



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE QUÍMICA**

“Enriquecimiento proteico en una bebida a base de amaranto”

Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Químico en Alimentos

PRESENTA:

Juan Carlos Soto Romero

ASESORAS:

**D. en C. Elizabeth Contreras López
D. en C. Judith Jaimez Ordaz**

QA

PACHUCA, HGO. JUNIO 2009



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
LICENCIATURA EN QUÍMICA EN ALIMENTOS**

**M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO,
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR
DE LA U.A.E.H.,
Presente:**

Por este conducto le comunico que el jurado asignado al pasante de Licenciatura en Química en Alimentos **SOTO ROMERO JUAN CARLOS**, quien presenta el trabajo de titulación "**ENRIQUECIMIENTO PROTEICO EN UNA BEBIDA A BASE DE AMARANTO**" después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

Presidente	Dra. Clara Zúñiga Pérez
Primer vocal	Dra. Elizabeth Contreras López
Segundo vocal	Dra. Judith Jaimez Ordaz
Tercer vocal	Dra. Angélica Gutiérrez Nava
Secretario	Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa
Primer suplente	Dr. José Antonio Rodríguez Ávila
Segundo suplente	Q. A. Israel Oswaldo Ocampo Salinas

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

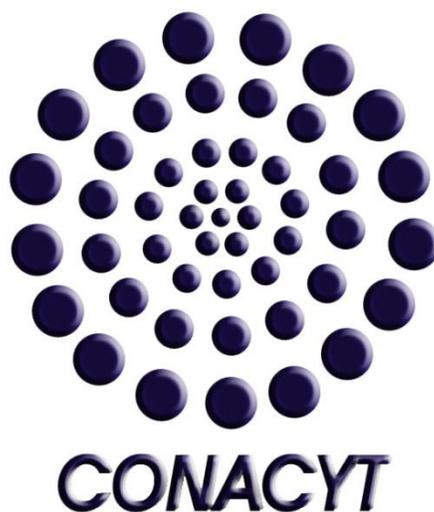
ATENTAMENTE
"Amor, Orden y Progreso"
Mineral de la Reforma Hidalgo, 03 de junio de 2009.

Q. A. Israel Oswaldo Ocampo Salinas
Coordinador Adjunto de la Licenciatura
en Química en Alimentos



Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos 2 del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

El proyecto fue realizado gracias al financiamiento del CONACYT dentro de la convocatoria 2008 de apoyos para Investigadores Nacionales para el Fortalecimiento de Actividades de Tutoría y Asesoría de Estudiantes de Nivel Licenciatura y a la empresa Man-Flow S.A. de C.V.



Contenido

Índice de figuras.....	IV
Índice de tablas	V
1. Introducción	9
2. Antecedentes	11
2.1 Consumo de proteínas	12
2.2 Calidad de las proteínas	12
2.2.1 Métodos para evaluar la calidad de una proteína.....	14
2.2.1.1 Aminoácido limitante	15
2.2.1.2 Digestibilidad	15
2.2.1.3 Capacidad para impulsar el crecimiento.....	17
2.2.1.3.1 Valor biológico.....	17
2.2.1.3.2 Relación de eficiencia proteica.....	19
2.2.1.3.3 Utilización proteica neta	20
2.2.1.3.4 Escore de aminoácidos corregido por digestibilidad	21
2.3 Características de amarantole y de las fuentes proteicas.....	22
2.3.1 Amarantole	23
2.3.1.1 Composición química	24
2.3.1.2 Usos del amarantole	25
2.3.1.3 Amarantole	25
2.3.2 Fuentes proteicas	27
2.3.2.1 Proteína lacto-suero	27
2.3.2.2 Leche	28
2.3.2.3 Harina de soya	28
2.3.2.4 Leguminosas	29
3. Objetivos	30
4. Material y métodos	32
4.1 Obtención de muestras.....	34
4.1.1 Amarantole	34
4.1.2 Fuentes proteicas	34
4.2 Preparación de las mezclas.....	35
4.3 Selección de las mejores proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica	36
4.3.1 Calculo del porcentaje de proteína y costo	37
4.3.2 Prueba de solubilidad	38

4.3.3 Pruebas sensoriales	38
4.3.3.1 Prueba de grado de satisfacción	38
4.3.3.2 Prueba de preferencia	39
4.3.3.3 Prueba de ordenamiento	39
4.4 Análisis químico de las mezclas amarantole-fuente proteica seleccionadas	40
4.4.1 Humedad	40
4.4.2 Cenizas.....	40
4.4.3 Grasa.....	41
4.4.4 Proteína	42
4.4.5 Fibra cruda.....	43
4.4.6 Carbohidratos	44
4.5 Análisis mineral de las mezclas amarantole-fuente proteica	44
4.6 Determinación de la calidad de la proteína de las mezclas amarantole-fuente proteica.....	46
4.6.1 Relación de eficiencia proteica	46
4.6.1.1 Preparación de las dietas	46
4.6.1.2 Selección y preparación de los animales	48
4.6.2 Digestibilidad	50
4.7 Análisis estadístico	52
5. Resultados y discusión	54
5.1 Selección de las mejores proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica	55
5.1.1 Solubilidad, incremento proteico y costo	55
5.1.2 Análisis sensorial.....	57
5.1.2.1 Prueba de grado de satisfacción	57
5.1.2.2 Prueba de preferencia	58
5.1.2.3 Prueba de ordenamiento	59
5.2 Caracterización química y mineral de las mezclas amarantole- fuente proteica	61
5.2.1 Caracterización química	561
5.2.2 Caracterización mineral	61
5.2.2.1 Macrominerales	61
5.2.2.2 Microminerales	68
5.2.2.3 Metales pesados	71
5.3 Determinación de la calidad de la proteína de las mezclas amarantole-fuente proteica.....	72
5.3.1 Prueba de PER.....	72
5.3.2 Digestibilidad	76

6. Conclusiones	79
7. Bibliografía.....	80
8. Anexos.....	85
I. Fichas de cata utilizadas en el análisis sensorial	86
II. Incremento de peso de las ratas alimentadas con las dietas amarantole-fuente proteica	88
III. Cálculo teórico de la composición de aminoácidos esenciales en las mezclas amarantole-fuente proteica	90

Índice de figuras

Figura 1. Amarantole en sus diferentes presentaciones	16
Figura 2. Equipo Leco® TFE 2000	28
Figura 3. Equipo Leco® FP-528.....	29
Gráfico 1. Resultados de la prueba de preferencia de las mezclas amarantole-fuente proteica.....	46
Gráfico 2. Resultados de la prueba de ordenamiento de las mezclas amarantole-fuente proteica.....	47
Gráfico 3. Contenido de calcio en las mezclas amarantole-fuente proteica	52
Gráfico 4. Contenido de magnesio en las mezclas amarantole-fuente proteica...	53
Gráfico 5. Contenido de potasio en las mezclas amarantole-fuente proteica.....	54
Gráfico 6. Contenido de sodio en las mezclas amarantole-fuente proteica.....	54
Gráfico 7. Contenido de boro en las mezclas amarantole-fuente proteica	55
Gráfico 8. Contenido de cobre en las mezclas amarantole-fuente proteica	56
Gráfico 9. Contenido de hierro en las mezclas amarantole-fuente proteica	57
Gráfico 10. Contenido de manganeso en las mezclas amarantole-fuente proteica	57
Gráfico 11. Contenido de zinc en las mezclas amarantole-fuente proteica	58
Gráfico 12. Incremento del peso en ratas alimentadas con las mezclas amarantole-fuente proteica.....	60
Diagrama 1. Descripción general del estudio realizado	21

Índice de tablas

Tabla 1. Aminoácidos esenciales y no esenciales para el cuerpo humano.....	3
Tabla 2. Balance de aminoácidos esenciales de la proteína ideal y de distintas fuentes proteicas	4
Tabla 3. Digestibilidad de las proteínas de algunos alimentos de origen animal y vegetal.....	6
Tabla 4. Valores biológicos de algunos alimentos de origen animal y vegetal	8
Tabla 5. Valores de PER ajustado para algunos alimentos de origen animal y vegetal.....	10
Tabla 6. Valores de NPU de algunos alimentos de origen animal y vegetal	11
Tabla 7. Valores de PDCAAS en algunos alimentos de origen animal y vegetal .	12
Tabla 8. Comparación de la composición química del amaranto con algunos cereales	14
Tabla 9. Composición química de amarantole	16
Tabla 10. Composición química de las fuentes proteicas	17
Tabla 11. Proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica a evaluar.....	24
Tabla 12. Abreviaturas empleadas para las mezclas amarantole-fuente proteica.....	24
Tabla 13. Porcentajes de proteína y costos utilizados en los cálculos teóricos de contenido de proteína y costo aproximado de las mezclas amarantole-fuente proteica.....	25
Tabla 14. Dieta de referencia, caseína	35
Tabla 15. Composición de las dietas.....	36
Tabla 16. Resultados de la prueba de solubilidad, % de proteína teórico y costo aproximado de las proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica	43
Tabla 17. Resultados de la prueba de grado de satisfacción	45
Tabla 18. Composición química de las mezclas seleccionadas	48
Tabla 19. PER ajustado de las mezclas amarantole-fuente proteica	61
Tabla 20. Valores de la digestibilidad “ <i>In vivo</i> ” de las mezclas amarantole-fuente proteica	63

Introducción



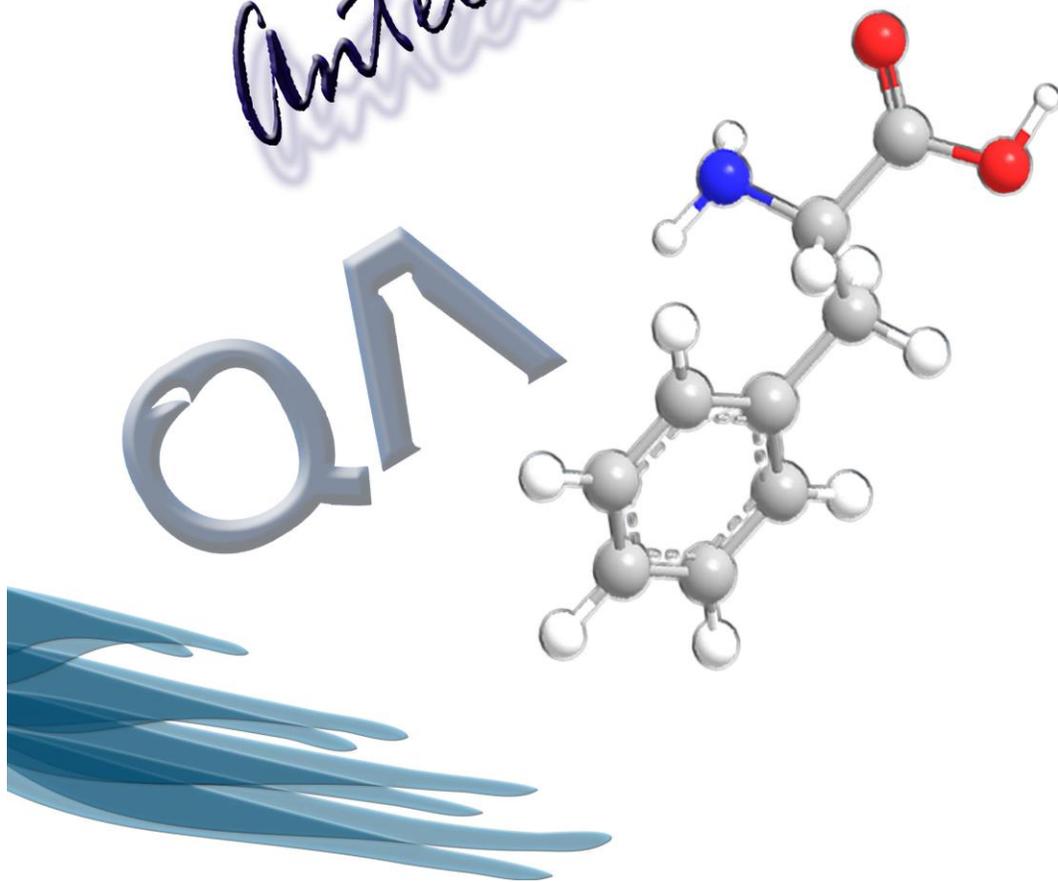
1. Introducción

La población rural mexicana sufre una marginación económica que conlleva a un deterioro substancial de la dieta familiar. La problemática se extiende con el aumento de la población y el sustento de zonas rurales, el cual radica en la producción agrícola de autoconsumo. Las estrategias para diversificar y aumentar el valor nutricional de la dieta, han tenido poca efectividad por ser ajenos a las costumbres y cultura alimentaría de la población.

Una posibilidad para mitigar y revertir estos efectos se da con el uso del amaranto, el cual es un recurso muy valioso y aplicable al combate de la desnutrición. Según criterios de la FAO, la OMS y otras instituciones, se considera al amaranto como un alimento de excelente calidad en contenido de proteína, la cual se asemeja a la proteína ideal propuesta por la FAO (Fries et al, 2001), además puede ser una fuente importante de empleos por ser un cultivo altamente eficiente en condiciones agroclimáticas adversas.

La empresa Man-Flow, utiliza al amaranto como ingrediente principal en la producción de harinas para preparar atole de distintos sabores (amarantole). En los últimos años este producto ha sido utilizado ampliamente en programas sociales de apoyo a comunidades de escasos recursos económicos, teniendo una buena aceptación por parte de los consumidores, sin embargo, algunas dependencias gubernamentales que compran este producto, manifestaron que sería deseable un incremento del contenido proteico sin alterar su costo significativamente y sus características sensoriales de forma negativa. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue incrementar el contenido proteico de estas harinas mediante la adición de diferentes fuentes de proteína vegetal y animal.

