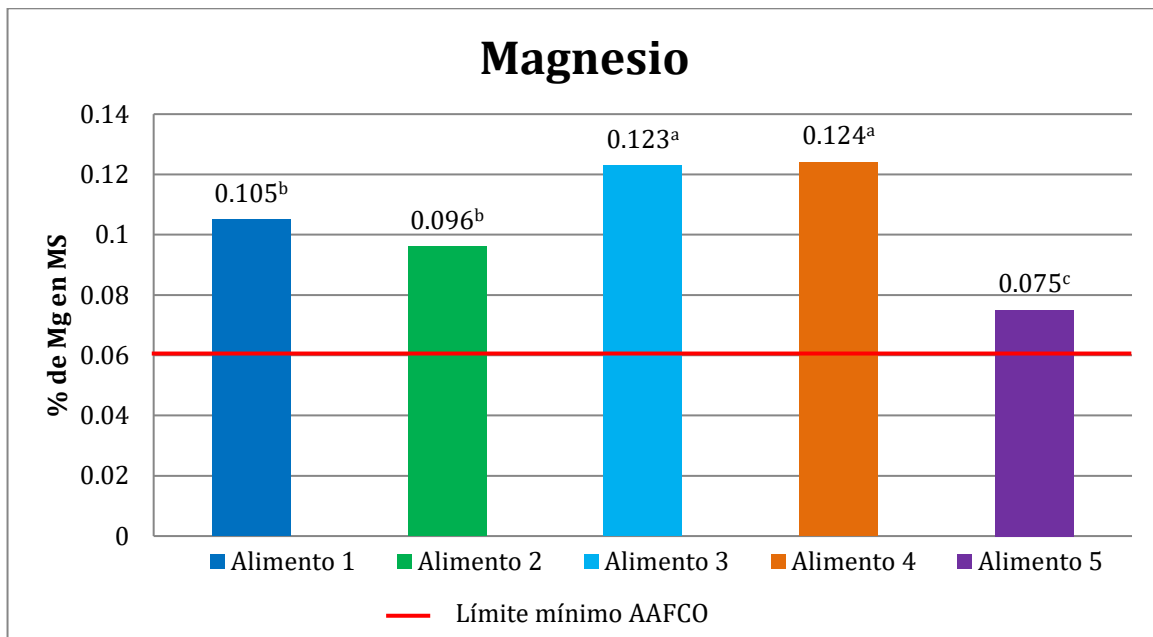
Los alimentos 3, 4 y 5 no cumplen con la concentración mínima de calcio establecido por AAFCO, por lo cual al realizar la relación Ca-P se presentaron relaciones muy bajas comparadas con las concentraciones presentes de fósforo en las dietas.

Como se mencionó anteriormente, la regulación de ambos elementos minerales se lleva a cabo por dos hormonas: PTH y calcitonina. Al haber un desequilibrio, la PTH estimula los osteoclastos para aumentar la resorción ósea y además disminuye la excreción renal de calcio, con la finalidad de incrementar el nivel sanguíneo de calcio. Por otro lado, aumenta la excreción de fósforo para favorecer la relación Ca:P. Debido a este desequilibrio se observará la misma semiología que se presenta en una deficiencia de calcio.

Los alimentos 3 (0.16 Ca: 1P), 4 (0.26 Ca: 1 P) y 5 (0.138 Ca: 1 P), muestran desbalance de la relación Ca:P, los cuales pueden llegar a ocasionar graves alteraciones en el organismo de los animales como osteodistrofia e hiperparatiroidismo nutricional secundario (Case, 2013) (Hand, 2000) (AAFCO, 2010).

Mg**Magnesio**

En la **Figura 7.5** se muestra que todos los alimentos se encuentran arriba de la concentración de magnesio mínima establecido por AAFCO (0.6% mín. en base seca). Se debe tener en cuenta que el porcentaje de absorción varía del 20-70%, dependiendo de la fuente utilizada y de su interacción en el organismo con otros elementos minerales como fósforo, calcio y potasio (Hand, 2000) (McDowell, 1992).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de Mg entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figura 7.5. Concentraciones promedio de Magnesio obtenidas en los cinco alimentos analizados.

