

00361



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

4.
2ej.

**ESTUDIO DE 5 DIETAS EXPERIMENTALES SOBRE EL
VALOR NUTRITIVO DEL AMARANTO (*Amaranthus
hypochondriacus*, L.) Tipo Azteca, EN EL
CRECIMIENTO DE LA RATA ALBINA
(*Rattus norvegicus albinus*)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGIA)

P R E S E N T A :

GASTON ANTONIO AYALA VILLARREAL

MEXICO, D. F.

1992



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 está 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.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iv
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	4
Amaranto:	4
Valor nutritivo e Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) .	5
Toxicidad en las semillas	8
Efecto del procesamiento térmico seco (reventado)	9
Espirulina (Tecuitlatl)	10
Valor nutritivo	11
LA RATA	13
Criterios en el balanceo de raciones alimenticias	17
Análisis para determinar el crecimiento	19
OBJETIVOS E HIPOTESIS	23
Objetivo General	23
Hipótesis estadística	23
EXPERIMENTO 1	24
Hipótesis	24
EXPERIMENTO 2	24
Hipótesis	25
EXPERIMENTO 3	25
Hipótesis	25
MATERIALES Y METODOS	26
1er. Experimento	26
2do. Experimento	27
3er. Experimento	28
Interpretación estadística	38

RESULTADOS Y DISCUSION	40
EXPERIMENTO 1	40
Discusión del Experimento 1	51
EXPERIMENTO 2	55
Discusión del Experimento 2	62
EXPERIMENTO 3	68
Discusión del Experimento 3	76
CONCLUSIONES	79
Experimento 1	79
Experimento 2	80
Experimento 3	81
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS	85

INDICE DE CUADROS.

Cuadro		P á g.
1	Análisis químico proximal de las semillas de amaranto (<i>A. hypochondriacus</i>)	6
2	Comparación del contenido de aminoácidos esenciales en diversas semillas (g/100 g de muestra)	
7		
3	Análisis químico de la espirulina desecada	12
4	Aminograma de la espirulina (<i>Spirulina maxima</i>)	12
5	Datos Fisiológicos de la rata Wistar y de ratón de Laboratorio	14
6	Algunas de las enfermedades infecciosas comunes de la rata Wistar en el Laboratorio	16
7	Peso promedio en gramos de dieta balanceada consumida diariamente y promedio diario del consumo de agua en ml; Animales adultos	18
8	Distribución y número de ratas albinas (Wistar) por experimento; grupos y dietas	29
9	Análisis químico proximal de la PURINA para roedores pequeños	32
10	Requerimientos nutricionales de la rata Wistar	33
11	Análisis químico proximal de la dieta No. 2 del Experimento 2	34
12	Análisis químico proximal de la dieta No. 3 del Experimento 2	35
13	Análisis químico proximal de la dieta No. 2 del Experimento 3	36
14	Análisis químico proximal de la dieta No. 3 del Experimento 3	37
15	Relación de la función de crecimiento y tasa absoluta del experimento 2	66
16	Relación de la función de crecimiento y tasa absoluta del experimento 3	77

INDICE DE FIGURAS.

Figura.		P á g.
1	Curva de crecimiento y fase; variación de la tasa absoluta en el tiempo	21
2	Curvas de crecimiento de MACHOS del experimento uno	41
3	Curvas de crecimiento de HEMBRAS del experimento uno	42
4	Curvas logarítmicas (Vel. de crecimiento), que demuestra el incremento en peso de HEMBRAS del Gpo. 1; Purina y Gpo. 2 amaranto reventado y comportamiento (TAC) en relación al tiempo	49
5	Curvas logarítmicas (Vel. de crecimiento), que demuestra el incremento en peso de MACHOS del Gpo.1; Purina y Gpo. 2 amaranto reventado y comportamiento (TAC) en relación al tiempo	50
6	Sobrevivencia de MACHOS y HEMBRAS del experimento 1	53
7	Sobrevivencia de MACHOS y HEMBRAS para el experimento 2	65
8	Sobrevivencia de MACHOS y HEMBRAS para el experimento 3	75
9	Curvas de crecimiento de MACHOS del experimento dos	58
10	Curvas de crecimiento de HEMBRAS del experimento dos	59
11	Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento en peso de MACHOS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC), en relación al tiempo Gpo. 1: Purina, Gpo. 2: amaranto, soya, girasol, espirulina; Gpo. 3 amaranto, soya, girasol, zanahoria y espinaca	60

Figura.	P á g.	
12	Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento en peso de HEMBRAS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC), en relación al tiempo Gpo. 1: Purina, Gpo. 2: amaranto, soya, girasol, espirulina; Gpo. 3 amaranto, soya, girasol y zanahoria	61
13	Curvas de crecimiento de MACHOS del experimento tres	69
14	Curvas de crecimiento de HEMBRAS del experimento tres	70
15	Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento de peso de MACHOS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Gpo. 1: Purina; Gpo. 2: amaranto, soya, espirulina, azúcar semilla de calabaza y sal; Gpo. 3 amaranto, soya, espirulina, azúcar, semilla de calabaza y sal	71
16	Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento de peso en HEMBRAS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Gpo. 1: Purina; Gpo. 2: amaranto, soya, espirulina, azúcar semilla de calabaza y sal; Gpo. 3 amaranto, soya, espirulina, azúcar, semilla de calabaza y sal	72

RESUMEN

Los siguientes experimentos se realizaron como la parte inicial de orientación de un proyecto multidisciplinario auspiciado por el PUAL (Programa Universitario de Alimentos)-UNAM, con el objeto de estudiar el valor nutritivo, de la semilla de amaranto, en harina cruda y reventada en la rata albina, (*Rattus norvegicus albinus*), teniendo como objetivo fundamental la invención posterior de una fórmula para elaborar a nivel nacional una NUTRITORTILLA para mejorar tangiblemente la nutrición del pueblo mexicano, a base de harina nixtamalizada de maíz y amaranto, y posiblemente, con la adición de otros ingredientes.

Se realizaron tres experimentos con ratas albinas (Wistar) recién destetadas, de la colonia del Bioterio de la facultad de Ciencias, UNAM; el amaranto usado en los estudios fue procedente de Tulyehualco, D. F., y se suministró como harinas de semilla cruda o reventada en comal por el método tradicional casero. En el primer estudio se usaron 50 machos y 50 hembras, en el segundo se utilizaron 48 machos y 48 hembras; 63 machos y 90 hembras en el tercero respectivamente.

En el primer experimento que duró 119 días (17 semanas), los animales se dividieron en dos grupos: el primer grupo (25 machos y 25 hembras), recibieron nutricubos PURINA para roedores pequeños pulverizados, el segundo harina de semilla de amaranto reventada sola.

En el segundo experimento los animales se dividieron en tres grupos iguales: (16 machos y 16 hembras), y fueron alimentados durante 77 días (11 semanas), con las siguientes dietas: Grupo uno nutricubos PURINA; Grupo dos, harina de amaranto cruda 60%, soya (frijol crudo pulverizado) 20%, girasol (semillas crudas pulverizadas) 10%, y espirulina (procesada y pulverizada) 10%, el tercer grupo, amaranto crudo 60%, soya 20%, girasol 10%, zanahoria (raíces crudas deshidratadas durante 60 hrs. a 30 °C y pulverizadas) 5% y espinacas (hojas crudas deshidratadas durante 48 hrs. a 30 °C y pulverizadas) 5%.

Y en el tercer experimento los animales se dividieron en tres grupos iguales (21 machos y 30 hembras) y duró 112 días (16 semanas) y fueron alimentados con las siguientes dietas: Grupo uno, nutricubos PURINA, Grupo dos, harina de amaranto cruda 60%, soya (harina integral, cocida y desgrasada) 20%, espirulina (procesada y pulverizada) 10%, azúcar refinada blanca (sacarosa) 7%, semilla de calabaza (descascarada molida) 2% y sal yodatada 1%; Grupo tres, harina de amaranto reventada 60%, soya 20%, espirulina 10%, azúcar 7%, semilla de calabaza 2% y sal 1%. Las ratas en los tres experimentos recibieron agua corriente *ad libitum*, y se pesaron individualmente cada siete días

para determinar sus curvas, tasas y función de crecimiento, así como la sobrevivencia.

PRIMER EXPERIMENTO. Los resultados de este experimento, con base en las curvas de crecimiento fundamentalmente, pueden resumirse así: las ratas de ambos sexos que recibieron Nutricubos PURINA (Grupo 1), crecieron consistentemente mucho más que las ratas alimentadas con harina de semilla de amaranto reventado (Grupo 2). De aquí se concluye que el amaranto solo tiene un valor nutritivo inferior al de nutricubos PURINA para roedores pequeños, el cual es un alimento balanceado para roedores de laboratorio, sin embargo, asombrosamente sólo el 16% de los machos y el 8% de hembras que se alimentaron de amaranto reventado y agua murieron. La harina de semilla de amaranto reventado mantuvo con vida el resto de los animales durante todo el experimento.

SEGUNDO EXPERIMENTO. Los resultados de este estudio, pueden sintetizarse así: 1. Los animales que recibieron harina de amaranto cruda (Grupos 2 y 3), con otros ingredientes, crecieron apreciablemente menos que las ratas alimentadas con Nutricubos PURINA; De este experimento se concluye que la adición al amaranto de algunos ingredientes conocidos, la mayoría de ellos comúnmente usados en la alimentación humana y de fácil producción y obtención en México, no igualan por el momento el valor nutritivo de Nutricubos PURINA, por lo tanto, es importante observar, que la espirulina produce un crecimiento apreciablemente mayor que el producido por la zanahoria y espinaca juntas.

TERCER EXPERIMENTO. Los Animales alimentados con Nutricubos PURINA (Grupo 1), crecieron más que los alimentados con harina cruda (Grupo 2), como principal ingrediente de la dieta y harina reventada (Grupo 3), en base a las curvas de crecimiento. Los resultados de este estudio se pueden sintetizar así: 1. Dado que el tratamiento por cocción en seco por contacto directo en comal disminuye el contenido de Lisina y proteínas en la harina reventada, los animales del Grupo 3 crecieron menos que los del Grupo 2 alimentados con harina cruda.

En resumen, los resultados de estos tres experimentos sientan unas bases sólidas para la orientación adecuada respecto a los ingredientes que en futuras investigaciones deban usarse con el fin de obtener una NUTRITORTILLA.

INTRODUCCION

La nutrición comprende diversas actividades químicas y fisiológicas que transforman los elementos alimenticios en elementos corporales del organismo. Se necesita continuamente un aporte de nutrientes para obtener energía, construir, reparar y mantener los tejidos corporales y regular los procesos fisiológicos vitales.

Los nutrientes son los elementos básicos que se obtienen de los alimentos, según su composición química, propiedades y función en carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales.

El agua se considera como un elemento esencial, pues participa en todos los procesos vitales del organismo (Maynard y Loosli, 1985).

Una nutrición adecuada es la que aporta todos los nutrientes en las cantidades necesarias para mantener al organismo saludable.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha realizado encuestas mundiales detectando que 750 millones de personas aproximadamente padecían desnutrición en el mundo en 1990, ubicadas en Asia, África y Latinoamérica.

En México, se ha estimado que el 40 % de la población padece diversos grados de desnutrición, que en la mayoría de los casos no satisfacen sus requerimientos calóricos y es común que su dieta sea deficiente en proteínas, vitaminas y minerales. Otro 40 % tampoco se alimenta adecuadamente porque restringen su dieta a alimentos de alto valor protéico (carne, leche y huevos). Un 13 % padece sobrealimentación al grado que se le puede afectar la salud por exceso de carbohidratos y grasas, y sólo un 7 % se alimenta adecuadamente (Odum, 1971).

El cultivo del amaranto (alegría) ha llamado la atención para ubicarlo como un elemento promisorio para mejorar la dieta del mexicano. El valor nutritivo de su semilla (Cuadro 1 y 2), y su alta potencialidad agroindustrial, han sido determinantes para integrarlo con otros ingredientes y elaborar dietas experimentales.

El presente trabajo consiste en evaluar el valor nutritivo de la semilla de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) Tipo Azteca (en forma de harina cruda y reventada), como componente principal para la formación de las dietas utilizadas en los experimentos, empleando a la rata albina (*Rattus norvegicus albinus*) como modelo animal y utilizando al crecimiento y sobrevivencia como parámetros indicativos. Para lo cual realizamos 3 experimentos como parte inicial de orientación de un proyecto general multidisciplinario auspiciado por el PUAL (Programa Universitario de Alimentos)- UNAM, con el objeto de proponer una

fórmula para la elaboración de una NUTRITORTILLA a base de maíz y harina de semilla de amaranto, y posiblemente con la adición de otros ingredientes.

Los diseños experimentales y la elaboración de las dietas, se llevaron a cabo en el Bioterio de la Facultad de Ciencias, UNAM.

ANTECEDENTES

Amaranto:

Los primeros indicios del amaranto en México, indican que desde mucho tiempo antes de la conquista (5,200 años A.C.) tenía usos alimenticios, consumiéndose principalmente las hojas y semillas de plantas silvestres. En el tiempo del Imperio Azteca el amaranto tomó mayor importancia, y se cultivaba para uso alimenticio y por su carácter ceremonial, al grado de que las provincias que estaban sometidas al imperio enviaban anualmente grandes cantidades de semilla de amaranto como tributo a Moctezuma (Sauer, 1950 y Singh, 1961).

Durante el tiempo de la Conquista, el cultivo del amaranto se extendía desde Jalisco hasta Oaxaca, sin embargo, su cultivo disminuyó notablemente en sólo dos siglos; debido al trastorno general de las culturas indígenas durante la Colonia, y a la supresión deliberada del amaranto como símbolo del paganismo (Sauer, 1967).

Actualmente, su cultivo ha desaparecido en muchas comunidades, pero existen lotes a nivel comercial en varios lugares de los Valles Altos de la Mesa Central del país.

Recientemente el alto valor nutritivo de la semilla de amaranto ha despertado gran interés por su cultivo en varias partes del mundo (Grubben y Sloten, 1981).

En México, ésto ha provocado el inicio de trabajos de investigación sobre diferentes tópicos de *Amaranthus hypochondriacus*, L.

