



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN.

APORTE NUTRICIONAL, CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE LA DIETA DEL
ELEFANTE ASIÁTICO (*Elephas maximus*).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:
MARIANA COLÍN ROSALES.

ASESORES:
DRA. OFELIA MORA IZAGUIRRE.
MVZ. MARIANO SÁNCHEZ TROCINO.



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

EL PRESIDENTE
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

"Aporte nutricional, consumo y digestibilidad de la dieta del
elefante asiático (*Elephas maximus*)".

que presenta la pasante: Mariana Colín Rosales
con número de cuenta: 40206381-8 para obtener el título de :
Médica Veterinaria Zootecnista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de Diciembre de 2008

PRESIDENTE Dr. Armando Shimada Miyasaka

VOCAL MVZ. Rodolfo Córdoba Ponce

SECRETARIO Dra. María Ofelia Mora Izaguirre

PRIMER SUPLENTE Dra. Angélica María Terrazas García

SEGUNDO SUPLENTE MC. César Garzón Pérez

A mis papás y a mí querida hermana, por el apoyo incondicional, el cariño y la amistad que siempre he encontrado en ustedes a lo largo de mi vida. Por sus esfuerzos, por los desvelos, por los consejos, por el bello regalo de la educación, por apoyarme en todos mis sueños, por esto y más no dejaré de estar agradecida.

Son una hermosa luz. Los amo mucho.

A mí compañera de vida, amiga e inspiración Mila.

A Tito, Rufina, Nina y Kinino que han dejado una enorme huella en mi camino.

A los maravillosos elefantes que siempre he admirado y por los cuales siento un gran respeto, en especial a las que hicieron posible este trabajo.

A ellos dedico este proyecto tan especial para mí.

Agradecimientos.

Quiero agradecer a mis asesores por todo el apoyo durante este trabajo de investigación, a la Dra. Ofelia Mora Izaguirre quien me ha ayudado a realizar este trabajo en todos los sentidos y logró la apertura de puertas inimaginables para mí. Gracias por aventurarse en este proyecto.

Al Dr. Mariano Sánchez Trocino por creer en este tema desde el principio y guiarme durante todo el proceso. Gracias por ser tutor y amigo.

A la Dra. Paty, porque sin su gentileza y hospitalidad no hubiera sido posible esto, gracias por abrirme las puertas de su casa y permitirme conocer a una gran persona.

Al Dr. Arturo Cortés Iracheta por su valiosa enseñanza, apoyo, amistad y por darle un giro de 180° a mi visión de la Medicina Veterinaria.

A mis amigas incondicionales de toda la vida, Paola y Marú, las quiero mucho, gracias por todo.

A mis amigos y compañeros de la facultad Fernanda, Karla, Verónica, Paulina y Ricardo, gracias por compartir este tiempo a su lado y el amor a los animales.

A mis amigos Lety, Face, Jaime y Víctor por su inigualable compañía y amistad.

Me gustaría agradecer a todos los implicados en este proyecto y lo haré con base al orden en el cual llevé a cabo mi trabajo de investigación.

Zoológico de Chapultepec:

Considero este lugar como parte de mí y del sueño que siempre tuve y hoy veo realizado, gracias.

Gracias a Toño, Alejandro, Don Miguel y Enrique, encargados del área de elefantes por su valiosa colaboración, sin su ayuda no hubiera sido posible parte de este trabajo.

Al Sr. y entrenador Johny Shop por todos sus consejos.

Gracias al personal del área del almacén de alimentos del zoológico por todas las facilidades.

Gracias al Dr. Saúl y al laboratorio de reproducción por permitirme el uso de su material.

Al personal del laboratorio de Patología por permitirme guardar mis muestras y en especial al Dr. Ignacio Rangel por rescatarlas.

A los Doctores del hospital Javier, Everardo, Xochitl, Edgar, Adriana, Ericka, Rogelio, José Luis por todo lo que me enseñaron.

Al Dr. Miguel Peña por todo el apoyo brindado en este tiempo y por compartir el gusto por tan bella especie.

A la Bióloga Juanita por abrirme la puerta desde el principio, a tan bello lugar y por ser partícipe de este proyecto. Gracias al equipo de enriquecimiento por ayudarme en todo momento.

Al Biólogo Alfonso, gracias por todo el material que me brindaste y por tus conocimientos.

Zoológico de San Juan de Aragón:

Al personal encargado del área de elefantes por ayudarme en todo momento durante la recolección de mis muestras, gracias.

A la Bióloga Dagmar Gerdes y a Jorge por toda su ayuda y paciencia, hacen una hermosa labor.

A la Dra. Julieta, al Dr Gerardo López, al Dr. Pablo y a la Dra. Adriana por su asistencia y amabilidad

A todo el almacén de alimentos por toda su paciencia y generosidad.

A todo el zoológico en general por hacer tan agradable mi estancia.

Querétaro.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer al Dr. Alfredo Varela y al personal que labora en el laboratorio A3 del Instituto de Neurobiología de la UNAM por la enorme paciencia que tuvieron para con este proyecto.

Al Dr. Armando Shimada por las facilidades otorgadas, sus comentarios y observaciones.

Quiero agradecer al Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro por dejarme hacer uso de sus instalaciones, en especial a la Dra. Araceli Aguilera por permitirme la entrada, el uso de material, la disposición y por sus constantes revisiones y comentarios a mi trabajo.

A la Dra. Tercia Reis, por sus pláticas y su interminable alegría.

Al Maestro Konigsmar Escobar por su paciencia, su enseñanza, su confianza y de igual forma, ayudarme con todo mi trabajo de laboratorio.

Al INIFAP por permitirme el uso de sus instalaciones y por sus servicios.

ÍNDICE.

Resumen	9
1. Introducción	
10	
1.1 Generalidades de la Especie	10
1.1.1 Taxonomía y distribución	10
1.2 Características de tracto gastrointestinal	14
1.3 Tiempo de pasaje	16
1.4 Dieta en vida libre	19
1.5 Requerimientos y recomendaciones en vida libre	21
1.6 Digestibilidad	
23	
1.7 Condición corporal	
23	
1.8 Pruebas de digestibilidad	
24	
1.8.1 Digestibilidad in vitro de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína (PC)	24
1.8.2 Digestibilidad in vivo	25
1.8.2.1 Digestibilidad Ileal	25
1.8.2.2 Digestibilidad metabólica	25
1.8.2.3 Digestibilidad Aparente	26
2. Justificación	28
3. Objetivos	29
3.1 Objetivo general	29
3.2 Objetivos específicos	29
4. Material y métodos	29
4.1 Ejemplares utilizados	29
4.2 Alojamiento	30
4.3 Duración del estudio	32
4.4 Alimentación	32
4.5 Toma de muestras y análisis de laboratorio	36

4.6 Determinación de consumo de MS	36
4.7 Pesaje de los ejemplares	37
4.8 Determinación de digestibilidad aparente y uso de marcadores	38
5. Resultados	38
5.1 Consumo	38
5.2 Aporte de nutrientes	39
5.3 Digestibilidad fecal aparente	42
5.4 Cenizas insolubles en ácido	43
6. Discusión	44
7. Conclusión	45
8. Bibliografía	47
9. Apéndice	50
9.1 Materia seca y proteína en los ingredientes usados en la fabricación de las dietas de los elefantes Asiáticos de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (DGZVS)	50
9.2 Criterios y puntos a notar, utilizados para la estimación de la Condición general en el elefante Asiático	51
9.3 Condición corporal de los elefantes Asiáticos de la DGZVS	53
9.4 Determinación de humedad por estufa de secado	55
9.5 Determinación de cenizas y materia orgánica	57
9.6 Determinación del extracto etéreo	59
9.7 Fibra detergente neutro	61
9.8 Fibra detergente ácido	64
9.9 Lignina por el método de Klason	66
9.10 Cenizas insolubles en ácido (Van Keulen y Young)	69
9.11 Cenizas insolubles en ácido (Van Soest)	71
9.12 Secuencia de tratamientos en la metodología de cenizas insolubles en ácido	72
9.13 Tabla de conversión de peso para elefantes Asiáticos	73

ÍNDICE DE CUADROS.

1. Características generales del elefante Asiático (<i>Elephas maximus</i>)	13
2. Peso corporal y medidas de las diferentes secciones gastrointestinales	18
3. Requerimientos nutricionales para elefantes	22
4. Dietas de los ejemplares de elefante Asiático de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (DGZVS)	33
5. Promedio de ingredientes consumidos en un día por los elefantes Asiáticos albergados en el zoológico de Chapultepec (ZCh)	34
6. Promedio de ingredientes consumidos en un día por el grupo de elefantes Asiáticos albergados en el zoológico de San Juan de Aragón (ZSJA)	35
7. Peso en kilogramos de las elefantas albergadas en el zoológico San Juan de Aragón (ZSJA)	37
8. Peso y consumo promedio del elefante Asiático en la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (DGZVS)	38
9. Aporte de nutrientes en las dietas consumidas (%M.S)	39
10. Nutrientes en las heces (% MS)	41
11. Digestibilidad aparente con Lignina como marcador	42
12. Cenizas insolubles en ácido	43

ÍNDICE DE FIGURAS.

1. Distribución actual del elefante Asiático	10
2. Vista oclusal de los molares superiores del elefante	14
3. Tracto gastrointestinal del elefante Asiático	16
4. Mapa del exhibidor y casa de noche del zoológico de Chapultepec	30
5. Mapa del exhibidor y casa de noche del zoológico de San Juan de Aragón	31
6. Medición de elefante (Ciba) del Zoológico de San Juan de Aragón (ZSJA)	37

RESUMEN.

El elefante asiático es el segundo mamífero herbívoro más grande, está clasificado como un fermentador post gástrico. Son descritos como alimentadores intermediarios en vida libre debido a que llegan a consumir hasta 400 especies de plantas. ^(3,4) En la actualidad es escasa la información sobre la digestibilidad de alimentos del elefante asiático (*Elephas maximus*) por lo que se pretendió aportar conocimientos sobre la fisiología digestiva de esta especie. Para este estudio se utilizaron 4 individuos de elefantes Asiáticos (*Elephas maximus*), 2 ejemplares pertenecientes al zoológico de Chapultepec “Alfonso L. Herrera” y 2 más del zoológico de San Juan de Aragón, ambos zoológicos pertenecen a la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre (DGZVS), cuentan con albergues y hábitos diferentes. El estudio se realizó dentro de un período experimental con duración de 5 días, en los cuales se pesaron y recolectaron diariamente muestras de la dieta ofrecida, así como el alimento rechazado para la determinación del consumo de materia seca. Se recolectaron muestras de heces para determinar la digestibilidad de dichas dietas. La realización de los análisis de laboratorio (análisis químico proximal y de paredes celulares) se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales, de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el laboratorio A3 del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Centro Nacional de Investigaciones en Fisiología Animal del INIFAP. Se obtuvieron los siguientes resultados analíticos: el aporte de Materia Seca (MS) de las dietas consumidas por elefantes de los zoológicos fue de 27.43% y de 27.28% para el Zoológico de Chapultepec (ZCh) y para el Zoológico de San Juan de Aragón (ZSJA) fue de 30.95%. Ambos zoológicos cubren el aporte para la Proteína Cruda 8 a 11 % (%PC) de acuerdo a los requerimientos reportados por el Grupo Consultivo Nutricional, 2003. En el caso del Extracto Etéreo (%EE), el valor óptimo recomendado es 1.5%, fue superado con valores hasta de 3.36% para el elefante 1 del ZCh. Para la Fibra Detergente Neutro (%FDN), el ZCh obtuvo de 43.00 a 43.24%, mientras que el ZSJA cubre el mínimo requerido de 54.43%. En cuanto a la Fibra Detergente Ácido (%FDA), los valores para el elefante 1 son de 30.24 y 30.08%, para el elefante 2 y de 35.83% del grupo del ZSJA, hallando porcentajes por debajo de lo reportado en la bibliografía (de 37.4% hasta 43.6%).

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que tienen ambos zoológicos, un consumo de materia seca con base a su peso vivo del 1.0 % del ZSJA, mientras que los aportes Extracto Etéreo (hasta 3.36%) son muy elevados y la Fibra Detergente Neutro y la Fibra Detergente Ácido se encuentran por debajo del mínimo requerido. Por lo que se concluyó que los coeficientes de digestibilidad en este estudio, son congruentes con un bajo aporte de fibra y bajo consumo de MS, teniendo que los aportes y la digestibilidad de la PC, EE y ED pueden ser disminuidos con la suplementación de fibra. Cabe mencionar que las características físicoquímicas de la fibra en la dieta del elefante juegan un papel importante en la función gastrointestinal normal (NAG, 2003).

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 GENERALIDADES DE LA ESPECIE.

1.1.1 Taxonomía y Distribución.

Los elefantes son clasificados dentro del orden Proboscidae, existen dos géneros dentro de la familia Elefantidae. ^(1, 2, 3, 4) El género *Elephas* tiene diez especies extintas y una especie viva, de la cual se derivan tres subespecies: *Elephas maximus indicus*, *Elephas maximus maximus* y *Elephas maximus sumatranus*. Su distribución es irregular y principalmente limitada a Sri Lanka, Bangladesh, Myanmar, China, Camboya, India, Indonesia, Laos, Malasia, Tailandia y Vietnam ^(1, 2) (Figura 1). Se encuentra tanto en estado salvaje como doméstico y es muy frecuente encontrarlo en zoológicos y circos.

Está considerado como una especie críticamente en peligro de extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los recursos Naturales. (UICN) y considerada también así dentro del Apéndice I del Convenio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre. (CITES), en el que figuran las especies de animales sobre las que pesa un mayor peligro de extinción y que se prohíbe generalmente el comercio internacional de ejemplares de estas especi

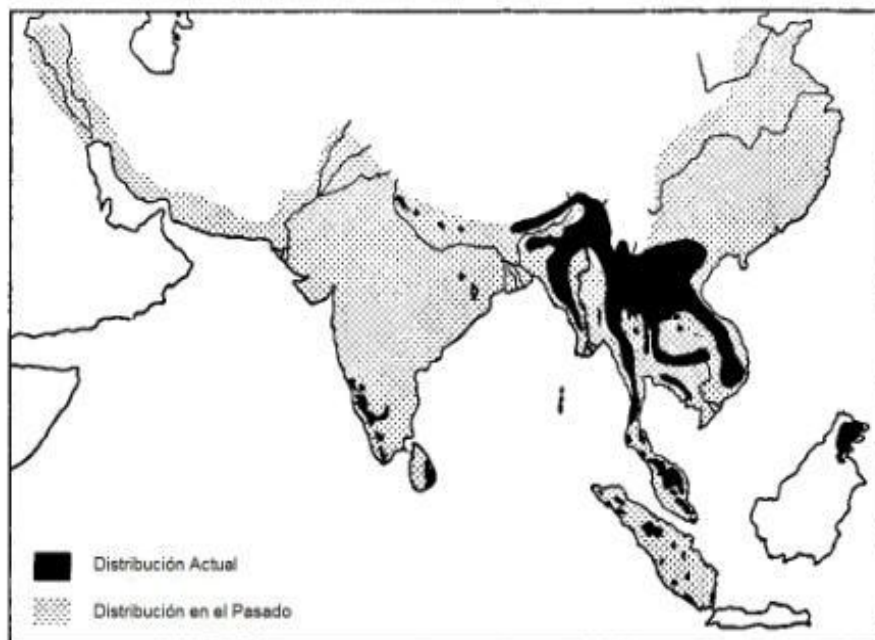


Figura 1. Distribución actual del Elefante Asiático. Modificado de Shoshani J y Eisenberg JF. ⁽¹²⁾

Su hábitat, en el cual se encuentra su dieta (especialmente hojas y pastos) incluye las selvas tropicales y pastizales. ⁽⁷⁾ Los elefantes Asiáticos ocupan una diversidad de tipos de hábitat como bosques húmedos y secos deciduos, pastizales pantanosos, matorrales, bosques ribereños, bosques perennes y planicies aluviales de ríos grandes ^(8, 9) con estanques de agua y de lodo, así como zonas para obtener sales minerales. ⁽¹⁰⁾