Antecedentes



2. Antecedentes

2.1 Consumo de proteínas

En países desarrollados, un ciudadano consume entre 80 y 121 g de proteínas por día. Esta cantidad es aproximadamente el doble de la ingesta diaria recomendada, la cual es de 0.8 a 1.5 g/kg de peso corporal por día, dependiendo de la edad y género (INCMNSZ, 2001). La ingesta de proteínas resulta indispensable para tener un cuerpo sano y por ello es importante que se consuman en una adecuada cantidad y que éstas sean de buena calidad. Un niño necesita de un consumo superior al de un adulto, ya que su cuerpo se encuentra en crecimiento, de igual manera, una mujer embarazada necesita un suministro adicional para el desarrollo del feto.

Un consumo inadecuado de proteína altera el crecimiento y la reparación del organismo, siendo especialmente peligrosa en los niños. Éste es un problema muy común en los países subdesarrollados, en los que el consumo de proteína es relativamente bajo y por lo general, de origen vegetal. En estos países está asociada la pobreza, la cual conlleva a una escasez de alimentos de origen animal en la dieta, ya que los productos cárnicos, lácteos y pescado, no están fácilmente disponibles, son más difíciles de producir, almacenar y son más costosos que la mayoría de los vegetales.

A pesar de esto, si se mezclan determinados alimentos de origen vegetal como los cereales con el frijol o cualquier otra leguminosa, se puede lograr tener una dieta rica en proteína y que además sea de buena calidad, este tipo de mezclas son accesibles, ya que estos alimentos se consumen en la mayoría de los países de América latina, entre ellos México (Latham, 2002).

2.2 Calidad de las proteínas

La calidad de las proteínas depende de la composición de aminoácidos. De los 20 necesarios se denomina a 8 como aminoácidos esenciales (Tabla 1), porque el cuerpo humano no los puede sintetizar y se deben ingerir en la dieta.

Tabla 1. Aminoácidos esenciales y no esenciales para el cuerpo humano

Aminoácidos esenciales	Aminoácidos no esenciales
Fenilalanina (Phe)	Alanina (Ala)
Histidina (His)*	Arginina (Arg)
Isoleucina (Ile)	Aspártico (Asp)
Leucina (Leu)	Asparagina (Asn)
Lisina (Lys)	Cisteína (Cys)
Metionina (Met)	Glicina (Gly)
Treonina (Thr)	Glutámico (Glu)
Triptófano (Trp)	Glutamina (Gln)
Valina (Val)	Prolina (Pro)
	Serina (Ser)
	Tirosina (Tyr)

Fuente: Carey, 1999, *Solo se considera esencial en niños

Cuando se conoce la calidad de una proteína, es posible predecir dentro de ciertas limitaciones, su comportamiento en el organismo; para ello es necesario contar con un adecuado patrón de comparación.

El primer patrón utilizado fue el de la proteína del huevo, aunque éste no ha sido muy confiable dado que su composición en aminoácidos no es constante y en algunos casos se presentan en exceso, por lo tanto, cuando se compara con la proteína de algún otro alimento, ésta siempre resulta deficiente. Posteriormente, la FAO ha realizado diferentes propuestas de un patrón de comparación de proteína desde el año de 1956, siendo la última en 1985, el cual se basa en los trabajos experimentales que evalúan la cantidad de nitrógeno necesario para que

el organismo mantenga un balance de aminoácidos esenciales en equilibrio. Recientemente, los estudios para establecer dicho patrón, se basan en el metabolismo de los aminoácidos, por métodos como el de oxidación directa (Suárez et al, 2006).

La FAO ha definido una proteína ideal como aquella que contiene todos los aminoácidos considerados como esenciales, en la concentración indicada en la tabla 2. En ésta se muestra también el perfil de aminoácidos de las fuentes proteicas empleadas en este estudio.

2.2.1 Métodos para evaluar la calidad de una proteína

Cualquier método para evaluar la calidad nutritiva de una proteína alimenticia, debe estimar directa o indirectamente la biodisponibilidad de los aminoácidos para la biosíntesis de las proteínas estructurales y su mantenimiento (Robinson, 1991). De tal manera que la calidad de una proteína se puede evaluar midiendo su contenido de aminoácidos esenciales, por la valoración química del aminoácido limitante, por su digestibilidad, y en general, por la capacidad de impulsar el crecimiento corporal (Linder, 1988).

Tabla 2. Balance de aminoácidos esenciales de la proteína ideal y de distintas fuentes proteicas. (g/100g de aminoácido)

	Leu	Phe	Lys	Val	Thr	Ile	Met	Trp
Proteína ideal¹	19.4	16.7	15.3	13.9	11.1	11.1	9.7	2.8
Amaranto¹	14.8	23.1	16.6	10.6	11.4	10.2	11.2	2.1
Proteína de lacto-suero²	21.6	8.9	22.7	8.9	12.0	13.3	1.8	10.9
Harina de soya³	21.6	13.9	19.1	14.8	12.1	14.2	4.3	3.6
Leche en polvo¹	20.2	21.5	16.5	12.3	9.4	10.0	7.0	3.0
Alverja⁴	20.7	*	15.5	*	*	*	*	3.2
Garbanzo⁵	20.1	17.0	15.8	11.1	9.7	8.7	6.2	2.4

* Dato no reportado

Fuente: 1. Alejandre y Gómez, 1996, 2. www.prowinner.com, 3. www.protoleg.com, 4. Collazos, 1996, 5. Gordillo, 1991.

2.2.1.1 Aminoácido limitante

Este método se refiere a la valoración química del aminoácido limitante, en el sentido de cubrir las demandas aminoacídicas del individuo; por ejemplo, el contenido de leucina en el amaranto, es de 14.8 g/100 g de aminoácido y la cantidad ideal de este aminoácido para cubrir las demandas corporales, es de 19.4 g/100 g de aminoácido (Tabla 2), siendo la leucina el aminoácido esencial limitante, en cuanto a que se encuentra en la mínima proporción en relación con los otros aminoácidos esenciales, sin embargo, con el valor químico de una proteína, no se tienen en cuenta otros factores como la digestibilidad o la capacidad de impulsar el crecimiento (Linder, 1988).

2.2.1.2 Digestibilidad

La digestibilidad o Coeficiente de Digestibilidad (CD) se define como la disponibilidad de los aminoácidos constituyentes de la proteína para ser absorbidos por el organismo de prueba (Robinson, 1991).

Durante la digestión de las proteínas por animales monogástricos como el hombre, los enlaces peptídicos se deben hidrolizar de forma relativamente rápida y esto ocurre gracias a la acción conjunta del ácido clorhídrico y la pepsina, el primero tiene una acción desnaturalizante y la enzima tiene acción proteolítica, esto es debido a que los aminoácidos sólo pueden incorporarse de forma libre (Moltó, 2006).

La absorción de aminoácidos en el intestino ocurre a nivel del yeyuno e íleon mediante transporte activo, es decir, que necesita de energía metabólica celular y sistemas de transporte específico ubicados en las membranas de los enterocitos. Una vez que los aminoácidos entran en la circulación portal, pasan al hígado, donde ocurre la degradación de aminoácidos que entran en exceso y comienza la síntesis de proteínas hepáticas y plasmáticas, después se da la distribución de aminoácidos al resto del organismo y se transportan al músculo,

páncreas y células epiteliales. Es importante mencionar que la velocidad de la síntesis de proteínas musculares, y en parte, la de proteínas hepáticas, está regulada por la insulina, que es secretada al torrente circulatorio en respuesta al incremento de la concentración plasmática no sólo de glucosa, sino también de aminoácidos, los cuales favorecen la secreción de glucagón (Linder, 1988).

En general se conoce que los alimentos proteínicos de origen animal son más digeribles que los de origen vegetal (Tabla 3), lo que se atribuye a que los alimentos de origen animal tienen un bajo contenido de fibra y como consecuencia, hay una menor velocidad de tránsito en el tracto intestinal, habiendo una mayor absorción de nutrimentos (Soriano, 2006).

Tabla 3. Digestibilidad de las proteínas de algunos alimentos de origen animal y vegetal

Alimento	% Digestibilidad
Carne de res	99.3
Huevo	97.0
Leche entera de vaca	96.9
Pollo	95.3
Pescado	85.0
Garbanzo	86.0
Maíz	86.0
Soya	86.0
Frijol	78.0

Fuente: modificado de Soriano, 2006

Otros factores que afectan la digestibilidad de las proteínas principalmente de alimentos de origen vegetal, es que la fracción proteínica, puede estar protegida de la acción enzimática por materiales celulares estructurales como la hemicelulosa (Soriano, 2006). Los procesos térmicos en la preparación de los

alimentos, desnaturalizan las proteínas nativas y las vuelven susceptibles a la acción de las enzimas digestivas, aunque en un sobreprocesamiento se puede modificar la solubilidad y hacerlas poco digeribles. Los vegetales pueden tener factores tóxicos y antinutricionales que disminuyen la función de absorción de la mucosa intestinal y pueden disminuir la biodisponibilidad de los aminoácidos.

Para evaluar la digestibilidad de las proteínas, se pueden hacer ensayos “*in vitro*” los cuales simulan las condiciones y reacciones fisiológicas que se llevan a cabo dentro del organismo, pero éste a pesar de ser un método preciso y reproducible, puede dar resultados inexactos; por lo tanto, los ensayos “*in vivo*” son los más confiables (Sarwar y Laughlan, 1981).

2.2.1.3 Capacidad para impulsar el crecimiento

Para evaluar la calidad de una proteína por medio del impulso del crecimiento corporal, existen las pruebas biológicas, de las cuales existen dos grandes categorías: aquellas que se basan en el crecimiento de los animales y las que se basan en el balance de nitrógeno (Adrián et al, 2000).

2.2.1.3.1 Valor Biológico

El valor biológico (BV por sus siglas en inglés: Biological Value), de una proteína se determina por la medida del nitrógeno ingerido y el nitrógeno eliminado vía heces y orina. Éste se determina sometiendo a los sujetos de experimentación a un periodo de tiempo bajo una dieta apteica, con el fin de cuantificar el nitrógeno urinario y fecal endógeno, es decir, no directamente relacionado con el nitrógeno de la dieta; después se alimenta con una dieta que contenga la proteína en estudio, que contenga un porcentaje ligeramente inferior al adecuado para cubrir la demanda de crecimiento, en ratas, suele ser del orden del 12%. El valor biológico esta dado por la relación:

$$BV = \frac{N_{\text{absorbido y retenido por el sujeto de experimentación}}}{N_{\text{absorbido en el tracto gastrointestinal}}}$$

La ventaja del uso de este método, es que se conoce la cantidad de nitrógeno que se utiliza, pero no atiende directamente el crecimiento del individuo.

Una proteína tiene mayor valor biológico o es de alta calidad, cuando ésta tiene la capacidad de brindar nitrógeno al organismo, las proteínas de alto valor biológico se encuentran en los productos cárnicos, lácteos y huevo. Los productos de origen vegetal son de bajo valor biológico (Tabla 4), por lo tanto sus proteínas son deficientes, lo cual se puede corregir cambiando su composición de manera que el valor biológico se incremente.

Este mejoramiento se puede realizar mediante la suplementación, que consiste en mezclar proteínas para potenciar su efecto. Para mejorar el valor biológico de las proteínas se puede realizar la combinación de dos o más grupos como: legumbres, lácteos, cereales integrales y frutos secos o semillas y de esta manera encontrar un balance de aminoácidos, un ejemplo es el de complementar un cereal que es deficiente en lisina y triptófano con una leguminosa que es deficiente en aminoácidos azufrados y así obtener un preparado proteico de origen vegetal de buena calidad (Suárez et al, 2006).

Tabla 4. Valores biológicos de algunos alimentos de origen animal y vegetal

Alimento	BV
Proteína de huevo	100
Leche de vaca	91
Pescado	83
Pollo	79
Caseína	77
Garbanzo	74

Soya	74
Arroz	59

Fuente: modificado de Suárez et al, 2006

2.2.1.3.2 Relación de eficiencia proteica

La relación de eficiencia proteica (PER por sus siglas en inglés: Protein Efficiency Ratio), determina el grado de crecimiento de un animal bajo condiciones bien definidas, provee la información para evaluar la calidad nutritiva de una proteína, ya que si ésta presenta una deficiencia de uno o más aminoácidos esenciales, el crecimiento del animal se verá reducido al compararse con una proteína patrón utilizada al mismo tiempo que la que está en prueba. Se basa en el cálculo de la relación entre la ganancia de peso corporal y gramos de proteína ingerida según la siguiente expresión (Soriano, 2006).

$$PER = \frac{\text{Incremento del peso (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

Para que este método tenga reproducibilidad es necesario que la dieta de prueba tenga la misma concentración de proteína que la dieta testigo y que el aporte energético se ajuste a las necesidades mínimas del organismo y a la eficiencia en su utilización para garantizar que se aprovechará en su totalidad. Por lo general, la proteína que se utiliza en la dieta testigo es la caseína (94.3% proteína), la cual es una proteína de muy buena calidad, cuyo valor de PER estandarizado es de 2.5. En la tabla 5, se muestran algunos valores de PER ajustado de algunos alimentos. La dieta se ajusta al 10% de contenido proteico, para que sea isoproteínica e isoenergética y para que la única variable en el estudio sea la proteína del alimento en estudio (FAO, 1990).

Tabla 5. Valores de PER ajustado para algunos alimentos de origen animal y vegetal

Alimento	PER
Huevo	3.80
Proteína del suero de leche	3.20
Leche de vaca	3.09
Carne bovina	2.90
Garbanzo	2.20
Harina de soya	2.20
Maíz	0.85

Fuente: Fries et al, 2001

2.2.1.3.3 Utilización proteica neta

La utilización proteica neta (NPU por sus siglas en inglés: Net Protein Utilization), se introduce en 1957 como un método biológico de balance corporal, que está dado por la relación:

$$NPU = \frac{N_{\text{absorbido y retenido por el sujeto de experimentación}}}{N_{\text{ingerido}}}$$

En esta relación, las cantidades de nitrógeno de dieta en heces y orina han de calcularse de la misma manera que en la determinación del BV.