Valor nutritivo

Existen diversos estudios (Pérez-Gil *et al.*, 1982; Necochea *et al.*, 1982; Becker *et al.*, 1981) en donde se analizan algunas especies del género *Amaranthus spp.*, que han sido utilizadas como alimento, éstas son: *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. leucocarpus*.

En los últimos años se ha comprobado por medio de técnicas analíticas la alta calidad y cantidad de proteínas que contiene el amaranto. Sin embargo, la información sobre la composición nutritiva de las distintas partes de la planta (tallo, hojas) en las diferentes especies es escasa (Bressani, 1988; Bressani, 1989).

En el Cuadro 1 se presenta el resultado de el análisis químico de la semilla de *A. hypochondriacus*, en donde se aprecia su alto contenido en carbohidratos,

proteínas y grasas. Estos resultados han motivado a continuar explorando la calidad de los nutrientes, y al evaluar las características físico-químicas del aceite de la semilla, se encontró un alto índice de Iodo, lo que conduce a suponer un alto contenido de ácidos grasos insaturados (Casillas, 1984).

Cuadro 1. Análisis químico proximal de las semillas de amaranto* (*A. hypochondriacus*).

Determinación	Base húmeda**	Base seca**
Humedad	7-8	0
Extracto libre de nitrógeno	65-67	70-72
Proteína cruda (N x 5.85)	12-16.5	13-17.8
Extracto etéreo	4-6	4.4-8.1
Fibra cruda	3-6	3.2-6.4
Cenizas	3-4	3.2-4.1
Energía (Kcal)	365-375	395-408

* Sánchez-Marroquín, *et al.*, 1986.
 ** (g/100 g).

En la interpretación de cromatogramas se aprecia un alto contenido de ácido linoléico (43.95%) y oléico (29.27%); el primero de los cuales es polinsaturado y considerado como "esencial", es decir, que no se sintetiza por el organismo humano (Ortiz de Montellano, 1978).

El cuadro 2 muestra el contenido de aminoácidos esenciales de diversas semillas, se puede apreciar que el amaranto las supera en su contenido de triptofano y de treonina y en lisina al maíz y al trigo.

*Cuadro 2. Comparación del contenido de aminoácidos esenciales en diversas semillas (g/100 g de muestra)**

Aminoácido	Amaranto	Maíz	Trigo	Frijol	Soya
Lisina	5.11	2.84	2.76	7.39	6.54
Isoleucina	2.80	4.43	4.17	5.43	5.10
Treonina	4.4	3.9	2.89	4.28	3.94
Valina	3.0	5.06	4.59	5.82	5.20
Leucina	4.9	12.89	6.70	8.43	7.87
Triptofano	3.64	0.62	1.25	0.93	1.31
Metionina	1.25	1.85	1.52	1.02	1.26
Fenilalanina	3.5	4.61	4.87	5.47	4.87

* Bourges, R. 1984.

Y de acuerdo con Bourges (1984) el aporte de la semilla de alegría es idóneo para alcanzar el equilibrio de aminoácidos y lograr la optimización en la formulación de dietas.

La presencia de altas cantidades de aminoácidos esenciales, ácidos grasos polinsaturados, vitaminas A (6100 U.I) y C (800 mg), calcio (267 mg) y hierro (3.9 mg), le confieren a la semilla de amaranto, el "status" de alimento nutritivo para complementar, suplementar o sustituir nuestros granos básicos convencionales a fin de poder mejorar la dieta de la población (Pérez Gil, *et al.*, 1982).

Toxicidad en las semillas

Las saponinas también conocidas como polifenoles están ampliamente distribuidas en el Reino Vegetal. El efecto de éstas es muy variado, se ligan *in vitro* a las proteínas con lo que inhiben su digestibilidad, así mismo, actúan como inhibidores de tripsina (biocatalizador orgánico), e intervienen en la absorción de Ca y tienen un efecto depresivo en el crecimiento (Cheeke, *et al.*, 1978).

En la semilla de amaranto (*A. leucocarpus*) se detectaron niveles saponínicos de 8,017 UIT/g. (Unidades Inhibitorias de Tripsina por gramo de muestra), que comparados con los niveles encontrados en la soya cruda (70,000 a 100,000 UIT/g) resultan insignificantes. Cuando la semilla se reventó, los niveles bajaron a 1,636 UIT/g, lo que indica el efecto térmico sobre el factor antitripsico de las saponinas (Grande *et al.*, 1982).

Efecto del procesamiento térmico seco (reventado).

Algunas variedades del grano de amaranto tienen la característica de que al someterlos a un proceso térmico en seco, revientan, dando una estructura atractiva más aceptable. Este proceso es el que se utiliza comúnmente para producir el dulce de "alegría".

Bressani (1989), ha demostrado que el proceso térmico de reventado influye sobre la calidad proteínica de la semilla, principalmente si el proceso es de contacto directo entre grano y superficie caliente (comal).

Se ha demostrado, que el reventado del grano puede realizarse por medio de tratamientos con aire caliente en vez de causarlo a través del contacto (Sánchez-Marroquín, *et al.* 1985).

En el último proceso, el tiempo de contacto con la superficie caliente es más largo que el tiempo de contacto entre el grano y el aire caliente, y además de inducir el reventado también induce el tostado de la semilla.

Espirulina (Tecuitlatl):

Los Aztecas, se establecieron alrededor del año 1325 en una isla del lago de Texcoco, Estado de México. Su alimentación tenía como componentes al maíz, frijol, frutas y productos animales. Su migración a zonas húmedas los orientó a la búsqueda de fuentes nutritivas en el lago, con las cuales complementar y variar su comida (Ruíz de Alarcón, 1629).

En un mapa del lago fechado en 1550, atribuido a Alonso de Santa Cruz, se ven numerosas embarcaciones obteniendo el "tecuitlatl" que flotaba en la superficie, de donde se sacaba con redes o se apilaba con palos. Una vez secado un poco al sol en la riberas, los indios le daban formas de "tortas" pequeñas y se lo comían con tortillas de maíz; tiene sabor a queso crema y cierto olor a cieno.

La industria Sosa Texcoco, se dedica a la obtención de sosa en los suelos salinos del lago de Texcoco, a partir de 1966 tuvo algunos problemas con una alga que crece en ese lago, al tener conocimiento de que los Aztecas la consumían la Dirección Comercial buscó alternativas para aprovecharla para consumo humano. En 1968, el Instituto Francés del Petróleo (IFP) ofreció su colaboración y se iniciaron así una serie de investigaciones principalmente en lo que se refiere al proceso de desecación.

Actualmente, funciona una fábrica procesadora del alga, anexa a Sosa Texcoco, de donde se obtiene el recurso del "caracol" del lago, un inmenso evaporador solar de 3,200 m de diámetro y 900 hectáreas de superficie, con una producción cercana a las 500 toneladas de alga desecada al año (Sosa Texcoco, 1978).

Valor nutritivo.

La espirulina, que vive en ambientes acuáticos con una concentración de sales inorgánicas y con el efecto de los rayos del sol, desarrolla en su protoplasma un alto contenido proteico de excelente calidad (Cuadro 3). Con un aminograma (Cuadro 4) con porcentajes aceptables de aminoácidos esenciales, también produce una cantidad importante de vitaminas del complejo B, vitamina A y E, su protoplasma está constituido además por una cantidad moderada de lípidos, predominando los ácidos grasos esenciales para la dieta humana, contiene clorofila, carotenos y minerales. Todo este conjunto de sustancias naturales producen un factor estimulante del crecimiento armónico del organismo (Decken Von Der, 1980).

Cuadro 3. Análisis químico de la espirulina desecada.

Determinación	Base seca
Humedad	7.0
Proteína	71.0
Carbohidratos	16.5
Fibra cruda	0.9
Lípidos	7.0
Energía (Kcal)	5.0
Cenizas	9.0
Carotenoides	4 000 mg/kg

Durand-Chastell, 1980.

Cuadro 4. Aminograma de la espirulina*

Aminoácidos	Mínimo (%)	Máximo (%)
Fenilalanina	2.77	3.95
Isoleucina	3.69	4.13
Leucina	5.56	5.80
Lisina	2.96	4.00
Metionina	1.59	2.17
Treonina	3.18	4.17
Triptofano	0.82	1.13
Valina	4.20	6.00
Alanina	4.97	5.82
Arginina	4.46	5.98
Ac. Aspártico	5.97	6.43
Cistina	0.56	0.67
Glisina	3.17	3.46
Ac. Glutámico	8.29	8.94
Histidina	0.89	1.08
Prolina	2.68	2.97
Serina	3.18	4.00
Tirosina	-	-

*Narasimha et al., 1982.

Con relación a toxicidad de la espirulina, se puede decir, que cuando se incorpora a las dietas y se suministra a ratas de laboratorio en concentraciones de 10, 20 y 30% no produce alteraciones en los parámetros comúnmente considerados en estudios de toxicidad subaguda, toxicidad a largo plazo, reproducción, lactancia, mutagénesis y teratogénesis (Chamorro, 1980).

LA RATA:

Rattus norvegicus es un cordado de la clase Mammalia que pertenece al orden Rodentia (roedores) y a la familia Muridae (cola sin pelo, escamas y semiprensil). Después del ratón (*Mus sp*) es el animal más utilizado en la investigación biomédica.

Aproximadamente 16 millones se usaron en 1965 en los Estados Unidos de América. Se sabe acerca de la nutrición de la rata más que de cualquier otro animal de laboratorio. Las técnicas para el bioensayo de vitaminas fueron desarrolladas hace muchos años atrás empleando a este animal como sujeto experimental. Es el animal de elección para muchos estudios de toxicidad de nuevas drogas y sustancias químicas (Poole, 1987). Sus datos fisiológicos se muestran en el Cuadro 5.

Los machos pesan de 450 a 750 g y las hembras de 350 a 450 g cuando son adultos. La rata carece de vesícula biliar (característica común con el caballo).

Cuadro 5. Datos Fisiológicos* de la Rata Wistar.

Hembras	Datos
Consumo de Alimento	10 g
Peso Corporal (adulto)	450 g
Edad de Cruza	2 a 3 meses
Vida Reproductiva	12 meses
Peso al Nacer	5 a 6 g
Tamaño de la Camada	6 a 9 animales
Duración del Ciclo Estral	4 a 5 días
Período de Gestación	21 días
Edad al Destete	3 a 4 semanas
Peso al Destete	40 a 50 g
Gasto de Energía	130 cal/kg/día
Temperatura Corporal	38.2°C
Frecuencia Respiratoria	130 cal/kg/día
Vida Promedio	3 años

*I.C.N. Biomedicals, 1992.

Las ratas de laboratorio son descendientes de las ratas silvestres, por muchas generaciones de domesticación y manipulación en el laboratorio han eliminado algunas características indeseables, como la agresividad y el hecho

de ser huéspedes intermediarios de algunas especies de nemátodos y portadoras del bacilo de la tuberculosis y el virus que causa la rabia; por lo tanto se han eliminado las severas consecuencias de una mordedura.

Son dóciles y generalmente no son agresivas con sus compañeras de jaula o sus cuidadores (Ribelin, 1989).

Las ratas recién nacidas pueden ser sexadas con facilidad. La distancia ano-genital en el macho es aproximadamente el doble que en la hembra. Este hecho ha sido explotado por los criadores para controlar la proporción sexual deseada al nacimiento de la camada. Nacen ciegas, sordas, con uñas atricias y sin pelo (Rowlands, 1989).

A pesar de ser generalmente más resistentes a las infecciones bacterianas y virales que la mayor parte de los animales de laboratorio, son susceptibles a infecciones respiratorias. La enfermedad respiratoria crónica es una infección debilitante que crea la mayor amenaza para las colonias. Las principales enfermedades se resumen en el Cuadro 6.

Los requerimientos nutritivos de la rata, son para propósitos prácticos, los mismos del ratón. Así es como muchas de las dietas obtenibles en el comercio pueden ser usadas indistintamente para ambas especies. Estas dietas son nutricionalmente balanceadas y no requieren suplementación.

Cuadro 6. Algunas de las enfermedades infecciosas comunes* de la Rata Nistar en el Bioterio.

Nombre	Agente Patógeno	Síntomas de presentación única o en combinación	Lesiones macroscópicas
Enfermedad respiratoria crónica (CDR)**	Bacteria (Mycoplasma) o virus (Infección simple o doble)	<u>FRANCA</u> - ruidos respiratorios, ojos llorosos con párpados enrojecidos, pobre condición fisiológica, pérdida del equilibrio, cabeza torcida, descarga nasal sanguinolenta, emaciación. <u>LATENTE</u> - sin cambios (el agente puede ser recuperado de las narices, oído medio o pulmones).	Inflamación del oído medio e interno. Consolidación pulmonar.
Neumonía bacteriana	Bacteria: pneumococcus Tipo II	<u>FRANCA</u> - Respiración dificultosa, con estertores. Descarga blanca o rojiza y purulenta desde las narices; pobre estado fisiológico, emaciación. <u>LATENTE</u> - Sin cambios (patógenos se pueden cultivar de la garganta y pulmones).	Consolidación pulmonar.
Salmonelosis	Bacteria: <i>S. enteritidis</i> y <i>S. typhimurium</i>	<u>FRANCA</u> - Diarrea, anemia, pobre estado fisiológico, emaciación. <u>LATENTE</u> - Sin cambios (el agente puede ser cultivado de las heces).	Pequeños focos necróticos blanquecinos en hígado y bazo. Ganglios linfáticos aumentados de tamaño
Neumonía viral (neumonitis enzootica)	Virus	<u>FRANCA</u> - Dificultad respiratoria, estertores, pobre estado fisiológico. <u>LATENTE</u> - Sin cambios (el virus puede ser recuperado de la garganta o pulmones).	Consolidación pulmonar.
Poliartritis	Bacteria: <i>Streptococcus moniliformis</i> y formas "L".	<u>FRANCA</u> - Edema y ulceración de las articulaciones de las extremidades; pobre condición fisiológica. <u>LATENTE</u> - Sin cambios, (Patógenos pueden ser recuperados de la garganta)	Inflamación de las articulaciones de las extremidades

*Ribelin, 1989

**Chronic Respiratory Disease

Críterlos en el balanceo de raciones alimenticias:

El término de "balanceada" se aplica a las dietas que contienen los nutrientes esenciales en proporciones adecuadas para una especie dada (Cuadro 7). Hay acuerdo general entre los especialistas en nutrición animal sobre lo que constituye una dieta balanceada para una especie dada, pese a que se pueden encontrar algunas variaciones en las proporciones recomendadas por las diferentes autoridades en la materia. También se presentan diferencias de requerimientos nutricionales entre las razas de una misma especie según su finalidad productiva.