1.1.2 Características Generales.

El elefante Asiático es más pequeño que el Africano pudiendo así distinguirse uno del otro, tiene la forma de arco con el punto más alto en el centro de la espalda y en el elefante Africano el punto más alto se localiza en la parte posterior de la espalda. La cabeza del ejemplar Asiático es comprimida antero posteriormente y tiene una frente cóncava con una hendidura. Las orejas son más pequeñas, las cuales sirven para perder calor por medio del mecanismo de radiación. En los individuos maduros el borde dorsal se pliega lateralmente en vez de medialmente, tienen un oído muy fino y agudo, lo que le confiere una gran habilidad para distinguir sonidos de baja frecuencia (Cuadro 1). ^(1, 11, 12)

La trompa es una adaptación de la fusión del labio superior con la nariz, es muy especializada debido a que cuenta con aproximadamente 60,000 músculos y en la punta cuenta con una extensión muscular la cual usan con la misma habilidad que nosotros usamos los dedos, es un órgano prensil y multiusos, es altamente sensible y es inervado por los nervios trigémino y facial. Tiene funciones como la alimentación del ejemplar, tomar agua, bañarse, recoger tierra y aventársela en el dorso, oler, tocar, poder comunicarse con otros mediante la producción de sonidos; también le sirve como arma de defensa y ataque. Generalmente solo los machos tienen colmillos los cuales le sirven para cavar en busca de agua, sal o piedras, para derribar árboles, para trabajar, exhibirse y marcar su territorio. De igual manera que

la trompa, estos le funcionan como armas de ofensa y defensa, y posiblemente como un *status* simbólico. ⁽¹²⁾

La fórmula vertebral de estos ejemplares es la siguiente: 7 Cervicales, 19 - 20 Torácicas, 3 - 5 Lumbares, 3 - 5 Sacras y 24 - 34 Caudales. Los primeros 6 pares de costillas están en contacto con el esternón, las demás no. El elefante Sumatranos por lo general tiene 20 pares de costillas y los demás sólo 19. ^(1, 12)

La piel es una de las principales características de los elefantes, ya que a partir de ella reciben su clasificación como paquidermos (piel dura), la cual les ofrece protección contra picaduras de animales y condiciones climatológicas adversas, las arrugas en su piel incrementan las áreas de disipación de calor, este órgano tiene una gran movilidad y muchos centros nerviosos. La literatura no reporta glándulas sudoríparas como tal, pero se ha comprobado la presencia de sudor. ^(1,12)

Las constantes fisiológicas son las siguientes: Temperatura, 39.5° C, Frecuencia Cardíaca 28 – 35 latidos/minuto y Frecuencia Respiratoria 4 - 5 respiraciones/minuto. ^(1,12)

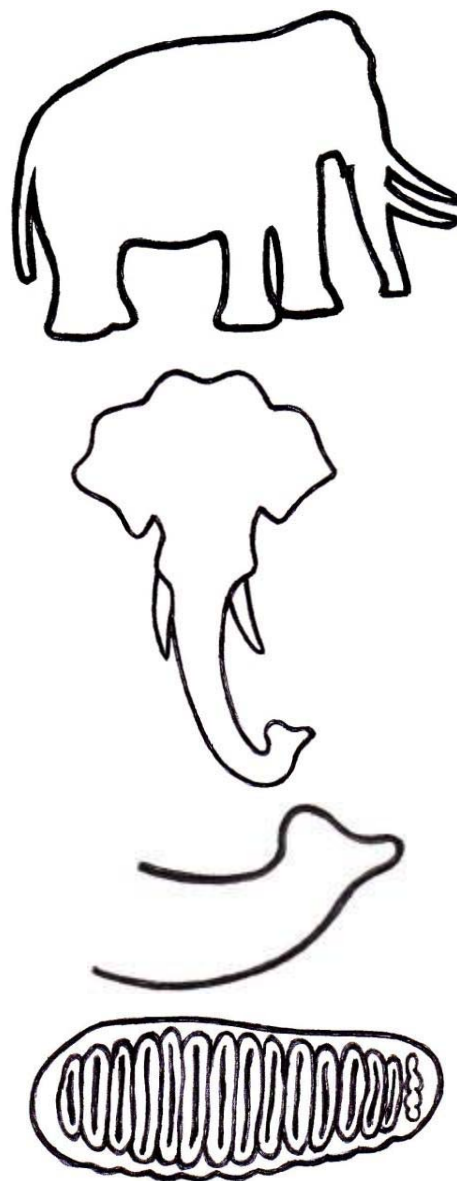
Se sabe que los machos alcanzan una madurez sexual a los 14–15 años, los testículos se encuentran dentro de la cavidad abdominal. Las hembras llegan a tener su primer parto a los 15–16 años, son poliéstricas continuas y el estro en cautividad dura de 3 a 4 días siendo receptivas sólo un día. El intervalo que hay entre estros es aproximadamente de 3 semanas. Durando su gestación entre 18 y 22 meses. ^(1, 12)

La organización social es la de un clan, el cual está regido por una matriarca, que suele ser la hembra de mayor edad, y es la encargada de controlar todos los movimientos de la manada. El clan está conformado de 8 a 21 individuos hembras, que tienen la tarea de cuidar a las crías. Los machos se separan del clan cuando alcanzan una cierta madurez, viven en soledad y sólo se reencuentran con las hembras cuando se acerca la temporada reproductiva. ^(1, 12)

Cuadro 1

Características Generales del Elefante Asiático (*Elephas maximus*).^a

Altura	2 a 3.5 m
Peso	3 a 6 Ton
Punto más alto	Parte superior de la cabeza
Espalda	Redondeada
Panza	Pareja o cuelga a la mitad
Piel	Ligeramente arrugada con poco pelo sobre el cuerpo
Cabeza	Compresa antero posteriormente y tiene 2 domos
Orejas	Pequeñas y rectangulares, no llegan al cuello
Colmillos	Sólo los machos tienen colmillos grandes, las hembras los tienen muy pequeños
Trompa	Con una proyección como dedo en la punta
Molares	Tienen un gran número de crestas transversales en su superficie
Patatas	Generalmente con 5 uñas en las patas delanteras y 4 en las

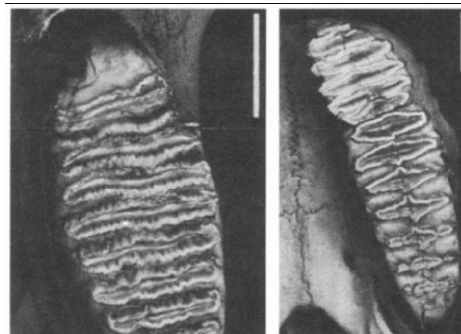


^a Modificado de Fowler y Mikota, 2006. ⁽¹⁾

1.2 Características del Tracto Gastrointestinal.

Una de las características físicas del elefante, es la elongación del labio superior y la nariz para la formación de un tronco muscular capaz de alcanzar las altas ramas en busca de comida. A pesar de contar con la suficiente fuerza para poder derribar un árbol completo, la trompa es delicadamente prensil como para poder recoger una sola inflorescencia de pasto. La comida es transferida a la boca donde se encuentra una gran muela en cada lado del maxilar superior y del inferior. (1, 12, 13, 14)

La fórmula dental del elefante es I 1-1/ 0-0, C 0-0 / 0-0, P 3-3 / 3-3 y M 3-3/ 3-3. Los colmillos son incisivos modificados, los cuales están compuestos de dentina (Marfil). Tienen seis juegos completos de muelas durante toda su vida, la sucesión de los molares es regular, y cada juego es compuesto de un diente progresivamente más grande. ^(1, 12) Las crestas transversales de las muelas producen una superficie oclusal (Figura 2), que es particularmente importante para la reducción de sílice o de la comida altamente lignificada a un tamaño de partículas más digestibles. Si un diente llegara a brotar en un ángulo impropio o fuera usado de manera desigual, las superficies molares no se encontrarían y la forma física de la dieta para ejemplares en cautiverio posiblemente tendría que ser alterada por el hombre para poder obtener un tamaño de partícula que normalmente se obtendría con el masticado. ^(1, 12)



Asiático izquierda, Africano derecha.

Figura 2. Vista oclusal de los molares superiores de Elefantes, tomado de Eisenberg y Shoshani, 1982. ⁽¹²⁾

Las diferencias en las estructuras molares de ambas especies (*L. africana* tiene un menor número de crestas en la superficie molar), puede ser interpretada como un alto grado de adaptación del elefante Asiático al pastoreo, debido a que el pasto es un forraje flexible que no se fragmenta con facilidad. Por lo que se asume que requiere más crestas transversales para una apropiada reducción del tamaño de las partículas. ⁽¹⁵⁾

Caudal a la rama mandibular y a los procesos condilares se encuentran las glándulas parótidas, las cuales se localizan por debajo del meato auditivo externo y del músculo cigomático auricular. Las glándulas están relacionadas con el músculo digástrico, el nervio facial y la arteria auricular posterior en el elefante Indio. ^(1, 11, 12)

Los niveles de potasio, magnesio, fósforo, calcio y urea son altos en la saliva, más que en el suero, contiene poca proteína, no contiene albúmina y no tiene sodio. Su composición varía con la edad, el nivel de hidratación, el estado hormonal y el grado de secreción salival. El elevado contenido de urea en la saliva puede indicar un mecanismo de reciclaje en el que los protozoarios y las bacterias la utilizan para los procesos metabólicos. ⁽¹⁾

A un lado de la cavidad oral en el tercio posterior a la nasofaringe se encuentra un divertículo faríngeo el cual es capaz de contener un poco menos de un galón de fluido y tiene la función de reservorio de agua entre el estómago y la cavidad oral, que termina en un esfínter el cual puede controlar el flujo de comida o líquido al interior del esófago. ^(1, 12)

El estómago es simple con numerosos pliegues rugosos en la porción del cardias, el tercio caudal del estómago tiene una mucosa suave. ⁽¹²⁾ La capacidad del estómago en una hembra Asiática es de un máximo de 76.6 L y tiene un peso vacío de 17,35 kg. ^(1, 12)

El hígado tiene de 2 a 3 lóbulos, siendo más comunes tres, cuando los tres están presentes el derecho es más largo. Su peso reportado en hembras, es de 36 a 45 kg. y en machos es de 51 a 68 kg. ^(1, 12,13) No tienen vesícula biliar, pero los conductos están presentes. El ducto hepático se une con el ducto pancreático mayor, para entrar después en la pared del duodeno, formando una ampolla que contiene numerosos pliegues en la mucosa. El intestino delgado puede llegar a contener 133,56 L. ^(12, 17) El páncreas es transversalmente elongado, se localiza en el mesoduodeno y cumple con las funciones endócrinas y exócrinas conocidas. En adultos puede llegar a pesar aproximadamente 2 kg. El Intestino grueso para los fermentadores post gástricos es el órgano principal de la fermentación, está sostenido por el mesenterio en el lado derecho e izquierdo del abdomen, quedando así sobre el intestino delgado, su capacidad es de 483,2 L. El colon es saculado, mas no tiene compartimientos, y la mayor parte de la fermentación se lleva a cabo en los primeros dos tercios del colon y ciego (Figura 3). ^(12, 17)

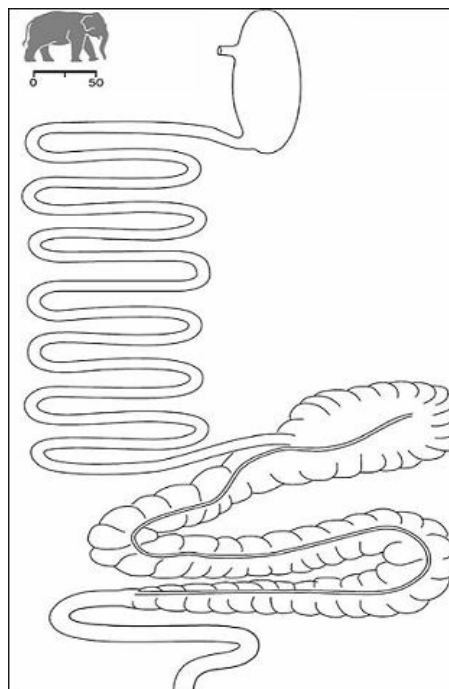


Figura 3. Tracto Gastrointestinal del Elefante Asiático, tomado de Clauss et. al., 2006. ⁽¹⁷⁾

1.3 Tiempo de Pasaje.

El elefante es el mamífero herbívoro más grande, ^(1,6, 9, 17, 18, 19, 20) el cual está clasificado como un fermentador postgástrico y tiene como comparativo nutricional al caballo, ^(17, 18,19) debido a que ambas especies dependen de la fermentación microbiana efectuada en el ciego y colon proximal, ⁽¹⁷⁾ pero a pesar de lo antes mencionado esta comparación ha sido encontrada como engañosa e incorrecta, debido a que los elefantes tienen una velocidad de paso de la ingesta más rápida y una mayor velocidad de digestión que los caballos. ⁽¹⁸⁾ El tracto digestivo de los elefantes es sorprendentemente corto en comparación con otros mamíferos herbívoros, e incluso entre especies se encuentran marcadas diferencias, debido a que los elefantes Asiáticos retienen por un mayor tiempo la comida en el tracto digestivo, debido a que tienen un tracto intestinal más grande relacionado así con el tamaño corporal y reflejando las diferencias en la morfología gastrointestinal ^(17, 20, 21, 22, 23), alcanzando un mayor coeficiente de digestibilidad comparado con los Africanos (véase Cuadro 2), posiblemente debido a las adaptaciones ecológicas para las diferentes estrategias tróficas. ^(1, 17, 20)

El paso gastrointestinal ha sido establecido en elefantes Asiáticos en cautiverio de 21 a 55 hrs, mientras que en elefantes Africanos es de 21 a 46 hrs, alimentados con dietas con base a forraje. ^(1, 12, 14, 17, 18, 21) El tiempo de retención está relacionado positiva y significativamente con el tamaño corporal de los elefantes en cautiverio.

Cuadro 2.

Peso corporal (kg) y medidas (m) de las diferentes secciones
gastrointestinales.^a

Especie	M C ^b	Estómago	I.Delgado	Ciego	I.Grueso	I Total	Fuente.
-	-	1.2	20	0.5	5.8	26.3	(Mullen, 1682)
-	-	1.0	9-11	0.5	5-7	14.5	(Frade, 1955)
-	-	-	21	0.6	12.8	18.5	
-	-	-	21	0.6	12.8	34.4	(Shmidt, 1978)
-	-	-	21	0.6	12.8	35.3	
<i>L. africana</i>	-	1.1	13.8	1.5	8.5	23.1	(Stevens y Humens, 1995)
<i>L. a</i>	-	1.2	11	0.8	6.0	18.0	(Sikes, 1971)
<i>L. a</i>	7.256	-	-	1.0	-	28.2	(Evans, 1910)
<i>E</i>	-	-	20.0	-	11.6	-	(Evans, 1910)

maximus

<i>E m</i>	-	-	21.0	-	12.2	-	(Evans, 1910)
<i>E m</i>	-	-	22.3	-	14.0	-	(Evans, 1910)
<i>E m</i>	-	-	22.6	-	13.1	-	(Evans, 1910)
<i>E m</i>	-	-	21.5	0.8	8.0	30.3	(Gabry <i>et. al</i> 1765)
<i>E m</i>	2.268	1.2	15.9	0.9	12.1	29.3	(Shoshani <i>et. al</i> 1982)
<i>E m</i>	2.903	-	-	-	-	28.4	(Shoshani <i>et. al</i> 1982)
<i>E m</i>	3.216	-	-	-	-	29.9	(Shoshani <i>et. al</i> 1982)

^a Cuadro comparativo entre la longitud de diferentes porciones del tracto gastrointestinal, entre las especies *Loxodonta africana* y *Elephas maximus*, tomado de Clauss *et. al.*, 2006. ⁽¹⁷⁾

^b Masa Corporal.