Este método tiene una ventaja sobre el método anterior; ya que el fundamento del PER, sólo se basa en la ganancia de peso de los animales de experimentación sin atender la variabilidad intraespecie sin llegar a asignar un valor preciso. Aunado a lo anterior, si se reduce el consumo de alimento por el animal, el valor PER será menor.

Este inconveniente se puede solucionar, determinando la cantidad de peso corporal que se perdería si el animal de experimentación no ingiriera proteína durante el periodo de ensayo, ya que antes de que se genere el incremento de peso corporal, la proteína por estudiar debe cubrir las necesidades de mantenimiento; el estudio se efectúa de la misma manera que el PER, solo que se requiere un lote más de animales, los cuales serán alimentados con la misma dieta propuesta para el PER, pero sustituyendo el porcentaje de proteína por dextrina y así quedará libre de nitrógeno (Soriano, 2006). En la tabla 6, se muestran los valores de NPU de algunos alimentos.

Tabla 6. Valores de NPU de algunos alimentos de origen animal y vegetal

Alimento	NPU
Carne de vaca	75.5
Huevo	91.9
Leche de vaca	81.6
Proteína del suero	82.0
Garbanzo	64.0
Alverja	47.9
Soya	41.7

Fuente: Fries et al, 2001

2.2.1.3.4 Escore de aminoácidos corregido por digestibilidad

El escore de aminoácidos corregido por digestibilidad (PDCAAS por sus siglas en inglés: Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) se trata de un método muy confiable para evaluar la calidad de una proteína y se realiza mediante la calificación del cómputo químico o escore de aminoácidos corregido por digestibilidad proteica, el cual ha sido propuesto por la FAO en 1991 como la norma para calcular el porcentaje del valor diario de proteína para adultos y niños mayores de 1 año de edad.

El PDCAAS compara el perfil de aminoácidos de una proteína en estudio con las necesidades de un niño mayor de un año que presenta los requerimientos más exigentes de los diferentes grupos etarios a excepción de los lactantes que se comparan con leche humana. El valor más alto que se recibe por este método es de 100%, ya que valores más altos, nos indican exceso de aminoácido, el cual ya no se utiliza para síntesis de tejidos, sino que son desaminados y oxidados para ser utilizados en el metabolismo energético o almacenados como tejido adiposo (Suárez et al, 2006). En la tabla 7, se muestran valores de PDCAAS de algunos alimentos.

Tabla 7. Valores de PDCAAS en algunos alimentos de origen animal y vegetal

Alimento	PDCAAS
Huevo	97.0
Leche	95.0
Carne de vaca	94.0
Carne de pollo	94.0
Garbanzo	78.0
Soya (grano)	78.0
Alverja	74.3

Fuente: modificado de Suárez et al, 2006

2.3 Características de amarantole y de las fuentes proteicas seleccionadas

Amarantole, es una harina para preparar atole y tiene como principal componente al amaranto. En el siguiente apartado, se muestran algunas de las características principales de este grano.

2.3.1 Amaranto

El amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae* y al género *Amaranthus* donde se consideran 11 especies diferentes de amaranto, de las cuales solo las especies *caudatus*, *cruentus* e *hipochondriacus*, se utilizan para el consumo humano (Alejandre y Gómez, 1996).

Amaranthus hypochondriacus es una planta herbácea anual de 1.5 a 2 m de altura. Por su clasificación botánica, el fruto es simple, seco y dehiscente, ya que es una cápsula pequeña que se abre transversalmente en su madurez (Alejandre y Gómez, 1996). Las semillas de color claro, son las que comúnmente se usan como alimento y ornato (Fries et al, 2001).

El grano de amaranto es pequeño, liso y brillante de 1 a 1.5 mm de diámetro, ligeramente aplanado y puede ser de color blanco, amarillo, dorado, rojo, rosado, púrpura y negro. Las cuatro partes más importantes son: el epispermo, que es la cubierta seminal constituida por células muy finas; el endospermo como segunda capa; la capa interna llamada perispermo, que está formada por pequeños granos de almidón de 1 μm de diámetro, el cual es ceroso y rico en amilopectina; y el embrión que está formado por los cotiledones, es rico en proteína (Suárez-Ramos, 1991).

De 1998 a 2006 se ha dado una importante ampliación en el cultivo del amaranto, en el mercado de consumo de países industrializados, incluyendo Estados Unidos, Japón y Alemania. En la actualidad, China es el país de mayor producción con 150 mil hectáreas cultivadas (Manrique, 2007).

Según los datos de la SAGARPA, para el 2007, en México se sembraron 2059.25 hectáreas, alcanzando una producción nacional de 3391.7 toneladas, destacando los estados de Puebla, Morelos, Tlaxcala, México, Distrito Federal y Guanajuato.

2.3.1.1 Composición química

El amaranto podría ser la planta más nutritiva del mundo, debido a que se han encontrado altos contenidos en proteínas, calcio, ácido fólico y vitamina C. El valor nutritivo de la proteína del amaranto se puede justificar con el balance de aminoácidos esenciales que presenta, el cual es semejante al de la proteína ideal propuesta por la FAO (Tabla 2), en comparación con los cereales que se muestran en la tabla 8, el amaranto presenta el valor más alto de proteína con un 19%.

El amaranto contiene 6% de aceite, el cual es transparente, poco móvil, de sabor dulce y de olor agradable, con una densidad de 0.935 g/L, es rico en ácidos grasos poliinsaturados que incluyen los omegas 3, 6 y el escualeno, que ayuda a reducir el colesterol en la sangre. Contiene antioxidantes como alfa tocoferoles hasta delta y tocotrienoles. Contiene un mayor contenido de fibra y cuanto a los minerales, como el calcio y el hierro, también presenta la mayor concentración con respecto a los cereales.

Tabla 8. Comparación de la composición química del amaranto con algunos cereales. g/100g de alimento

Nutriente	Amaranto	Arroz	Trigo	Maíz	Avena
Proteína	19.0	5.6	12.8	9.4	15.8
Fibra cruda	5.6	0.3	2.3	3.0	3.0
Grasa	6.0	0.6	1.7	4.7	6.9
Carbohidratos	60.0	79.4	71.0	74.0	66.0
Calcio (mg)	250.0	9.0	29.4	7.0	54.0
Hierro (mg)	15.0	4.4	4.0	2.7	5.0
Calorías	414.0	360.0	334.0	365.0	389.0

Fuente: Alejandro y Gómez, 1996

Es importante hacer notar que el contenido de carbohidratos, es menor que el de los cereales. El aporte energético aunque es más elevado que los cereales, una mayor parte es proporcionado por las proteínas (Alejandre y Gómez, 1996).

2.3.1.2 Usos del amaranto

La planta de amaranto tiene una gran variedad de usos, el primero es como alimento, donde podemos utilizar el grano con el que se elaboran dulces, los que comúnmente conocemos como alegrías, en este, las semillas están infladas y se les agrega miel. Con estos granos, se pueden elaborar productos terminados como el mazapán, cereal de desayuno, tortillas, granolas y harinas de amaranto. También se logran productos industrializados como cereales enriquecidos, harinas, concentrados, almidones, aceites y colorantes derivados del amaranto. Las hojas se pueden consumir como hortalizas frescas, en guisos, aguas frescas, ensaladas, jugos, entre otros (Manrique, 2007).

2.3.1.3 Amarantole

Otro de los usos que se le da al amaranto, es como harina para preparar bebidas (atole). A este respecto, la empresa Man-Flow, elabora harina a base de amaranto, para preparar atole de forma instantánea en tres sabores: nuez, fresa y chocolate (Figura 1).

Actualmente el producto se distribuye en tiendas de autoservicio y tiene presencia en los estados de Hidalgo, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Estado de México y el Distrito Federal (Hernández, 2009).

Este producto, cuya composición química se muestra en la tabla 9, sirvió en este estudio como base de la bebida en la cual se incrementó el contenido de proteína.



Figura 1. Amarantole en sus diferentes presentaciones. Fuente: www.hidalgotrade.com

Tabla 9. Composición química de amarantole

Componentes por cada 100g			
Proteína	4.64 g	Fibra	2.31 g
Grasa	1.37 g	Cenizas	1.11 g
Carbohidratos	90.57 g		

Fuente: Porras, 2009

El mayor componente del amarantole en su fórmula original, son los carbohidratos; por otro lado, el contenido de proteína es bajo (4.64%), si se considera que la harina de amaranto contiene 15.39% de proteína.

Otras características de la harina para preparar atole a base de amaranto, es que la viscosidad del amarantole sabor chocolate, es de 132cP a una temperatura de 98°C, la cual es mayor en comparación con atoles elaborados a base de maíz y arroz.

El perfil descriptivo cuantitativo del amarantole sabor chocolate, tiene como principal descriptor de olor al chocolate, seguidos por otros como almidón y frijol, así como unas ligeras notas de olor a nuez, almendra/cereza y caramelo macizo.

Tiene un descriptor de gusto dulce con intensidad media y consistencia en boca y aparente en valores superiores a los atributos antes mencionados (Porras, 2009).

2.3.2 Fuentes proteicas

En la tabla 10, se muestra la composición química de las fuentes proteicas de importancia en esta investigación.

Tabla 10. Composición química de las fuentes proteicas (g/100g)

Fuente de proteína	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra
Origen animal				
Lacto-suero¹	80.0	6.0	4.5*	~
Leche en polvo²	23.4	26.3	38.6	~
Origen Vegetal				
Alverja³	24.1	0.8	60.3	3.6
Harina de soya⁴	28.0	20.6	13.1	10.9
Garbanzo⁵	20.4	5.0	55.0	15.0

* Gramos de lactosa, ~ No reportado

Fuente: 1. www.prowinner.com, 2. www.nido.com, 3. Collazos, 1996, 4. www.protoleg.com, 5. Gordillo, 1991.

2.3.2.1 Proteína del lacto-suero

El suero de leche es un líquido obtenido en la fabricación del queso, después de la separación de la cuajada. El suero de leche es una fuente de proteína de origen animal y se utiliza como suplemento alimenticio.

En la industria alimentaria existen diferentes productos a base de suero de leche, entre los que se encuentran: suero de leche estándar (6-8% de proteína), suero de leche grado alimenticio (15-25% de proteína) y el concentrado de proteína de suero de leche en polvo (75% de proteína mínimo). Este último presenta un alto valor biológico y es muy utilizado en la alimentación de recién

nacidos con mala digestión, en complementos geriátricos y en la dieta de los deportistas (www.prowinner.com).

En un principio, el suero de leche era considerado como un desecho de la industria láctea, hasta que después de varios estudios, se reveló que la proteína del suero es de alto valor biológico, que presenta altas concentraciones de aminoácidos esenciales (tabla 2), los cuales son responsables del excelente valor de PER (3.2%), además de tener una amplia gama de aplicaciones (Fries et al, 2001).

2.3.2.2 Leche

La leche es una mezcla heterogénea compuesta por un sistema coloidal, el cual contiene una solución en la que los minerales y los carbohidratos se encuentran disueltos en agua; una suspensión de proteínas y una emulsión que es un sistema disperso en el que se encuentra la grasa. Se compone casi en un 87% de agua y sus componentes más representativos son la lactosa y la caseína.

Además de su excelente balance de macronutrientes, es una importante fuente de vitaminas A, B, E y de minerales como el calcio (Badui, 2006).

2.3.2.3 Harina de soya

La soya proviene de un cultivo anual, en vainas que contienen de 3 a 4 granos. Tiene un importante contenido de proteína, el cual puede variar de 20 a 50%, esta proteína es efectiva para reducir el colesterol. Tiene un buen balance de aminoácidos esenciales y de vitaminas, principalmente del complejo B.

El interés nutricional de los productos de la soya se ha incrementado en los últimos años, ya que se han descubierto algunos compuestos de este grano como los isoflavones, que aparentemente reducen el riesgo de contraer cáncer. El consumo de soya protege contra trastornos cardiovasculares, actúa como sustituto de estrógeno en la menopausia y es muy valioso en el régimen de los diabéticos

por su pobreza en almidón. El valor nutritivo de esta proteína, equivale al de la leche, la carne y el huevo (Bravo, 2005).

2.3.2.4 Leguminosas

En general, las leguminosas son consideradas como fuente de proteína, presentan un porcentaje de proteína en relación a la materia seca, de entre 20 y 40%. El balance de aminoácidos, presenta altos valores de lisina, pero bajos en aminoácidos azufrados (Gatel, 2002).

Las leguminosas incluyen a la alverja y al garbanzo. La alverja presenta un buen contenido de proteína y bajo de grasas y su consumo es muy común en platillos tradicionales de las comunidades de bajos recursos (Collazos, 1996).

El garbanzo, también conocido como la carne del pobre por su riqueza de proteína, es una de las leguminosas más consumidas, desde tiempos históricos se ha utilizado en la alimentación combinado con cereales proporcionando así un alimento completo; además contiene un aceite rico en ácido oleico y linoleico y un alto aporte de fibra (Gordillo, 1991).

Las leguminosas en general, tienen el inconveniente de la presencia de compuestos antinutricionales, aunque estos en la planta, actúan como defensa contra enfermedades, pero en la alimentación, llegan a reducir el valor nutritivo de estos granos. Algunos de estos compuestos son las lectinas y los inhibidores de proteasas, los cuales actúan sobre la tripsina y la quimiotripsina, reduciendo la disponibilidad de la proteína y absorción de los aminoácidos. También contienen numerosos compuestos fitoquímicos de bajo peso molecular como polifenoles, taninos, fitatos y saponinas (Gatel, 2002).