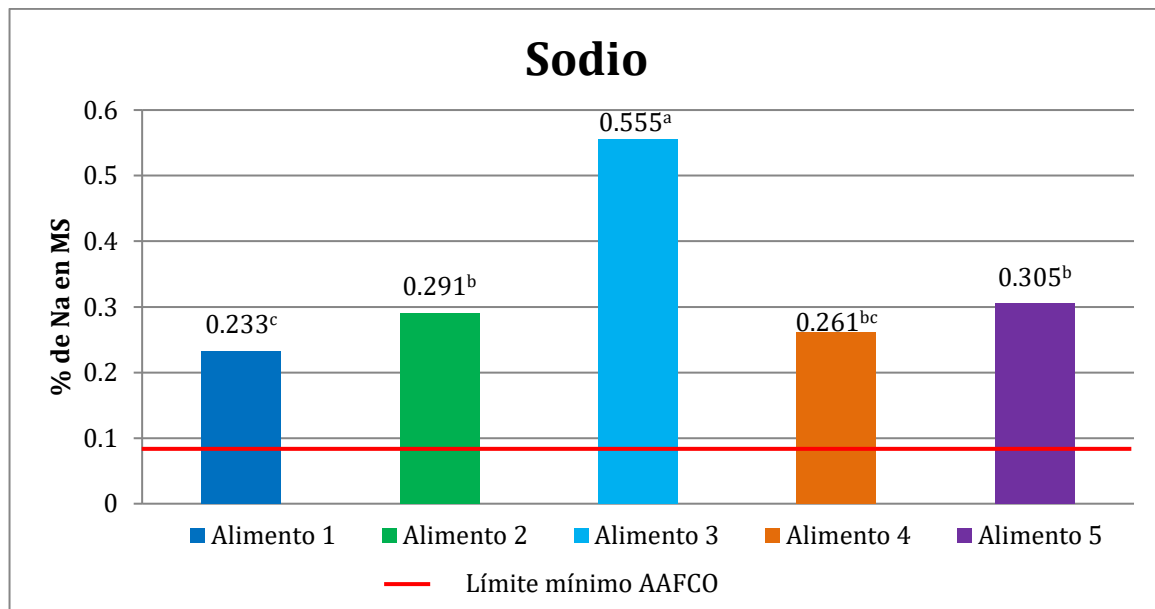
Aproximadamente del 60-70% del magnesio en el organismo se encuentra en los huesos. El magnesio es un cofactor enzimático común, por lo cual es esencial en el metabolismo de carbohidratos y lípidos. Es importante a nivel celular para la formación de complejos con adenosina tri-, di- y monofosfatos, para la formación de AMP cíclicos y otros mensajeros secundarios. Los iones de magnesio tienen la capacidad de moderar la actividad neuromuscular, además el magnesio participa en la integridad de la membrana celular unido a fosfolípidos.

Su absorción se lleva a cabo en intestino delgado y grueso de animales monogástricos, es poco común que se presente una deficiencia en estos animales,

sin embargo, se podría observar anorexia, tetania, incoordinación y convulsiones. Las intoxicaciones por exceso son raras y presentan semiología similar a una deficiencia de magnesio (letargo, incoordinación, anorexia, diarrea y muerte) (McDowell, 1992) (NRC, 1980) (McDonald, et al., 2010).

Na Sodio

La **Figura 7.6** muestra como todos los alimentos sobrepasan la concentración mínima establecida por la AAFCO (0.08% mín. en base seca), llegando a obtener valores hasta de 0.55% de sodio.



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de Na entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figura 7.6. Concentraciones promedio de Sodio obtenidas en los cinco alimentos analizados.

De las cinco marcas analizadas se observó que el alimento 3 aporta mayor cantidad de sodio que el resto (0.55% de Na), lo que podría atribuirse al tipo de presentación del producto, ya que al ser un alimento deshidratado se encuentra concentrado. Aunque se desconoce por completo el porcentaje de inclusión de cada ingrediente, también podría deberse a las fuentes de origen animal empleadas.