La fuente de origen del nutriente, como la calidad, son factores a considerar. En primer lugar, puede que un especialista en nutrición especifique qué cierto porcentaje debe ser de origen animal.

Las proteínas varían en el tipo y el porcentaje de aminoácidos que contienen. De hecho, un nivel de un 30% de proteína de baja calidad puede ser deficiente en uno o más aminoácidos, lo que dará una dieta no satisfactoria, mientras que probablemente una dieta con 20% de proteínas de alta calidad sea adecuada.

Cuadro 7. Peso Promedio en gramos de Dieta Balanceada* Consumida Diariamente y Promedio Diario del Consumo de Agua (en mililitros). Animales Adultos.**

Especies	Gramos de alimento	ml de agua
Gato	100 - 200	320
Perro	300 - 500	350
Cobayo	30	145
Hamster	10 - 15	15 - 20
Ratón	4 - 6	6
Conejo	150	300
RATA	12 - 15	35
<i>Monc rhesus</i>	100 - 300	450

- * Alimento en base a pellets preparados comercialmente.
 ** Organización Panamericana de la Salud (OPS; 1980).

En el mercado es posible conseguir algunas dietas que sin suplementarlas son nutricionalmente adecuadas para el mantenimiento y reproducción de varias clases de animales (gatos, perros, ratones, ratas, hamsters, conejos y cobayos).

De acuerdo con Castaño (1973), es necesario determinar pasos previos a la formulación de raciones alimenticias. Esto es:

- a) Determinar el peso o la edad promedio de los animales que se desee alimentar (ésto es necesario porque los animales difieren en sus requerimientos en función de estas variables).

- b) Determinar las necesidades nutricionales del animal. En el caso de animales monogástricos (como la rata), es necesario considerar las proteínas, la lisina, energía, sal, calcio y fósforo. Las vitaminas y minerales pueden entrar en cantidades fijas en las raciones.

- c) Enlistar los alimentos que se tengan y anotar la composición nutricional de cada uno. Los nutrimentos que se consideren en los alimentos deben corresponder a los que se consideraron en las necesidades del animal.

- d) Determinar el método matemático que se desee utilizar en la formulación de la ración.

Análisis para determinar el crecimiento.

Los primeros pasos para analizar el rendimiento en términos de crecimiento en animales y plantas, se dieron a principios del presente siglo; y esta forma de análisis ha evolucionado a lo largo de los años, hasta convertirse en lo que se conoce hoy en día como el Análisis de Crecimiento.

Algunos autores (May, 1974; Pearl, 1980; Gause, 1970) coinciden en señalar que el crecimiento constituye un aumento irreversible del tamaño del organismo, asociado generalmente a un incremento del peso seco, aunque no

de modo necesario (Ellenberger, 1970; Waters, 1975; Chow y Lee, 1964). Por otra parte, se presenta otra connotación del término en la literatura, relacionándolo con un aumento en la complejidad, el cual Sydney y Asdell (1968) denominan diferenciación. A su vez, Meyer y Clawson (1964) establecen que el proceso de desarrollo lo constituyen los cambios de forma, así como el grado de diferenciación y el estado de complejidad alcanzado por el organismo.

La definición más clara es la que presenta Hammond (1954), quien considera que el crecimiento está conformado por dos procesos individuales: el crecimiento y la diferenciación.

Es posible que estas definiciones adolezcan de esquematismo, ya que resulta difícil aislar en un animal o planta superior el crecimiento de la diferenciación; dado que ambos procesos se presentan en los organismos.

El crecimiento de un individuo puede estudiarse por la medición de variables como: el peso y el volumen, entre otros; a intervalos sucesivos de tiempo durante el período de crecimiento. Al graficar los resultados de estas mediciones en función del tiempo, se obtiene una curva sigmoide, independientemente que se haya medido el organismo completo o algunas de sus partes (Swift, 1980).

Asociadas a estas sigmoides del crecimiento se encuentran los gráficos de los incrementos del crecimiento con relación al tiempo, o sea la Tasa Absoluta del Crecimiento (TAC), que tienen forma de campana (Figura 1); distinguiéndose en ellos tres fases, fase logarítmica en la que la intensidad del crecimiento es proporcional a la magnitud alcanzada por la variable que se mide. En la fase de máximo crecimiento la TAC, es relativamente constante e independiente de la magnitud alcanzada por la variable que se mide y se presenta en un período corto de tiempo, no distinguiéndose apenas como una fase separada.

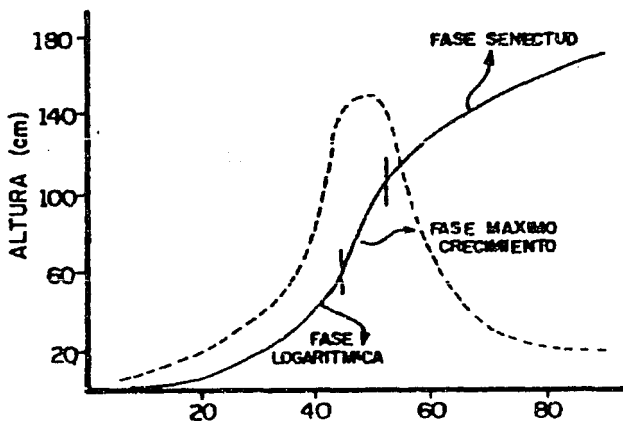


Figura 1. Curva de crecimiento y fases del mismo (—) Variación de la TAC (----) con el tiempo. (Salisbury y Parke, 1968).

La fase de senectud es producto de factores internos que se oponen al crecimiento, la tasa del mismo va disminuyendo en intervalos sucesivos de tiempo, hasta que finalmente no hay incremento adicional en la magnitud de la variable en estudio.

Estas curvas reflejan el comportamiento del crecimiento de una población en relación con el tiempo, y se define matemáticamente como:

$$TAC = \frac{dP}{dT}$$

En donde: dP es La derivada del peso.
dT es la derivada del tiempo.

Frecuentemente la TAC no expresa la intensidad del cambio en su forma más comúnmente o lógica, porque animales con tasas similares pueden encontrarse en un estado fisiológico diferente; por lo que el índice debe ser manejado con cuidado para fines comparativos (Revista del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba, 1984).

OBJETIVOS E HIPOTESIS.

Objetivo General:

Comparar el valor nutritivo de distintos regímenes alimenticios a base de harinas de amaranto cruda y reventada como único o principal ingrediente, utilizando como parámetros básico de evaluación el crecimiento y la sobrevivencia.

Hipótesis estadística:

H_0 : No hay diferencias entre las dietas evaluadas.

H_a : Hay diferencia significativa en el crecimiento de las Ratas Wistar con las dietas experimentales respecto a la dieta PURINA para roedores pequeños.

$H_0 = H_1$: El crecimiento de las Ratas Wistar alimentadas con PURINA es significativa a diferencia del creado con las dietas de harina de amaranto cruda y reventada como principal ingrediente.

EXPERIMENTO 1

Objetivo particular:

Comparar el valor nutritivo de una dieta comercial balanceada para roedores pequeños (PURINA) con otra constituida únicamente por harina de semilla de amaranto reventada, con el fin de determinar hasta qué grado ésta puede satisfacer las necesidades nutricionales de la Rata Wistar, usando el crecimiento y sobrevivencia como parámetros indicativos.

Hipótesis:

Debido a la calidad nutricional de la semilla reventada del amaranto, la harina elaborada de esta semilla podría mantener la sobrevivencia de la rata durante el experimento.

EXPERIMENTO 2

Objetivo particular:

Comparar el valor nutritivo de PURINA para roedores pequeños con dos dietas cuya composición está constituida por 6 ingredientes usando como componente principal la harina de amaranto crudo (Cuadros 11 y 12).

Hipótesis:

La dieta elaborada a base de harina de semillas de amaranto cruda y suplementada con espirulina tendría un mejor aprovechamiento en la rata, que la suplementada con zanahoria y espinaca desecadas.

EXPERIMENTO 3**Objetivo particular:**

Comparar el valor nutritivo de PURINA, con dos dietas; una con harina cruda y otra con reventada de semillas de amaranto, enriquecidas con los mismos ingredientes, con el objeto de valorar la calidad nutritiva de las harinas (Cuadros 13 y 14).

Hipótesis:

La harina de amaranto cruda mezclada con otros ingredientes como soya (harina integral cocida y desgrasada), espirulina, azúcar, semilla de calabaza (descascarada molida) y sal, superaría a una dieta que contenga los mismos ingredientes y cantidades pero con harina de amaranto reventado.

MATERIALES Y METODOS.

Los experimentos se realizaron con ratas albinas (*Rattus norvegicus albinus*) Wistar, de la colonia exogámica del bioterio de la Facultad de Ciencias de la UNAM; todos los animales fueron mantenidos en jaulas experimentales de hierro galvanizado, fabricadas con lámina y reja, y tanto las dietas experimentales (Cuadro 8) como el agua corriente de bebida se suministraron *ad libitum*, para no limitar la cantidad consumida por los animales.

La semana inicial se consideró como la semana 0 en los tres experimentos.

1er. Experimento.

Se utilizaron 50 machos y 50 hembras recién destetadas (promedio de edad 28 días), que se dividieron al azar en dos grupos iguales (25 machos y 25 hembras en cada uno) distribuidos en 20 jaulas con 5 animales por jaula y alimentados con las siguientes dietas experimentales durante 18 semanas: Grupo 1, recibió nutricubos PURINA para roedores pequeños pulverizados (Cuadro, 9), y Grupo 2, recibió harina de amaranto reventado por el método tradicional casero por contacto directo en comal a 150 °C aproximadamente.

2do. Experimento.

Se emplearon 48 machos y 48 hembras recién destetadas (promedio de edad: 28 días), que se dividieron en tres grupos iguales (16 machos y 16 hembras en cada uno), distribuidos en 24 jaulas con cuatro animales por jaula (Cuadro 8), se alimentaron durante 12 semanas con las siguientes dietas.

El Grupo 1, recibió Nutricubos PURINA para roedores pequeños pulverizados (Cuadro 9).

El Grupo 2, fue alimentado con una dieta compuesta de Amaranto (semillas crudas pulverizadas) 60%, Soya (frijol crudo pulverizado) 20%, Girasol (semillas enteras crudas, pulverizadas) 10%, y alga espirulina (producto procesado, pulverizado) 10% (Cuadro 11).

El Grupo 3, recibió una dieta formada por harina de semillas de Amaranto crudas 60%, Soya 20%, Girasol 10%, Zanahoria (raíces crudas deshidratadas durante 60 horas a 30°C) 5%, y Espinaca (hojas crudas deshidratadas durante 48 horas a 30°C) 5% (Cuadro 12).

3er. Experimento.

Se utilizaron 63 machos y 90 hembras recién destetados (promedio de edad: 28 días) que se dividieron en tres grupos iguales (21 machos y 30 hembras en cada uno) distribuidos en 16 jaulas (7 machos y 10 hembras por jaula) y se alimentaron durante 17 semanas con las siguientes dietas experimentales (Cuadro 8).

El Grupo 1, recibió Nutricubos PURINA para roedores pequeños, pulverizados (Cuadro 9).

El Grupo 2, recibió Harina de semilla de Amarantho Cruda 60%, Soya (harina integral, cocida y desgrasada) 20%, Espirulina procesada 10%, Azúcar refinada blanca 7%, Semilla de Calabaza descascarada y molida 2% y Sal yodatada 1% (Cuadro 13).

El Grupo 3, recibió la dieta con los mismos ingredientes y porcentajes del Grupo 2 a excepción de la harina de amaranto cruda la cual fue sustituida por harina de semilla reventada (Cuadro 14).

Los experimentos se realizaron en las condiciones ambientales del bioterio (a 27 °C y 60% de humedad relativa). El amaranto usado en los estudios fue el *Amaranthus hypochondriacus* L. Tipo Azteca, procedente de

Cuadro 8. Distribución y número de ratas albinas (Wistar), por Experimento, Grupos y Dietas.

No. Experimento de ratas	Total y distribución por sexo	Número de animales por grupo	No. de ratas por jaula	No. de jaulas por grupo	Dietas suministradas & por grupo (loce)	%		
1	50 ♂	Gpo.1 25 ♂	5 ♂	5	Nutricubos purina (testigo)	100		
	50 ♀	Gpo.2 25 ♀	5 ♀	5	Harina de semilla amaranto reventado	100		
2	48 ♂	Gpo.1 16 ♂	4 ♂	4	Nutricubos purina (testigo)	100		
		Gpo.2 16 ♂	4 ♂	4	Harina de amaranto cruda	60		
		16 ♀	4 ♀	4	Soya cruda	20		
	48 ♀	Gpo.3 16 ♀	16 ♂	4 ♂	4	Girasol	10	
			16 ♀	4 ♀	4	Espirulina procesada	10	
			16 ♀	4 ♀	4	Harina de amaranto cruda	60	
3	63 ♂	Gpo.1 21 ♂	7 ♂	3	Nutricubos purina (testigo)	100		
			10 ♀	3	Harina de amaranto cruda	60		
		Gpo.2 21 ♂	7 ♂	3	Soya desengrasada	20		
			10 ♀	3	Espirulina procesada	10		
		90 ♀	Gpo.3 21 ♀	21 ♂	7 ♂	3	Azúcar refinada	7
				10 ♀	3	Semilla de calabaza	2	
	10 ♀			3	Sal yodatada	1		
	10 ♀			3	Harina de amaranto reventada	60		
	10 ♀			3	Soya desengrasada	20		
	10 ♀			3	Espirulina procesada	10		
						Azúcar refinada	7	
						Semilla de calabaza	2	
					Sal yodatada	1		

Tulyehualco, D. F. Las ratas se pesaron individualmente cada 7 días para determinar el peso promedio en gramos de cada grupo (x), por sexos separados y sus curvas, tasas y función de crecimiento, así como la sobrevivencia.