1.4 Dieta en Vida Libre.

El elefante Asiático, con base en sus hábitos de consumo en vida libre es clasificado como intermediario con preferencias por el ramoneo más que el pastoreo. Algunas investigaciones mostraron que los dos linajes fueron alguna vez de pastoreo y ahora se encuentran en un proceso de transición hacia el ramoneo ^(15, 23) y que los elefantes Asiáticos ingieren una mayor proporción de pasto en comparación a los elefantes Africanos, por lo que la energía fermentativa del pasto es menor que la de las ramas, así que se sugiere un mayor tiempo de retención de la ingesta como una adaptación particular de los herbívoros consumidores de pasto. ⁽²⁵⁾

Así mismo, se ha reportado que llegan a consumir tallos, hojas, frutos, hierbas fibrosas, cortezas, bulbos y hasta madera, todos ellos con valor energético bajo, por lo que se ven obligados a ingerir enormes cantidades al día, aunque ocasionalmente llegan a consumir pastos en grandes cantidades. ^(1, 3, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 16) La dieta consiste de diferentes pastos, hojas como de Karyota (*Caryota urenus*), Jak (*Artocarpus heterophylla*), palma de coco (*Cocos nucifera*), corteza de árboles, madera y tierra por su contenido mineral. Se conocen 400 plantas diferentes que son

parte de la dieta de los elefantes Asiáticos. ^(1, 14) Comparando ambos ejemplares, los Asiáticos incluyen en su dieta una mayor proporción de pasto que los elefantes Africanos. ⁽¹⁵⁾ Los elefantes pueden alimentarse durante todo el día, sin embargo, ocurren sólo dos picos máximos de alimentación al día. La proporción del tiempo que ocupan los elefantes asiáticos en el pastoreo va en un rango del 10 al 94% del día y el que ocupan en ramonear va del 6 al 90%; en el sur de India, esta variación depende del hábitat, la hora del día y la temporada. ^(1, 12, 14)

En cuanto a su actividad, aproximadamente del 72 al 90% de las actividades/día de un adulto implican moverse hacia la comida y comer, cuando se alimenta a un ritmo lento es cuando encuentra una fuente de alimentación primaria, básicamente pasto. El promedio de ingesta en un adulto puede llegar a ser de 7 kg de comida/hora, alimentándose 18 horas/día, consumiendo así hasta 150 kg de alimento (en base húmeda) y llegan a ingerir agua al menos una vez al día ya que nunca se mantienen lejos de una fuente de agua fresca. Un elefante puede alimentarse de más de 75 especies diferentes de plantas, mostrando preferencias por algunas especies y solo alimentándose por pocos días en el mismo lugar. ^(1, 12, 14)

Los elefantes en el parque Nacional de Tsavo, Kenya, fueron observados alimentándose entre 48 y 63% del día mientras que los elefantes Asiáticos de Sri Lanka fueron observados consumiendo alimentos de 17 a 19 horas al día, lo que equivaldría a 75 y 80%. ⁽¹⁶⁾ La estrategia digestiva es pasar gran cantidad de forraje de baja calidad a través del tracto gastrointestinal en un período corto de tiempo, por lo que pasan de 16 a 20 h/día comiendo. Los elefantes Asiáticos toman de 200 a 255 L de agua/día y 50 a 60 L de 3 a 4 veces/día, habiendo variaciones dependiendo de la actividad que estén llevando a cabo. Los ejemplares Asiáticos alimentados con alfalfa tienen un tiempo de retención de 51 h. Defecan de 15 a 20 veces al día entre 5 a 8 bolas de heces que pesan cada una entre 1 a 2,5 kg. ⁽¹²⁾

Sus necesidades nutricionales en vida libre han sido poco estudiadas, con excepción de sus requerimientos de energía para sus funciones metabólicas basales y de mantenimiento, las cuales han sido deducidos a partir de estudios realizados en las plantas que consumen. ^(14, 26)

La nutrición en vida libre va a depender mucho de la temporada, ya sea húmeda o seca, teniendo niveles de hasta 2% de proteína cruda (PC) en materia seca, consumida de las hojas de palmera en la India y hasta un 26 a 30% en los arbustos de Kenya. En el sur de la India fueron medidas durante la temporada húmeda hojas de 11 ramas encontrando en un rango del 13 al 26 % de PC, en pastos de la misma estación un contenido de 9 al 10%. Durante la temporada seca, las ramas llegaron a aportar de 6 a 18% de PC y los pastos un contenido de 3%.^(1, 12, 14) Se ha comprobado que muchas especies de ramas tienen un alto contenido de grasa cruda (EE) en comparación con las dietas de herbívoros en cautiverio e incluso en comparación con los pastos.^(1,14)

La fibra cruda consumida de hojas de palmeras (*Caryota urens*) en India fue de 24 % pero este dato no puede ser comparado con el sistema de detergentes los cuales incluyen Fibra Detergente Neutro (Hemicelulosa, Celulosa y Lignina), Fibra Detergente Ácido (Lignina y Celulosa) y Lignina. Debido a que la fibra cruda puede subestimar la FDA y sobreestimar la Lignina, al ser calculadas las dos pruebas en la misma muestra.^(1, 12, 14)

Los análisis de los minerales en dietas de elefantes tienen variaciones significativas que de igual manera están controladas por la temporada y por las especies de plantas. El calcio fue encontrado en valores del 0.13 % en base seca. En la temporada húmeda se encontró en 0.38% y específicamente en el pasto fue encontrado de un 0,36 a un 1,44 % en base seca, en comparación con un 0,53 a 8,92% de materia seca en arbustos.^(5,14) Las cortezas de los árboles tienen una concentración de este nutriente por encima del 5.7%. Otros minerales como el Potasio (K) tienen valores que van de 0,4 a 2,4% en las ramas analizadas de Sri Lanka.^(1, 12, 14)

Los elementos traza han sido reportados de pastos, ramas, tallos y ramas de *Bombax ceiba* y *Ficus religiosa*, ingeridas por elefantes en Nepal, teniendo así que el Cu va de 10 - 39 mg/Kg, Fe 152 - 429 mg/Kg, Mn 16 - 37 mg/Kg, Se 0,1 - 0,4 y en Zn 20 - 52 mg /Kg en materia seca en estas especies.⁽¹⁾

1.5 Requerimientos y recomendaciones alimenticias.

La nutrición es un componente integral del manejo de animales de zoológico, por lo cual se creó un grupo científico para el desarrollo de lineamientos que lleven a una apropiada alimentación de estas especies en cautiverio. Este grupo es conocido como Grupo Consultivo de Nutrición (NAG, por sus siglas en inglés), el cual ha emitido en un manual las recomendaciones básicas nutricionales de los elefantes (Cuadro 3).

A pesar de que actualmente se siguen realizando estudios sobre fisiología digestiva y los nutrientes mínimos requeridos por los elefantes, se siguen utilizando las guías de alimentación de los caballos como modelo doméstico del elefante. Aunque no hay mucha información, el Consejo Nacional de Investigación (NRC, por sus siglas en inglés) recomienda que para caballos, se debe formular una dieta con base a los diferentes estadios fisiológicos, aunque para elefantes no hay información comparativa en diferentes etapas de vida, con excepción de la proteína digestible, para animales jóvenes (10 años, aprox. 1337 Kg.) de 1300 g/día y para animales adultos (37 años, apróx. 3605 Kg.) de 2370 g / día. ^(1, 12, 14) Asimismo, estos autores recomiendan que una buena calidad de heno deba ser base en un programa de alimentación, con la adición de ramas, frutas, verduras y suplementos. A pesar de los requerimientos de 1300 g de proteína por día en crecimiento, una dieta debe contener por lo menos un 8% de proteína cruda con una digestibilidad del 50% de materia seca y un consumo de 1.3 % del peso corporal. Los niveles bajos de proteína aunados a una calidad pobre de heno, puede llevar a una deficiencia de proteína, seguido de enfermedades y hasta la muerte. Generalmente, se utilizan alimentos comerciales peletizados hasta en un 10% de inclusión para balancear vitaminas y minerales, pero no para reemplazar el forraje o fibra como fuente primaria y esencial para una función gastrointestinal y de fermentación adecuadas. La suplementación de la dieta debe ser cuidadosamente evaluada, sobre todo cuando en la dieta formulada se tiene una base de forraje y se le incluye alimento comercial peletizado, ya que la cantidad del forraje y la consistencia debe ser el foco primario de alimentación de un elefante. ^(1, 14, 27)

Cuadro 3.

Requerimientos nutricionales para elefantes (NAG elephants, 2003). ⁽⁷⁾

Nutriente	Mantenimiento, Crianza, Inicio de Gestación.	Termino de Gestación.	Lactación	Crecimiento.
Proteína Cruda, %	8-10 ^a	12	12-14 ^b	12-14 ^c
Lisina, %	0.3	0.4	0.4-0.5	0.5-0.6
Calcio, %	0.3	0.5	0.5	0.5-0.7
Fósforo, %	0.2	0.3	0.3	0.3-0.4
Magnesio, %	0.1	0.1	0.1	0.1
Potasio, %	0.4	0.4	0.5	0.4
Sodio, %	0.1	0.1	0.1	0.1
Sulfuro, %	0.15	0.15	0.15	0.15
Hierro, ppm	50	50	50	50
Cobre, ppm	10	10	10	10
Manganesio, ppm	40	40	40	40
Zinc, ppm	40	40	40	40
Cobalto, ppm	0.1	0.1	0.1	0.1
Iodo, ppm	0.6	0.6	0.6	0.6
Selenio, ppm	0.2	0.2	0.2	0.2
Vitamina A, UI/Kg	3000	3000	3000	3000
Vitamina D, UI/Kg	800	800	800	800
Vitamina E, UI/Kg	100	100	100	100
Tiamina, ppm	3	3	3	3
Riboflavina, ppm	3	3	3	3

^a Adulto en mantenimiento, 8 % PC, macho en Crianza, hembra gestante (en los primeros dos tercios de gestación), 10 % PC.

^b Primer año de Lactación, 14 % PC, segundo año de Lactación, 12 % PC.

^c Destete, 14 % PC; 3 años, 13 % PC; 4 años a 12 años, 12 % PC.

1.6 Digestibilidad.

Los elefantes Asiáticos entre 1555 a 3550 kg tienen un consumo de 1,03 a 4,4% de su peso corporal en base seca. ^(1, 14, 18) La digestibilidad de materia seca en elefantes ha sido determinada en un rango de 40 a 60% en Asiáticos, siendo esta menor en los elefantes Africanos (22 a 32%). Clemens y Maloy (1983) compararon la digestibilidad aparente en varias secciones del tracto gastrointestinal y encontraron que la mayor asimilación de materia seca se lleva a cabo en la porción superior del colon y disminuyendo con el incremento de fibra contenida en una dieta basada en

forraje y heno. Otros estudios han demostrado que los coeficientes de digestibilidad en elefantes son menores que en caballos alimentados con una dieta en base a nutrientes de similar composición, debido al rápido paso gastrointestinal de los elefantes. Para la materia orgánica se ha reportado una digestibilidad 35 a 62%.⁽²⁷⁾

Por otra parte, en el ciego y colon habitan bacterias anaeróbicas similares a las encontradas en el rumen y el retículo de los rumiantes. Las bacterias anaeróbicas y los protozoarios pueden ser también encontrados en el intestino delgado, a pesar de las bajas concentraciones de protozoarios en el duodeno, las cuales comienzan a aumentar en el yeyuno distal e íleon, estos microorganismos digieren principalmente la pared celular de la planta (principalmente celulosa y hemicelulosa), la cual, de otra manera no podría ser usada.⁽¹⁾

La fermentación microbiana de la fibra y el ácido láctico, formados en el tracto digestivo superior, producen ácidos grasos volátiles que pueden ser absorbidos y usados en forma de energía, estos procesos digestivos y el descubrimiento de que cuentan con un rápido paso gastrointestinal son consistentes en un sistema digestivo diseñado para tratar más efectivamente con las partes jóvenes y tiernas de las plantas, pero con la capacidad y la habilidad de digerir parcialmente la fibra a energía en simbiosis con los microorganismos del intestino grueso.⁽¹⁾

1.7 Condición Corporal.

La condición corporal y el peso son métodos por medio de los cuales se puede estimar el estado físico y el correcto aprovechamiento de la dieta, siendo la primera técnica no invasiva y de fácil acceso tanto para especies en cautiverio como en vida libre. Wemmer C, *et al.* (2006),^(28, 29) estableció que puede ser calculada por medio de la evaluación de 7 puntos específicos (descritos en el apéndice 2), de igual forma es posible estimar el peso de los elefantes por medio de la medición del perímetro torácico y el uso de la fórmula descrita por Fowler, 2006.⁽¹⁾ La obesidad es un problema en animales en cautiverio relacionados con dietas poco balanceadas y una actividad física reducida, el cual conduce a problemas, principalmente de pies y posteriormente de partos largos, distocias, la muerte de la cría e inclusive de la madre.⁽²⁶⁾ Los elefantes en buena condición física reportan casos contrarios a lo

antes mencionado. En Sri Lanka el peso corporal fue correlacionado positivamente con la reproducción. ^(1, 12, 14)

1.8 PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD.

El conocimiento de la evaluación nutritiva de los alimentos es fundamental en la nutrición animal, dado que la composición química de los alimentos es solamente indicativa de su contenido de nutrimentos, mas no de su aprovechamiento para el animal ⁽²⁰⁾. Así mismo el proceso fisiológico básico de la digestión es comparable entre los animales en cautiverio y los de vida libre, razón por la cual, los estudios generados en zoológicos son fundamentales para establecer programas de manejo y conservación tanto *in situ*, como *ex situ* de especies en peligro de extinción. ⁽²⁰⁾

La digestibilidad se define como el porcentaje de un nutrimento dado que se digiere en su paso por el tubo gastrointestinal. ⁽³⁰⁾ A continuación se presentan metodologías alternas en la estimación del aprovechamiento de nutrientes, para así poder explicar el uso de la digestibilidad aparente como el método de elección para la determinación de la misma en esta especie.

1.8.1 Digestibilidad *in vitro* e *in situ* de materia seca, materia orgánica y proteína.

Es un sistema que se utiliza frecuentemente con fluido ruminal, siendo uno de los métodos más viejos y comunes en el uso para la estimación de la digestibilidad. El método más empleado es el de Tilley y Terry (1963), aunque ha sufrido muchas modificaciones (Minson y McLeod, 1972; Van Soest y Robertson, 1985). ⁽³¹⁾ La digestibilidad *in vitro* de dos pasos es altamente correlacionada con los valores *in vivo*. El amortiguador empleado está basado en el análisis de saliva de borregos y es esencialmente un sistema alto en bicarbonatos. El principal problema con el amortiguador Mc Dougal's es el alto contenido de dióxido de carbono que tiene como inconveniente la inestabilidad cuando se almacena como un reactivo en solución y el problema de acidificación al final del primer estado, previo a la adición de pepsina, además de que forma mucha espuma. Recientemente se ha desarrollado un amortiguador que forma menos espuma y se trata de una solución más estable. El inóculo de fluido ruminal es un reactivo esencial. Es necesario

controlar la dieta del animal donador, el tiempo de muestreo, consumo reciente de agua, etc. Otro método es la desaparición *in situ* que consiste en la posibilidad de incubar alimentos directamente en el animal vivo para obtener una estimación de la tasa de desaparición de los nutrimentos, por Quin *et. al.*, en 1938 (Citado por Van Soest *et. al.*, 1991).^(31,32) A partir de entonces, se han realizado modificaciones que permiten estimar con bastante exactitud, la desaparición de nutrimentos incubados en las bolsas después de su permanencia en el rumen por diferentes periodos. Comprobándose que ésta técnica, provee de una fácil y rápida estimación de la tasa de desaparición de los nutrimentos en el rumen. Además de determinar la desaparición de la materia seca, también se puede determinar la FDN, FDA, celulosa, nitrógeno, etc., realizando las determinaciones pertinentes a los alimentos y residuos de los distintos tiempos de incubación.^(31, 32,33)

1.8.2 Digestibilidad *in vivo*.

1.8.2.1 Digestibilidad Ileal.

El lugar de la colecta de la muestra excretada determina el tipo de la digestibilidad, “digestibilidad fecal o total” (DT) cuando se colectan las heces y “digestibilidad ileal” (DI) cuando se obtiene el contenido ileal antes de la válvula íleo – cecal.⁽³²⁾

1.8.2.2 Digestibilidad Metabólica.

La estimación de la fracción endógena de los diferentes nutrimentos permite la diferenciación de la porción indigerible real de estos nutrimentos y consecuentemente estimar la “digestibilidad verdadera”, por lo cual se lleva a cabo la recolección de la orina para la determinación de nitrógeno (N₂) y energía, siguiendo la fórmula⁽³²⁾:

$$CDV = \frac{C-E}{C} \times 100$$

Donde:

CDV= Coeficiente de digestibilidad verdadera (%).