Los resultados muestran una concentración elevada de este mineral, pese a que en animales sanos un exceso de sodio podría ser fácilmente controlado por la ingesta

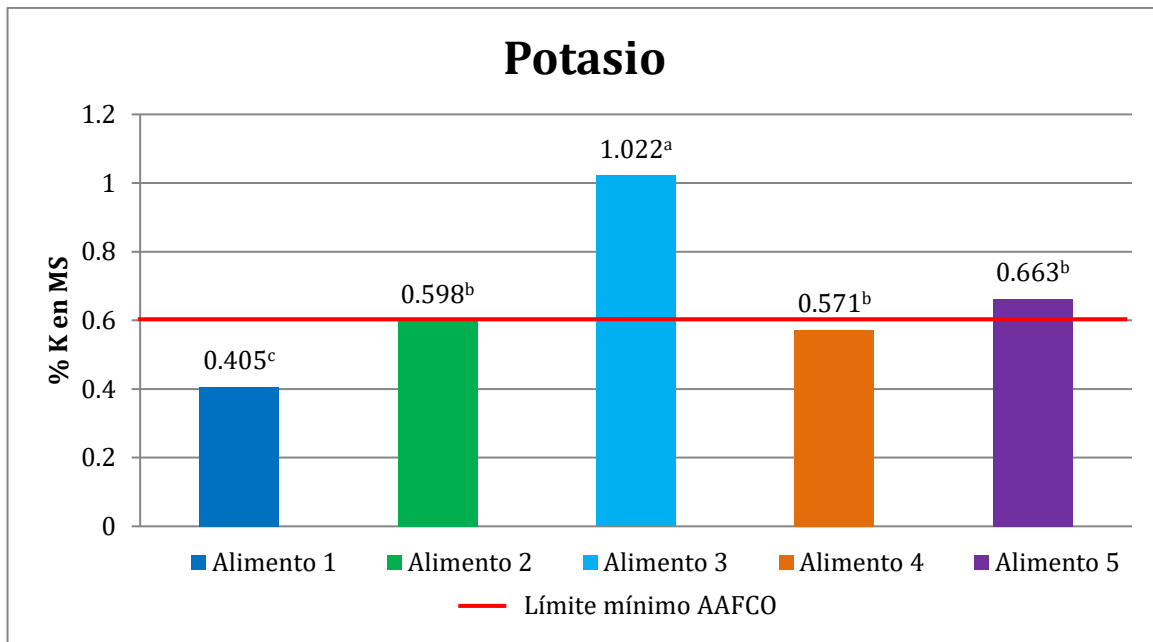
de agua, las personas que promueven este tipo de dietas recomiendan a los propietarios disminuir la cantidad de agua que proporcionan, ya que el alimento les presenta mayor cantidad de agua, esta idea errónea podría ocasionar problemas graves tanto en animales sanos como en animales con enfermedades cardiovasculares, deteriorando su salud.

Un estudio realizado en 2017 determinó la concentración de sodio en alimentos comerciales de 15 marcas de croquetas, estos alimentos cumplieron con el valor mínimo de AAFCO sin sobrepasar el 0.25% de Na en sus productos (Pérez Márquez, 2017), lo que muestra una mayor regulación en la inclusión de sodio por parte de las empresas que realizan estas croquetas en comparación con los alimentos tipo BARF.

En adecuadas concentraciones el sodio, junto con cloro y potasio, son indispensables para diversos procesos fisiológicos. El sodio es el catión extracelular más importante en el organismo, ayuda en el mantenimiento de la presión osmótica, en el equilibrio ácido-base, en la transmisión de impulsos nerviosos y en la contracción cardíaca. Este elemento mineral es absorbido en el intestino delgado junto con el cloro, y forma parte de diversas secreciones como saliva, sudor, fluidos gástricos, bilis y jugo pancreático. Su regulación está controlada por la aldosterona, que incrementa la reabsorción de sodio en el túbulo renal, y por otro lado la hormona antidiurética responde a los cambios en la presión osmótica del líquido extracelular para mantener un nivel adecuado en el organismo. Este elemento mineral está ampliamente distribuido en la naturaleza y es utilizado en la industria de alimentos comerciales para aumentar la palatabilidad de los productos, por lo que una intoxicación ocasionada por el alto consumo de sal puede presentarse en los animales de compañía. La semiología observada en dietas altas en sodio incluye incremento en el consumo de agua, anorexia, pérdida de peso, edema y signos nerviosos. Por lo tanto, el principal factor externo a considerar para evitar una intoxicación es la disponibilidad de agua potable para las mascotas, ya que este elemento permitirá una mayor tolerancia a grandes cantidades de sal en la dieta. Sin embargo, para permitir una completa recuperación es necesario la reducción del consumo de este elemento mineral.

K Potasio

Los alimentos 3 y 5 cumplen con las especificaciones mínimas establecidas por la AAFCO (0.6% mín. en materia seca). Mientras que los alimentos 1, 2 y 4 se encuentran por debajo del límite especificado (**Figura 7.7**).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de K entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figura 7.7. Concentraciones promedio de Potasio obtenidas en los cinco alimentos analizados.