Las curvas de crecimiento se evaluaron con dos variables (peso contra tiempo) para los siguientes propósitos:

1. Plantear una ecuación matemática (Infante, 1986).

Donde: $y = AB \ln (X+1)$

y = Peso

A = Coeficiente constante

B = Coeficiente de regresión

X = Semanas

Ln = Logaritmo natural

que permita obtener la Función de Crecimiento de las ratas de cada grupo por experimento, a fin de analizar la razón de las tasas de crecimiento, tiempo en donde hay resultados similares en las dietas y diferencia de peso semanal de cada experimento, y determinar qué dieta favoreció más a un determinado período de crecimiento. Con el objeto de formular la ecuación para obtener la velocidad de crecimiento de la Tasa Absoluta (TAC) se derivó la ecuación logarítmica $y = AB \ln (X+1)$ y obtenemos:

$$TAC = \frac{dy}{dx} = \frac{B}{X+1}$$

Donde: TAC = Tasa Absoluta de Crecimiento
 dy = Derivada de peso
 dx = Derivada de tiempo
 B = Coeficiente de regresión
 X = Semanas

2. Se elaboraron gráficas de supervivencia por semana con base en las muertes espontáneas de los animales, con el objeto de determinar si eran o no atribuibles a las dietas proporcionadas (Runnels *et al.*, 1980).
3. El balanceo de las raciones se realizó con base en la experiencia del Dr. Humberto Granados¹, considerando los requerimientos nutricionales de la rata Wistar propuestos por una dieta comercial balanceada (Nutricubos PURINA para roedores pequeños) (Cuadro 9), tales requerimientos son superiores a excepción de la energía metabolizable, a los propuestos por Rogers (1979) (Cuadro 10).
4. El contenido nutricional de cada dieta se comprobó mediante el análisis químico proximal respectivo (Cuadros 9, 11, 12, 13 y 14).

¹ Jefe del Laboratorio de Biología Animal Experimental. Facultad de Ciencias, UNAM.

Además se registró el número de muertes espontáneas y se realizaron las necropsias respectivas.

Cuadro 9. Nutricubos PURINA^{*} para roedores pequeños. (Testigo)

Nutriente	Cantidad en dieta	%
Proteínas	Mínimo	23.0
Grasa	Mínimo	2.5
Fibra	Máximo	6.0
Energía metabolizable (Kcal.kg ⁻¹)		2533
Cenizas	Máximo	8.0
Humedad	Máximo	12.0
E.N.L.	Mínimo	48.0
Calcio	Máximo	1.0
Fósforo	Mínimo	0.6

* FUENTE: Fac. de Veterinaria, UNAM, Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica, Lab. de Análisis Clínicos para Alimentos (SARH) No. 0 50693.

** Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos).

Ingredientes: Cereales molidos (avena, trigo, maíz y sorgo), oleaginosas, harinas de origen animal, subproductos de cereales, subproductos alimenticios agrícola e industriales, alfalfa deshidratada, melaza de caña de azúcar.

Vitaminas: Vitamina A, B₁, B₂, B₁₂, D, E, K, Niacina, Cloruro de colina, Pantotenato de calcio.

Minerales: Carbonato de calcio, roca fosfórica, cloruro de sodio, fosfato dicálcico, carbonato de cobalto, óxido cúprico, óxido férrico, sulfato ferroso, óxido de manganeso, yoduro de potasio, tiosulfato de sodio, óxido de zinc.

Cuadro 10. Requerimientos nutricionales de la rata Wistar¹.

Nutriente	Cantidad en la dieta
PROTEINA (%)	12.0
GRASA (%)	5.0
Energía metabolizable (Kcal·kg ⁻¹)	3116
L-AMINOACIDOS	
Arginina (%)	0.6
Aspargina (%)	0.4
Acido glutámico (%)	4.0
Histidina (%)	0.3
Isoleucina (%)	0.5
Leucina (%)	0.75
Lisina (%)	0.7
Metionina (%)	0.6
Fenilalanina (%)	0.8
Triptófano (%)	0.15
MINERALES	
Calcio (%)	0.5
Cloro (%)	0.05
Flúor (mg/Kg)	1.0
Magnesio (mg/Kg)	400.0
Potasio (mg/Kg)	0.36
Fósforo (%)	0.4
Sodio (%)	0.05
Zinc (mg/Kg)	12.0
VITAMINAS	
A (IU·kg ⁻¹)	4000.0
D (IU·kg ⁻¹)	1000.0
E (IU·kg ⁻¹)	30.0
K (Mg·kg ⁻¹)	50.0
Acido Fólico (Mg·kg ⁻¹)	1.0
Niacina (Mg·kg ⁻¹)	20.0
Riboflavina (Mg·kg ⁻¹)	3.0
B12 (μg·kg ⁻¹)	50.0

¹Rogers, 1979.

Cuadro 11. Análisis Químico Proximal¹ de la Dieta 2 del experimento 2.

INGREDIENTES	%
Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) semilla cruda molida	60
Soya (<i>Soja hispida</i>), semilla crudo molido	20
Girasol (<i>Helianthus annus</i>), semilla cruda molida	10
Espirulina (<i>Spirulina maxima</i>), procesada	10
ANALISIS QUIMICO	%
Materia seca	92.21
Humedad	7.79
Proteína cruda (N x 6.25)	24.23
Extracto etéreo	8.70
Cenizas	3.56
Humedad	2.39
E.N.L. ²	53.33
Energía metabolizable (kcal·kg ⁻¹)	3072.17

¹ FUENTE: Fac. de Veterinaria, UNAM, Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica, Lab. de Análisis Clínicos de Alimentos (SARH) No. 0950693

² Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)

Cuadro 12. Análisis Químico Proximal¹ de la Dieta 3 del experimento 2.

INGREDIENTES	%
Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) semilla cruda molida	60
Soya, semilla cruda molida	20
Girasol, semilla cruda molida	10
Zanahoria (<i>Daucus carota sativa</i>) desecada (30°C / 60 hrs) molida	5
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>) desecada (30°C / 48 hrs) molida	5
ANALISIS QUIMICO	%
Materia seca	92.21
Humedad	7.79
Proteína cruda (N x 6.25)	24.23
Extracto etéreo	8.70
Cenizas	3.56
Humedad	2.39
E.N.L.**	53.33
Energía metabolizable (kcal·kg ⁻¹)	3072.17

¹ FUENTE: Fac. de Veterinaria, UNAM, Depto. de Nutrición Animal y Biotecnológica, Lab. de Análisis Clínicos de Alimentos (SARH) No. 0950693.

**Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)

Cuadro 13. Análisis Químico Proximal* de la Dieta 2 del experimento 3.

INGREDIENTES	%
Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) semilla cruda molida	60
Soya (<i>Soja hispida</i>), frijol crudo molido	20
Espirulina (<i>Spirulina maxima</i>), procesada	10
Azúcar refinada blanca (sacarosa)	7
Semilla de calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>), descascarada y molida	2
Sal yodatada	1
ANALISIS QUIMICO	%
Materia seca	92.67
Humedad	7.33
Proteína cruda (N x 6.25)	25.59
Extracto etéreo	4.57
Cenizas	4.14
Humedad	3.99
E.N.L.**	53.99
Energía metabolizante (kcal·kg ⁻¹)	2863.95

*FUENTE: Fac. de Veterinaria, UNAM, Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica, Lab. de Análisis Clínicos de Alimentos (SARH) No. 0950693.

**Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)

Cuadro 14. Análisis Químico Proximal de la Dieta 3 del experimento 3.

INGREDIENTES	%
Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) semilla reventada molida	60
Soya (<i>Soja hispida</i>), harina integral, cocida y desgranada	20
Espirulina (<i>Spirulina maxima</i>), procesada	10
Azúcar refinada blanca (sacarosa)	7
Semilla de calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>), descascarada y molida	2
Sal yodatada	1
ANALISIS QUIMICO	%
Materia seca	95.56
Humedad	4.44
Proteína cruda (N x 6.25)	25.68
Extracto etéreo	2.98
Cenizas	3.44
Humedad	3.05
E.N.L.**	53.52
Energía metabolizante (kcal·kg ⁻¹)	2905.89

FUENTE: Fac. de Veterinaria, UNAM, Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica, Lab. de Análisis Clínicos de Alimentos (SARH) No. 0950693.

**Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)

Interpretación estadística.

Se utilizó el estadístico t de Student para aplicar un método sencillo de comparaciones múltiples siendo éste el método de la "Diferencia Mínima Significativa Modificada" (DMS). Para estimar una varianza acorde al estadístico elegido se utilizó el "Cuadrado Medio de Error" (CME). Además, se tomó en cuenta el número de tratamientos (dietas) y el número de comparaciones entre los diferentes grupos de animales. Para calcular estos datos se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$A) \text{ CME} = \frac{\sum_{i=1}^T (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^T n_i - T}$$

i = Número de índice que indica el grupo de cada experimento.

T = Número de dietas.

n = Número de dietas del grupo de animales (número de

\bar{x} de cada Grupo).

S^2 = Varianza en cada grupo de animales.

Análisis y Conclusiones de la Diferencia Mínima Significativa.

Para calcular un intervalo de confianza de las diferencias de las medias se usó:

$$\bar{Y}_r - \bar{Y}_c \pm t_{\alpha/2} (\text{GLCME}) \sqrt{\text{CME} (1/nr + 1/nr')}$$

con el criterio siguiente: Si 0 (cero) se cubre en el intervalo de confianza entonces NO hay efectos distintos entre las dietas proporcionadas a los animales.

Si 0 (cero) no se cubre en el intervalo hay efectos diferentes.

Los cálculos se realizaron de manera directa con el lenguaje SAS y calculadora programable Graphics (Casio fx-7500 G).

La Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), es la razón de crecimiento que podemos interpretar como la velocidad (rapidez) de crecimiento con respecto al tiempo. Si se comparan dos Tasas de dos diferentes grupos de animales su razón indica el número de veces que una supera a la otra.

RESULTADOS Y DISCUSION

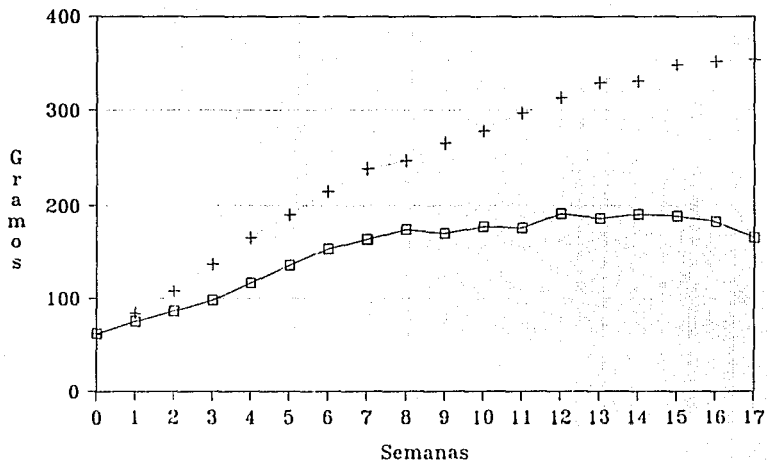
EXPERIMENTO 1.

Las Figuras 2 y 3, muestran comparativamente las curvas de crecimiento de los machos y hembras de los Grupos 1 y 2; los resultados pueden resumirse así:

1. Tanto los machos como las hembras que recibieron PURINA (Grupo 1), crecieron significativamente más que las ratas alimentadas con harina de semilla de amaranto reventada (Grupo 2).

2. En los machos, fué más notorio el menor crecimiento producido por la dieta de amaranto, mostrando un incremento similar al de las hembras igualmente alimentadas con amaranto (como puede observarse comparativamente en las figuras 2 y 3), el peso promedio final de los machos fue de 165.8 g y el de las hembras 174 g.

3. La función de crecimiento y la tasa de velocidad de crecimiento se muestran en las Figuras 4 y 5 respectivamente, en donde la función de Crecimiento en Peso es:



+ Gpo.1(Purina)Machos □ Gpo.2(Amaranto)Machos

Figura 2. Curvas de crecimiento de MACHOS del experimento uno

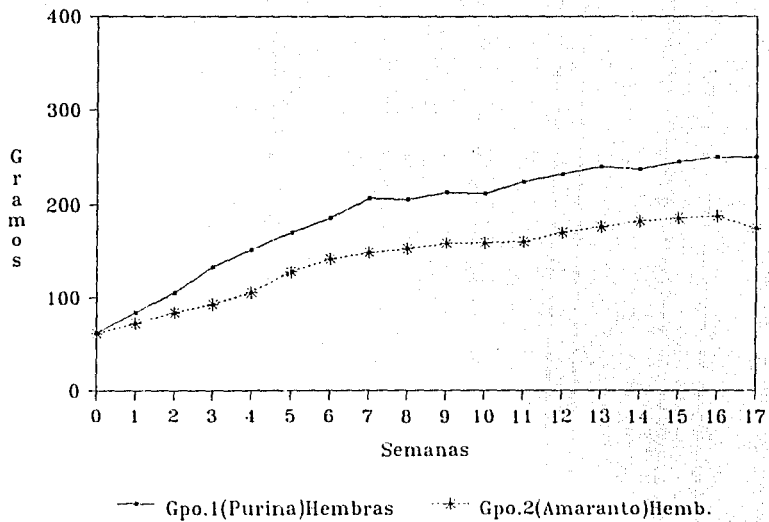


Figura 3. Curvas de crecimiento de HEMBRAS del experimento uno

Grupo: Dieta: Tasa absoluta de crecimiento

$$\sigma: \text{PURINA: } Y_1 = 5.389 + 116.109 \ln(X+1); \quad T_1 = \frac{116.109}{X+1}$$

$$r = .9733$$

$$\sigma: \text{Amaranto: } Y_2 = 46 + 51.272 \ln(X+1); \quad T_2 = \frac{51.272}{X+1}$$

$$r = .9558$$

$$\varphi: \text{PURINA: } Y'_2 = 41.376 + 72.935 \ln(X+1); \quad T'_1 = \frac{72.935}{X+1}$$

$$r = .99$$

$$\varphi: \text{Amaranto: } Y'_2 = 40.298 + 49.61 \ln(X+1); \quad T'_2 = \frac{49.61}{X+1}$$

$$r = .9749$$

NOTA: A medida que r se aproxime a 1 ó -1 existirá mayor evidencia de que en el modelo de regresión lineal simple la variable x contribuye significativamente a explicar la Y (Infante, 1986).