C = Cantidad de materia seca o del nutrimento “X” consumido (proteína y energía)

$E = \text{Cantidad de materia seca o del nutrimento "X" excretado} = g \text{ excretado en las heces} - g \text{ excretados en la orina.}$

1.8.2.3 Digestibilidad Aparente.

Este método considera a los nutrimentos encontrados en las heces como las únicas pérdidas que ocurren durante la digestión, y que todos son de origen alimenticio, razón por la que la metodología utilizada únicamente sirve para determinar la digestibilidad aparente de un alimento, además de que parte de las sustancias que aparecen en las heces no son de origen alimentario (enzimas, secreciones glandulares, bacterias, células de descamación, etc.).^(32,34)

Existen varios métodos para obtener los datos que permiten el cálculo del coeficiente de digestibilidad aparente, la diferencia básica entre estos métodos estriba en la manera de manejar las heces, ya que puede ser la colección total y la colección parcial. En la colección total o método directo se recolecta la totalidad de las heces producidas por los animales. Esto se puede realizar mediante separadores adaptados a las jaulas metabólicas o bien usando bolsas sujetas al animal. Las heces se recolectan y se pesan diariamente, tomando una muestra del total. La colección parcial o método indirecto se basa en la utilización de marcadores, lo cual elimina la necesidad de hacer la colección total de las heces.^(32, 33, 34, 35, 36)

La digestibilidad se puede determinar como aparente, debido a que el uso de su fórmula se realiza cuando no se determinan las pérdidas metabólicas.⁽²⁵⁾ Las principales ventajas que tiene el uso de marcadores dentro de los estudios de digestibilidad son dos: la primera, es la posibilidad de reemplazar el método de recolección total de heces, especialmente en estudios con especies de gran tamaño, siendo de gran interés la disminución de la carga de trabajo y el costo, la segunda es el poder realizar pequeños muestreos al azar, siendo estas muestras representativas de un promedio de 24 horas.^(32, 33, 37)

En determinadas circunstancias, la carencia del equipo adecuado o las características especiales del experimento, hacen imposible la determinación directa de la ingestión de los alimentos o la excreción de heces o ambas. Sin embargo es posible determinar la digestibilidad si el alimento contiene alguna sustancia totalmente indigestible. Determinando los contenidos de dicho indicador en los

alimentos y en pequeñas muestras de las heces de cada animal, la relación existente entre esas concentraciones proporciona una estimación de digestibilidad. El indicador puede ser algún componente natural de la dieta o alguna sustancia que se mezcla con el mismo. En la actualidad se emplean como indicadores las fracciones de los alimentos llamadas fibra detergente ácido indigestible (lignina) y las cenizas ácido insolubles (compuesta fundamentalmente por sílice), así como algunos n-alcenos de cadena larga que se encuentran de forma natural. El indicador más empleado para mezclar con alimentos es el óxido de cromo, Cr_2O_3 .^(32, 33, 34, 38)

El significado de las cenizas que son resistentes a las soluciones de ácido es que, en teoría representan los nutrientes inertes o los minerales no disponibles. Convencionalmente incluyen minerales presentes en la tierra, los cuales son grandes silicatos y sílice opalina que tienen sus orígenes de las plantas. Propiamente conducen a la separación del sílice, de otras cenizas y preliminarmente a la separación de la sílice y el silicón. Las cenizas ácido insolubles han sido propuestas como un marcador interno, alternativamente a la lignina (Van Soest y Robertson, 1985; Thonney *et. al.*, 1979).⁽³¹⁾

Existen dos procedimientos genéricos basados en los tratamientos secuenciales. Uno consiste en incinerar la muestra, para posteriormente ser tratada con el ácido, volverla a incinerar y subsecuentemente pesar la materia insoluble. Los métodos originales para la sílica (Kolthof y Sandell, 1945), el método Hindú (Shivastra y Talapatra, 1962) y los métodos de Keulen y Young (1978)⁽³⁹⁾, son de este tipo. La otra alternativa, es la de digerir la muestra en ácido y posteriormente incinerar el residuo. Las cenizas ácido detergente insolubles, el método de la sílica y el método del ácido 4N de Vogtman *et. al.*, 1975 son de este tipo (véase Apéndices 10,11 y 12). Estas fracciones también pueden ser determinadas a partir de la fibra detergente ácido, al final de cualquiera de las secuencias de lignina-quitina y celulosa, o directamente después de la incineración de la fibra detergente ácido.

Muchos de los análisis son conducidos con el propósito de evaluar la disponibilidad de los nutrientes, de hecho, midiendo aquellos que no son disponibles, siendo así que la materia orgánica, podría ser generalmente disponible a la digestión, excepto por la existencia de factores inhibitorios y limitantes. La lignina se

encuentra bajo el encabezado general de que las sustancias no disponibles afectan la disponibilidad de otros componentes como los de la pared celular. La lignina afecta principalmente la máxima extensión de la digestión al poner un límite, mientras que otros aspectos de la digestión se ven afectados por la pérdida de sustancias potencialmente disponibles, debido a la competencia entre el pasaje y la baja velocidad de digestión. Además de la lignina, la quitina similarmente establece una barrera la cual de igual manera afecta a la digestión. Los taninos son fácilmente confundidos con la lignina y ciertamente son inhibidores y tienen una influencia sobre la velocidad de pasaje y absorción. Desde que se conoce que la lignina protege de la digestión a una fracción definitiva de la matriz de la pared celular de las plantas, este residuo indigestible es obligadamente de interés como indicador de la digestibilidad, así como también es usado como marcador. La metodología más vieja y estándar para la estimación de la lignina, es la separación del material insoluble de la pared celular en ácido sulfúrico al 72 % (24 N), que ha sido un reactivo general, para la disolución e hidrólisis de la celulosa. ^(31, 32, 37, 38)

En la actualidad son limitados los datos acerca de la digestibilidad de la materia seca de los grandes fermentadores postgástricos en cautiverio como el elefante Asiático, ⁽¹⁸⁾ por lo que se hace necesario establecer un método seguro para su determinación. ⁽¹⁶⁾ La recolección total de heces es el método estándar para determinar la digestibilidad de materia seca, pero es un sistema que requiere de una labor intensiva, un mayor consumo de tiempo y es caro. ^(18, 19) Por lo cual, se ha desarrollado un método con el uso de marcadores, que a la vez es no invasivo e ideal para las condiciones en las que se encuentran los animales alojados en los zoológicos.

2. JUSTIFICACIÓN.

En la actualidad es escasa la información sobre la digestibilidad de los alimentos del elefante asiático (*Elephas maximus*) por lo que el presente proyecto pretende aportar conocimientos sobre la fisiología digestiva del animal. El estudio de estas características será de gran ayuda para el diseño de estrategias de conservación y manejo, basadas en los hábitos alimenticios y valor nutricional de la dieta. La evaluación y la comparativa de las dietas de los zoológicos de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre en la Ciudad de México, son indispensables para la toma de decisiones dentro del manejo institucional de las dietas de elefantes.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo General.

Determinar el aporte nutricional, consumo y digestibilidad de las dietas de los elefantes Asiáticos mantenidos en cautiverio en la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre.

3.2 Objetivos Específicos.

1. Determinar el aporte de Materia Seca, Proteína Cruda, Cenizas, Extracto Etéreo, Energía Bruta, Fibra Neutra Detergente, Fibra Ácido Detergente, Calcio y Fósforo, de la dieta ofrecida y consumida por elefantes asiáticos de los zoológicos de Chapultepec y de San Juan de Aragón.
2. Estimar el consumo de materia seca por los elefantes asiáticos en cautiverio.
3. Estimar la digestibilidad aparente de MS, PC, FC, EE, EB, Cenizas, FND y FAD de la dieta proporcionada.

1. MATERIAL Y MÉTODOS.

El presente trabajo se realizó en el zoológico de Chapultepec “Alfonso L. Herrera” y en el zoológico de San Juan de Aragón pertenecientes a la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre, donde se llevó a cabo la primera fase que se dividió en dos periodos, el primero consistió en la observación de los ejemplares para poder determinar la manera de adquirir las muestras, y el segundo se basó en la medición de los ejemplares (en el caso del zoológico de San Juan de Aragón) y la toma de muestras.

La segunda fase consistió en la realización de los análisis de laboratorio, los cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales, de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el laboratorio A3 del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Centro Nacional de Investigaciones en Fisiología Animal del INIFAP.

1.1 Ejemplares utilizados.

Se utilizaron un total de 4 hembras de elefantes Asiáticos, los 2 más jóvenes, uno de cada zoológico, tienen aproximadamente 40 años y los 2 ejemplares más grandes son de cerca de 70 años de edad.

4.2 Alojamiento.

Zoológico de Chapultepec “Alfonso L. Herrera”.

Los 2 ejemplares alojados en este zoológico comparten el albergue, el cual es dividido en dos secciones: casa de noche y exhibidor. La casa de noche es un recinto el cual consta de pisos, paredes y techo de cemento, es dividido en dos por una puerta metálica y grandes columnas de cemento; siendo un dormitorio de mayor tamaño que el otro. El más grande cuenta con 3 bebederos de aproximadamente 200 litros cada uno, hechos a base de cemento, de los cuales 2 son llenados en su totalidad. Este dormitorio es ocupado por el ejemplar de mayor edad. El segundo dormitorio es de menores proporciones, cuenta con un bebedero de la misma capacidad y del mismo material (Figura 4).

Los ejemplares comparten el exhibidor, turnándose en salir un ejemplar por día. Cuenta con una superficie de tierra, dentro de la cual hay zonas focales con

pasto y piedras de aproximadamente 1 metro de diámetro. Es dividido del público por medio de una barrera artificial de piedras.

B: Bebederos
D1 y D2: Dormitorios
P1: Puerta de entrada
P2: Salida a exhibidor
P3: Puerta entre dormitorios

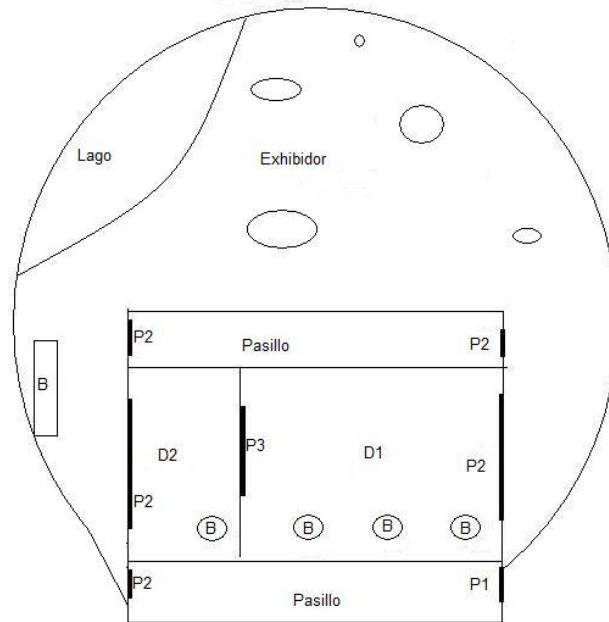


Figura 4. Mapa del exhibidor y casa de noche del zoológico de Chapultepec.

Zoológico de San Juan de Aragón.

Los 2 ejemplares también comparten un albergue, permaneciendo juntas durante el día y la noche. Es decir, duermen y se alimentan juntas. La casa de noche consta de cuatro dormitorios, de los cuales solo se ocupan dos para albergarlos, con la opción de usar los otros para movilizarlos. El dormitorio está hecho a base de pisos y paredes de cemento, teniendo como barreras de separación grandes columnas metálicas, cuentan con puertas automáticas para salir hacia el exhibidor, las cuales permanecen abiertas durante el día y la noche (exceptuando la hora en la que se realiza la limpieza del lugar). El exhibidor se encuentra dividido en dos áreas, las cuales cuentan con un área de entrenamiento por medio de contacto protegido, áreas de tierra, zonas de areneros y árboles artificiales, en los que se cuelgan ramas

para favorecer el ramoneo (Figura 5). Cuenta también con un lago artificial que sirve como bebedero, alberca y barrera física para el público.

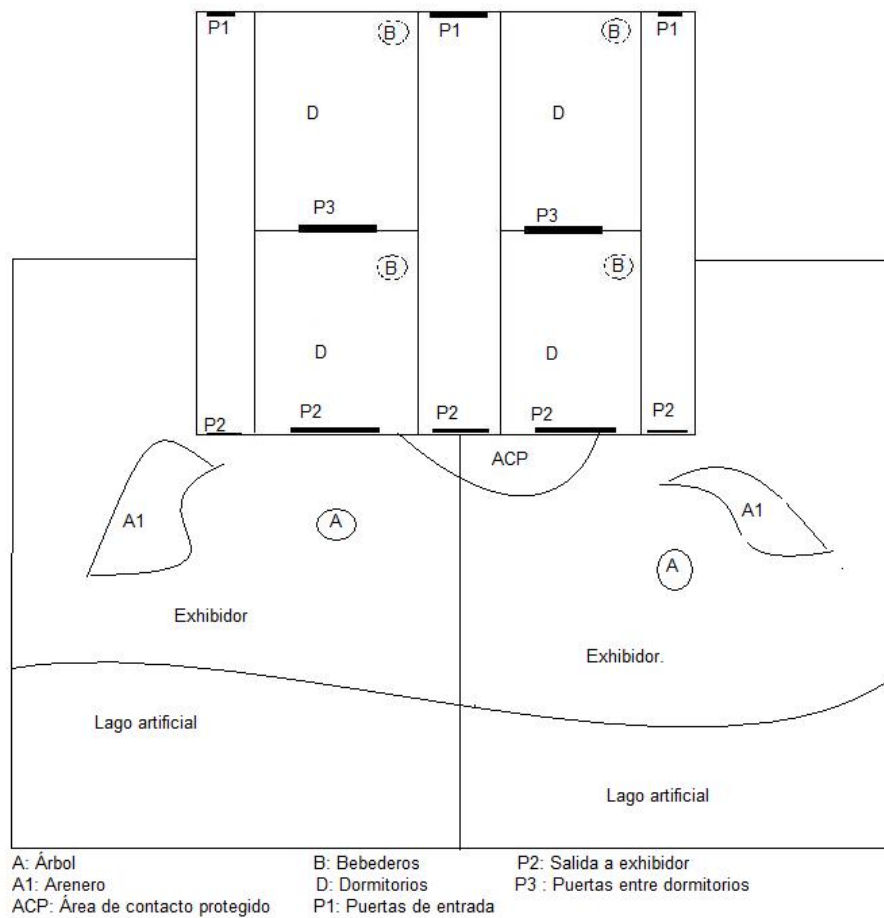


Figura 5. Mapa del exhibidor y casa de noche del zoológico San Juan de Aragón.