Los alimentos 1, 2 y 4 se encuentran por debajo del límite inferior. Como se mencionó anteriormente, es difícil observar una deficiencia dietética de potasio, ya que la absorción de este catión ocurre por difusión pasiva, con una disponibilidad mayor al 95%, sin embargo, una dieta deficiente en potasio ofrecida por un tiempo prolongado podría ocasionar anorexia, emaciación, letargia, hipokalemia, y lesiones a nivel cardiaco y renal (Church, et al., 2013) (Shimada, 2015).

El potasio es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, encontrándose en mayor cantidad en diversos forrajes, además de vegetales y productos de origen cárnico. Su absorción se lleva a cabo principalmente en el intestino delgado por difusión simple. Las principales funciones de este elemento mineral son el mantenimiento del equilibrio ácido base, equilibrio osmótico, adecuada contracción

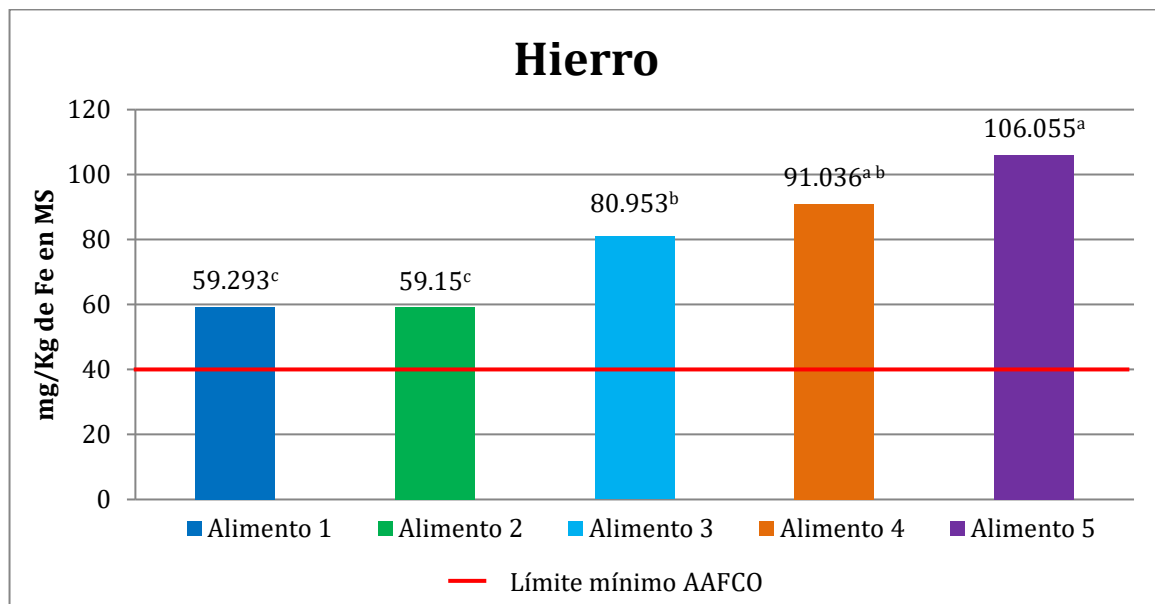
muscular además de participar como cofactor enzimático (NRC, 1980) (Church, et al., 2013). El exceso de potasio regularmente es eliminado por la orina, ya que la aldosterona está implicada en su regulación, debido a que sodio y potasio tiene una relación inversa en cuanto a su excreción.

El exceso de potasio dietético es poco probable, sin embargo, niveles altos de este elemento mineral pueden intervenir en la absorción de magnesio, lo que podría llegar a provocar tetania por hipomagnesemia en los animales (Church, et al., 2013) (Shimada, 2015) (NRC, 1980) (Newton, et al., 1972). Por otro lado, la deficiencia de este elemento mineral, aunque es poco probable, puede ocasionar parálisis (Shimada, 2015).