3.1. Comparando los machos del Grupo 1 con los machos del Grupo 2 (PURINA vs amaranto) tenemos que:

a) La razón de la Tasa de Crecimiento es:

$$\frac{T_1}{T_2} =$$

En donde: P_1 = Peso del Grupo 1
 P_2 = Peso del Grupo 2
 X = Tiempo

De modo que la rapidez de crecimiento de machos de la dieta uno es de 2.264 veces mayor que la de los machos de la dieta dos en peso (Fig. 4).

- b) Comparando la ganancia de peso entre los machos de los dos grupos, se tiene que fue similar en los primeros 6 días de edad, y a partir del día 7 el incremento de los machos alimentados con PURINA es mayor.

$$P_1 = P_2$$

$$X = .87 \text{ semanas}$$

$$X = 6 \text{ días}$$

- c) El tiempo que los machos alimentados con PURINA superaron en 10 g a los machos alimentados con amaranto fue a los 8 días.

$$P_1 - P_2 \geq 10 \text{ g}$$

$$X = 1.182 \text{ semanas}$$

$$X = 8 \text{ días}$$

- d) Para encontrar la diferencia de peso entre los grupos comparados desde el peso inicial a las semanas 7 y 17 tenemos:

$$X = 7 \text{ a } X = 17$$

$$P_1 - P_2 \rightarrow (94.213, 146.792)$$

por lo tanto, a la semana 7 los grupos tuvieron una diferencia de peso de 94.213 g y en la semana 17 una de 146.792 g.

3.2. Comparando entre las hembras del Grupo 1 con las hembras del Grupo 2 (Fig. 5), bajo los mismos criterios del análisis anterior obtuvimos:

$$a) T_1 / T_2 = 1.47$$

por lo tanto las hembras del Grupo 1 crecieron en gramos 1.47 veces más rápido que las hembras del Grupo 2.

b) Hubo una diferencia muy marcada entre las dietas porque únicamente durante dos días se obtuvo el mismo resultado, o sea:

$$P'_1 = P'_2$$

$$X = 0$$

En donde: P'_1 = Peso Grupo 1

P'_2 = Peso Grupo 2

x = Tiempo

- c) El tiempo en que las hembras alimentadas con PURINA superaron en 10 g a las hembras alimentadas con amaranto fue a los tres días.

$$P'_1 = P'_2 \geq 10 \text{ g}$$

$$X = .465 \text{ semanas}$$

$$X = 3 \text{ días}$$

- d) La diferencia de peso fue en la semana 7 de 49.58 g y en la 17 de 68.495 g.

$$X = 7 \quad X = 17$$

$$P'_1 = P'_2 \rightarrow (49.58 \text{ g}; 68.495)$$

3.3. Comparando a los machos del Grupo 1 con hembras del Grupo 1 (PURINA contra PURINA) (Figs. 4 y 5):

- a) Los machos aumentan de peso 1.6 veces con mayor rapidez que las hembras.
- b) Al comparar la ganancia de peso entre los grupos mencionados resulta que fue similar en los primeros nueve días y a partir del décimo el incremento de los machos es mayor.

- c) A partir de la 2da. semana se presenta una diferencia de peso de 10 g.
- d) En la semana 7 hubo una diferencia en gramos de 53.79 y en la 17 de 88.80 entre los grupos comparados.

3.4. Comparando los machos del Grupo 2 contra las hembras del Grupo 2 (amaranto vs amaranto) (figs. 4 y 5), tenemos que:

- a) Su velocidad de crecimiento es similar, porque:

$$T_2 / T'_2 = 1.033$$

- b) A partir del peso inicial y hasta la semana 12 tuvieron resultados similares en los efectos de las dietas:

$$P_2 = p'_2$$

$$X = 0$$

- c) De la semana 12 en adelante hay apenas una diferencia de 10 gramos:

$$P_2 = p'^2 \geq 10 \text{ g}$$

$$X = 12.277$$

- d) En la semana 7 hubo una diferencia en gramos de 9.15 y en la 17 de 10.05 g.

4. La prueba de t de Student muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los grupos experimentales.

- a) Grupo 1 machos con respecto Grupo 2 machos, resultó significativa ($90.483 > 52.953$), (intervalo de confianza .06).
- b) Grupo 1 machos con Grupo 2 hembras, significativa ($99.548 > 52.953$), (intervalo de confianza .06).
- c) Sólo machos: Grupo 1 con Grupo 2, significativa ($90.483 > 41.775$). (intervalo de confianza .1).
- d) Sólo hembras: Grupo 1 con Grupo 2, significativa ($48.24 > 28.593$). (intervalo de confianza .1).

5. La sobrevivencia tanto de los machos como de las hembras del Grupo 1 (PURINA) fue del 96%. En machos del Grupo 2 (amaranto) fue del 84% y en las hembras del mismo grupo del 92% (Figura 6).

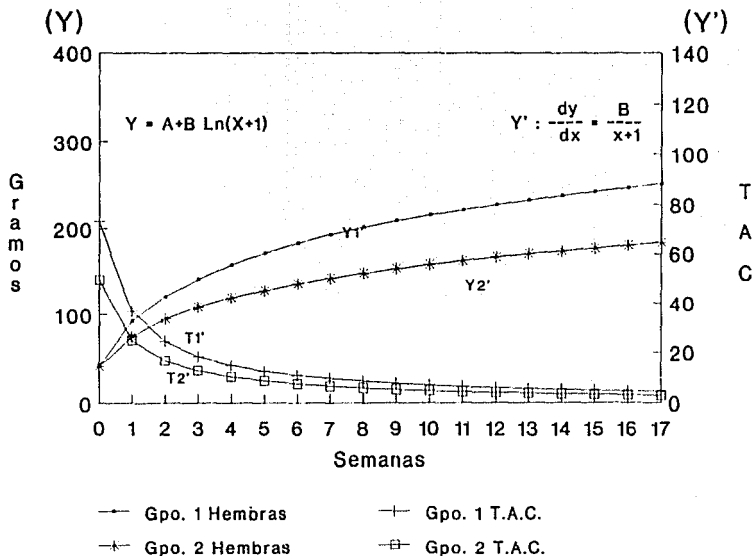


Figura 4. Curvas logarítmicas (Vel. de crecimiento), que demuestra el incremento en peso de HEMBRAS del Gpo. 1; Purina y Gpo. 2 amaranto reventado y comportamiento (TAC) en relación al tiempo

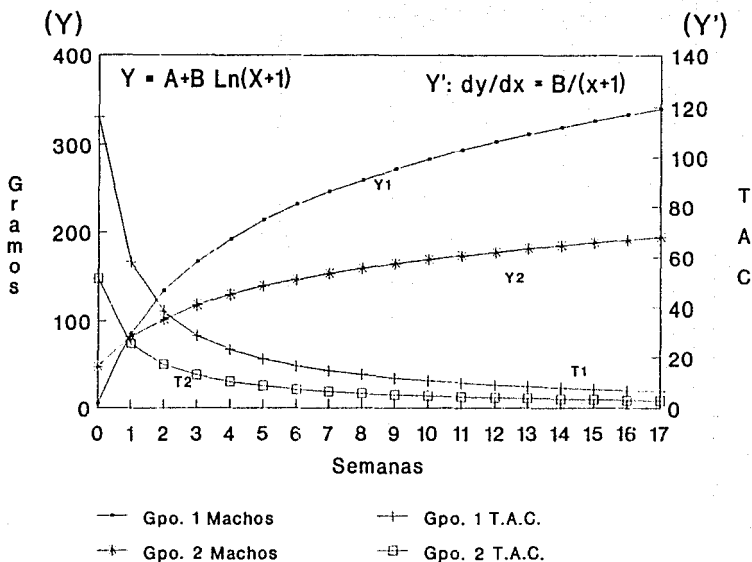


Figura 5. Curvas logarítmicas (Vel. de crecimiento), que demuestra el incremento en peso de MACHOS del Gpo.1; Purina y Gpo. 2 amaranto reventado y comportamiento (TAC) en relación al tiempo

Discusión del Experimento 1.

1. Las diferencias en la velocidad del crecimiento entre los Grupos 1 y 2 de machos y hembras, aprovechamiento de la dieta, ganancia y diferencia de peso, así como su comportamiento pudo deberse a varias razones como lo son:

- a) Diferencias cuantitativas y/o cualitativas de los nutrimentos y nutrientes contenidos en las dos dietas, dado que los requerimientos nutricionales de la rata Wistar están en función de la energía digestiva, proteína cruda, grasas, fibra y la relación energía-proteína (Rogers, 1979).
- b) Diferencias cuantitativas en la ingestión de alimento, lo cual puede deberse a la diferente aceptación debido a la mejor palatabilidad de la dieta PURINA ya que ésta contiene melaza, ingrediente que se utiliza con éxito en mezclas destetadora (entre un 5 y 20%) (De Alba, 1989). A este respecto se observó un menor consumo de la dieta constituida por amaranto.

2. Dado que la PURINA (Cuadro 9), es un alimento comercial balanceado para roedores pequeños en comparación con la harina de amaranto reventada, es interesante destacar el análisis comparativo entre machos y hembras del Grupo 2 en donde la velocidad del crecimiento es igual (1.033) durante todo el

experimento y el hecho de que casi hasta la semana 12 hubo entre los grupos, resultados similares en el aprovechamiento de las dietas y diferencia de 10 gramos entre ellos, destaca el aspecto importante a favor de las hembras en relación con el probable aprovechamiento del amaranto, a pesar de la diferencia fenotípica del tamaño que normalmente en la rata tienen los dos sexos.

A pesar del dimorfismo sexual (Granados, 1991), con PURINA ese dimorfismo se mantiene, con amaranto los machos son aparentemente privados de nutrientes y el peso final hace pensar que sufren más con tales deficiencias.

En las hembras la sobrevivencia también fue menor en el Grupo 2 (Fig. 6).

3. El hecho de haber muerto sólo el 16% de machos y el 8% de hembras que se alimentaron con amaranto (Fig. 6), demuestra que la dieta con este alimento y agua fue capaz de sostener la vida de los animales durante el experimento aún en condiciones subóptimas de nutrición, ya que desde principio de siglo se concluyó mediante experimentos que un solo ingrediente no aporta todos los nutrientes necesarios para el crecimiento (Hart, 1911).

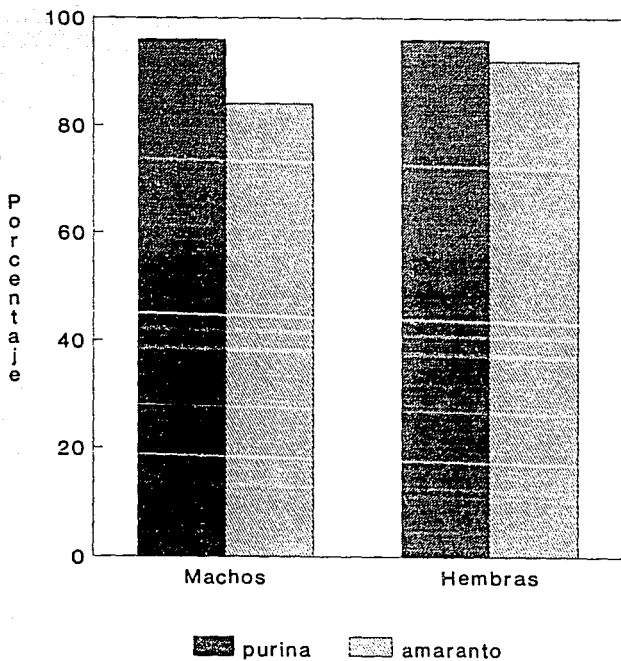


Figura 6. Supervivencia de MACHOS y HEMBRAS del experimento 1

4. En lo relacionado a las necropsias del Grupo 1, se considera que una hembra y un macho murieron por afecciones respiratorias no atribuibles a la dieta.

Es interesante resaltar que a pesar de que los animales del Grupo 2, sólo se alimentaron con harina de semilla de amaranto reventada, tuvieron una mortalidad del 12% en promedio, la cual no resulta similar a la aceptable en granjas de tipo comercial que es de un 10% (Scott, 1983).

5. Al analizar el peso individual de los animales cada semana, se observó que los que iniciaron el experimento con peso superior a la media se mantuvieron así y los que iniciaron con pesos inferiores lo sostuvieron en el transcurso del estudio. Ambos casos pueden ser atribuibles a factores nutritivos de las dietas que modifican el comportamiento intraespecífico. De acuerdo con Rogers (1979), la disponibilidad de la energía digestiva y la proteína en la dieta altera el comportamiento en la rata albina, lo que puede observarse porque los animales alimentados con PURINA mostraban una mayor actividad dentro de las jaulas en comparación de la pasividad mostrada por los que consumían amaranto reventado como único alimento (Lorenz, 1981).

EXPERIMENTO 2.**RESULTADOS**

Las Figuras 9, 10, 11 y 12 muestran comparativamente las curvas y tasas de crecimiento de machos y hembras de los 3 grupos experimentales. Estos resultados pueden sintetizarse como sigue:

1. Los machos alimentados con PURINA (Grupo 1) obtuvieron un crecimiento superior al de los otros dos grupos ya que:
 - a) La diferencia entre el grupo de machos de la dieta uno con los machos de la dieta tres ($45.331 > 44.534$) resultó significativa ($p > .15$).
 - b) Comparando los tres grupos de machos con los tres grupos de hembras se obtuvo que no hay efectos diferentes a un nivel de confianza de .15 en ningún caso ya que

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > 52.799$$

La comparación más cercana sería la de $|\bar{Y}_1 - \bar{Y}_6|$ que se aproxima al valor 52.799 que corresponde al Grupo 1 de machos con el Grupo 3 de hembras, pero ya abarcaría un nivel de confianza de .2. En donde Y_i es un grupo x de machos y Y_i' es un grupo x de hembras.

2. El crecimiento de las ratas de ambos sexos del Grupo 2 fue superior al de las que integraban el Grupo 3, lo cual indica que el reemplazo de la espirulina (10%) por 5% de zanahoria y 5% de espinaca, indujo una apreciable reducción en el incremento del crecimiento de los machos (Fig. 9 y 10).

En las hembras sí existió una diferencia significativa ($34.849 < 36.074$) a favor de las del Grupo 2 (10% de espirulina), a un intervalo de confianza de .15.