Objetivos



3. Objetivos

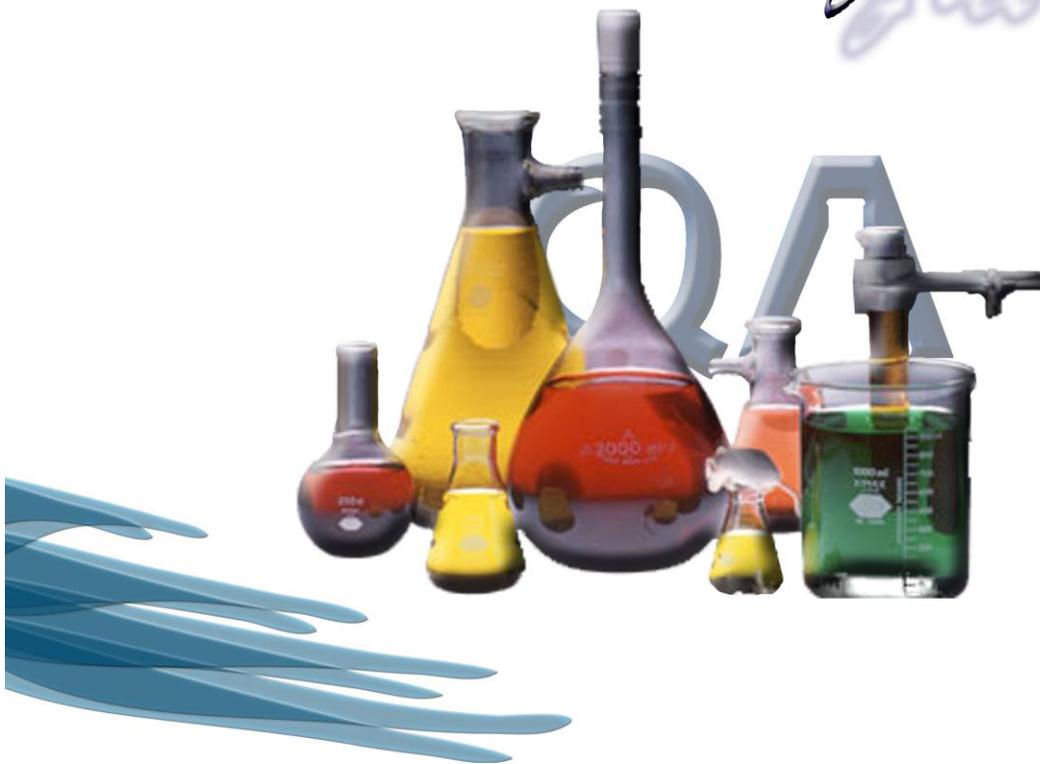
Objetivo general

- Incrementar el contenido proteico de una bebida comercial a base de amaranto mediante la adición de diferentes fuentes de proteína vegetal y animal.

Objetivos específicos

- Seleccionar fuentes proteicas de origen animal y vegetal, para incrementar el contenido de proteína del amarantole.
- Mediante pruebas sensoriales, seleccionar las mezclas amarantole-fuente proteica de mayor agrado al consumidor.
- Determinar la composición química y mineral de las mezclas seleccionadas de amarantole-fuente proteica.
- Evaluar la calidad proteica de las mezclas seleccionadas amarantole-fuente proteica mediante la prueba biológica de relación de eficacia proteica (PER) y digestibilidad *in vivo*.

Metodología



4. Metodología

En el diagrama 1 se presenta la descripción general del incremento de proteína en amarantole.

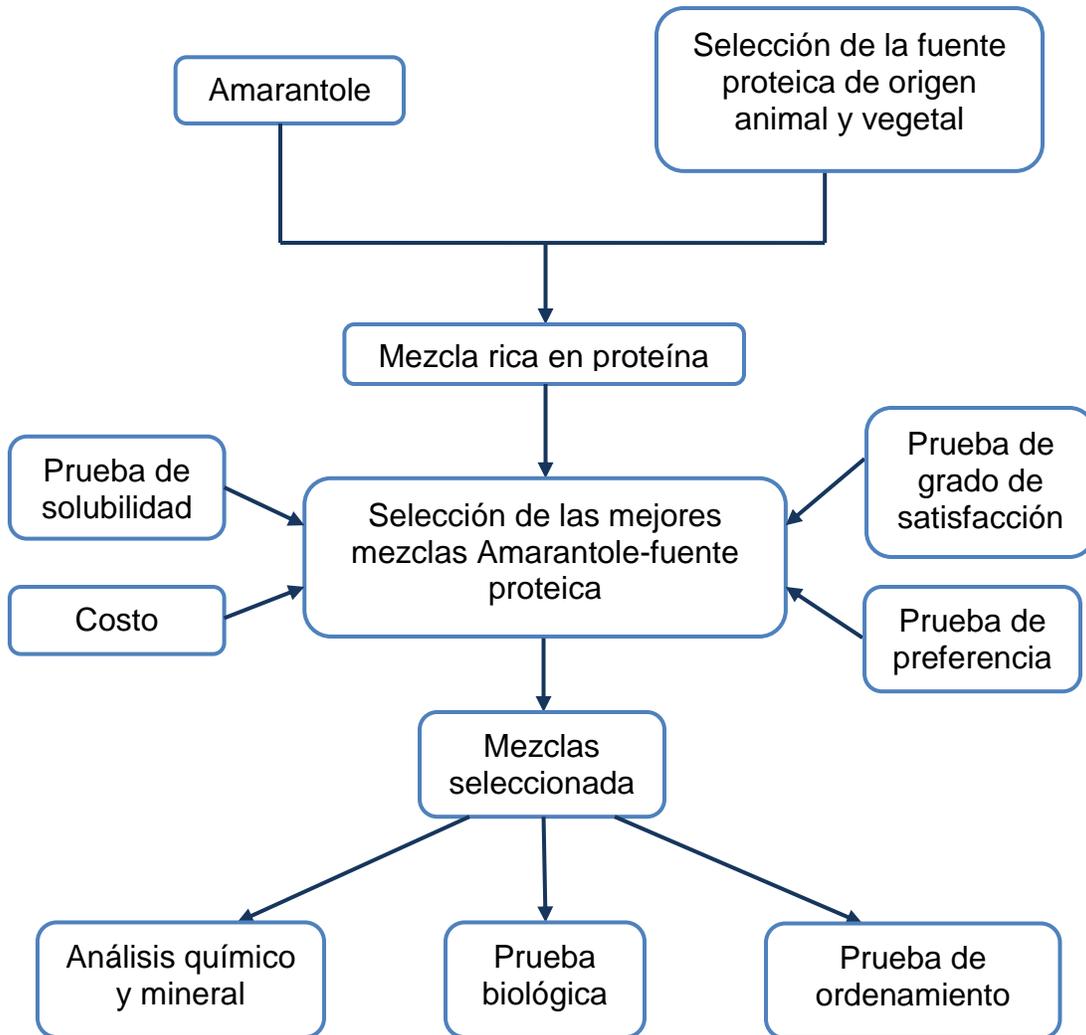


Diagrama 1: Descripción general del estudio realizado

4.1 Obtención de muestras

4.1.1 Amarantole

Las muestras de amarantole sabor chocolate, fueron proporcionadas por la empresa Man-Flow S.A. de C.V. ubicada en la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Los ingredientes que componen la fórmula original son los siguientes:

- ↗ Harina de amaranto reventado
- ↗ Azúcar
- ↗ Fécula de maíz
- ↗ Sustituto de crema
- ↗ Colorante y saborizante artificial
- ↗ Benzoato de sodio

Por motivo de confidencialidad no se mencionan las cantidades.

4.1.2 Fuentes proteicas

Como principal objetivo se tiene que las fuentes proteicas al ser mezcladas con el amarantole, incrementaran el contenido de proteína de la fórmula original hasta a un 20% según los requerimientos de la empresa Man-Flow. Las fuentes proteicas fueron adquiridas en centros comerciales y tiendas naturistas de la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Éstas fueron pre-seleccionadas en base a su calidad proteica; las de origen animal porque contienen los aminoácidos esenciales en la proporción adecuada y en el caso de la alverja y el garbanzo, porque se complementaría el perfil de aminoácidos del amarantole, obteniendo una proteína de buena calidad.

a) Proteína del lacto-suero: la proteína del lacto-suero utilizada fue de la marca Prowinner® whey protein, microfiltrado y concentrado, cuya fórmula proteínica es derivada de la leche (75% mínimo), compuesto por las proteínas

beta lactoglobulina, la cual estimula la fijación de vitaminas liposolubles; alfa lacto albúmina, principalmente encontrada en leche humana y que provee de aminoácidos esenciales y de cadena ramificada, con altos niveles de triptófano; sero albúmina y péptidos con la mayor biodisponibilidad y alto valor biológico, adicionada de L-lisina (información reportada en la etiqueta).

b) Leche en polvo: la leche en polvo utilizada fue de la marca NIDO® clásica, la cual es obtenida de leche de vaca adicionada con Prebio 1®, vitaminas y minerales con lo que se obtiene un producto con buen balance de nutrientes.

c) Harina de soya: la harina de soya utilizada fue de la marca Pronutri®. Esta harina se obtuvo mediante un proceso de molienda de las hojuelas desengrasadas crudas ó cocidas, presentando un alto porcentaje de proteína y estabilidad a la rancidez (información reportada en la etiqueta).

d) Harina de alverja y de garbanzo: para la obtención de las harinas de alverja y garbanzo los granos: se sometieron a un proceso de cocción en olla de presión, durante 30 minutos, una vez cocidos, se licuaron en una licuadora marca Moulinex® de 1.5 L de capacidad, con un poco de agua hasta obtener una pasta, la cual se deshidrató a 60°C en estufa Felisa por 24 horas. Finalmente la pasta seca fue triturada manualmente en mortero a fin obtener una harina.

4.2 Preparación de las mezclas

Se prepararon mezclas de amarantole-fuente proteica en cuatro proporciones distintas según se indica en la tabla 11. Éstas fueron seleccionadas en base a cuatro parámetros principales: que se incrementará el contenido proteico, sin alterar las características organolépticas, la solubilidad ó el costo.

Tabla 11. Proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica a evaluar

Fórmula original	Fuente proteica
80%	20%
75%	25%
70%	30%
60%	40%

Para el manejo de datos se utilizaron los códigos que se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Abreviaturas empleadas para las mezclas amarantole-fuente proteica

Mezcla	Abreviatura
Amarantole + Lacto-suero	AS
Amarantole + Harina de soya	AHS
Amarantole + Harina de alverja	AR
Amarantole + Harina de garbanzo	AG
Amarantole + Leche en polvo	AL
Amarantole + Leche en polvo + Lacto-suero	ASL

4.3 Selección de las mejores proporciones de mezclas amarantole-fuente proteica

Para la evaluación y selección de las mejores proporciones de las mezclas, se llevaron a cabo los cálculos del contenido de proteína de las mezclas en sus diferentes proporciones y los cálculos del costo aproximado de las mezclas; también se realizaron pruebas preliminares de solubilidad y sensoriales como las de preferencia y de grado de satisfacción. Posteriormente se aplicó una prueba de ordenamiento entre las mezclas seleccionadas, para conocer cuál es la de mayor agrado por los consumidores.

4.3.1 Cálculo del porcentaje de proteína y costo

Para conocer de manera teórica el contenido de proteína de las proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica y su costo aproximado, se realizó el cálculo siguiente:

$$A_{XA} \times B_{XB} = M_{XM}$$

Donde:

A = Cantidad en gramos de amarantole

XA = % de proteína de la fórmula original de amarantole

B = Cantidad en gramos de la fuente proteica

XB = % de proteína de la fuente proteica

M = Cantidad de la mezcla amarantole-fuente proteica

XM = % de proteína de la mezcla amarantole-fuente proteica

Los porcentajes de proteína y los costos empleados en el cálculo, se muestran en la tabla 13. Para obtener el costo aproximado de las mezclas amarantole-fuente proteica, se sustituyó XA y XB de la formula anterior por el costo de las muestras.

Tabla 23. Porcentajes de proteína y costos utilizados en los cálculos teóricos de contenido de proteína y costo aproximado de las mezclas amarantole-fuente proteica

Muestra	% Proteína ^b	Costo materia prima ^c
Amarantole ^a	4.64±0.20	\$6.00
Proteína lacto-suero	81.64±0.02	\$36.00
Harina de soya	28.02±0.18	\$5.20
Alverja (cocido)	21.39±0.16	\$2.00
Garbanzo (cocido)	24.25±0.11	\$2.00
Leche en polvo	23.43±0.00	\$12.50

a) Fuente: Porras (2009), b) Determinado mediante el método Dumas, c) Costo de 100 g de muestra

4.3.2 Prueba de solubilidad

La solubilidad se evaluó visualmente al adicionar agua hirviendo a la mezcla amarantole-fuente proteica, y se clasificó como: buena, regular o mala, de acuerdo con los siguientes criterios: se clasificó con solubilidad buena a la mezcla que se observó homogénea, regular cuando la bebida presentó grumos y solubilidad mala cuando se obtuvo una mayor cantidad de grumos y sedimentación de partículas. Con esta prueba se eliminaron las proporciones 60:40 de las fuentes proteicas de origen vegetal.

4.3.3 Pruebas sensoriales

Para las pruebas sensoriales, las muestras se presentaron en vasos de 50 mL con aproximadamente 30 mL de muestra, a una temperatura aproximada de 60°C. Los vasos fueron previamente codificados con series de números de 3 dígitos. La distribución de las muestras ante los jueces se hizo de manera que cada una de las mezclas fuera probada al menos una vez en primer lugar. La presentación de las muestras se hizo en charolas que incluían las muestras, un vaso de agua y dos galletas sin sabor (galletas habaneras marca Gamesa®).

Como instrucciones generales, se pidió a los jueces que probaran las muestras que se les presentaban de izquierda a derecha y de atrás hacia adelante, bebiendo un poco de agua y mordiendo un trozo de galleta, con la finalidad de eliminar la sensación producida por el alimento anterior.

4.3.3.1 Prueba de grado de satisfacción

La prueba de grado de satisfacción se realizó con 15 jueces consumidores con una escala hedónica verbal de 3 puntos como instrumento de medición de la sensación producida por el alimento, y se pidió al juez que dijera si la mezcla le gustaba, pero considerando que el sabor de la fuente proteica no sobresaliera. La ficha de cata utilizada en esta prueba es una modificación de la propuesta por Anzaldúa-Morales (1994).