MICROMINERALES

Fe Hierro

En este estudio se observó que todos los alimentos cumplieron con lo mínimo establecido por AAFCO. (Figura 7.8). Siendo el alimento 5 aquel con mayor concentración de hierro (106.055mg/kg de Fe en MS).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de Fe entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

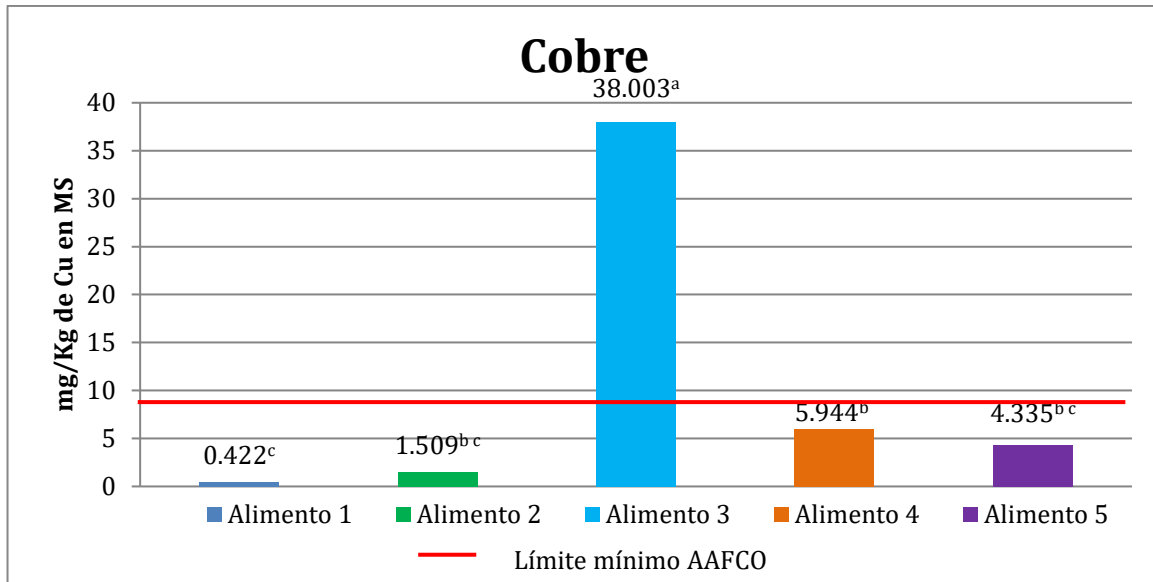
Figura 7.8. Concentraciones promedio de Hierro obtenidas en los cinco alimentos analizados.

El metabolismo del cobre y el hierro se encuentra relacionado, debido a que la absorción y transporte de hierro dependen de concentraciones adecuadas de cobre, ya que este elemento mineral en sangre forma parte de la enzima metalo-proteína plasmática (ceruloplasmina) encargada de oxidar el hierro para lograr su fijación a la transferrina. El hierro es fundamental en la formación de hemoglobina y mioglobina, citocromos y otros sistemas enzimáticos implicados en el transporte de oxígeno para el mantenimiento adecuado de la respiración celular. Su absorción se lleva a cabo en intestino delgado y se almacena intracelularmente en hígado, bazo, médula ósea y otros tejidos como ferritina o hemosiderina. Su excreción es limitada, se elimina principalmente a través de la bilis y por descamación de células epiteliales de las vellosidades duodenales (NRC, 1980) (Hand, 2000).

El Fe es el elemento mineral más abundante en la tierra, por lo que está presente en vegetales, granos y productos de origen animal, además las fuentes minerales utilizadas para cubrir las necesidades de calcio y fósforo contienen hierro. La semiología observada en animales expuestos a dietas bajas en hierro es: anemia microcítica hipocrómica, disminución del consumo de alimento, pérdida de peso y lento crecimiento. Por otro lado, una intoxicación aguda ocasiona en los animales anorexia, diarrea, oliguria, hipotermia, acidosis metabólica y muerte (Church, et al., 2013) (McDowell, 1992).

Cu **Cobre**

El alimento 3 sobrepasa la concentración mínima establecida por la AAFCO (7.3mg/kg mín. en materia seca), mientras que los alimentos 1, 2, 4 y 5 no cumplen con la concentración mínima establecida (**Figura 7.9**).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la concentración promedio de Cu entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figura 7.9. Concentraciones promedio de Cobre obtenidas en los cinco alimentos analizados.

Como se mencionó anteriormente, el metabolismo del hierro y el cobre están relacionados. El cobre participa en la hematopoyesis del organismo, en la producción de melanina, en la síntesis de colágeno y elastina, y en el sistema citocromo-oxidasa para la producción de ATP, y brinda protección contra los radicales libres con la formación de la metaloenzima superóxido-dismutasa.