3. Las diferencias de peso en los tres grupos fueron para los machos de los Grupos 1, 2 y 3: 247.6 g, 161.8 g y 145.4 g, respectivamente, y para las hembras de los 3 Grupos: 199.2 g, 161.5 g.

4. Las figuras 9 y 10 muestran la velocidad de crecimiento, y el incremento de peso desde la semana inicial a la final. El Cuadro 16 resume los resultados que fueron obtenidos con las fórmulas siguientes:

Función de crecimiento en peso:

Grupo: Dieta:

Tasa absoluta de crecimiento

$$\sigma_1: \text{PURINA: } Y_1 = -5.8 + 89.367 \text{ Ln}(X+1); T_1 = \frac{89.367}{X+1}$$

$$r = .9346$$

$$\sigma_2: \text{Dieta 2: } Y_2 = 27.055 + 58.146 \text{ Ln}(X+1); T_2 = \frac{58.146}{X+1}$$

$$r = .9828$$

$$\sigma_3: \text{Dieta 3: } Y_3 = 18.689 + 47.441 \text{ Ln}(X+1); T_3 = \frac{47.441}{X+1}$$

$$r = .9562$$

$$\varphi_1: \text{PURINA: } Y_1' = 12.375 + 70.354 \text{ Ln}(X+1); T_1' = \frac{70.354}{X+1}$$

$$r = .9644$$

$$\varphi_2: \text{Dieta 2: } Y_2' = 28.308 + 52.735 \text{ Ln}(X+1); T_2' = \frac{52.735}{X+1}$$

$$r = .9674$$

$$\varphi_3: \text{Dieta 3: } Y_3' = 27.384 + 40.419 \text{ Ln}(X+1); T_3' = \frac{40.419}{X+1}$$

$$r = .9829$$

Nota: A medida que r se aproxima a 1 ó -1 existirá mayor evidencia de que en el modelo de regresión lineal simple la variable X contribuye significativamente a explicar la Y (Infante, 1986).

5. La sobrevivencia (Fig. 7), durante el experimento, fue superior en los machos (87.5%) y en las hembras (81.2%) del Grupo 1; en el Grupo 2 fue de sólo 50% en los machos y de 62.5% en las hembras, y en el Grupo 3 fue de 56.2% en ambos sexos.

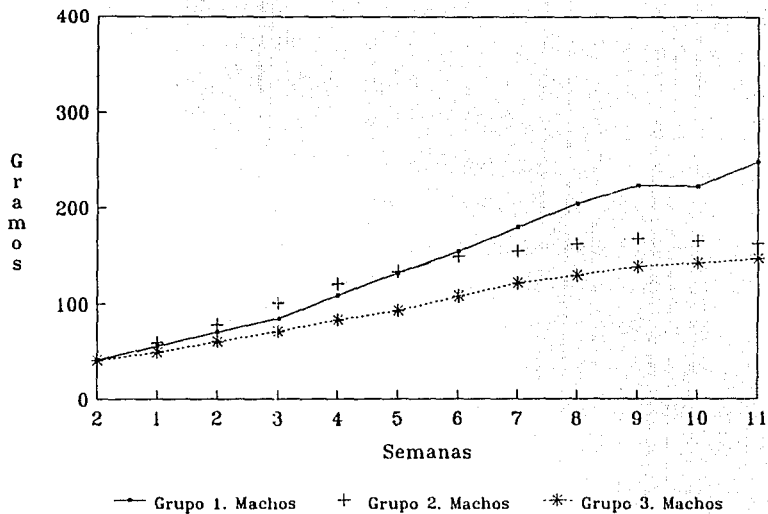


Figura 9. Curvas de crecimiento de MACHOS del experimento dos

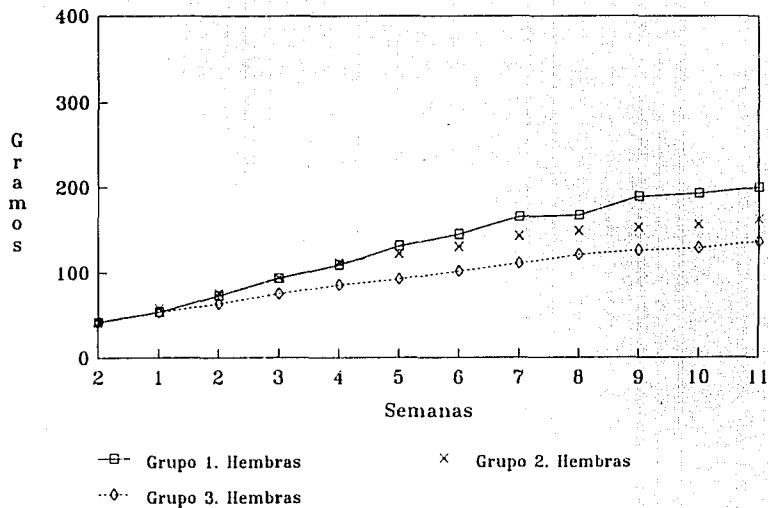


Figura 10 Curvas de crecimiento de HEMBRAS del experimento dos

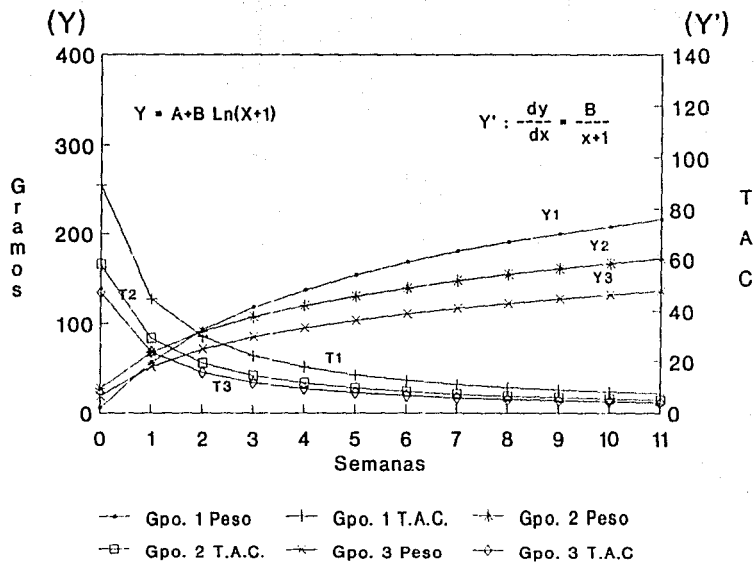


Figura 11 Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento en peso de MACHOS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC), en relación al tiempo Gpo. 1: Purina, Gpo. 2: amaranto, soya, girasol, espirulina; Gpo. 3 amaranto, soya, girasol, zanahoria y espinaca

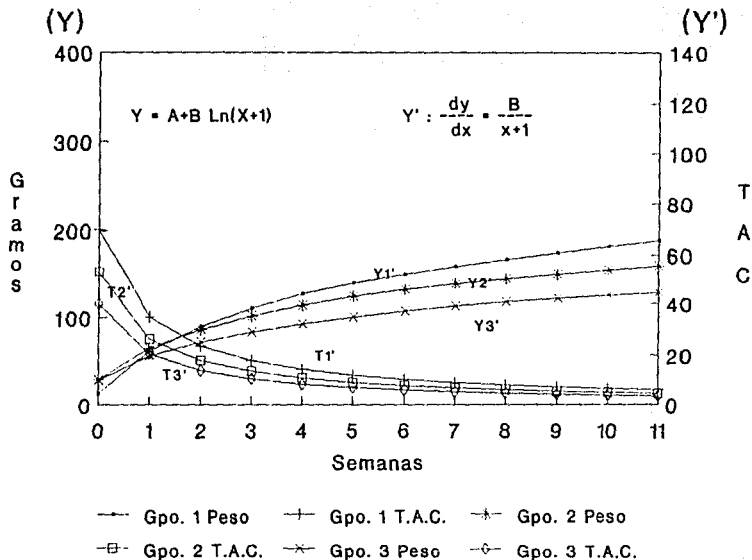


Figura 12 Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento en peso de HEMBRAS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC), en relación al tiempo Gpo. 1: Purina, Gpo. 2: amaranto, soya, girasol, espirulina; Gpo. 3 amaranto, soya, girasol y zanahoria

6. Las ratas de los Grupos 2 y 3 exhibieron permanentemente una disminuida actividad probablemente por los factores tóxicos (saponinas) de la harina de semilla cruda del amaranto a comparación de las alimentadas con PURINA (Grupo 1). El consumo de alimento aparentemente fue menor en el Grupo 3 con respecto a los demás.

Discusión del Experimento 2.

1. La diferencia, en el incremento del crecimiento a favor de la dieta comercial PURINA para roedores, comparado con el producido por las dos dietas que contenían harina de amaranto cruda como principal ingrediente pudo haberse debido:

- a) A diferencias cuantitativas y/o cualitativas de los nutrientes contenidos en las tres dietas (Maynard y Loosli, 1985).
- b) A posibles diferencias en la palatabilidad de los alimentos proporcionados (Cuadros 9, 11 y 12).
- c) A la presencia en las Dietas 2 y 3 de factores tóxicos que contiene la semilla cruda de amaranto (Pérez-Gil, *et al.*, 1982).

- d) A factores antitripsicos de la harina de la soya cruda (Cheeke, *et al.*, 1982).
- e) Al mayor porcentaje de grasas en estas dietas a comparación de la Dieta 1, lo cual determina un paso más rápido del alimento por el tracto digestivo y una menor absorción y probablemente a la indigestibilidad de la fibra cruda de la semilla de girasol suministrada (Runnels *et al.*, 1980).

2. Los resultados mostrados por el Grupo 2 de este experimento en cuanto a sobrevivencia (Cuadro 7), refuerzan la discusión que se hizo en el experimento 1 con respecto a que los machos sufren más las consecuencias de una dieta no adecuada de acuerdo a las consideraciones hechas en el párrafo anterior. De acuerdo con Runnels *et al.* (1980), entre las causas intrínsecas o predisponentes de la enfermedad se encuentra el sexo, no habiéndose comprobado aún el motivo de la diferente susceptibilidad.

3. La mejor calidad de la Dieta 2 con respecto a la 3, lo demuestra la razón de las tasas de crecimiento, el tiempo en donde los resultados son similares y las diferencias de peso de la semana inicial a la semana 7 y de ésta a la 11, como se muestra en el Cuadro 15. Es interesante el hecho de que entre los machos del Grupo 3 y las hembras del mismo grupo, no se presentaron diferencias en peso (10 g) en ninguna semana del experimento, es decir,

aprovecharon casi igual la dieta, incluso la sobrevivencia fue la misma (56.2%), Fig. 7. Con respecto a los machos y las hembras del Grupo 2, la diferencia de peso de la semana inicial a la 7 y 11, no fue marcada (9.998 g; 12.192 g), Cuadro 15.

3.1 Al comparar las hembras del Grupo 2 con las hembras del Grupo 3, las primeras tuvieron una velocidad de crecimiento en gramos de 1.304 veces mayor; en ninguna semana se reportaron resultados similares en el aprovechamiento de las dietas y de la semana 0 a la 7 hubo una diferencia de peso de 26.63 g a favor de las hembras del Grupo 2, y en los primeros 7 días ganaron con 10 g a las hembras del Grupo 3.

3.2 Entre los machos del Grupo 2 y hembras del Grupo 3 no se reportaron resultados similares entre las dietas en ninguna semana. Así, de acuerdo con Mendoza, *et al.* (1973), la espirulina representa una buena fuente de proteínas (65%) con un amplio contenido de aminoácidos (Cuadro 4).

4. El comportamiento de los animales fue distinto, los del Grupo 1 se mostraron muy activos, quizá por la disponibilidad de la energía y proteína de la PURINA, en menor grado los del Grupo 2 y muy pasivos los del Grupo 3 por los factores tóxicos del amaranto crudo, soya cruda (Pérez Gil *et al.*, 1982), y a la mala fibra del girasol (De Alba, 1986), las enfermedades se originaron fundamentalmente bajo estos criterios y en este sentido, las

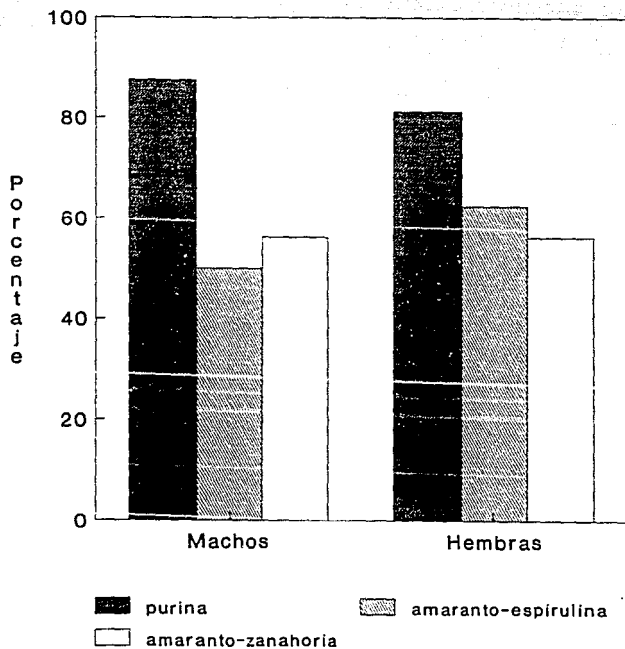


Figura 7. Sobrevivencia de MACHOS y HEMBRAS para el experimento 2

Cuadro 15. Relación de la función de crecimiento y tasa absoluta; experimento 2.

Grupos experimentales comparados	Razón de las tasas de crecimiento (rapidez en peso)	Tiempo en donde hay resultados similares en las dietas	Tiempo en donde hubo diferencias de peso 10 g	Diferencia de peso semanal	
				Sem. 7 (g)	Sem. 11 (g)
♂ Gpo. 1-2	1.536	14 días	21 días	32.067	44.726
♂ Gpo. 1-3	1.883	5 días	9 días	62.693	79.690
♂-♀ Gpo. 1	1.27	11 días	21 días	21.361	29.070
♀ Gpo. 1-2	1.334	10 días	23 días	20.704	27.848
♀ Gpo. 1-3	1.740	4 días	9 días	47.239	59.376
♂ Gpo. 2-3	1.225	Ningún tiempo	1 día	30.626	34.966
♀ Gpo. 2-3	1.304	Ningún tiempo	7 días	26.630	31.628
♂-♀ Gpo. 2	1.100	2 días	49 días	9.998	12.192
♂-♀ Gpo. 3	1.173	18 días	No hubo	5.450	8.754

muertes las atribuimos en los Grupos 2 y 3, a la dieta. Al igual que en el experimento 1, la mayoría de los animales que comenzaron con pesos arriba de la media se mantuvieron hasta el final del experimento salvo pocas excepciones sobre todo en los animales machos y hembras de los Grupos 2 y 3.