4.3 Duración del Estudio.

La fase de recolección de muestras en el Zoológico de Chapultepec tuvo una duración de dos meses (Mayo y Junio del 2007), debido a que se realizó una etapa de observación focal, la cual consiste en la observación de un individuo a la vez por periodos determinados de tiempo (en esta etapa se observó al individuo de exhibidor durante 30 minutos, cada hora de las 9 am hasta las 3 pm), para poder tratar de determinar el lugar en el cual serían tomadas las muestras, posteriormente se

llevaron a cabo muestreos y pesajes experimentales tanto de las dietas como de las heces, para concluir con un lapso de 6 días en el cual se realizaron los muestreos.

La recolección de muestras en el zoológico de San Juan de Aragón tuvo una duración de 1 mes y medio (Julio y principios de Agosto), donde de igual manera se realizó una etapa de observación siendo en este caso de barrido (30 min. cada hora de 8 am a 3 pm), la cual radica en la observación de forma general de todos los ejemplares para de manera semejante poder tratar de determinar el lugar en el cual serían tomadas las muestras, posteriormente se llevaron a cabo muestreos y pesajes experimentales tanto de las dietas como de las heces, para concluir con un lapso de 6 días en el cual se realizaron los muestreos.

4.4 Alimentación.

Las dietas que se ofrecen a todos los ejemplares dentro de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre están conformadas por los ingredientes y cantidades que se muestran en el cuadro 4, mientras que el consumo en base húmeda y los porcentajes de inclusión de ingredientes se muestran en los cuadros 5 y 6.

Cuadro 4.

Dietas de los ejemplares de elefante Asiático de la DGZVS

	Chapultepec		Aragón
	Hembra 1	Hembra 2	Grupo
Ingredientes			
Alfalfa achicalada (kg)	13	13	10
Avena hojuela (kg)			4
Avena forraje (kg)	5.5	5.5	33
Frutas (kg) ¹	42.5	37.5	53.5
Cacahuete (kg)	3	3	
Concentrado para caballo doméstico ² (kg.)			10
Lechuga (pieza)	12	12	24

“Pastel” ³	1	1	1
Pasto Kikuyo (kg)			30
Pan integral (0.720 kg) ⁴	1	1	1
Ramas de Acacia (kg)			2
Ramas de laurel (kg)			3
Salvado de trigo (kg)			4
Zanahoria (kg)	50	50	59

¹ Para la hembra 1 las frutas que consume son: calabaza de castilla, caña, manzana, melón, papaya, plátano y sandía; para la hembra 2 la única diferencia respecto a la anterior es que esta no consume calabaza. Para el grupo de Aragón la frutas son: manzana, melón, piña, plátano, sandía y uva.

² Purina AgribRANDS Omolín. Análisis de Garantía: Humedad 12%, PC 10.18%, FC 7.14%, EE 2.86%, Cenizas 4.91%.

³En el zoológico de Chapultepec cada pastel consiste en 1 kg. de plátano tabasco, 500 g. de grenetina y un paquete de 720 g. de pan integral de caja. En el zoológico de San Juan de Aragón se dan los pasteles cada tercer día y se les adiciona 300g de Omolín y 2 (300g apróx.) plátanos tabasco un paquete de 720 g de pan integral de caja, 500 g. de grenetina, cada pastel se suplementa con vit y minerales (rumisal, levadura metionina).

⁴ Todas las mañanas a las hembras del zoológico de Chapultepec se les ofrece un paquete de 720g. de pan integral de caja para entrenamiento y manejo.

Cuadro 5.

Promedio de ingredientes consumidos en un día por los elefantes Asiáticos albergados en el Zoológico de Chapultepec

	Elefante 1		Elefante 2	
	Promedio de Consumo en un día en BH ^a (kg)	Porcentaje de Inclusión ^b (%)	Promedio de consumo en un día en BH ^a (kg)	Porcentaje de Inclusión ^b (%)
Alfalfa achic.	19.9	18.2	17.7	17.4
Avena	5.1	4.7	5.2	5.1
Zanahoria	50.9	46.6	50.7	49.7
Lechuga	6.5	6.0	5.6	5.5
Plátano	3.0	2.8	3.1	3.0
Manzana	3.6	3.3	3.6	3.6
Sandía	3.4	3.1	3.7	3.7

Papaya	3.3	3.0	3.2	3.1
Caña	3.4	3.2	3.5	3.4
Melón	1.4	1.3	1.4	1.4
Cacahuete	1.3	1.2	1.3	1.3
Elefantab	2.3	2.1	2.1	2.1
Pan	0.7	0.7	0.7	0.7
Calabaza de Castilla	4.4	4.0		
Total	109.2 kg.	100 %	102 kg.	100 %

^a Consumo del elefante en un día en base húmeda, tomando el promedio en base al pesaje de las cantidades consumidas en una semana.

^b Los porcentajes de inclusión se determinaron tomando el total del consumo como el 100 % de la dieta y determinando el porcentaje que aporta cada ingrediente.

Cuadro 6.

Promedio de ingredientes consumidos en un día por el Grupo de elefantes Asiáticos albergados en el Zoológico de Aragón

	Promedio de consumo en un día BH ^a (Kg)	Porcentaje de Inclusión ^b (%)
Alfalfa achic.	10.7	4.7
Avena en Greña	39.5	17.2
Avena en hojuela	4.0	1.7
Pasto Kikuyo	36.9	16.0
Omolín	10.0	4.3
Salvado de trigo	4.0	1.7
Zanahoria	50.9	22.0
Acacia	1.9	0.8
Laurel	2.1	0.9
Lechuga	11.1	4.8
Plátano	7.7	3.3
Manzana	7.4	3.2
Sandía	14.5	6.3
Uva	3.0	1.3
Melón	9.0	3.9
Piña	8.3	3.6
Pastel	4.8	2.1

Pastel 2	4.2	1.8
Pan	0.7	0.3
Total	230.7 kg.	100 %

^a Consumo del elefante en un día en base húmeda, tomando el promedio en base al pesaje de las cantidades consumidas en una semana.

^b Los porcentajes de inclusión se determinaron tomando el total del consumo como el 100 % de la dieta y determinando el porcentaje que aporta cada ingrediente.

4.5 Toma de Muestras y Análisis de Laboratorio.

Para la determinación del contenido de nutrientes se tomó al inicio y al final del experimento, una muestra de 500 g de cada ingrediente de la dieta y para la prueba de digestibilidad se tomó una muestra de heces que variaba en peso (800g hasta 1kg.) de las heces de cada animal por un periodo de 5 días, ⁽³¹⁾ las cuales se guardaron en bolsas de polietileno debidamente identificadas con la fecha de obtención y el nombre del animal en el caso de las heces. Todas las muestras fueron almacenadas en congelación a -20° C hasta su procesamiento en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro, en su facultad de Ciencias Naturales.

Cada muestra fue previamente secada en una estufa de aire forzado, molida y posteriormente sometida a un análisis químico proximal (Materia Seca, Humedad, Proteína Cruda, Extracto Etéreo y Cenizas); ⁽³²⁾ un análisis de paredes celulares (Contenido Celular, Fibra Detergente Neutro, Fibra Detergente Ácido y Celulosa). ⁽²⁷⁾ También se llevaron a cabo determinaciones de Calcio con el método AOAC 927.02 y de Fósforo con el método AOAC 965.17. ⁽³²⁾ Por otra parte se realizaron análisis de Lignina y Cenizas Ácido Insolubles ^(24,27) como marcadores internos de las dietas, que posteriormente fueron usados para determinar la digestibilidad aparente de la misma.

Una vez obtenidos los resultados de los análisis se evaluó la dieta con base a los nutrientes requeridos por los elefantes asiáticos en cautiverio.

4.6 Determinación de Consumo de Materia Seca.

El cálculo del consumo de materia seca se realizó pesando las cantidades de cada ingrediente ofrecido y el rechazo del mismo, tanto en el grupo como en los animales alojados individualmente, llevándose a cabo durante el mismo periodo que duró la recolección de heces, el cual comprendió una semana. Los resultados fueron convertidos a base seca de acuerdo a los obtenidos en el análisis químico proximal.

4.7 Pesaje de los Ejemplares.

Se realizó la medición del perímetro torácico (Figura 6) en los ejemplares de San Juan de Aragón, determinando el peso de los mismos con base a la fórmula descrita por Fowler, (2006), ⁽¹⁾ donde: $\text{Peso en kg} = 18.0 (\text{perímetro torácico en cm.}) - 3336$, obteniendo así un promedio de los pesos, expresados a continuación en el Cuadro 7. El peso de los ejemplares solo pudo ser determinado en el grupo de San Juan Aragón, debido a que llevan un programa de entrenamiento en el cual los ejemplares permiten este manejo.

Cuadro 7

Peso en Kilogramos de las Elefantas Albergadas en el Zoológico San Juan de Aragón⁺

Grupo	Diámetro Corporal (cm).	Kilogramos.
Chacha	385	3603.
Ciba	393	3755.

⁺Pesos obtenidos a partir de mediciones realizadas durante 7 días.



Figura 6. Medición de elefante del ZSJA (Ciba).

Nota:

Durante la fase de observación y recolección de muestras, los ejemplares se encontraban en buena salud física, sin verse comprometida la misma ni su entorno por la realización del estudio, por lo tanto no fue de ninguna manera modificada su alimentación o su consumo.

4.8 Determinación de Digestibilidad Aparente y Uso de Marcadores.

Se utilizaron como marcadores internos a la Lignina empleando el método de bolsas filtrantes por medio del equipo ANKOM y se realizó la prueba de Cenizas Ácido Insolubles. ^(24,27) Una vez determinados los porcentajes de marcadores en las muestras de los ingredientes de la dieta y de las heces, se obtuvo la digestibilidad aparente de PC, EE, CENIZAS, FAD y FND, con la fórmula según Pendlebury, 2005 ⁽¹⁹⁾.

$$\text{Digestibilidad \%} = 100 - \left(100 \times \frac{\% \text{ indicador alimento}}{\% \text{ indicador en heces}} \times \frac{\% \text{ nutrimento en heces.}}{\% \text{ nutrimento en alimento.}} \right)$$

1. RESULTADOS.

5.1 Consumo.

Cuadro 8				
Peso y Consumo Promedio del Elefante Asiático en la DGZVS.				
	ZSJA		ZCh	
Individuos	Chacha	Ciba	Maguie	Ranny
Peso Corporal (Kg.)	3603 ¹	3755 ¹	3700 ²	3700 ²
Peso Metabólico (PV _{kg}) ^{0.716}	352.0 ³	362.6 ³	358.8 ³	358.8 ³
Consumo				
BH (Kg/día)	115.4	115.4	109.2	102.0
MS (Kg/día)	35.7	35.7	30.0	28.0
% PV/día	1.0	1.0	1.0	1.0
kg MS día /kg PV ^{0.716}	10.1	10	8.3	7.8

¹ Datos obtenidos por la fórmula de Fowler, 2003.

² Datos obtenidos con base al peso promedio de hembras en esta especie.

³ Datos obtenidos según McNab 1988 (Citado por Robbins, 1993).⁽²⁰⁾

5.2 Aporte de Nutrientes.

Se presentan los cuadros conformados por el análisis químico proximal, de paredes celulares, energía bruta, calcio y fósforo, de las dietas consumidas por los elefantes.

Entre el zoológico de Chapultepec (ZCh) y el de San Juan de Aragón (ZSJA) se encontraron diferencias en el aporte de nutrientes en las dieta, se observa que para la Materia Seca se obtuvieron resultados de (27.43%) para la elefanta 1 y (27.28%) para la elefanta 2 del ZCh, Vs (30.95%) del grupo de elefantes de ZSJA, para Proteína Cruda, que es donde se observa la mayor diferencia (15.67% y 15.90%) ZCh Vs (11.77%) de ZSJA, en Extracto Etéreo (3.36% y 3.34%) del ZCh Vs (2.96%) del ZSJA, para Fibra Detergente Neutro (43.24% y 43.00%) del ZCh Vs

(54.43%) de ZSJA, en Fibra Detergente Ácido (30.24% y 30.08%) del ZCh Vs (35.83%) del ZSJA, Hemicelulosa de (13.80% y 12.92%) del ZCh Vs (18.93%) de ZSJA (Cuadro 9).

Cuadro 9.

Aporte de Nutrientes en las Dietas Consumidas (%M.S).

	ZCh		ZSJA			
	Ele. 1 ^a	C.V	Ele. 2 ^a	C.V.	Grupo ^a	C.V
M S	27.43 (+/-0.18)	0.19	27.28 (+/-0.23)	0.23	30.95 (+/-0.06)	0.06
M O	91.17 (+/-0.36)	0.07	91.42 (+/-0.09)	0.10	92.90 (+/-0.06)	0,06

P C	15.67 (+/-0.61)	2.31	15.90 (+/-0.11)	0.78	11.77 (+/-0.07)	0,59
C	8.83 (+/-0.05)	0.69	8.58 (+/-0.09)	1.07	7.10 (+/-0.06)	0,82
E E	3.36 (+/-0.27)	1.61	3.34 (+/-0.27)	1.61	2.96 (+/-0.05)	1,79
E B ^c	4.26 (+/-0.30)	0.70	4.27 (+/-0.22)	0.52	4.23 (+/-0.76)	1,79
Ca	0,26		0.23		0.002	
P	0,18		0.30		0.23	
FDN	43.24 (+/-0.31)	0.60	43.00 (+/-0.31)	0.60	54.43 (+/-0.63)	1,15
FDA	30.24 (+/-0.31)	1.03	30.08 (+/-0.31)	1.03	35.83 (+/-0.05)	0,14
Hcel.	13.80 (+/-0.04)	0.33	12.92 (+/-0.04)	0.33	18.93 (+/-0.36)	1,93
Cel.	22.05 (+/-0.30)	1.36	21.92 (+/-0.30)	1.36	27.61 (+/-0.05)	0,18
Lig.	8.20 (+/-0.06)	0.15	8.15 (+/-0.06)	0.15	8.22 (+/-0.10)	1,23

^a Los datos que se presentan, son los promedios obtenidos en los resultados del análisis correspondientes a cada nutriente y expresados en porcentaje, con sus respectivas desviaciones estándar y coeficientes de variación. ^b Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC), Cenizas (C), Extracto Etéreo (EE), Energía Bruta (EB), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), Hemicelulosa (Hcel), Celulosa (Cel) y Lignina (Lig).

^c La energía bruta (EB) se expresa en Mcal/KgMS.

El porcentaje de nutrientes en heces expresados en el cuadro 10 muestran una variación entre los tres sujetos de estudio, a pesar de tener un consumo similar entre las elefantas 1 y 2. Teniendo que el estado fisiológico y la capacidad de absorción se puede ver reflejado en los resultados.

Cuadro 10.

Nutrientes en las Heces (% MS).

ZCH

ZSJA

	Ele. 1 ^a	C.V.	Ele. 2 ^a	C.V.	Grupo ^a	C.V.
M S	23.33 (+/-0.17)	0.17	22.45 (+/-0.12)	0.13	30.16 (+/-0.13)	0.13
M O	90.23 (+/-0.05)	0,06	87. 51 (+/-0.12)	0,14	88.03 (+/-0.07)	0,08
P C	8.78 (+/-0.01)	0,14	10.00 (+/-0.03)	0,34	7.70 (+/-0.04)	0,53
C	9.77 (+/-0.05)	0,51	12.49 (+/-0.12)	1,00	11.97 (+/-0.07)	0,58
EE	7.55 (+/-0.10)	1,35	8.12 (+/-0.06)	0,76	6.31 (+/-0.06)	0,97
EB ^c	5.02 (+/-1.29)	2.57	4.81 (+/-0.48)	1.01	4.74 (+/-1.62)	3.41
Ca	0.23		0.27		0.13	
P	0.77		0.85		0.54	
FDN	69.06 (+/-0.05)	0,07	66.52 (+/-0.56)	0,85	73.44 (+/-0.51)	0,70
FDA	62.47 (+/-0.12)	0,20	60.35 (+/-0.07)	0,12	58.45 (+/-1.15)	1,97
Hcel.	6.56 (+/-0.09)	1,37	6.48 (+/-0.10)	1,61	15.26 (+/-1.44)	9,43
Cel.	38.94 (+/-0.70)	1,80	35.25 (+/-0.18)	0.10	37.26 (+/-1.57)	4,22
Lig.	23.12 (+/-0.58)	2,51	25.10 (+/-0.03)	0,12	21.19 (+/-0.42)	1,99

^a Los datos que se presentan, son los promedios obtenidos en los resultados del análisis correspondiente a cada nutriente y expresados en porcentaje, con sus respectivas desviaciones estándar y coeficientes de variación. ^b Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC), Cenizas (C), Extracto Etéreo (EE), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), Hemicelulosa (H cel), Celulosa (Cel) y Lignina (Lig). ^c La energía bruta (EB) se expresa en Mcal/kgMS.