El cobre es absorbido en intestino delgado, y es transportado con la albúmina plasmática por vía porta al hígado, donde será almacenado (McDowell, 1992) (NRC, 1980).

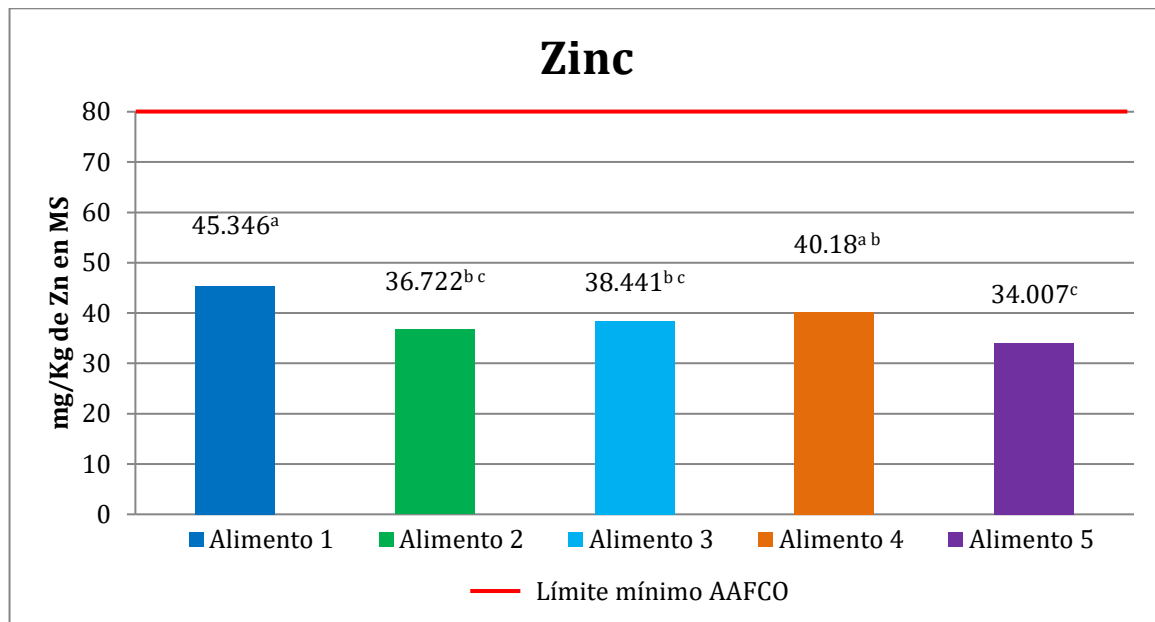
En el presente estudio se cuantificó la concentración de Cu en cinco alimentos, de los cuales cuatro no cumplieron con la concentración mínima establecida por AAFCO. Por lo que esta deficiencia podría ocasionar anemia microcítica hipocrómica, relacionada a la falta de absorción de hierro en los perros alimentados con estas dietas, además de mostrar signos como despigmentación del pelo o alteraciones en el crecimiento en animales jóvenes.

Por otro lado, rara vez se presenta una intoxicación por Cu, sin embargo, el alimento 3 en el cual se determinó una concentración de cobre en 38.003 mg/Kg de Cu, podría afectar a ciertos individuos. Case menciona que razas como el Bedlington

Terrier están predispuestos genéticamente a presentar hepatotoxicidad por exceso de cobre (Case, 2013) (AAFCO).

Zn Zinc

Todos los alimentos analizados en este estudio se encuentran por debajo de la concentración mínima establecida por la AAFCO (80.0mg/kg mín. en materia seca) (Figura 7.10).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0003$) en la concentración promedio de Zn entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$).