La prueba se realizó con las proporciones 70:30 y 75:25, ya que las otras proporciones habían sido eliminadas previamente, excepto para AS y AL, ya que también se incluyeron otras proporciones (80:20, 60:40 y 62.5:37.5)

4.3.3.2 Prueba de preferencia

La prueba de preferencia se realizó con 15 jueces consumidores, y consistió en pedir a los jueces que expresaran cuál de las dos muestras presentadas preferían. La ficha de cata utilizada en esta prueba es la propuesta por Anzaldúa-Morales (1994) (anexo 1).

La prueba se realizó con la proporción seleccionada por el consumidor en la prueba de grado de satisfacción y con la fórmula original de la bebida de amaranto.

4.3.3.3 Prueba de ordenamiento

La prueba de ordenamiento se llevó a cabo con 40 jueces consumidores, y consistió en pedir a los jueces que ordenaran las muestras presentadas en orden decreciente según su agrado. La ficha de cata utilizada en esta prueba es una modificación de la propuesta por Anzaldúa-Morales (1994).

La prueba se realizó con las muestras seleccionadas mediante la prueba de preferencia.

4.4 Análisis químico de las mezclas amarantole-fuente proteica seleccionadas

4.4.1 Humedad

La humedad es el material que se volatiliza de la muestras bajo condiciones de temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Este análisis se llevó a cabo mediante el método 925.10 de la AOAC (1990): se colocaron charolas de aluminio (limpias y libres de grasa), en una estufa Felisa a 105°C de 2 a 4 horas. Una vez a peso constante se adicionó la muestra a las charolas, pesando de 2-3 g distribuyendo de manera que se presentara la mayor superficie de evaporación. Las charolas se introdujeron en la estufa previamente caliente hasta $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se tomó el peso final constante (se considera peso constante cuando al pesarla en la balanza analítica solo presenta variación en la cuarta cifra decimal).

El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{m} \times 100$$

Donde:

P_i = Peso de la charola con muestra antes del secado de la muestra (g)

P_f = Peso de la charola con muestra después del secado de la muestra (g)

m = Peso de la muestra (g)

4.4.2 Cenizas

Las cenizas son el residuo que se obtiene después de la incineración de una muestra, comprendiendo el material inorgánico de la misma.

Este análisis se llevó a cabo mediante el método 923.03 de la AOAC (1990): se pusieron a peso constante los crisoles, previamente lavados con agua

destilada en una mufla Fisher Scientific a 550 °C hasta peso constante. Se agregaron de 2-3 g de muestra y se incineraron en la parrilla de calentamiento a su máxima temperatura, hasta que se eliminó todo el humo de la muestra. Después se colocaron en la mufla a 550 °C manteniendo estas condiciones hasta que se observó un color homogéneo en las cenizas y se tomó el peso constante.

El porcentaje de cenizas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_f - P_o}{m} \times 100$$

Donde:

P_f = Peso del crisol con la muestra después de incinerada (g)

P_o = Peso constante del crisol (g)

m = Peso de la muestra (g)

4.4.3 Grasa

La grasa cruda puede cuantificarse mediante el método LECO/SFE, extracción con fluidos supercríticos, el cual está basado en las propiedades supercríticas del CO₂ como agente extractor de grasa de la muestra transfiriéndola a trampas desprendibles.

Este análisis se llevó a cabo utilizando el equipo Leco® TFE2000 (Figura 2): se pesaron de 0.4 a 0.5 g de muestra libre de humedad en los



Figura 2. Equipo Leco® TFE 2000

dedales los cuales se colocaron en la cámara de extracción del equipo, se tomó el peso constante de los recolectores de vidrio y se colocaron en el equipo con los

siguientes parámetros: presión: 9000 psi, 100 °C, con una velocidad de flujo de 1.3 L/min y 45 minutos de extracción. Finalmente se tomó el peso constante del recolector con el extracto.

El porcentaje de grasa cruda se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_e - P_c}{m} \times 100$$

Donde:

P_e = Peso del recolector con el extracto (g)

P_c = Peso constante del recolector (g)

m = Peso de la muestra (g)

4.4.4 Proteína

La proteína se cuantificó mediante el método Dumas, que consiste en calcinar la muestra en presencia de oxígeno a una temperatura de entre 850 y 1400 °C, dando como productos de combustión dióxido de carbono, óxidos de azufre y agua, los cuales son absorbidos selectivamente en columnas, mientras que los óxidos de nitrógeno se reducen catalíticamente en presencia de cobre a gas nitrógeno que será cuantificado y multiplicado por un factor conocido, obteniéndose así el porcentaje de proteína.



Figura 3. Equipo Leco® FP-528

Este análisis se llevó a cabo mediante el equipo Leco® FP-528 (Figura 3): se pesaron de 0.1 a 0.2 g de muestra libre de humedad en charolas de estaño (tin

foil cups, Leco®), las cuales fueron cerradas con ayuda de unas pinzas, posteriormente se introdujeron al equipo con los siguientes parámetros: 850-875 °C de temperatura del horno de combustión y 750 °C de temperatura de catálisis.

El porcentaje de proteína se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Proteína} = \% N \times F$$

Donde:

N = Nitrógeno detectado

F = Factor de conversión (6.38 para lácteos, 6.25 para alverja, 6 para la soya y 5.85 para amaranto)

4.4.5 Fibra cruda

La fibra cruda equivale a la pérdida por ignición del residuo seco remanente, después de la digestión de la muestra con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio bajo condiciones específicas.

Este análisis se llevó a cabo mediante el método 962.09 de la AOAC (1990): se pesaron de 2-3 g de la muestra desengrasada (si se presenta un porcentaje mayor al 5%) y se colocaron en un vaso Berzelius previamente lavado con mezcla sulfocrómica, con 200 mL de H₂SO₄ al 1.25% y unas gotas de antiespumante. El vaso se colocó en un digestor para fibra Labconco®, previamente caliente. Al cabo de 30 minutos de ebullición, el contenido se filtró a vacío a través de papel filtro y se lavó con agua destilada caliente hasta eliminar el ácido. El residuo se transfirió nuevamente al vaso con 200 mL de NaOH al 1.25% y unas gotas de antiespumante y se colocó en el digestor 30 minutos a ebullición. Posteriormente se filtró y se lavó como en el paso anterior. Por último, se añadieron 25 mL de alcohol etílico para eliminar una mayor cantidad de humedad. El residuo se transfirió a un crisol a peso constante y se colocó en la estufa a

105°C por 2 horas. Finalmente se pasó a la mufla para su calcinación por 2 horas y se tomó su peso constante.

El porcentaje de fibra cruda se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{P_s - P_c}{m} \times 100$$

Donde:

Ps = Peso constante de la cápsula de porcelana con el residuo seco (g)

Pc = Peso constante de la cápsula después de la calcinación (g)

m = Peso de la muestra desengrasada (g)

4.4.6 Carbohidratos

Estos fueron calculados por diferencia mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ Fibra} + \% \text{ Grasa} + \% \text{ Proteína} + \% \text{ Cenizas})$$

4.5 Análisis mineral de las mezclas amarantole-fuente proteica

El análisis de minerales, se llevó a cabo mediante Espectrofotometría de Emisión Acoplada a Plasma, para lo cual las muestras se sometieron previamente a una digestión en el microondas.

Digestión

Todo el material que estuvo en contacto con la muestra, fue previamente lavado con una solución de HNO₃ al 5%.

Para la digestión se utilizó un microondas marca Marx-X con una potencia de 1200 W y un carrusel para 12 vasos de teflón. Se pesaron 0.5 g de cada muestra previamente seca en los vasos de digestión con 10 mL de HNO₃ concentrado. En cada corrida, se introdujo al menos un vaso con la mínima

cantidad de ácido y sin muestra, a fin de tener una cantidad considerable de blancos para el cálculo del límite de detección del método. Una vez colocados los vasos en el carrusel, se procedió a la digestión.

El microondas fue programado según un método diseñado por la compañía CEM (North Carolina, U.S.A) que consiste en tres etapas:

1. Las muestras alcanzaron una temperatura de 200 °C en 7 minutos
2. Se mantuvo esta temperatura durante 10 minutos
3. Se procedió a un enfriamiento de 5 minutos

Al cabo del proceso, el carrusel se retiró siguiendo las instrucciones de despresurización del microondas.

El producto de la digestión, una vez enfriado, se filtró utilizando papel Whatman No. 42, con ayuda de un embudo de plástico de talle corto. El filtrado se aforó a 50 mL con agua desionizada y se vertió a un recipiente de plástico con tapa. La solución final se mantuvo en refrigeración hasta que se sometió al análisis espectrofotométrico.

Análisis espectrofotométrico de emisión

El equipo empleado para la lectura de los elementos, fue un espectrofotómetro de emisión acoplado a plasma (ICP por sus siglas en inglés) marca Perkin-Elmer xl-3000, mediante el método de flama.

Las curvas de calibración se prepararon de 0 a 30 ppm para el caso de Ca, K, Mg y Na y de 0 a 10 ppm para el resto de los elementos, partiendo de estándares de referencia marca Solutions con una pureza de 99.98%, preparados en matriz nítrica al 4%.

4.6 Determinación de la calidad de la proteína de las mezclas amarantole-fuente proteica

4.6.1 Relación de eficiencia proteica

Con el fin de evaluar la calidad proteica de las mezclas, se llevó a cabo la prueba biológica del coeficiente de eficacia proteica. Para ello fue necesario elaborar una dieta isoproteínica e isoenergética con respecto a la dieta de referencia, que por lo general es caseína, una proteína considerada como ideal ya que posee todos los aminoácidos esenciales.

4.6.1.1 Preparación de las dietas

Para elaborar las dietas, fue indispensable contar con el análisis proximal de cada alimento en estudio, para poder ajustar los nutrimentos a la composición de la dieta de referencia. La dieta se debe ajustar en base a la proteína, de manera que se garantice que toda la proteína va a ser incorporada si es de buena calidad. La dieta de referencia se prepara de acuerdo a la tabla 14.

La dieta que contiene el alimento a estudiar (mezclas seleccionadas amarantole-fuente proteica) debe ser isoproteínica con respecto a la de referencia, es por ello que se calculó al 10% de proteína.

Ya que la dieta de referencia tiene un aporte de 18.834 kJ/g se tiene que ajustar el contenido energético de la dieta del alimento en estudio para que ésta sea isoenergética con respecto a la de referencia, para ello se calcularon las proporciones de cada uno de los ingredientes que aportan carbohidratos y lípidos (AOAC, 2000).

Tabla 14. Dieta de referencia, caseína

Ingredientes	g/100g de dieta
Caseína (94.3% de proteína) 901293 MP Biomedicals	10.6
Sacarosa comercial SALWIL®	22.0
Glucosa anhidra USP (comercial, Química BARSA)	19.0
Dextrina (Maizena®)	25.0
Manteca vegetal (INCA®)	8.0
Aceite vegetal (Mazola®)	6.0
Mezcla de sales 902842 MP Biomedicals	4.0
Mezcla de vitaminas 904654 MP Biomedicals	2.0
Colina (solución al 50%)	0.4
Celulosa comercial SIGMA C-8002	3.5

Fuente: AOAC, 2000

Con respecto al ajuste de celulosa se debe mencionar que al no considerarse la humedad en las dietas, la sumatoria de los ingredientes no llegará a 100, por lo que se usa la celulosa para ajustar la formulación; el faltante será la cantidad de celulosa a adicionar. A todas las dietas se les adicionó el porcentaje de colina indicado en la dieta de referencia.

La composición final de cada una de las dietas con las mezclas amarantole-fuente proteica se indican en la tabla 15.

Debido a que las mezclas de AHS y AR contienen aproximadamente 10 g de proteína por cada 100 g de muestra, se prepararon al 9% de proteína, con la finalidad de poder agregar los demás nutrientes esenciales.

Tabla 15. Composición de las dietas

Ingredientes	AS	AHS	AR	AL	ASL
Fuente de proteína	44.13	89.37	88.93	81.43	51.20
Sacarosa	11.69	--	--	1.85	10.33
Glucosa	10.10	--	--	1.60	8.92
Dextrina	13.29	--	--	2.11	11.74
Manteca vegetal	7.7	7.45	7.45	4.73	6.56
Aceite de maíz	5.78	5.59	5.59	3.55	4.93
Mezcla de sales	1.27	2.00	2.00	1.86	2.71
Mezcla de vitaminas	1.0	1.50	1.50	2.00	2.00
Celulosa	4.64	--	--	0.87	1.61

AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero.

4.6.1.2 Selección y preparación de los animales

Para el método PER se acepta que la ganancia de peso de los animales de ensayo provee de una medida confiable del valor nutricional de la fuente de proteína en una dieta; sin embargo, factores como la edad, sexo, periodo de ensayo, nivel de proteína, entre otros, afectan la determinación del bioensayo (Adrian et al, 2000).

Es por eso que los animales deben cumplir las siguientes especificaciones: se deben emplear ratas macho Wistar o Sprague Dowley, ya que se ha comprobado que son roedores que en su crecimiento manifiestan fielmente la calidad nutricional de su alimentación, además de que son poco sensibles a los factores ambientales e infecciosos. Las ratas deben de ser de 21 a 23 días de edad (recién destetadas) y el intervalo de peso no debe rebasar los 10 gramos.

El ensayo debe tener una duración de 21 a 28 días y se mantienen en jaulas individuales de acero inoxidable con alimento y agua *ad libitum*, con ciclo de luz/obscuridad de 12 horas, con una temperatura de 23 a 24 °C y una humedad relativa entre 30 y 35% (AOAC, 2000).

Procedimiento

El número de ratas para cada lote de la dieta de estudio y la dieta control, fue de 6 ratas. Los animales se pesaron y se ordenaron de forma ascendente de acuerdo a su peso. Se colocaron los animales en las jaulas individuales y éstas se acomodaron en el rack siguiendo la distribución de “culebra japonesa”, como se indica a continuación:



Como las ratas al alimentarse tienden a desperdiciar alimento, es conveniente colocar debajo de cada jaula una charola de papel, para recuperar el alimento, separándolo de las heces y considerar el alimento real ingerido. Los animales se pesaron cada tercer día, registrando su peso y el alimento ingerido considerando el que es desperdiciado.