5.3 Digestibilidad Fecal Aparente.

La digestibilidad obtenida utilizando el marcador de lignina, fue mayor en el elefante 2 en MS (73.27% E2) Vs. (69.83% E1 y 57.43% G), MO (68.91E2) Vs. (64.90% E1 y 58.60% G), EE (21.12% E2) Vs (20.42% E1y 5.515% G) y FDN (49.76% E2) Vs. (31.88% G), siendo que este ejemplar es el de mayor edad.

Cuadro 11.

Digestibilidad Aparente con Lignina como marcador

	ZCH		ZSJA
	Elefante 1	Elefante 2	Grupo
M S%	69.83	73.27	57.43
M O%	64.90	68.91	58.60
C%	60.73	52.72	26.27
P C%	80.52	79.58	71.60
EE%	20.42	21.12	5.55
ED dieta% ^a	58.21	63.41	51.04
FDN%	43.36	49.76	53.54
FDA%	32.56	33.42	31.88
ED (Kcal/d) ^b	69379	80636	77013

^a Energía digestible en porcentaje de la dieta. ^bEnergía que proporciona la dieta a los ejemplares, estimado mediante el programa nutricional "Zootrition"

5.4 Cenizas Ácido Insolubles

Se presenta el Cuadro 12, dentro del cual se observan los resultados obtenidos en las dos principales metodologías utilizadas para la determinación de las cenizas insolubles en ácido. (Véase apéndice 10, 11 y 12).

En los resultados obtenidos para la determinación de Cenizas Ácido Insolubles (CAI) del presente estudio, no se consiguió repetibilidad en los análisis de las muestras, por lo que no se pudo determinar la digestibilidad fecal aparente por medio de su uso en comparación con la metodología utilizada para la determinación de CAI en el elefante Africano (*Loxodonta africana*) previamente puesta en práctica por Pendlebury *et. al.*, 2005. ⁽¹⁹⁾

Cuadro 12.

Cenizas Insolubles en Ácido

Keulen y Young			Van Soest		
CIA %	DE	CV	CIA %	DE	CV

Dieta Elefante 1	2.20	0.56	5.40	0.04	0.0003	0.66
Dieta Grupo	6.78	0.05	0.69	0.15	0.07	46.93
Heces Elefante 1	1.68	0.16	9.38	0.18	0.03	15.04
Heces Elefante 2	0.44	0.07	15.84	0.14	0.03	19.56
Heces Grupo	5.45	0.88	16.13	0.08	0.08	106.13

Dentro de la revisión bibliográfica se encontró otra metodología para la determinación de CAI en conejos, llevada a cabo por gravimetría y digestión de las muestras en HCl 4N durante 30 minutos con filtración e incineración del residuo insoluble resultante (Vogtman *et. al.*, 1975, citado por Nieves *et. al.*, 2008). ⁽⁴⁰⁾ El mismo autor encontró resultados experimentales con el uso de CAI como marcador interno en dietas para cerdos, los cuales han generado valores similares en la digestibilidad de nutrientes con respecto al método directo en dietas convencionales y no convencionales. ⁽⁴⁰⁾ Por lo que el método de CAI, podría ser usado de forma alternativa para sustituir el método de recolección total, como una manera confiable, económica y práctica para estimar digestibilidad de nutrientes, siendo su uso fácil y sencillo, el procedimiento de análisis no requiere de reactivos costosos, aunque exige la adquisición de elevado grado de precisión y destreza durante el filtrado. Nieves, *et. al.*, 2008, sugiere la ampliación de la investigación sobre este método con el fin de estandarizar procedimientos tales como el tamaño de la muestra, temperatura de incineración y cantidad de agua para el lavado que permitan obtener resultados de alta repetibilidad. ⁽⁴⁰⁾

2. DISCUSIÓN.

El aporte de Materia Seca (MS) de las dietas consumidas por elefantes, fue de 27.43% y de 27.28% para el Zoológico de Chapultepec (ZCh) y para el Zoológico

de San Juan de Aragón (ZSJA) fue de 30.95%. Dentro de este aporte, tenemos que los valores para la Proteína Cruda (%PC) cubren para ambos zoológicos los requerimientos reportados por el Grupo Consultivo Nutricional, 2003 (NAG por sus siglas en inglés), excediendo el ZCh, los rangos de 8 a 12% (15.67 y 15.90%) reportados en la literatura. (McCullagh, 1969; Clemens y Maloy, 1982; Van Hoven, 1982; Meissner *et. al.*, 1990; NAG, 2003 y Clauss, 2006). ^(14, 15, 27) Mientras que para el Extracto Etéreo (%EE), el valor óptimo recomendado por Dierenfeld, 1994; es de 1.5%, obteniendo en este estudio valores hasta de 3.36% para el elefante 1 (Maguie), del ZCh. Para la Fibra Detergente Neutro (%FDN), autores como Hatt y Clauss (2006), ^(15, 22) reportan rangos de 50 a 70% de MS, siendo los estimados para el ZCh de 43.04 a 43.24%, mientras que el ZSJA cubre el mínimo requerido de 54.43%. En cuanto a la Fibra Detergente Ácido (%FDA), los valores para el elefante 1 son de 30.24%, de 30.08% para el elefante 2 y de 35.83% del grupo del ZSJA, hallando porcentajes por debajo de lo reportado (de 37.4% hasta 43.6%) en el cuadro reportado por Clauss *et. al*, 2003. ^(15, 18)

Con base al peso corporal de los elefantes Asiáticos del ZSJA (obtenido mediante la fórmula de Fowler, 2006) y con la media de pesos en esta especie, se estimó el peso de los ejemplares del ZCh, para así poder calcular el consumo de MS (%PV/día) de ambos zoológicos (cuadro 8). Los resultados encontrados por este estudio muestran que ambos zoológicos tienen un consumo de 1.0 % PV. Kauffman (2001), estimó que los elefantes de zoológicos consumen 1.5 a 1.9% de su Peso vivo (%PV) en 12 horas y de forma similar, Roehrs *et. al.*, (2003), sugirió 1.4 a 1.6% de consumo con base a su PV. ⁽¹⁶⁾ Sin embargo, la cantidad correcta de los alimentos ofrecidos por un zoológico dependerá del contenido de nutrientes de la dieta, ⁽¹⁵⁾ asumiendo que el bajo aporte de fibra en las dietas de este estudio tiene como resultado el bajo consumo de MS con base a su peso vivo y no es consistente con lo encontrado por Clauss *et. al.*, 2003, el cual comparó los datos de digestibilidad para elefantes Asiáticos y Africanos de la literatura y reportó consumos de MS (%PV) de 1.2 a 1.7% en dietas con base a heno. Sin embargo, la digestibilidad fecal aparente utilizando Lignina como marcador (Cuadro 11) si se apega a lo reportado por este mismo autor, obteniendo niveles por arriba del 50% de

lo requerido a MS, mientras que para nutrientes como PC, EE, FDN y FDA se encontraron coeficientes elevados de digestibilidad.

Los elefantes tienen un rápido paso de la ingesta para su tamaño corporal y se ha visto que el tiempo de retención está correlacionado positiva y significativamente con su tamaño (Hackenberger, 1987), así como también se relaciona con la absorción de la fibra, por lo que los elefantes tienen altos coeficientes de digestibilidad de la fibra (Clauss *et. al.*, 2003), los bajos coeficientes de digestibilidad de nutrientes en esta especie pueden ser explicados por un rápido pasaje y un alto consumo de fibra (Loehlein *et. al.*, 2003), teniendo así que la ofrecida en la dieta influye sobre la digestibilidad de la MS y de la MO. ⁽¹⁸⁾ Con base a lo explicado, los coeficientes en este estudio, son congruentes con un bajo aporte de fibra y bajo consumo de MS, teniendo que los aportes y la digestibilidad de la PC, EE y ED pueden ser disminuidos con la suplementación de fibra, pudiendo disminuir los principales problemas de pies, obesidad, cólicos y reproducción, que se presentan en especies en cautiverio. (Csuti *et. al.*, 2001; Clauss *et. al.*, 2006) Cabe mencionar que las características físicoquímicas de la fibra en la dieta del elefante juegan un papel importante en la función gastrointestinal normal (NAG, 2003). ^{(14,}
^{15, 18)} La cantidad y la forma de la digesta contenida en el intestino grueso del elefante, influyen en la fermentación ocurrida en él y puede afectar el tránsito de los productos de fermentación que son producidos y absorbidos, al igual que el paso de los desechos no absorbidos.

1. CONCLUSIÓN.

Las dietas ofrecidas por la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre cubren el requerimiento de Proteína Cruda establecido por el Grupo consultivo Nutricional (NAG por sus siglas en inglés, 2003), mientras que los aportes de Extracto Etéreo son muy elevados y la Fibra Detergente Neutro y la Fibra Detergente Ácido se encuentran por debajo del mínimo requerido.

El consumo de los elefantes Asiáticos de la DGZVS es bajo (1.0% de su PV.), por lo cual se recomienda el incremento de las fuentes de fibra (Forrajes y ramas), que a su vez afectará de forma positiva a la disminución de EE y Energía, así como ayudará a un correcto funcionamiento gastrointestinal.

La digestibilidad de los alimentos ofrecidos a los ejemplares de los zoológicos de Chapultepec y San Juan de Aragón es alta, debido a la baja cantidad de fibra. La absorción de los alimentos en los elefantes guarda estrecha relación con la composición química de la dieta consumida, en especial, de las fracciones de fibra de los alimentos utilizados, siendo importantes tanto la cantidad, como la calidad expresada por la composición química de la fibra. A partir de estudios realizados con marcadores internos contenidos de manera natural en los forrajes que son ingeridos por animales en cautiverio, es posible obtener información de la fisiología alimenticia de grandes especies de fauna silvestre, y que a su vez, pueden ser útiles para el diseño de estrategias de conservación, basadas en las particularidades alimenticias de ejemplares de vida libre.

Teniendo en cuenta a la especie con la que se llevó a cabo el trabajo experimental podemos concluir que el método que se utilizó para la evaluación de la digestibilidad aparente, fue uno de los más adecuados, teniendo en contra que hay reportes de que la lignina se puede absorber en un porcentaje mínimo, por lo que el uso de las cenizas ácido insolubles es un método aún más específico. En el caso particular de esta investigación, los métodos por los cuales se obtuvieron cenizas ácido insoluble (Van Soest y Keulen y Young) presentaron coeficientes de variación muy amplios por lo que fue difícil utilizarla para estimar la digestibilidad. Por lo que se hace necesaria la amplia revisión de estas técnicas a nivel de laboratorio, ya que puede ser una gran opción tanto en fauna silvestre, como en especies domésticas.

El comportamiento nutricional de los elefantes en vida libre implica la ingestión de alimentos ricos en fibra, del 72 al 90% de tiempo del día, por lo que se recomienda que en cautiverio se realice de la misma forma, es decir que se aumenten las raciones al día.

1. BIBLIOGRAFÍA.

1. Fowler M E, Mikota S K. 2006. Biology, Medicine, and Surgery of Elephants. USA: Blackwell Publishing Professional
2. Wilson D E, Reeder D A M. 1993. Mammal species of the World. A taxonomic and geographic reference. 2a Edición. Washington y Londres: Smithsonian Institution Press.
3. Eltringham, SK. 1982. Elephants. England, Blanford Press, pp. 89-106.
4. UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los recursos Naturales). 1993. Draft IUCN Red List Categories. UICN, Gland, Switzerland.
5. CITES. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies amenazadas de Fauna y Flora silvestres. Apéndices I, II y III CITES. 2006. [fecha de consulta: 21 de enero del 2007] Disponible en: <http://www.cites.org/esp/disc/how.shtml>.
6. Submar, R, 1989. The Asian Elephant. Ecology and management. Cambridge, Cambridge University Press, pp 69-85.
7. Keele, M. 1998. African elephant 98 fact sheet (2/1/98), Nutrition Advisory Group, [fecha de consulta: 21 de Septiembre 2007] <http://www.nagonline.net/Fact%20Sheet%20pdf/AZA%20%20African%20Elephant%20Species%20Survival%20Plan.pdf>
8. Chiaki, N. 1996. Seasonal variations in African elephant nutrition in Tsavo national park, Kenya. MSc Thesis, Michigan State University Michigan.
9. Nowak, R.M. 1999. Walker's mammals of the world, sixth edition, The Johns Hopkins University Press, Baltimore
10. Altevogt, R., E. Thenius, F. Kurt y Grzimek, B. 1987. Rüsseltiere. Grzimek, B. Ed. Grzimeks Enzyklopädie - Säugetiere, Bd. 4, Kindler Verlag GmbH, München, pp. 462 – 520.
11. Field, CR. 1976. The savanna ecology of Kidep valley. National park. EAfr Wildl J 14:1-15.
12. Shoshani J y Eisenberg JF. 1982. Elephas Maximus. Mammalian Species 182:1-8.
13. Mariappa, D. 1986. Anatomy and Histology of the Indian Elephant. Oak Park, Michigan, Indira Publishing House, pp 93-102.

14. Ullrey D E, Crissey S D, Hintz H F. Elephants: Nutrition and Dietary Husbandry. Nutrition Advisory Goup Handbook. Fact Sheet 004. [fecha de consulta: 21 de Septiembre 1997] Disponible en: <http://www.nag.org>.
15. Hatt, JM y Clauss M. 2006. Feeding Asian and African elephants (*Elephas maximus* and *Loxodonta Africana*).in captivity. Int.Zoo Yb. 40:88-95.
16. Kauffman, 1. 1998. Diet for Asian Elephants. <http://www.elephant.se/diet.htm>
17. Clauss M, Steinmetz H, Eulenberger U, Ossent P, Zingg R, Hummel J, Hatt J M. 2007. Observations on the length of the intestinal tract of African Loxodonta (Blomebach 1797) and Asian elephants *Elephas maximus* (Linné 1735). Eur J Wild Res. 53: 68 - 72.
18. Clauss M, Loehlein W, Kienzle E, Weisner H. 2003. Studies on feed digestibility in captive Asian elephants (*Elephas maximus*). J Anim Physiol Anim Nutr. 87:160-173.
19. Pendlebury C, Odongo N E, Renjifo A, Naelitz J, Valdes V E, Mc Bride B W. 2005. Acid - Insoluble Ash As a Measure of Dry Matter Digestibility in Captive African Elephants (*Loxodonta africana*). Zoo Biology 24: 261 – 265.
20. Robbins C T. 1993. Wildlife feeding and nutrition. 2a Edición. San Diego, Ca: Academic Press, Inc.
21. Nair, V B y Ananthasubramanian, C R. 1979. Studies on the nutritional requiermentsof the Elephant (*Elephas maximus*). Indian Vet J 36: 667- 671.
22. Dierenfield, E S. 1994. Nutrition and Feeding. In Mikota, Sik, Sargen, E L y Ranglak, G S, Ed. Medical management of the Elephant. West Bloomfield, Michigan. Indira Publishing House, pp 69-80.
23. Rees, P A. 1982. Groos assimilation efficiency and feed pasaje time in the African elephant. Afr J Ecol 20: 193-198.
24. Owen J. Feeding Strategy. 1980. Chicago: The University of Chicago Prees.
25. Jachman, H y Bell, R H V. 1985. Utilization by elephants of the Brachystegia woodlands of the Kasungu National Park, Malawi. Afr J. Ecol 23:245-252.
26. Mc Cullagh, K. 1969. The growth and nutrition of the African elephant. E Afr Wildl J. 7: 91-97.