EXPERIMENTO 3.**RESULTADOS**

En este experimento la dieta 1 (testigo) es PURINA y las dietas 2 y 3 están constituidas por los mismos ingredientes a excepción de la harina de semilla de amaranto que en la dieta 2 es es cruda y en la 3 reventada (Cuadro 10, 13 y 14), las figuras 13 y 14 muestran las curvas de crecimiento de los machos y hembras de los tres grupos; los resultados pueden resumirse así:

1. Los machos del Grupo 1 crecieron más que los machos de los demás grupos con una diferencia significativa ($p > 0.15$). Las hembras del Grupo 1 (PURINA) fueron superadas por los machos de los Grupos 2 y 3; habiéndose establecido al final del experimento una diferencia promedio de 40.96 g y 23.48 g a favor de los machos.

2. Las curvas logarítmicas (función de crecimiento) y las Tasas (velocidad de crecimiento) se muestran en las figuras 15 y 16 respectivamente, los resultados de los análisis se presentan en el Cuadro 16.

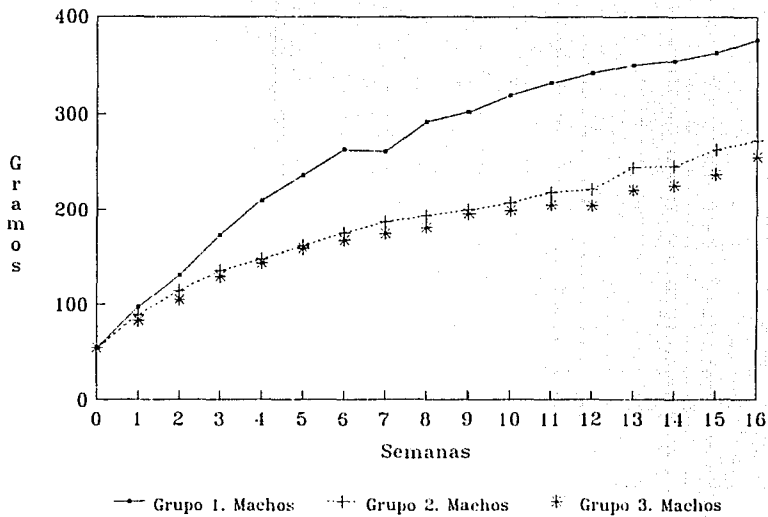


Figura 13 Curvas de crecimiento de MACHOS del experimento tres

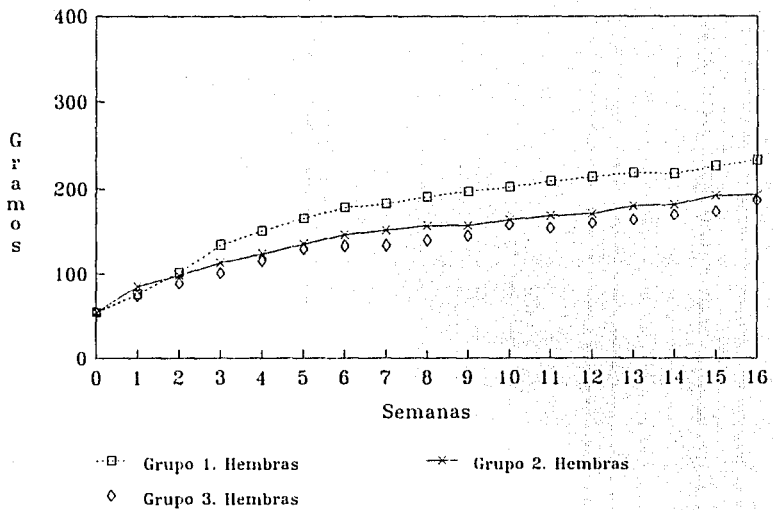


Figura 14 Curvas de crecimiento de HEMBRAS del experimento tres

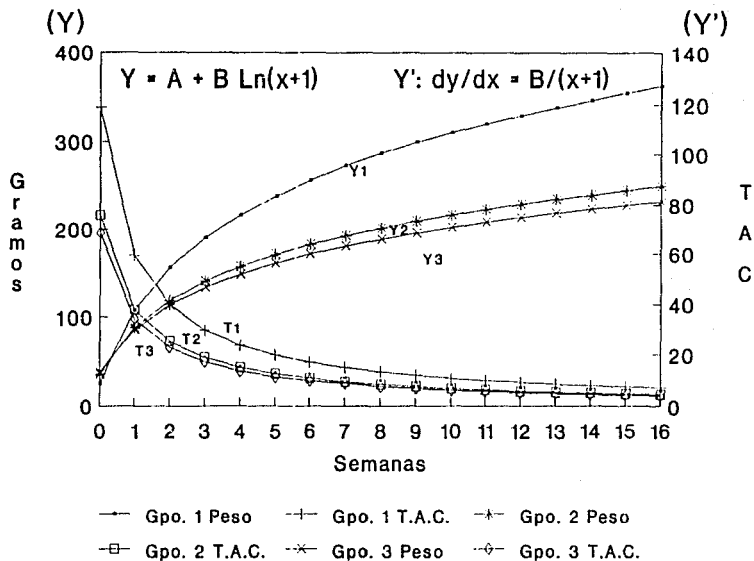


Figura 15 Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento de peso de MACHOS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Gpo. 1: Purina; Gpo. 2: amaranto, soya, espirulina, azúcar semilla de calabaza y sal; Gpo. 3: amaranto, soya, espirulina, azúcar, semilla de calabaza y sal

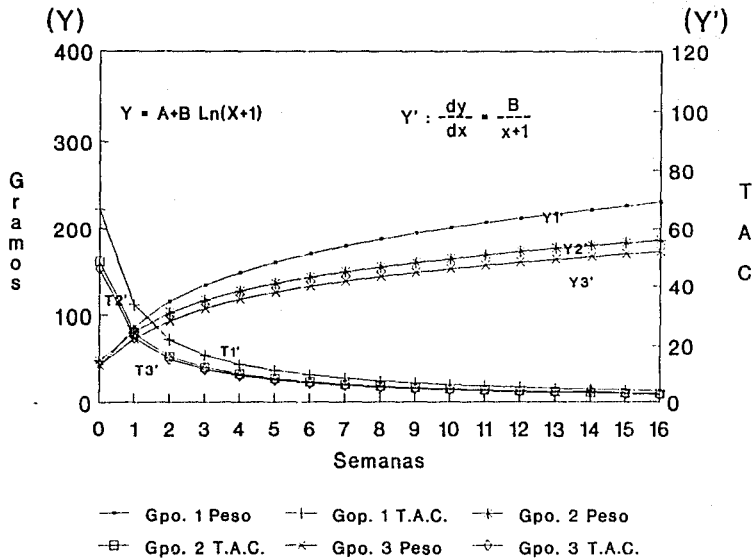


Figura 16 Curvas log. (vel. de crecimiento), que muestran el incremento de peso en HEMBRAS y el comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Gpo. 1: Purina; Gpo. 2: amaranto, soya, espirulina, azúcar semilla de calabaza y sal; Gpo. 3 amaranto, soya, espirulina, azúcar, semilla de calabaza y sal

La Función de Crecimiento en Peso es:

Grupo: Dieta:

Tasa absoluta de crecimiento

$$\sigma_1: \text{PURINA: } y_1 = -25.225 + 118.926 \ln(X+1); \quad T_1 = \frac{118.926}{X+1}$$

$$r = .9829$$

$$\sigma_2: \text{Dieta 2: } Y_2 = 35.312 + 75.686 \ln(x+1); \quad T_2 = \frac{75.686}{X+1}$$

$$r = .9829$$

$$\sigma_3: \text{Dieta 3: } Y_3 = 37.971 + 68.539 \ln(X+1); \quad T_3 = \frac{68.539}{X+1}$$

$$r = .9865$$

$$\varphi_1: \text{PURINA: } Y_1' = 41.498 + 66.785 \ln(X+1); \quad T_1' = \frac{66.785}{X+1}$$

$$r = .9935$$

$$\varphi_2: \text{Dieta 2: } Y_2' = 48.724 + 48.678 \ln(X+1); \quad T_2' = \frac{48.678}{X+1}$$

$$r = .9948$$

$$\varphi_3: \text{Dieta 3: } Y_3' = 43.234 + 46.002 \ln(X+1); \quad T_3' = \frac{46.002}{X+1}$$

$$r = .9853$$

Nota: Si r se acerca a 1 es correcta la regresión lineal.

3. En lo que respecta a la supervivencia, fue mayor en las hembras del Grupo 1 (96.67%) que en los machos del mismo grupo (95.24%). Tanto los machos del Grupo 2 como los del Grupo 3 tuvieron una supervivencia del 57.15% la cual fue inferior a la mostrada por las hembras que tuvieron el 70% en el Grupo 2 y el 83.34% en el Grupo 3. (Fig. 8).

4. Los resultados estadísticos que demostraron efectos significativos ($p < 0.05$) diferentes en crecimiento fueron:

- a) Machos del Grupo 1 con los del Grupo 2 ($75.133 > 50.421$).
- b) Machos del Grupo 1 con machos del Grupo 3 ($86.562 > 50.421$).
- c) Hembras del Grupo 1 con hembras del Grupo 3 ($39.226 > 30.202$).

5. En relación a las muertes espontáneas (Fig. 8) los decesos del Grupo 1 (1 macho y 1 hembra) se debieron a que se atoraron en la malla del piso de la jaula. Mientras que cuatro animales de los 18 muertos del Grupo 2, y 6 de los 14 muertos en el Grupo 3 presentaban antes de morir, parálisis de los miembros posteriores (poliartritis).

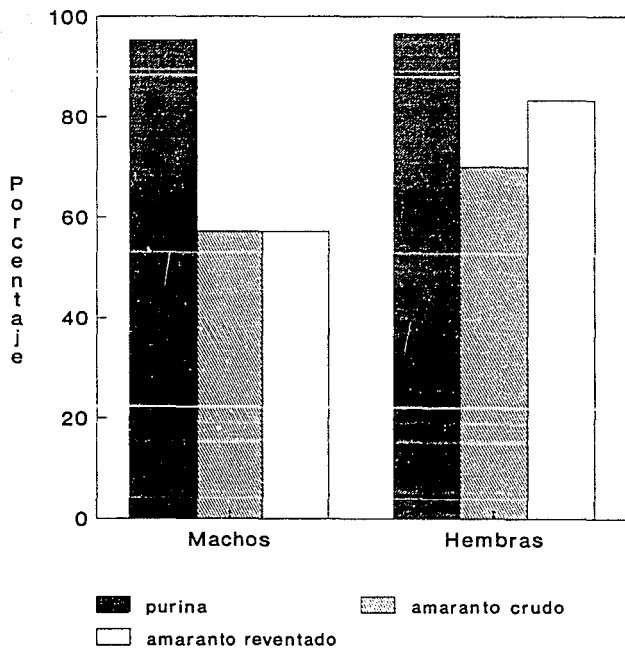


Figura 8. Supervivencia de MACHOS y HEMBRAS para el experimento 3

Discusión del Experimento 3.

1. El hecho de que los machos de los Grupos 2 y 3 hayan superado a las hembras del Grupo 1 (PURINA) pudo haberse debido a las siguientes causas:

- a) Probablemente los efectos en estas dietas de la soya desgrasada (sin los efectos antitripsicos de la soya cruda), y la ausencia de la cáscara de la semilla de calabaza (a comparación con la de la semilla de girasol que en el experimento 2 se suministró con cáscara), favorecieron al incremento de peso en los machos.

- b) Dado que los machos del Grupo 2 (amaranto crudo) tuvieron una diferencia a favor, en peso final, de 15.48 g con respecto a los machos del Grupo 3 (amaranto reventado), se puede apoyar la hipótesis de que el amaranto reventado al perder Lisina (Pérez Gil *et al.*, 1982) y proteínas por desnaturalización afecta la ganancia de peso en la rata Wistar. Sin embargo, los machos del Grupo 2 (amaranto crudo) tuvieron una mortalidad mayor por los factores tóxicos de la semilla cruda. Así, comparando la rapidez de crecimiento entre ellos los machos del Grupo 2 fueron 1.104 más veloces que los del Grupo 3 y en cuanto a los resultados similares en el aprovechamiento de las dietas fue a los 3 días (Cuadro 16).

Cuadro 16. Relación de tasa y función de crecimiento; experimento 3

Grupos comparados	Rapidez de crecimiento	Resultados similares con ambas dietas	Diferencia de 10 g peso	Diferencia de peso semanal	
				Sem. 7 (g)	Sem. 16 (g)
♂1 con ♂2	1.571	2 días	4 días	79.820	112.421
♂1 con ♂3	1.735	2 días	4 días	92.030	130.011
♂2 con ♂3	1.104	3 días	42 días	12.200	17.580
♀1 con ♀2	1.371	1 día	11 días	30.420	44.070
♀1 con ♀3	1.45	4 días	5 días	41.485	57.152
♀2 con ♀3	1.058	35, 70 y 112 días	28 días	11.050	13.077
♂1 con ♀1	1.78	2.5 días	5 días	92.151	131.453
♂2 con ♀2	1.554	4 días	9 días	42.740	63.107
♂3 con ♀3	1.489	2 días	7 días	41.605	58.594

2. Entre las hembras del Grupo 2 y 3 en relación al aprovechamiento del amaranto (crudo y reventado), presentaron resultados similares en la semana 5, 10 y 16 del experimento, es decir, que no hubo diferencia significativa de peso entre ellas (Fig. 14). Esto hace pensar que las hembras son más susceptibles a los factores tóxicos de la semilla cruda y a la falta de lisina de la semilla reventada.