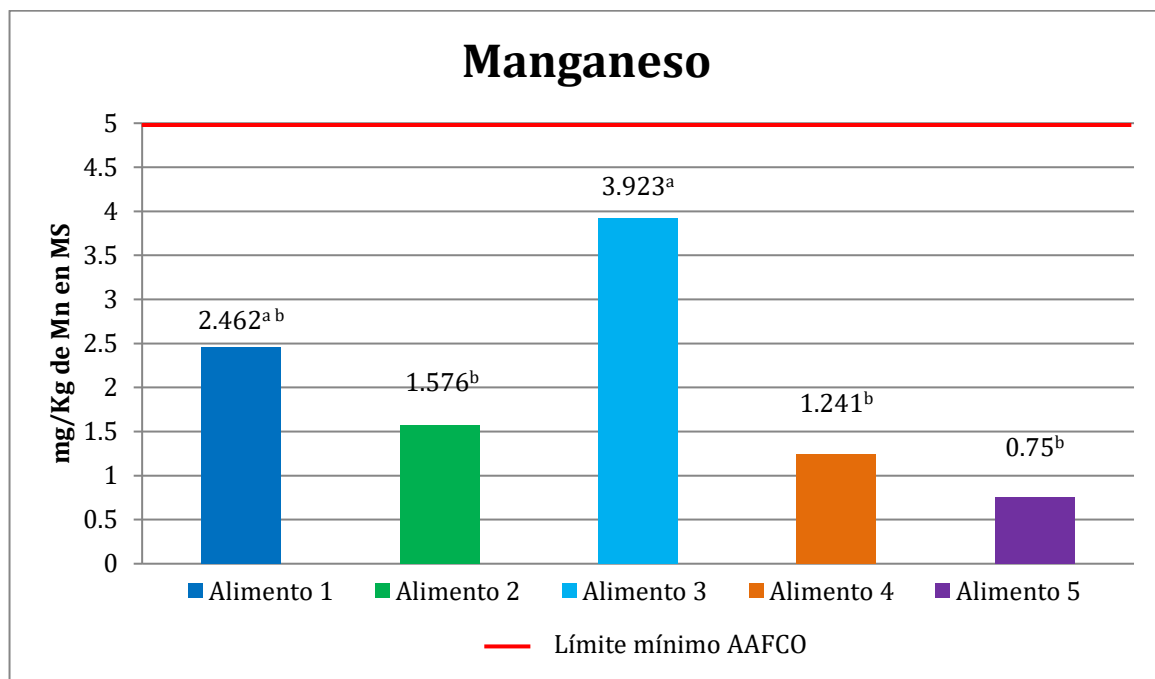
Figura 7.10. Concentraciones promedio de Zinc obtenidas en los cinco alimentos analizados.

El Zinc es un elemento mineral que constituye una gran variedad de enzimas que intervienen en el metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Al ser un cofactor en la síntesis de ADN, ARN y proteínas, es fundamental para la adecuada respuesta inmunológica y el desarrollo del individuo (Hand, 2000). Ninguno de los alimentos analizados cumplió con lo mínimo establecido por AAFCO, esta deficiencia ocasiona: retraso en el crecimiento en animales jóvenes, alteraciones reproductivas, lesiones cutáneas, alopecia y paraqueratosis (Case, 2013) (McDowell, 1992).

La absorción de este elemento depende de varios factores, entre ellos se ha identificado que niveles altos de Ca, Fe, Cu o la formación de fitatos reducen la absorción del zinc, y esta aumentará dependiendo la necesidad del organismo (McDowell, 1992) (NRC, 1980).

Mn **Manganeso**

En cuanto a manganeso, ninguna de las cinco marcas de alimentos cumplió con el valor mínimo recomendado por AAFCO (**Figura 7.11**).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0013$) en la concentración promedio de Mn entre alimentos.

Literales diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$).

Figura 7.11. Concentraciones promedio de Manganeso obtenidas en los cinco alimentos analizados.

Al igual que otros elementos minerales, el manganeso participa como cofactor enzimático en el organismo. Gran parte de la concentración de este elemento mineral se encuentra en la mitocondria, en el cual activa diversos complejos metaloenzimáticos encargados de regular el metabolismo de los nutrientes, entre ellos el complejo piruvato carboxilasa y el complejo super-óxido dismutasa. Tiene un papel estructural importante, por lo que es necesario para el correcto desarrollo

óseo y reproductivo. Aunque no se han descrito deficiencias naturales en perros, la literatura señala que la deficiencia de este mineral en aves puede ocasionar condrodistrofia fibrosa o alteraciones en el crecimiento (Case, 2013) (Hand, 2000). McDonald menciona que los alimentos de origen animal suelen ser pobres en manganeso, por el contrario, las legumbres y los cereales contienen una buena concentración de este microelemento (NRC, 1980).