27. Clemens, E T, Maloy, G M O. 1983. Nutrient digestibility and gastrointestinal electrolyte flux in the elephant and the Rhynoceros. *Comp Biochem Physiol* 75 A: 653-658.
28. Wemmer C, Krishnamurthy V, Shrestha S, Hayek LA, Thant M y Nanjappa KA. 2006. Assessment of body condition in Asian Elephants (*Elephas maximus*). *Zoo Biology* 25: 187 – 200.
29. Clauss M, Frey R, Keifer B, Lechner-Doll M, Loehlein W, Polster C, Rössner GE y Streich WJ. 2003. The maximum attainable body size of herbivorous mammals: morphophysiological constraints on foregut, and adaptations on hindgut fermenters. *Oecologia* 136:14-27.
30. Shimada A. 2005. *Nutrición Animal*. México: Trillas.
31. Van Soest J P, Robertson J B y Lewis B A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
32. *Manual de Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro*, 2007.
33. Theodorou MK, France J. 2000. *Feeding systems and feed evaluation models*. USA: CABI Publishing.
34. Garnsworthy PC, Wiseman J. 2005. *Recent advances in animal nutrition*. Reino Unido: Nottingham University Press.
35. Naylor JM, Ralston SL. 1991. *Large animal clinical nutrition*. USA: Mosby Year Book.
36. Mc Donald P, Edwards R, Greehalgh JFD. 1995. *Nutrición animal*, 5a edición. Zaragoza, España: Ed. Acribia.
37. Lloyd LE, McDonald BE, Crampton EW. 1982. *Fundamentos de Nutrición*, España: Acribia.
38. *AOAC Official Methods of Anylisis*. 1990. 15va Edición. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
39. Keulen V. J, Young B. A. 1977. Evaluation of Acid - Insoluble Ash as a Natural Marker in Ruminant Digestibility Studies. *J Anim Sci.* 44: 282 - 287.

40. Nieves D, Barajas A, Delgado G, González C y Ly J. 2008. Digestibilidad fecal de nutrientes en dietas con forrajes tropicales en conejos. Comparación entre métodos directo e indirecto. *Bioagro* 20 (1): 67 – 72.

1. APÉNDICE

9.1 Materia Seca y Proteína en los Ingredientes usados en la fabricación de las dietas de elefantes Asiáticos de la DGZVS.

	Materia Seca (%)	Proteína (%)
Alfalfa achicalada	76.81	17.20
Avena en Greña	87.57	5.76
Cacahuete	94.82	19.87
Calabaza	10.27	8.93
Caña	16.20	2.20
Lechuga	2.31	16.29
Manzana	14.85	2.06
Melón	36.99	11.37
Pastel ¹	93.95	24.15
Pan	65.00	13.96
Papaya	10.22	8.48
Plátano	19.12	5.43
Sandía	4.01	13.92
Zanahoria	10.22	4.91

¹El pastel consiste en 1000 g. de plátano tabasco, 500 g. de grenetina y un paquete de 720 g. de pan integral de caja, sólo fue analizado el pastel del zoológico de Chapultepec.

APÉNDICE 9.2

CRITERIOS Y PUNTOS A NOTAR UTILIZADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL EN ELEFANTE ASIÁTICO. ⁽²⁸⁾

Región Corporal/puntos.

Criterios.

A. Cabeza: Depresión temporal (vista de diferentes ángulos).

2 puntos Lleno y convexo en su contorno cuando es visto por detrás (al nivel del cuello y del hombro); en la vista frontal vagamente se nota el contorno.

1 punto Ligero a moderadamente cóncavo; en la vista frontal es definido.

0 puntos Profundamente cóncavo; la depresión frontal tiene la forma un cráter, alrededor de la depresión temporal.

B. Escápula (vista lateral)

2 puntos El proceso espinoso de la escápula no es visible, o es ligeramente visible cuando el brazo se encuentra en determinadas posiciones.

1 punto El proceso espinoso es visible en una posición vertical, con una concavidad entre el hombro y el borde posterior de la escápula.

0 puntos El proceso espinoso es pronunciado, la escápula y el proceso acromial son también pronunciado.

C. Región Torácica (vista lateral)

2 puntos Las costillas no son visibles.

1 punto Algunas costillas son visibles, pero la extensión y la demarcación no son pronunciadas.

0 puntos Muchas costillas son fuertemente marcadas (inclusive detrás de la escápula), con una pronunciada depresión intercostal.

D. Área del Flanco (inmediatamente enfrente de la circunferencia pélvica) (vista lateral y trasera)

1 punto No hay depresiones visibles. Las protuberancias de los flancos son vistas superficialmente frente a la pelvis.

0 puntos La depresión es visible como un área hundida inmediatamente enfrente de la pelvis.

E. Vertebras Lumbares (Atrás de las costillas y enfrente de la pelvis) (Vista trasera, un punto elevado y ventajoso es necesario).

2 puntos

No son visibles, la espalda baja es suavemente redondeada.

1 punto

Visible como un surco; la pendiente formada por la piel ***, la altura de las vértebras no excede la anchura.

0 puntos

son visibles como hoja de cuchillo, el tamaño del surco espinal es casi paralelo, y la altura es igual y no exceden la altura.

F. Hueso pélvico (ángulo externo del ileón) (Vista de varios ángulos).

2 puntos

No son visibles (o ligeramente visibles); la región del anca entre el ileón y la vértebra caudal, esta llena con tejido (no formando una zona de depresión).

1 punto

Visible pero no pronunciado; el anca forma una ligera zona de depresión entre el ileón y la vértebra caudal.

0 puntos

Visible como un hueso pronunciado; el anca es una zona pronunciada y hundida entre el ileón y la vértebra caudal.

Cuando una región del cuerpo en particular es intermedia entre dos criterios, un punto intermedio debería ser asignado (ej. 0.5, 1.5 puntos).

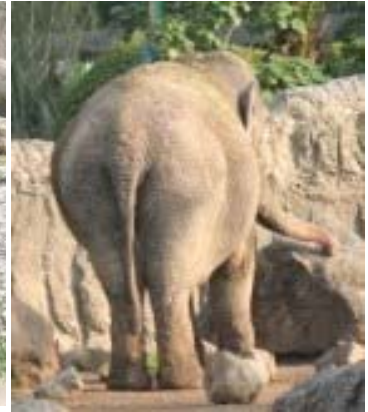
APÉNDICE 9.3

Condición Corporal de los elefantes Asiáticos de la DGZVS

Elefanta 1

Maguie

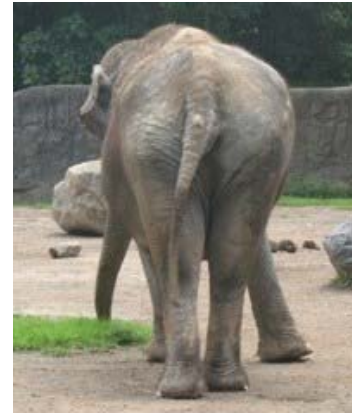
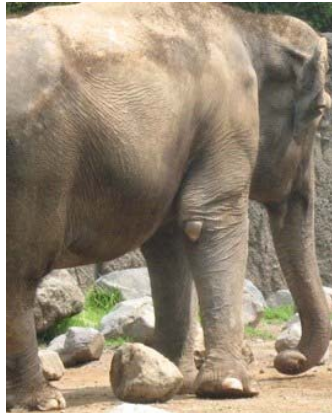
- A. 2
- B. 2
- C. 2
- D. 1
- E. 2
- F. 2



Elefanta 2

Ranny

- A- 1
- B- 1
- C- 2
- D- 0
- E- 1
- F- 1



Elefantas Grupo

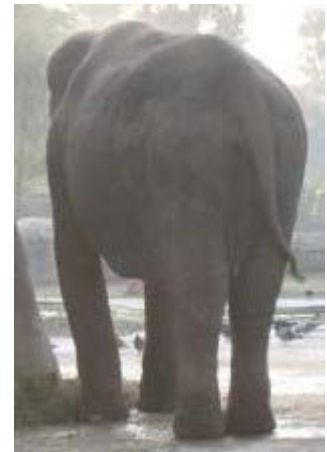
Ciba

- A. 1
- B. 2
- C. 2
- D. 0
- E. 2
- F. 1



Chacha

- A. 1
- B. 1
- C. 2
- D. 0
- E. 1
- F. 1



APÉNDICE 9.4

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD POR ESTUFA DE SECADO. ⁽³²⁾

Las muestras pueden ser secadas desde 60 hasta 105° C. La temperatura está en función del tipo de muestra y en base al tipo de análisis que se vaya a aplicar a la muestra obtenida. Si solamente se determinará la humedad, se puede secar hasta 105° C, pero si se realizarán pruebas de digestibilidad se secará a 60-65° C, ya que a temperaturas altas, se puede llevar a cabo la reacción Millard, la cual se produce cuando hay una unión irreversible de los grupos aldehído de los azúcares y los grupos amino libres. Esta reacción ocasiona una reducción en los coeficientes digestibilidad tanto en rumen como en intestino delgado. Este procedimiento es el más empleado en el análisis químico proximal.

Material y Equipo.

- Charolas de aluminio
- Estufa de secado o de aire forzado o de vacío.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0,1 mg
- Desecadores.

Procedimiento.

- a) Pesar de 2-3 g de muestra en material de aluminio, vidrio o porcelana previamente puesto a peso constante a una temperatura de 65 a 110° C.
- b) Secar la muestra hasta obtener su peso constante.
- c) Retirar de la estufa y colocarlas en un desecador durante 15 min. y pesar, o pesar en caliente.

Cálculos.

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \left(\frac{\text{Peso de la muestra seca ,g}}{\text{Peso de la muestra inicial, g}} \right) \times 100$$

$$\% H = \frac{(A - B) \times 100}{M}$$

$$\% MS = 100 - \% H.$$

Donde:

A = Peso de la charola + muestra húmeda (g).

B = Peso de la charola + muestra seca (g).

M= Peso de la muestra inicial,(g).

MS = Materia seca.

APÉNDICE 9.5

DETERMINACIÓN DE CENIZAS Y MATERIA ORGÁNICA. ⁽³²⁾

Las cenizas de los animales son ricas en calcio y fósforo, las de las plantas están compuestas principalmente por potasio y sílice. Las cenizas se determinan por combustión, el contenido de cenizas no representa en realidad, ni cuantitativamente, ni cualitativamente, el material orgánico del alimento. Su cuantificación es requerida cuando se necesita conocer el contenido de materia orgánica.

Método de Calcinación e Incineración.

Crisoles de porcelana.

Mufla a 550-600° C

Estufa de secado a 100-115° C

Desecadores

Balanza analítica con sensibilidad de 0,1 mg.

- a) Pesar 2-5 g de muestra en un crisol de porcelana previamente puesto a peso constante.
- b) Calcinar en la mufla a 550-600° C, hasta tener cenizas blancas o grises si partículas de carbón (en caso necesario se adicionan unas gotas de agua destilada y se vuelve a calcinar).
- c) Apagar la mufla y verificar que la temperatura haya disminuido. Los crisoles se sacan de la mufla y se colocan en una estufa de secado a 100-115° C para enfriarlos durante 30 min.
- d) Pasar a un desecador y registrar el peso.

Cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{Peso de la muestra calcinada}^*, (\text{g})}{\text{Peso de la muestra inicial, (g)}} \right) \times 100$$

$$* A - B$$

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(A - B)}{M} \times 100$$

$$\% \text{ MO} = 100 - \% \text{ Cenizas}$$

Donde:

A = Peso del crisol + cenizas, (g).

B = Peso del crisol a peso constante, (g).

M = Peso de la muestra inicial, (g) (W crisol + muestra – W del crisol a w cte).

APÉNDICE 9.6

DETERMINACIÓN DEL EXTRACTO ETÉREO. ⁽³²⁾

La fracción lipídica se puede separar de otros componentes por medio de la extracción con solventes tales como el éter etílico, éter de petróleo, benceno, cloroformo, etc. y se reporta como la fracción soluble en éter o grasa cruda o bruta. Esta fracción forma parte del análisis químico proximal denominada Extracto etéreo (EE).

Material y Equipo.

- Vasos para extractor BUCHI
- Cartuchos porosos
- Soportes LAB-CONCO
- Recolectores LAB-CONCO
- Desecador
- Extractor de grasa Goldfish
- Estufa de secado de 100a 105° C

Balanza analítica con una sensibilidad de 0.1 mg.'C

Reactivos.

Éter etílico anhidro (C₂H₅)₂O

Procedimiento

- a) Poner a peso constante los vasos en una estufa de secado.
- b) Pesar de 2.5 a 5 g de muestra dentro de un cartucho y cerrarlo con un pedazo de algodón.
- c) Colocar el cartucho en la jarra de extracción.
- d) En el extractor BUCHI encender el aparato Lauda que controla el calentamiento del aceite que posteriormente pasará a calentar los vasos del extractor.
- e) Poner en los vasos de 60 a 80 ml. de éter etílico.
- f) Bajar las jarras de extracción en el aparato BUCHI.
- g) Dejar en extracción de 4 a 6 h (dependiendo del tipo de muestra)
- h) Pasado el tiempo, subir las jarras de extracción, quitar el vaso y tomar con un pedazo de papel filtro una gota del solvente que atraviesa el cartucho, evaporar el éter

y ver si quedo alguna mancha de grasa, si no es así proceder como se indica a continuación; si quedó una mancha de grasa, volver a realizar la extracción por dos horas más.

i) Posteriormente apagar las parrillas y quitar los vasos, en el aparato BUCHI la recolección de éter se hace de manera automática.

j) Dejar que se evapore la totalidad del éter colocando los vasos dentro de una campana de extracción.

k) Meterlos a la estufa de secado a 60° C durante 3 h, enfriar y pesar.

Cálculos.

$$\% EE = \frac{(A - B)}{M} \times 100$$

Donde:

A = peso del vaso con residuo lipídico, (g).

B = peso constante del vaso, (g).

M = Peso de la muestra, (g)

APÉNDICE 9.7

FIBRA DETERGENTE NEUTRO. ⁽³²⁾

Empleando el Método de Bolsas Filtrantes del Equipo ANKOM.

La FDN representa la matriz insoluble de la pared celular de la planta, son sustancias covalentemente unidas, o íntimamente asociadas mediante puentes de hidrógeno, cristalinidad u otras asociaciones intramoleculares que son resistentes a las soluciones con rango de concentración fisiológicas.

Material y Equipo.

- Aparato de Digestión ANKOM
- Sellador de calor ANKOM
- Bolsas filtrantes.
- Desecador
- Marcador resistente a acetona.

Reactivos.

Solución detergente neutro (FDN). Mezclar los siguientes reactivos.

Agua destilada	1L	18L
Laurel sulfato de sodio, USP	30 g	540 g
Acido etiléndiaminotetraacético (EDTA), R.A.*	14.61 g	263 g
Hidróxido de sodio (NaOH), R.A.*	4.0 g	72 g
Tetraborato de sodio, 10 H ₂ O (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10 H ₂ O), R.A.	6.81 g	122.6 g
Fosfato disódico hidrogenado anhidro (Na ₂ HPO ₄), R.A.	4.56 g	82.1 g
Etilenglicol monoetil éter, grado purificado	10 ml	180 ml

* El EDTA y el NaOH pueden ser reemplazados por el equivalente molar (18.61 g) de la sal di sódica de EDTA (Na₂ EDTA·2H₂O) para preparar un litro de solución.