Cálculos

El PER se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PER = \frac{\Delta P}{\sum AI \times F}$$

Donde:

ΔP = Incremento de peso (expresado en gramos)

ΣAI = Alimento ingerido acumulado (gramos)

F = Factor de conversión unitario de alimento a proteína (% de proteína en la dieta / 100).

Para demostrar la homogeneidad del experimento, el coeficiente de variación (CV) debe ser menor o igual a 15%.

Ya que los métodos biológicos con frecuencia presentan variación interlaboratorio, existe una variación considerable en la obtención del valor absoluto de la variable biológica, por lo tanto, el PER se expresa en Relación de Eficacia Proteínica ajustada o corregida (PER_a); para lo que es necesario contar con el valor experimental de este índice biológico del lote de animales alimentados con la dieta de caseína que cumplan los requisitos mínimos de experimentación. A la proteína de referencia se le ha asignado un valor de PER de 2.5; por tal motivo, es conveniente informar el resultado en términos de PER_a :

$$PER_a = PER (prueba) \frac{PER (Caseína)_{STD}}{PER (Caseína)_{EXP}}$$

Donde:

PER (prueba) = Per experimental de la proteína a evaluar

PER (Caseína)_{STD} = PER de caseína estandarizado = 2.5

PER (Caseína)_{EXP} = PER de caseína

4.6.2 Digestibilidad

La digestibilidad *in vivo* de las mezclas amarantole-fuente proteica, se determinó una vez que los animales empleados en la prueba PER estuvieran adaptados a la dieta por evaluar. A partir de la última semana del ensayo biológico para la evaluación de la calidad de una fuente de proteína, se

recolectaron las heces en forma individual. El total de heces, se recolectó en un recipiente de vidrio; fue necesario dejar que se secan al aire libre las muestras que presentaran humedad. Una vez secas, se pesaron y molieron en mortero para obtener el material lo más homogéneo posible. Se tomó una muestra representativa para determinar la concentración de nitrógeno en heces (NF).

Cálculos

Con la concentración de nitrógeno de la dieta y de las heces, se calculó el nitrógeno ingerido (NI) y el nitrógeno fecal (NF) de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$NI = \frac{(\%N_{Dieta} \times Dieta_{ingerida})}{100}$$

$$NF = \frac{(\%N_{Heces} \times Total\ de\ heces)}{100}$$

La digestibilidad *in vivo* se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$D_a = \frac{N\ absorbido}{N\ ingerido} \times 100$$

$$D_a = \frac{NI - NF}{NI} \times 100$$

La fórmula anterior corresponde a la digestibilidad aparente (D_a), para conocer la digestibilidad verdadera se necesita contar con el nitrógeno fecal metabólico (NFM), el cual se obtuvo al determinar el contenido de nitrógeno en las heces de los animales de la dieta libre de nitrógeno (DLN), quedando definida la siguiente fórmula para su cálculo:

$$D = \text{Digestibilidad verdadera} = \frac{NI - (NF - NFM)}{NI}$$

4.7 Análisis estadístico

Para efectos del análisis estadístico, las determinaciones se realizaron por triplicado. Para el procesado de datos se utilizó el paquete SPSS versión 10.0.

Para el análisis químico y las pruebas biológicas se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA de una vía), acoplado a la prueba de comparación múltiple de Duncan con un nivel de significancia del 0.05%, el cual determina si hay diferencia entre las medias.

La prueba de preferencia se interpretó según la tabla de resultados para pruebas de dos muestras modelo unilateral con un nivel de significancia del 5% (Anzaldúa-Morales, 1994).

La prueba de ordenamiento se interpretó según el método de los totales de rangos, en el cuál se obtienen los totales de los rangos asignados a cada muestra; se asignó 1 a la muestra de menor agrado, 2 a la siguiente, y así sucesivamente hasta 5 a la de mayor agrado, posteriormente se consultó la tabla de los totales de rangos requeridos a un nivel de significancia del 5% (Anzaldúa-Morales, 1994). Se buscó en dicha tabla el número de muestras que se presentaron a los jueces para que las ordenasen y del lado izquierdo de la tabla, el número de jueces que realizaron la prueba. En la intersección se encontraron 4 números ordenados de la siguiente manera:

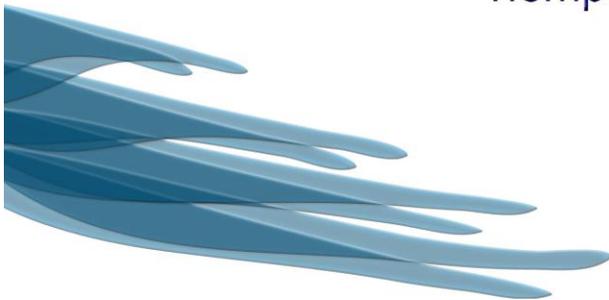
N₁ - N₂

N₃ - N₄

N_1 = Suma de rangos mínima insignificante, o sea que para cualquier total inferior a N_1 el nivel de agrado es significativamente diferente a los que están dentro del rango.

N_2 = Suma de rangos máxima insignificante, es decir, que cualquier total mayor a N_2 será significativamente diferente a los totales que estén dentro del rango [$N_1 - N_2$].

N_3 y N_4 = Límites inferior y superior de significancia, respectivamente. O sea que cualquier total inferior a N_3 es significativamente de menor agrado que los totales que sean mayores a N_4 .



5. Resultados y discusión

5.1 Selección de las mejores proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica

5.1.1 Solubilidad, incremento proteico y costo

En la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas preliminares de solubilidad, contenido teórico (calculado) de proteína y el costo aproximado de las proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica estudiadas.

Las mezclas adicionadas de proteína lacto-suero, fueron las que presentaron los mayores incrementos de proteína y una buena solubilidad, sin embargo, el costo se incrementó de manera significativa. De manera general se puede decir que las mezclas de amarantole con fuentes proteicas vegetales (AR y AG), fueron las que presentaron los contenidos de proteína más bajos, lo cual era de esperarse dado que, en relación a los alimentos de origen animal, las leguminosas (excepto la soya), presentan un contenido inferior de proteína.

De todas las mezclas estudiadas, las proporciones 80:20, excepto AS, presentaron un contenido teórico de proteína bajo, comparado con las otras proporciones bajo estudio, por lo que fueron eliminadas. Inicialmente esta proporción fue incluida con la finalidad de disminuir costos, ya que al adicionar un bajo porcentaje de fuente proteica al amarantole, el costo no se incrementaría significativamente, sin embargo, al incluir el 20% de fuente proteica de origen vegetal o animal, no se logró el incremento deseado en el contenido de proteína; es importante considerar que las fuentes proteicas de origen animal presentan costos elevados dado el proceso que conlleva su obtención.

Tabla 36. Resultados de la prueba de solubilidad, porcentaje de proteína teórico y costo aproximado de las proporciones de mezcla amarantole-fuente proteica

Mezcla	Proporción	Solubilidad	% Proteína (calculado)	Costo aproximado
AS	80:20	Buena	20.04	\$12.00
	75:25	Buena	23.89	\$13.50
	70:30	Buena	27.74	\$15.00
	60:40	Buena	35.44	\$16.80
AHS	80:20*	Buena	9.32	\$5.84
	75:25	Buena	10.49	\$5.80
	70:30	Regular	11.65	\$5.76
	60:40*	Mala	13.99	\$5.68
AR	80:20*	Regular	7.99	\$5.20
	75:25	Regular	8.83	\$5.00
	70:30	Regular	9.67	\$4.80
	60:40*	Mala	11.34	\$4.40
AG	80:20*	Regular	7.88	\$5.20
	75:25	Regular	8.69	\$5.00
	70:30	Regular	9.50	\$4.80
	60:40*	Mala	11.11	\$4.40
AL	80:20*	Buena	8.40	\$7.30
	75:25	Buena	9.34	\$7.63
	70:30	Buena	10.28	\$7.95
	60:40	Buena	12.16	\$8.60
	62.5:37.5	Buena	11.69	\$8.44
ASL	75:12.5:12.5	Buena	16.61	\$10.56
	62.5:25:12.5	Buena	18.96	\$11.38

*Proporciones eliminadas

AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AG: Amarantole-garbanzo, AL: Amarantole-leche en polvo

Las proporciones 60:40 de las mezclas con alverja (AR) y garbanzo (AG) se eliminaron debido a que se observó mala solubilidad, esto puede ser atribuido al contenido de globulinas como la legumina y la vincilina, las cuales son insolubles en agua (Ramos, 2006).

5.1.2 Análisis sensorial

5.1.2.1 Prueba de grado de satisfacción

Las proporciones de las mezclas amarantole-fuente proteica preseleccionadas se sometieron a una prueba de grado de satisfacción para conocer qué tanto agradaban o desagradaban al consumidor. Para elegir las mejores mezclas se consideró que obtuvieran por lo menos un 75% de respuestas “Me gusta”. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17.

La proporción 75:25 fue la mejor calificada por los jueces para todas las mezclas, excepto AG que no fue del agrado de los consumidores en ninguna de las proporciones estudiadas. Los comentarios aportados por los consumidores indican que las principales razones del desagrado provocado por esta mezcla fue su sabor a grasa, por lo tanto, fue eliminada para ensayos posteriores.

Para las proporciones 75:25 y 70:30 de la mezcla AL los jueces indicaron que una mayor concentración de leche mejoraría el sabor, sin embargo, la proporción 60:40, que obtuvo el 100% de respuestas “Me gusta”, presentó un claro predominio de sabor a leche en polvo por lo que tuvo que ser eliminada. Considerando lo anterior, se probó una nueva proporción (62.5:37.5) la cual también gustó al 100% de los jueces.

Tabla 17. Resultados de la prueba de grado de satisfacción. Porcentaje de respuestas “Me gusta”

Mezcla	80:20	75:25	70:30	60:40	62.5:37.5
AS	80	93.33	66.66	73.33	NA
AHS	NA	86.66	60	NA	NA
AR	NA	80	53.33	NA	NA
AG	NA	13.33	0	NA	NA
AL	NA	80	86.66	100	100

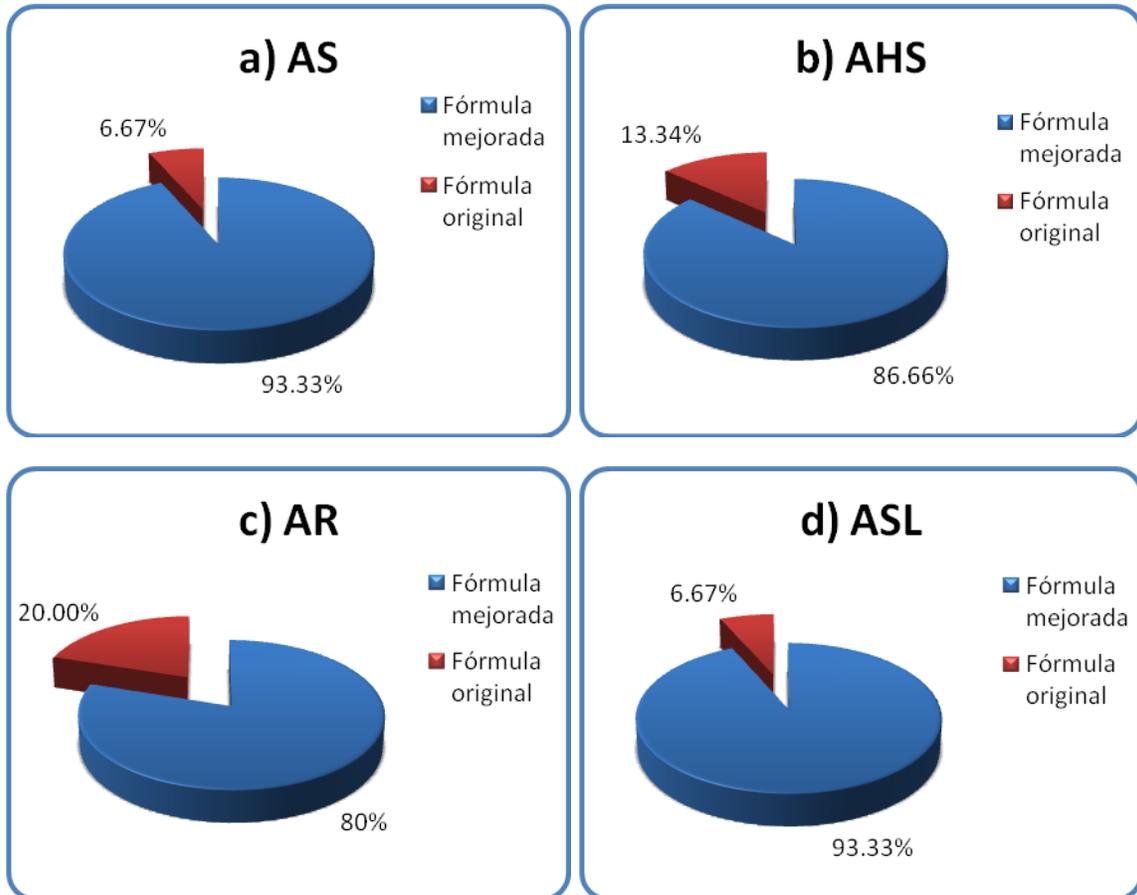
AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AG: Amarantole-garbanzo, AL: Amarantole-leche en polvo, NA: no aplica

5.1.2.2 Prueba de preferencia

Las proporciones de las mezclas amarantole-fuente proteica seleccionadas de acuerdo al agrado mostrado por los jueces fueron: 75:25 para AS, AHS y AR; 62.5:37.5 para AL y 62.5:25:12.5 para ASL. Conocido lo anterior, se aplicó una segunda prueba sensorial para conocer la preferencia de los consumidores por las mezclas amarantole-fuente proteica, comparadas con la fórmula original de la bebida a base de amaranto (amarantole). Los resultados de esta prueba, se muestran en el gráfico 1.