3. Dado que la mayoría de las lesiones a la necropsia fueron similares, las muertes pueden ser atribuibles a la dieta por lo expuesto anteriormente (Runnels *et al.*, 1980).

CONCLUSIONES

1. Conclusiones basadas en los resultados de los tres experimentos.

Experimento 1.

- a) Las ratas Wistar de ambos sexos alimentadas con una dieta comercial balanceada (Nutricubos PURINA para roedores pequeños), exhiben un incremento del crecimiento muy superior al de las ratas alimentadas solo con harina de semillas de amaranto reventadas en comal; el menor incremento del crecimiento es más notorio en los machos que en las hembras. Además, teniendo como parámetros indicativos el crecimiento y la sobrevivencia, se aprecia que el efecto carencial de la alimentación de las ratas con amaranto solo, es más pronunciado en los machos que en las hembras, porque según las Tablas del N. R. C. (1978), los requerimientos nutricionales del macho son superiores a los de las hembras (para ♂ 3.2 μ cal y 13% de proteína y en las ♀ 2.6 μ cal y 12% de proteína).

- b) La harina de amaranto reventada es un alimento que puede utilizarse como complemento en la dieta por que presenta un buen equilibrio de aminoácidos esenciales (Necoechea *et al.*, 1982) ya que proporcionado como único ingrediente pudo mantener la sobrevivencia de la rata albina durante las primeras 17 semanas de vida.

Experimento 2.

- a) Las ratas Wistar de ambos sexos alimentadas con PURINA exhibieron un incremento del crecimiento superior al de las ratas alimentadas con dos dietas constituidas por ingredientes conocidos, la mayoría de ellos comúnmente usados en la alimentación humana, siendo el amaranto el mayor componente (60%) de ellas. La dieta de amaranto, que contenía espirulina (10%) produjo un incremento del crecimiento mayor que aquella que en su reemplazo contenía 5% de zanahoria y 5% de espinaca.

Experimento 3.

- a) En este estudio se muestra que la dieta que contiene harina de amaranto cruda supera a la dieta que contiene harina de amaranto reventada, ya que durante el tostado se pierde el aminoácido lisina y se desnaturalizan proteínas.

2. Conclusiones generales de carácter interpretativo.

- a) El comportamiento mostrado por los animales en los tres experimentos depende fundamentalmente de la disponibilidad de la energía digestiva y proteína cruda de la dieta, ya que los que consumieron una dieta balanceada (PURINA), estuvieron más activos.

- b) El resultado obtenido en el experimento 1 demuestra el valor nutritivo de la harina de amaranto reventada (Necoechea *et al.*, 1982), porque aún utilizado como ingrediente único en la dieta, mantuvo una sobrevivencia del 84% en los machos y 92% en las hembras, comparado con una dieta balanceada y adicionada de vitaminas, minerales, melaza y aminoácidos esenciales en la que hubo un 96% de sobrevivencia en ambos sexos (Fig. 6).

- c) En relación a los experimentos 2 y 3 los deficientes resultados obtenidos en cuanto a sobrevivencia en comparación con el alimento balanceado comercial (Figs. 7 y 8), pueden ser atribuidos a la indigestibilidad de la lignina (compuesto orgánico hidrocarbonado) contenida en la cáscara de la semilla de girasol (De Alba, 1986), a los factores antitripsicos de la soya cruda (Pérez Gil, *et al.*, 1982) y a la mala palatabilidad de la dieta por falta de melaza.

RECOMENDACIONES.

1. En futuras investigaciones se debe cuantificar estrictamente la ingestión real de cada una de las dietas, y estudiar y resolver este problema hasta lograr una aceptabilidad similar por parte de los animales a las diversas dietas usadas, para así poder evaluar confiablemente los resultados de los experimentos, a través de la obtención de un consumo similar de las raciones.
2. Otro de los problemas por definir en próximas investigaciones es el relacionado con el valor nutritivo comparativo de las diversas formas en que las semillas de amaranto generalmente se consumen en nutrición animal y humana, es decir, crudo, tostado, reventado y cocido, ya que de los resultados de estos estudios depende la selección de la forma más conveniente desde el punto de vista nutritivo.
3. En relación al balanceo de la ración, existen actualmente programas para computadoras en donde se capturan los datos de los ingredientes a utilizar en cuanto al contenido de energía, proteína, fibra, grasa, determinado aminoácido, si se considera importante y los minerales, que se deseen balancear, además de el costo. La computadora calcula las cantidades de cada ingrediente (expresando un porcentaje), que son

necesarios para cubrir los requerimientos del animal en cuestión y al menor costo.

4. Realizar una investigación sobre el efecto que tendría el alimentar a dos grupos de ratas Wistar con un alimento balanceado comercial, complementando a un grupo con dulce de amaranto tal como se consume en la forma tradicional. Esto daría la pauta para promover o no, el uso de el amaranto como un buen suplemento en la alimentación de los niños principalmente.

5. Finalmente, una recomendación fundamental de estos experimentos es que las investigaciones usando la rata albina como el modelo animal, no podrán profundizarse y progresar debidamente si no podemos diseñar, cuantitativa y cualitativamente, mejores condiciones de experimentación haciéndose a la vez indispensable la colaboración estrecha interdisciplinaria con el trabajo bioquímico de otros laboratorios que son indispensables para establecer el valor nutritivo del amaranto en la nutrición animal y humana.

REFERENCIAS.

- BECKER, R., Wheeler, E.L., Lorenz, K., Stafford, A.E., Grossjean, O.K., Betschart, A.A. and Saunders, R.M. Compositional study of amaranth grain. *J. Food Sci.* 46,1175-1180. 1981.
- BOURGES, R. El perfil bromatológico del amaranto. I Seminario Nacional del amaranto. Chapingo, México. (mimeografiado). 1984.
- BRESSANI, R. Amaranth: the nutritive value and potencial uses of the grain and by-products, *Food and Nutrition Bulletin.* 10: 49-59. 1988.
- , Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. El amaranto y su potencial. *Boletín No. 3. Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* Guatemala, C.A. 1989.
- CASILLAS, G. Importancia de la semilla de alegría. *Inst. Nal. de Nutrición.* México, D.F. 1984.
- CASTAÑO, Q.M. Métodos para la preparación de raciones para animales. Ministerio de Agricultura. Instituto Colombiano Agropecuario. *Boletín Técnico No. 27.* 1973.
- CHAMORRO, G.C. Estudios toxicológicos del alga espirulina. Planta piloto productora de proteína de alga espirulina de Sosa Texcoco, Méx. Organizaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI. (Mimeografiado). 1980.
- CHEEKE, P.R., PEDERSEN, M.W., and ENGLAND, D.C. Responses of rats and Swine to Alfalfa Saponins. *Can. J. Anim. Sci.* 58. 1978.
- CHOW, B.F. and LEE, C.J. Effect of dietary restriction of pregnant rats on body weight gain of the off spring, *J. Nutrition,* 82: 10-18. 1964.
- De ALBA, J. Alimentación del ganado en América Latina. Ed. Fourmier, S. A. 6a Ed. México, D. F. 1989.
- DECKEN VON DER, A. Nutritional evaluation or the microalga. In Shelef G. and Soeder C.J. (editors) *Algae Biomass.* North-Holland Biomedical Press. Elsevier 661-666. 1980.

- DURAND-CHASTELL, H. Production and use of Spirulina máxima in México. In Shelef, G. and Soeder, C.J. (editors) Algae Biomass. North-Holland Biomedical Press. Elsevier. 1980.
- ELLENBERGER, H.B. Composition of the bodies of dairy cattle. Vermont Agr. Expt. Sta. Bull. 558. 1970.
- FAO. "Necesidades de energía y de proteínas". Informe de un Comité Especial Mixto FAO/OMS de Expertos, Roma. 1990.
- GAUSE, R. Influence de l'alimentation sur l'importance des reserves grasses dupor e, Ann Nutrition Aliment. 13: A65-A 110, 1970.
- GRANADOS, H., MAYA, S., CARMONA, A. Estudios sobre el valor Nutritivo del Amaranto (*A. hypochondriacus*), crecimiento comparativo de Purina sola y combinada con Amaranto, 2.do Congreso Internacional de Amaranto (memorias), Oaxtepec, Morelos, México. 1991.
- GRANDE, C.J., PEREZ-GIL, R.F., CARRANCO, J.M. y ARELLANO, M.L. Características Químicas, Biológicas y Toxicológicas de Harinas Cruda y Procesada Térmicamente de Semillas de Amaranto. Depto. de Nutrición Animal. Instituto Nacional de la Nutrición "Salvador Zubirán". México, D.F. 1982.
- GRUBBEN, G.J.H. and Sloten, D.H. Genetics resources of aaranths. International Board for plant Genetic Resources. FAO. ONU. 1981.
- HAMMOND, J. Pigs for pork and pigs for bacon, J. Roy. Agr. Soc. 93: 1-15. 1954.
- HART, E. B. Physiological effect on growth and reproduction of rations balanced from restricted sources, Wisconsin Agr. Expt. Sta. Research bull. 17, 1911.
- I.C.N., FLOW. A world of Biomedical Products. U.S.A. 1992.
- INFANTE, S. G., Zarate de Lara, G. Métodos Estadísticos (un enfoque interdisciplinario), 413-448. Ed. Trillas, México, D. F. 1986.
- LORENZ, K. Consideraciones sobre la Conducta Animal y Humana. Obras Maestras del Pensamiento Contemporáneo. Impreso en México. p.p. 141-150. 1981.

- MAY, L.D. Studies in Animal Nutrition. III Changes in Chemical Composition on Different planes of Nutrition, Missouri; Agr. Expt. Sta. Research Bull. 55, 1974.
- MAYNARD, L., LOOSLI, J. Nutrición Animal. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México. 1985.
- MENDOZA, M. E., SOTOMAYOR, G. A., BOURGES, R. H. y CHAVEZ, V. A. Aspectos Nutricionales de una proteína unicelular. Técnicas de Alimentos, 6:22. 1973.
- MEYER, J.H. y W.J. CLAWSON. Undernutrition and subsequent realimentation in rats and sheep, J. Animal Sci., 23:214-224, 1964.
- NARASIMHA, N.C.R., VENKATARAMAN, G.S., DUGGAL, S.K. and EGGUM, B.O. Nutritional quality of the blue-green alga *Spirulina platensis geitler*. J. Sci. Food. Agric. 33: 456-460. 1982.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of laboratory animals. 3rd. Revised edition, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1978.
- NECOECHEA, M.H., CAMACHO, C.J.L., PEREZ-GIL, R.F. Elaboración de una pasta para sopa a base de alegría (*Amaranthus leucocarpus*). Recopilación en vía de publicación. 1982.
- ODUM, H. T. Environment, power and society. Cap. 4. Págs. 115-134. New York: Wiley-Interscience. 1971.
- ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. Manual para Técnicos en Animales de Laboratorio. Oficina Sanitaria Panamericana, Buenos Aires, Argentina. 1980.
- ORTIZ DE MONTELLANO, B. Science 200, No. 4342. Modificado por Casillas F.J. en base a la información de INN-SZ. 1978.
- PEARL, H.R. The importance of continuous Growth in beef Cattle, California Agr. Exp. Sta. Bull. 688, 1980.
- PEREZ-GIL, R.F., R.A. TORREBLANCA, R.H. BOURGES, V.A. CHAVEZ, G.V. FLORES Y V.M. Lespinasse. Algunas características químicas, biológicas y toxicológicas de harinas crudas y procesadas térmicamente, de Amaranto (*Amaranthus leucocarpus* S. Wats). Arch. Latinoamer. Aceptado para publicación. 1982.

- POOLE, T.N. The Ufaw Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals, Sixth Edition, Longman Scientific & Technical, Harlow. Essex, UK, 1987.
- REVISTA DEL MINISTERIO DE EDUCACION DE LA REPUBLICA DE CUBA, CULTIVOS TROPICALES. Análisis del Crecimiento. Reseña Inst. de Ciencias Agrícolas de Cuba. 1984.
- RIBELIN, A.G. The Pathology of Laboratory Animals. Ch. C. Thomas, Springfield, Illinois, U.S.A. 1989.
- ROGERS, A.E. The laboratory rat. Academic Press. Nutrition. 1979.
- ROWLANDS, I.W. Comparative Biology of Reproduction in Mammals, Academic Press. 1989.
- RUIZ DE ALARCON, J. Crónica mexicana, notas de Orozco y Berra. Ed. Leyenda, México. 1629.
- RUNNELS, R. A., Monlux, W. S. y Monlux, A. W. Principios de Patología Veterinaria. Ed. C.E.C.S.A. p.p. 39-48. México, D. F. 1980.
- SALISBURY, R.H. and PARKE, R.A. Nutrition and Growth in the rat. I. Food Intake in relation to size, health and Fertility, J. Nutrition, 71: 242-254. 1968.
- SANCHEZ-MARROQUIN, A., PEREZ, G.J., BRIONES, J.F. y KURI, J. Evaluation of whole amaranth (*A. cruentus*) Flourits air-classified fractions, and blends of these with wheat and oats as possible components for infant formulas. J. Food Sci. 51:12 31-1234, 1238. 1986.
- SAUER, J. The grain amaranths: a survey of history and classification. ANN. Missouri: Bot. Gard. 37: 561-632. 1950.
- The grain amaranthus and their relatives a revised taxonomic and geographic survey. ANN. Missouri Bot. Gard. SA (2): 103-137. Wets. 1967.
- SCOTT, W.N. El cuidado y manejo de los animales. 2a. Ed. Interamericana. 6: 149-153. 1983.
- SINGH, H. Grain amaranth, Buckweat and chenopods. Council of Agricultural Research. New Delhi, 12: 123-150. 1961.

SOSA TEXCOCO, S.A. (Dirección Comercial): Alga *Spirulina maxima*. UN PRODUCTO NATURAL. Sosa Texcoco. Ed. 4.8, México. 1978.

SWIFT, R.W. The importance of fat in the diet, ann. N.Y. Acad. Sci., 56:4-15, 1980.

SYDNEY, A. and ASDELL, M. Comparative chronological age in man and other mammals. J. Gerontology, 1: 224-226. 1968.

WATERS, H.J. The Capacity of Animals to grow under adverse conditions. Proc. Soc. Promotion. Agr. Sci., 1975.