Procedimiento.

- a) Pesar una bolsa filtrante y registrar el peso (W_1) y tarar la balanza.
- b) Pesar 0.5 g de (± 0.05 g) de una muestra previamente secada al aire (W_2) y molida a través de una malla de 1 mm, directamente dentro de la bolsa filtrante.

Pesar una bolsa vacía para que funcione como blanco, para determinar la corrección de la bolsa vacía (C1).

- c) Sellar la bolsa dejando 1 cm. de la apertura de la bolsa utilizando un sellador de calor.
- d) Extender la muestra uniformemente dentro de la bolsa filtrante. Esto debe ser hecho agitando o golpeando suavemente para eliminar los sólidos.
- e) Poner las bolsas (máximo 24) en la canastilla compuesta por 9 repisas), colocando tres bolsas por repisa. Estibar las repisas centradas con cada nivel rotado 120°. La repisa novena se queda vacía y actúa como tapa de la de la octava repisa. El contrapeso de la canastilla es puesto arriba de la novena repisa para mantenerla sumergida.
- f) Cuando se están procesando las 24 bolsas de muestras agregar 2000 ml de solución detergente neutro a temperatura ambiente en el contenedor. Si se procesan menos de 20 bolsas agregar 100 ml/bolsa de solución detergente (un mínimo 1500 ml). Agregar 20 g (0.5 g / 50 ml de solución detergente neutro) de sulfito de sodio. La adición de sulfito de sodio no siempre es realizada.
- g) Colocar el suspendedor de bolsas con las muestras en la solución en el contenedor. Colocar “agitación” y “calor” en encendido, poner el cronómetro 60 min. Cerrar y sellar la tapa del recipiente de digestión.
- h) Después de que pasaron los 60 min colocar “agitación” y “calor” en apagado, y abrir la válvula de purga y dejar salir la solución caliente antes de abrir la tapa, ya que la solución en el contenedor está bajo presión. La válvula de purga debe ser abierta para liberar presión y la solución antes de abrir la tapa.
- i) Después de que la solución ha sido purgada, cerrar la válvula de de purga y abrir la tapa. Agregar aproximadamente 2000 de agua destilada caliente de enjuague (90° - 100° C).
- j) Cerrar la tapa pero no apretar. Colocar agitación en encendido y Calor en apagado. Repetir el agua de enjuague dos veces más, para tener un total de 3 enjuagues.
- k) Remover las bolsas filtrantes de la canastilla y presionar gentilmente las bolsas para eliminar el exceso de agua. Colocar las bolsas en un vaso de precipitado y agregar acetona para cubrir las bolsas. Permitir que las bolsas se remojen

durante 3 minutos, remover y apretar ligeramente las bolsas para eliminar el exceso de acetona.

- l) Extender las bolsas y dejar que se sequen al aire, una vez secas, colocarlas en una estufa de secado a 105° por al menos 4 horas. Sacar de la estufa las bolsas y colocarlas en un desecador hasta que se hayan enfriado a temperatura ambiente y pesarlas.

Cálculos.

$$\% \text{ FDN} = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1)) \times 100}{W_2}$$

$$\% \text{ FDN (MS)} = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1)) \times 100}{W_2 \times \text{MS}}$$

Donde:

W_1 = Peso de la bolsa (g).

W_2 = Peso de la muestra (g).

W_3 = Peso de la bolsa + muestra después de los procesos de extracción (g).

C_1 = Corrección de la bolsa blanco (peso después del secado/peso inicial).

MS = Materia seca contenida en la muestra analizada.

APÉNDICE 9.8

FIBRA DETERGENTE ÁCIDO. ⁽³²⁾

La extracción de residuos y plantas con detergente ácido, tienen el propósito de aislar la fracción lignocelulósica, y tiene un paso de preparación para el análisis de lignina sobre un residuo libre de la interferencia de proteínas. Además determina la hemicelulosa por solubilización. Muchos trabajos discuten que la FDA también aíslala sílica biológica y obligadamente el nitrógeno indisponible, producido por la reacción Maillard provocado por el calentamiento de los alimentos.

Material y Equipo.

- Aparato de Digestión ANKOM
- Sellador de calor ANKOM
- Bolsas filtrantes.
- Desecador
- Marcador resistente a acetona

Reactivos.

- Solución detergente ácido:

Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄), R.A. 1.0 N	1 l
18 l	
Bromuro de cetil amonio (CTAB) (C ₁₂ H ₄₂ NBr), grado técnico	20g
360g	

Primero estandarizar la solución de ácido sulfúrico a 2% (.98 – 1.02 N). Adicionar 20g / 1 l del bromuro de cetil trimetil amonio. Disolver y mezclar. La solución es estable indefinidamente. El detergente es adicionado al volumen estandarizado. El volumen final se aumenta un poco.

- Acetona grado reactivo.

Procedimiento.

El procedimiento es el mismo que se indico para FDN, a excepción de la adición de los reactivos, donde se sustituye la solución de FDN por la de FDA.

Cálculos.

$$\% \text{ FDA} = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1)) \times 100}{W_2}$$

$$\% \text{ FDA (MS)} = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1)) \times 100}{W_2 \times \text{MS}}$$

Donde:

W_1 = Peso de la bolsa (g).

W_2 = Peso de la muestra (g).

W_3 = Peso de la bolsa + muestra después de los procesos de extracción (g).

C_1 = Corrección de la bolsa blanco (peso después del secado/peso inicial).

MS = Materia seca contenida en la muestra analizada.

APÉNDICE 9.9

LIGNINA POR EL MÉTODO DE KLASON. ⁽³²⁾

Es una metodología antigua que aísla y estima la lignina con ácido sulfúrico al 72 % (p/p) (24 N). El método Klason se basa en la materia orgánica insoluble en el ácido. El ácido fuerte remueve la celulosa sin alteración de la lignina. La exposición del residuo lignocelulósico al ácido, causa una ligera degradación de la lignina y de los carbohidratos a temperatura ambiente. El tiempo óptimo a 20° C requiere cerca de 3 h. La temperatura para separar la celulosa de la lignina es de 15 a 25° C. Bajas temperaturas dan valores altos, debido a la ineficiencia de remover los carbohidratos. Altas temperaturas también dan resultados elevados, por que la reacción produce carbohidratos de degradación con lignina y el ácido sulfúrico. Algún material fenólico está presente en el filtrado de la solución ácida del tratamiento de la fibra. Esto puede ser medido espectrofotométricamente a 280 nm.

Este tratamiento puede ser aplicado para preparar residuos fibrosos que de preferencia tengan un bajo contenido de proteínas. Generalmente, este es el residuo de la digestión con pepsina.

Método empleando las bolsas filtrantes por medio del equipo ANKOM.

Material y Equipo.

- Aparato de Digestión ANKOM
- Sellador de calor ANKOM
- Bolsas filtrantes.
- Desecador
- Vasos de precipitado de 2 l y de 3 l .

Reactivos.

- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 72 % (p/p). Adicionar 1200g de ácido sulfúrico (24 N o gravedad específica de 1634 g/l a 20° C. Para lograr esta gravedad se adiciona o elimina agua o ácido sulfúrico según se requiera a 440 ml de agua en un matraz volumétrico de 1 l dentro de un baño de hielo.
- Acetona, grado reactivo.

Precauciones de seguridad.

1. La acetona es altamente inflamable. Usar una campana de humo cuando se maneje acetona, evitar la inhalación o el contacto con la piel. Asegurarse de que las bolsas están completamente secas y toda la acetona se haya evaporado antes de colocarlas en el horno.
2. Guantes, mascarilla y lentes deben de ser utilizados cuando se maneje ácido sulfúrico. Siempre agregar el ácido sulfúrico al agua. Si el ácido hace contacto con la piel enjuagar con abundante agua.

Procedimiento.

- a) Pesar una bolsa filtrante y registrar el peso (W_1) y tarar la balanza.
- b) Pesar 0.5 g de (± 0.05 g) de una muestra previamente secada al aire (W_2) y molida a través de una malla de 1 mm, directamente dentro de la bolsa filtrante. Pesar una bolsa vacía para que funcione como blanco, para determinar la corrección de la bolsa vacía (C_1).
- c) Sellar la bolsa dejando 1 cm. de la apertura de la bolsa utilizando un sellador de calor.
- d) Extender la muestra uniformemente dentro de la bolsa filtrante. Esto debe ser hecho agitando o golpeando suavemente para eliminar los sólidos.
- e) Realizar determinaciones de FDA utilizando el analizador de fibra.
- f) Después de realizar las determinaciones de FDA, colocar las bolsas secas en con las muestras en el vaso de precipitado de 3 l y agregar la cantidad suficiente (aprox. 250 ml) de 72 % de H_2SO_4 para cubrir las bolsas.
- g) Nota: Las bolsa deben estar completamente secas y a T° ambiente antes de colocar el ácido concentrado. Si aún existe humedad en las bolsas, el calor generado por la reacción del H_2SO_4 con agua va a afectar los resultados (la muestra de la bolsa se carbonizará).
- h) Colocar el vaso de precipitado de 2 l dentro del vaso de precipitado dentro del vaso de precipitado de 3 l para mantener las bolsas sumergidas. Agitar las bolsas en un principio y en intervalos de 30 min empujando y moviendo el vaso de precipitado de 2 l hacia arriba y hacia abajo aprox. 30 veces.

- i) Después de 3 h retirar el H₂SO₄ y enjuagar con agua caliente (90 – 100 ° C) para remover todo el ácido. Repetir los enjuagues hasta que el pH sea neutral. Enjuagar con aprox. 250 ml de acetona por 3 min para remover el agua.
- j) Secar las bolsas en una estufa de secado a 105° C por al menos 4 h. Colocar las bolsas en el horno hasta que la acetona se haya evaporado completamente. Sacar de la estufa las bolsas y colocarlas en una bolsa desecante o en un desecador hasta que se hayan enfriado a la temperatura ambiente y pesarlas (W₃).

Cálculos:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1)) \times 100}{W_2}$$

$$\% \text{ Lignina (MS)} = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1)) \times 100}{W_2 \times \text{MS}}$$

Donde:

W₁= Peso de la bolsa (g).

W₂= Peso de la muestra (g).

W₃= Peso de la bolsa + muestra después de los procesos de extracción (g).

C₁= Corrección de la bolsa blanco (peso después del secado/peso inicial).

MS= Materia seca contenida en la muestra analizada.

APÉNDICE 9.10

CENIZAS INSOLUBLES EN ÁCIDO (Van Keulen y Young).⁽³⁹⁾

Representa la materia inerte y los minerales indisponibles para el animal, empleándose también como marcadores internos. Mucho de este residuo es sílice.

Material y Equipo

- Crisoles de 50 ml.
- Mufla.
- Desecador.
- Vasos de Berzelius sin pico.
- Digestor de Fibra (Labconco).
- Papel filtro (Whatman No. 41).
- Embudos.

Reactivos.

Ácido Clorhídrico al 2N.

Procedimiento.

- a) Pesar 5 g de muestra y colocarlas en un crisol pesado y previamente puesto a peso constante.
- b) Ponerlas a calcinar durante toda la noche en una mufla, sacarlas y ponerlas en un desecador para posteriormente pesarlas.
- c) Transferir las cenizas a un vaso de Berzelius y adicionarles 100 ml de HCl al 2 N a cada muestra.
- d) La muestra se pone a hervir en el digestor de fibra por cinco minutos.
- e) Se filtra la muestra y se lava con agua destilada caliente (85 – 100 ° C), para eliminar el exceso de ácido.
- f) Se transfiere la muestra con todo y el papel filtro a un crisol y se vuelve a incinerar durante toda la noche. Sacar las muestras y ponerlas en un desecador para posteriormente pesarlas.

Cálculos.

$$\% \text{ CIAD} = \frac{(A - B)}{M} \times 100$$

Donde:

A = Peso del crisol con residuo de la calcinación (g).

B = Peso del crisol con cenizas (después de los procesos) (g).

M = Peso de la muestra inicial (g).

APÉNDICE 9.11

CENIZAS INSOLUBLES EN ÁCIDO (Van Soest).^(31, 32)

Existen dos alternativas para su determinación:

- 1.- Se digiere la muestra primeramente en ácido, se filtra y se calcina el residuo.
- 2.- Se calcina la muestra y luego se adiciona el ácido y se vuelve a calcinar

Material y equipo requerido para la FDA.

Reactivos.

- Los empleados para FDA.
- Ácido Bromhídrico al 48%.

Procedimiento.

- a) Preparar la FDA.
- b) Filtrar en un crisol Gooch de 50ml previamente a peso constante.
- c) Calcinar el residuo de la FDA a 500° C hasta quedar libre de carbón. Enfriar y pesar.
- d) Adicionar unas gotas de ácido bromhídrico (HBr) 48 %, humedeciendo todas las partículas. No usar más de 4 ml del ácido. Reposar de 1 a 2 horas, adicionar más gotas de HBr si se forma mucha coloración roja.
- e) Eliminar el exceso del ácido mediante vacío y lavar una vez con acetona. No Usar Agua..
- f) Secar y calcinar a 500° C. Enfriar y pesar.

APÉNDICE 9.12

SECUENCIA DE TRATAMIENTOS EN LA METODOLOGÍA DE CENIZAS INSOLUBLES EN ÁCIDO. ⁽³¹⁾

Método	Pretratamiento	Condiciones de calcinado	Postratamiento en ácido
Shivastra y Talapatra (1960)	Ninguno.	350-650° C por 5 h	Digerir en HCL concentrado, evap. 2x, redissolver, filtrar con agua e incinerar a 650° C.
Vogtman al. (1975)	et HCL al 4N, por ½ h, filtrar con agua.	650° C.	Ninguno.
Van Keulen y Young (1978)	Ninguno	450° C	HCL al 2N por 5 min, filtrar con agua e incinerar.
Van Soest y Wine (1968)	Fibra detergente ácido	500-550° C	HBr al 8 N, 1 h en H ₂ SO ₄ , después SiO ₂ y Filtrar.
Lovelace y Van Soest, (1969)	Ninguno.	Incinerar en platina o con un mechero bunsen.	HCL al 6 N, evap 2x, redissolver, filtrar con agua e incinerar en platina.

APÉNDICE 9.13

TABLA DE CONVERSIÓN DE PESO PARA ELEFANTES ASIÁTICOS. ⁽¹⁾

Los pesos obtenidos en la tabla que se presenta a continuación, fueron obtenidos en base a la siguiente fórmula: $\text{Peso en Kg.} = 18.0 (\text{perímetro torácico en cm.}) - 3336$. Esta fórmula estima solamente los pesos calculados y tiene un margen de error de $\pm 8\%$. Este margen de error puede ser mayor para elefantes jóvenes y debe ser usada cautelosamente en elefantes por debajo de los 13 años de edad. Esta fórmula no es segura en elefante Africanos.

Perímetro torácico (cm.)	Peso (Kg.)	Perímetro torácico (cm.)	Peso (Kg.)
190	84	380	3504
195	174	385	3594
200	264	390	3684
205	354	395	3774
210	444	400	3864
215	534	405	3954
220	624	410	4044
225	714	415	4134
230	804	420	4224
235	894	425	4314
240	984	430	4404
245	1074	435	4494
250	1164	440	4584
255	1254	445	4674
260	1344	450	4764
265	1434	455	4854
270	1524	460	4944
275	1614	465	5034
280	1704	470	5124
285	1794	475	5214
290	1884	480	5304
295	1974	485	5394
300	2064	490	5484
305	2154	495	5574
310	2244	500	5664
315	2334	505	5754
320	2424	510	5844
325	2514	515	5934
330	2604	520	6024
335	2694	525	6114
340	2784	530	6204
345	2874	535	6294
350	2964	540	6384
355	3054	545	6474
360	3144	550	6564
365	3234	555	6654
370	3324	560	6744
375	3414	565	6834