8 CONCLUSIONES

Debido al creciente interés en el mercado de alimentos comerciales para perros han surgido tendencias como la alimentación BARF, esto ha provocado el incremento en alimentos comerciales que carecen de sustento científico. En este estudio se observó lo siguiente:

- El listado en las etiquetas demuestra una falla en la regulación por parte de los organismos encargados de ello en México, ya que de acuerdo con la NOM-012-ZOO-1993, se debe especificar los ingredientes empleados en la elaboración del producto. Algunos alimentos analizados enlistan sus ingredientes como “carne, vegetales, frutas”, sin especificar el producto utilizado.
- Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de elementos minerales entre los lotes de cada marca de alimento empleado. Estas variaciones pueden atribuirse a un cambio en la formulación original de la dieta (diferentes porcentajes de inclusión e ingredientes utilizados) o a la falta de estandarización de las materias primas.
- Existe diferencias estadísticamente significativas en la concentración de elementos minerales entre cada marca de alimento empleada en este estudio.
- De acuerdo con los rangos establecidos por AAFCO, en cuanto a macrominerales, 35% de los analitos no cumplen con lo establecido.
- Por otro lado, 70% de los analitos revisados para microminerales incumplen con el límite mínimo establecido por AAFCO.

Debido a que las determinaciones realizadas demuestran un desbalance en el contenido de elementos minerales en los alimentos tipo BARF para perro adulto en mantenimiento, se recomienda realizar más investigación sobre las dietas BARF. No se recomienda su uso mientras falte una adecuada regulación en cuanto al etiquetado y estandarización de la calidad de nutrientes, que permita una mayor confianza en estos productos.

9 REFERENCIAS

- AAFCO, 2010. *Association on American Feed Control Officials Incorporated*. USA: s.n.
- Arita, H. T., 2016. *Crónicas de la extinción: La vida y la muerte de las especies animales*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Billinghamurst, I., 2001. *The Barf Diet*. Australia: s.n.
- Blank, I. J., 1994. *El maravilloso mundo de los perros*. Segunda ed. Ciudad de México: Trillas.
- Case, L. P., 2013. *Nutrición en caninos y felinos: para los especialistas en animales de compañía*. Tercera ed. Buenos Aires: Inter-Médica.
- Church, D., Pond, W. & R., P., 2013. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. 2da ed. Ciudad de México: Limusa Wiley.
- De Juan Gúzman, L. F., 2008. *Origen y evolución de los cánidos y del perro. Memorias del "XI Congreso Internacional de Medicina, Cirugía y Zootecnia en Perros, Gatos y otras mascotas"*, Ciudad de México: s.n.
- FDA, 2018. *Food and Drug Administration*. [Online] Available at: <https://www.fda.gov/default.htm> [Accessed 20 Abril 2019].
- Gutiérrez, C. & Cosío, K., 2014. *Manual de nutrición y alimentación de perros y gatos*. Ciudad de México: CEAMVET.
- Hand, M. S., 2000. *Nutrición Clínica en Pequeños Animales*. Cuarta ed. Buenos Aires: Inter-Médica.
- Heiblum, M., 2011. *Medicina del comportamiento canino para el clínico veterinario*. Buenos Aires: Inter-Médica.
- Koscinczuk, P., 2017. Domesticación, bienestar y relación entre el perro y los seres humanos. *Revista Veterinaria*, 1(28), pp. 78-87.
- McDonald, P., Edwards, R. & Greenhalgh, J., 2010. *Animal Nutrition*. Seventh ed. New York: Pearson.
- McDowell, L., 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. New York: Academic Press.
- Mech, L. D., 1970. *The Wolf: the ecology and behavior of an endangered species*. Sexta impresión ed. Nueva York: Doubleday.

- National Research Council. Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals, 1980. *Mineral tolerance of domestic animals*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- NRC, 2017. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. USA: The National Academies Press Washington.
- Olsen, S., 1985. *Origins of the domestic dog. The fossil record*. Tucson Arizona: The University of Arizona Press.
- Payro, J. L., 2010. *El perro y su mundo*. Ciudad de México: s.n.
- Pérez Marquez, B., 2017. *Evaluación de elementos minerales en alimento seco comercial para perros adultos de razas pequeñas en mantenimiento*.
- Schenck, P., 2010. *Home-prepared dog and cat diets*. Segunda ed. Iowa, USA: Wiley-Blackwell.
- Shimada, A., 2015. *Nutrición Animal*. 3ra ed. s.l.:Trillas.
- Valadez, R., 2000. El origen del perro, primera parte (entre el lobo y el perro). *AMMVEPE*, Volume 11, pp. 75-84.
- Valadez, R., 2003. *La domesticación animal*. Segunda ed. Ciudad de México: Plaza Valadés.