Los resultados obtenidos muestran que todas las mezclas fueron preferidas significativamente sobre la fórmula original (nivel de significancia del 5%). De acuerdo a lo anterior, cualquiera de las mezclas seleccionadas supera la calidad sensorial de la bebida original ya que, según la mayoría de los jueces, el sabor se mejoró. En el caso de la mezcla AL, el 100% de los jueces prefirieron dicha mezcla sobre la fórmula original.

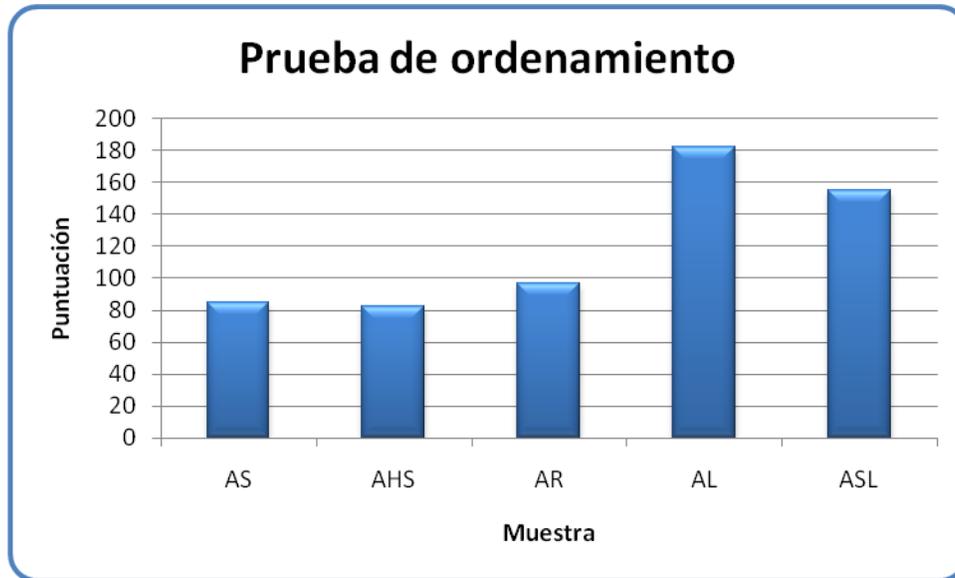
Gráfico 1. Resultados de la prueba de preferencia de las mezclas amarantole-fuente proteica: a) AS (amarantole-proteína lacto-suero), b) AHS (amarantole-harina de soya), c) AR (amarantole-alverja), d) ASL (amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero)



5.1.2.3 Prueba de ordenamiento

Una vez seleccionadas las proporciones de las mezclas de acuerdo a su preferencia por el consumidor y establecida la preferencia de las mezclas respecto a la fórmula original, se realizó una prueba de ordenamiento para determinar cuál de las mezclas era la de mayor agrado. Los resultados se muestran en el gráfico 2.

Gráfico 2. Resultados de la prueba de ordenamiento de las mezclas amarantole-fuente proteica



AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

Debido a que las tablas de totales de rangos consultadas en Anzaldúa-Morales (1994), solo reportan 19 repeticiones, se realizó un cálculo de extrapolación para obtener el bloque de 40 repeticiones:

95 - 145
103 - 138

Por lo tanto, en el primer renglón aparece el intervalo [95, 145], que significa que las mezclas AL y ASL cuyos valores quedan fuera de este rango son significativamente diferentes a AS y AHS, y a su vez, estos dos grupos son significativamente diferentes a AR.

En el segundo renglón aparece el intervalo [103, 138], lo que indicó que AS, AHS y AR, muestran la intensidad mínima de agrado, mientras que AL y ASL son significativamente de mayor agrado. Por lo tanto, la mezcla de mayor puntuación

y por consecuencia la seleccionada como de mayor agrado por el consumidor fue AL.

5.2 Caracterización química y mineral de las mezclas amarantole-fuente proteica seleccionadas

5.2.1 Caracterización química

En la tabla 18 se muestra la composición química de las mezclas amarantole-fuente proteica que fueron seleccionadas en base a las pruebas preliminares de cálculo teórico del contenido de proteína y costo, pruebas sensoriales y de solubilidad (75:25 para AS, AHS y AR; 62.5:37.5 para AL y 62.5:25:12.5 para ASL).

Tabla 18. Caracterización química de las mezclas seleccionadas expresado en porcentaje (%p/p ± D.E; n = 3)

Mezcla	Humedad	Cenizas	Grasas	Proteína	Fibra	CHO's
AS	4.00 ^a ± 0.07	1.65 ^a ± 0.02	1.17 ^a ± 0.02	22.66 ^a ± 0.09	0.46 ^b ± 0.03	70.07
AHS	2.95 ^b ± 0.24	2.39 ^b ± 0.06	1.09 ^a ± 0.09	10.07 ^b ± 0.12	3.18 ^e ± 0.06	80.32
AR	3.67 ^c ± 0.12	1.32 ^c ± 0.02	1.06 ^a ± 0.01	10.12 ^b ± 0.09	2.40 ^c ± 0.29	81.43
AL	3.26 ^d ± 0.2	2.53 ^d ± 0.09	7.02 ^b ± 0.27	12.28 ^c ± 0.12	0.71 ^d ± 0.03	74.22
ASL	3.57 ^c ± 0.08	2.52 ^d ± 0.14	4.90 ^c ± 0.20	19.53 ^d ± 0.03	1.12 ^a ± 0.09	68.37

D.E: Desviación estándar, n: numero de muestras, CHO's: Carbohidratos AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero. Superíndices diferentes dentro de la misma columna, denotan diferencia significativa a un nivel de significancia del 0.05%

Humedad

Para el contenido de humedad, el análisis estadístico realizado indicó la presencia de 4 grupos estadísticamente diferentes. Las mezclas AS y AHS presentaron el mayor y el menor porcentaje de humedad respectivamente. El porcentaje de humedad de las mezclas amarantole-fuente proteica, se encontraron dentro del límite máximo establecido por la NOM-147-SSA1-1996, la

cual indica que las harinas no deben rebasar el 15% de humedad, ya que se puede propiciar el desarrollo de bacterias y hongos que pueden alterar la calidad del producto. Con respecto a la fórmula original, la cual presenta un contenido de humedad de 3.36% (Porras, 2009) solo AHS se encuentra por debajo de este valor, las demás mezclas están por encima de este, en ambos casos se atribuye a la adición de la fuente de proteína.

Cenizas

El análisis estadístico realizado indicó la presencia de cuatro grupos de medias estadísticamente diferentes, siendo similar el contenido de cenizas en AL y ASL, lo cual se puede atribuir a la presencia de minerales provenientes de la leche en polvo. Porras (2009) reportó un valor de 1.11% de cenizas en la harina para preparar atole de amaranto (Amarantole) sabor chocolate, con esto, podemos observar que todas las mezclas presentaron un incremento en el contenido de cenizas como consecuencia de la incorporación de las distintas fuentes proteicas. Sin embargo, el contenido de cenizas de todas las mezclas se encontraron por debajo de los valores reportado por Bressani (1994), quien indicó un valor de 2.6-4.4% de cenizas en harinas de amaranto de todas las especies, lo cual se debe a que en la mezcla, la cantidad de harina de amaranto se reduce para ser sustituida por una fuente proteica.

Grasa

En cuanto al contenido de grasa, el análisis estadístico realizado reveló la presencia de 3 grupos estadísticamente diferentes, siendo similar el contenido de grasa en AS, AHS y AR, las cuales presentaron un valor por debajo del reportado por Porras (2009) para el amarantole sabor chocolate (1.37%). Esto puede ser debido a la sustitución parcial de la harina y al bajo aporte de grasa de las fuentes proteicas. Sin embargo, las mezclas AL y ASL presentaron valores más elevados debido a la grasa aportada por la leche en polvo. Todas las mezclas presentaron

contenidos de grasa inferiores al 8.8-12.1% reportado por Bressani (1994) para harina de amaranto

Proteína

Con relación al contenido de proteína, el análisis estadístico realizado reveló cuatro grupos estadísticamente diferentes, siendo similar el contenido de proteína de las mezclas AHS y AR. Porras (2009), reportó un contenido de proteína de 4.64% para el amarantole sabor chocolate, con lo que se puede observar un claro incremento en el contenido de proteína al adicionar las diversas fuentes proteicas. El incremento más significativo se encontró en las mezclas AS y ASL, las cuales se encuentran en un 20% de contenido de proteína, esto debido a la adición de un concentrado proteico (proteína lacto-suero, 81.64% proteína), con lo que se cumpliría con el requerimiento de la empresa Man-flow. Estas mezclas representan un aporte importante de proteína ya que la IDR (Ingesta Diaria Recomendada), indica un consumo de 1 g proteína/kg de peso corporal al día (Zubirán, 2001).

Por otro lado, las mezclas AHS, AR y AL, alcanzaron la mitad del porcentaje de proteína de las mezclas AS y ASL, sin embargo, incrementaron su contenido de manera significativa respecto a la fórmula original (4.64% de proteína) (Porras, 2009). Los valores encontrados para estas mezclas, resultan inferiores a los reportados por Bressani (1994) quien indicó un contenido de proteína 15.2-17.8% en la harina de amaranto, esto se puede deber a la concentración de otros ingredientes presentes en la fórmula original, los cuales no aportan únicamente proteína sino otros nutrimentos como carbohidratos.

Fibra cruda

En el análisis de fibra cruda, el análisis estadístico realizado indicó que todas las mezclas son estadísticamente diferentes. Como se esperaba, las

mezclas AHS y AR presentaron el mayor porcentaje de fibra (3.18 y 2.40%, respectivamente); esto debido a que estas mezclas cuya fuente de proteica es de origen vegetal, presentan altos valores de fibra (10.9% para la soya y 3.6% para alverja), Comparando estos valores con el 2.31% de fibra de la fórmula original de amarantole sabor chocolate, la cual presenta un valor de 2.31% de fibra (Porras, 2009), se puede concluir que en dichas mezclas no solo se incrementó el contenido de proteína, sino también el de fibra. Sin embargo, estos contenidos resultaron inferiores al 5.17% reportado por Porras (2009) para la harina de amaranto reventado, esto puede ser explicado por la presencia de otros ingredientes que constituyen la fórmula.

Carbohidratos

El contenido de carbohidratos de las mezclas realizadas, el cual fue calculado por diferencia, se encontró entre el 68 y el 81%. Estos valores son inferiores al 90.57% de carbohidratos reportados por Porras (2009) para el amarantole sabor chocolate, lo cual puede deberse a la adición de las diferentes fuentes proteicas (de origen animal y vegetal) ya que se está incorporando proteína, por lo que el contenido de carbohidratos disminuye.

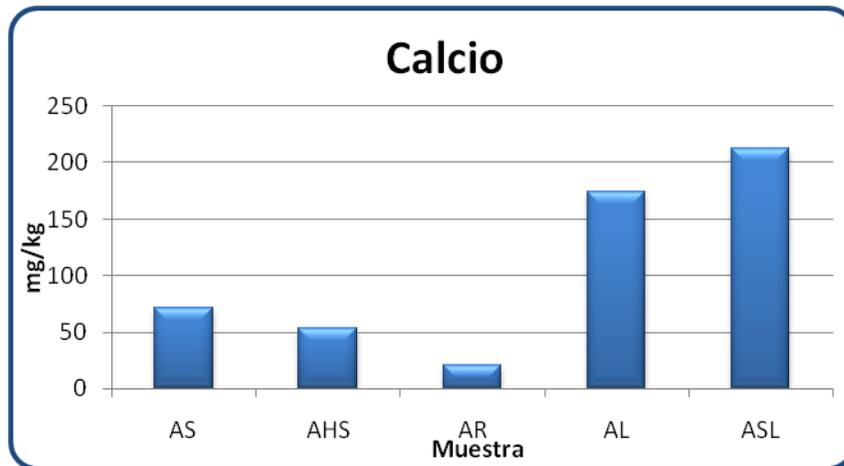
5.2.2 Caracterización mineral

Para la presentación de los resultados del análisis de minerales, estos se separaron de acuerdo a su naturaleza en macrominerales y microminerales.

5.2.2.1 Macrominerales

Los Macrominerales analizados en las muestras fueron Ca, K, Mg y Na. En el gráfico 3 se presenta el contenido de calcio en las mezclas de amarantole-fuente proteica de las proporciones seleccionadas

Gráfico 3. Contenido de calcio en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



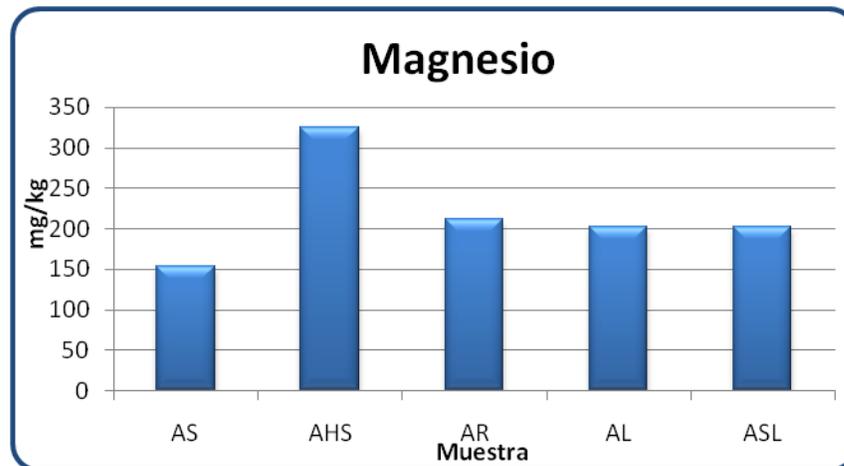
n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

El mayor contenido de calcio, se encontró en ASL seguido de AL, debido a que estas mezclas contienen una fuente proteica de origen lácteo donde destaca la leche en polvo Nido® clásica, la cual presentó un contenido de calcio de 930 mg (según etiquetado), valor cercano a la IDR que es de 1000 mg (INCMNSZ, 2001). Sin embargo, el contenido de calcio de todas las mezclas analizadas estuvo por debajo de este requerimiento, en especial en la mezcla AR que presentó el menor contenido de calcio, con lo que se puede decir de manera general que las fuentes proteicas de origen vegetal (alverja y soya), no presentan un aporte importante de este mineral.

En cuanto al magnesio (Gráfico 4), la mezcla que presentó el mayor contenido de este mineral fue AHS seguida de AR, esto se debe a que las fuentes proteicas de estas mezclas (soya y alverja) son ricas en magnesio (Bravo, 2005; Ramos, 2006). La IDR de este mineral es de 350 mg/día de magnesio (INCMNSZ,

2001), la mezcla que mejor se aproxima a este parámetro es AHS, el resto de las mezclas presentaron valores por debajo de los 215 mg.

Gráfico 4. Contenido de magnesio en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

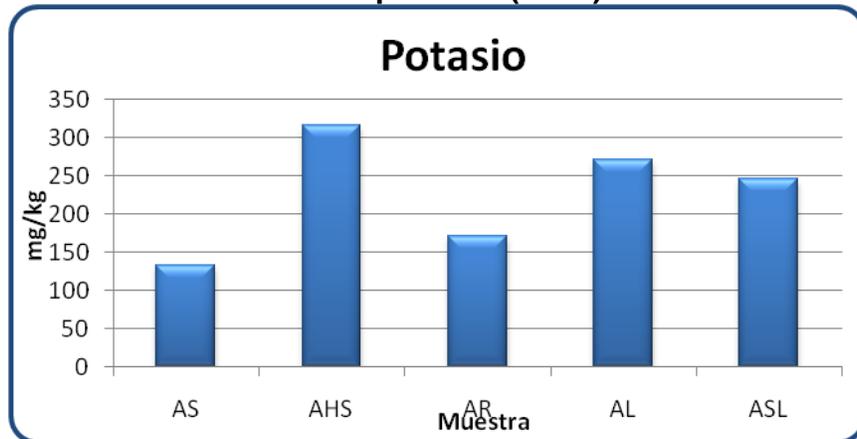
Las concentraciones de potasio obtenidas para las mezclas amarantole-fuente proteica se muestran en el gráfico 5. En general, todas las mezclas presentaron un bajo contenido de este mineral (menor a 320 mg/kg), siendo el más alto el de la mezcla AHS.

Para el potasio, no se ha establecido una IDR, ya que se encuentra en la mayoría de los alimentos, sin embargo, se ha propuesto un consumo mínimo de 2000 mg/día (INCMNSZ, 2001).

Para el sodio (Gráfico 6), los resultados obtenidos se encontraron entre los 100-400 mg/kg. Las mezclas que presentaron el mayor contenido de este mineral fueron AL y ASL, lo que puede deberse al contenido de sodio de las fuentes proteicas (500 mg/kg para el suero de leche y 350 mg/kg para la leche en polvo,

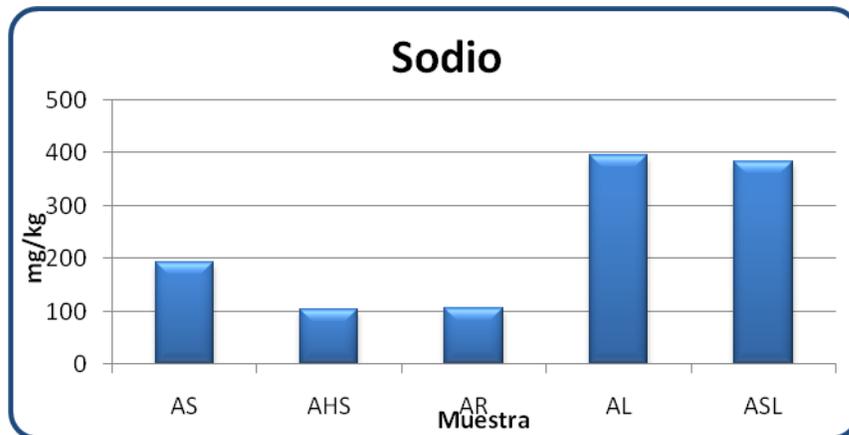
según etiquetado). Ninguna de las mezclas alcanza los requerimientos de la IDR, la cual indica un consumo de 500 a 2000 mg al día (INCMNSZ, 2001).

Gráfico 5. Contenido de potasio en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

Gráfico 6. Contenido de sodio en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)

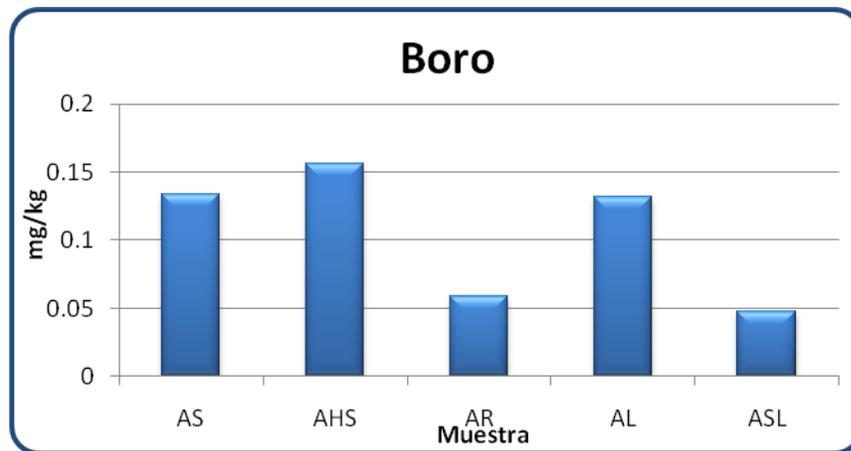


n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

5.2.2.2 Microminerales

Los minerales analizados pertenecientes a este grupo fueron: B, Cu, Fe, Mn y Zn. En el caso del Boro, las mezclas presentaron valores por debajo de 0.2 mg/kg (Gráfico 7) por lo tanto, ninguna sobrepasa la IDR, la cual establece 10 mg como máximo tolerable para un adulto (INCMNSZ, 2001).

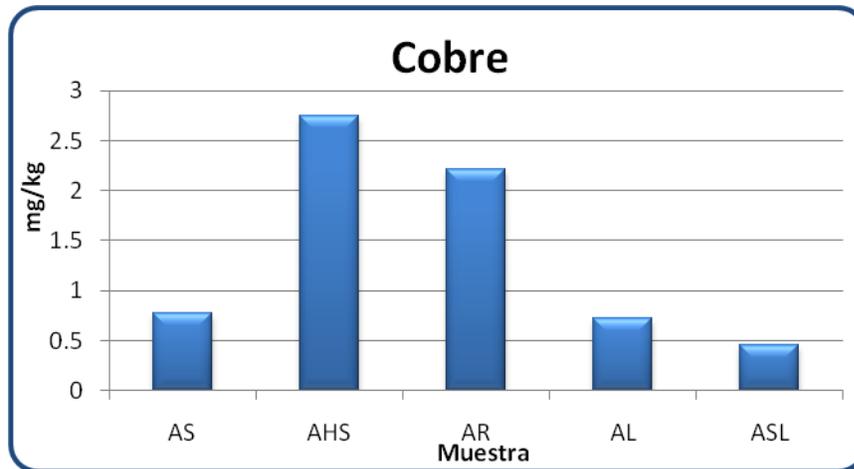
Gráfico 7. Contenido de boro en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

Para el cobre, se indican 2 mg como IDR (INCMNSZ, 2001). Las mezclas AS, AL y ASL presentaron contenidos inferiores a este parámetro (Gráfico 8), sin embargo, las mezclas AHS y AR, sobrepasaron estos requerimientos, lo cual se podría deber a que la planta y específicamente los granos hayan absorbido una elevada cantidad del mineral durante su cultivo por efecto de la temperatura (Dominguez, 1989), esto podría ser perjudicial en la dieta del ser humano, ya que el cobre en grandes cantidades conduce a hepatitis, problemas renales y cerebrales principalmente (Trumbo, 2001).

Gráfico 8. Contenido de cobre en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)

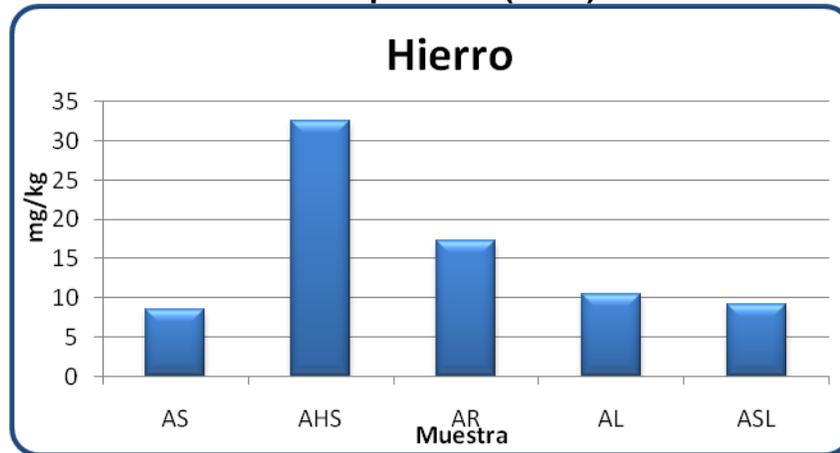


n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

Para el hierro (Gráfico 9) se establece una IDR de 10-15 mg al día en niños y 10 mg para adultos (INCMNSZ, 2001). La mezcla AL, se ajusta a este parámetro. Sin embargo, en las mezclas con las fuentes proteicas de origen vegetal, se sobrepasó este valor debido al alto contenido de hierro que presentan ambas leguminosas (Bravo, 2005; Ramos, 2006). Cabe mencionar que el hierro en exceso conduce a su bioacumulación en el hígado, lo cual puede llevar a desarrollar enfermedades como la diabetes mellitus (Trumbo, 2001).

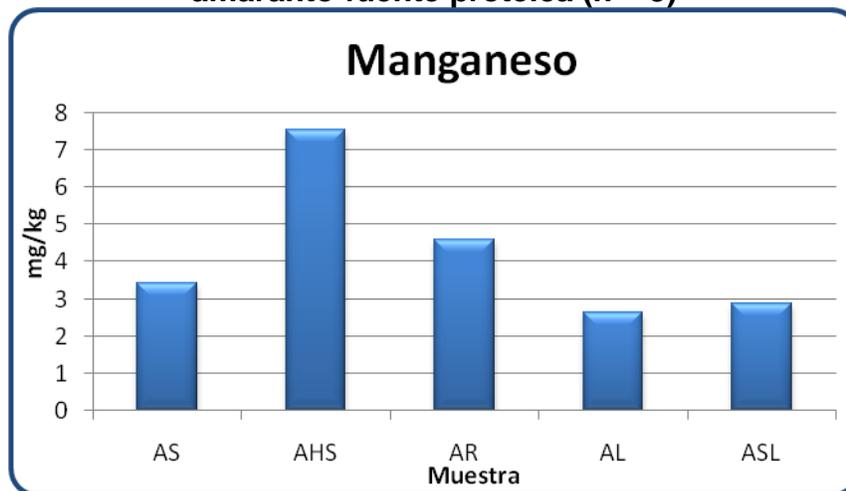
En el caso del manganeso, todas las muestras sobrepasaron la IDR, de 2.5 mg al día (INCMNSZ, 2001) (Gráfico 10). Los valores más elevados encontrados fueron para AHS y AR, debido a que la soya y la alverja, pueden presentar altas concentraciones de este mineral (Bravo, 2005; Ramos, 2006), sin embargo, no se han demostrado efectos adversos por el consumo excesivo de Mn (Trumbo, 2001).

Gráfico 9. Contenido de hierro en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

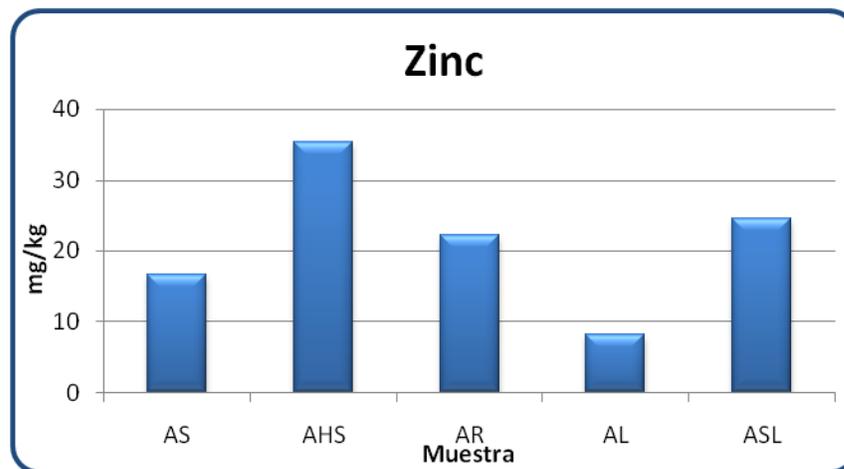
Gráfico 10. Contenido de manganeso en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

El zinc, es un micromineral muy importante, ya que interviene en el metabolismo de las proteínas, estimulando la actividad de algunas enzimas proteolíticas, entre otras funciones; colabora en el rendimiento del sistema inmunológico, interviene en las percepciones del gusto y del olfato y en la síntesis de proteínas (Hotz, 2004). La IDR, reporta un valor de 15 mg de zinc al día (INCMNSZ, 2001). La mezcla que se encuentra cerca de este parámetro es AS (Gráfico 11). Las mezclas AHS, AR y ASL, sobrepasaron este valor; el valor encontrado para AHS podría ser alarmante, ya que cuando se alcanzan los 50 mg al día de zinc, presenta toxicidad, alterando las enzimas que intervienen en el metabolismo del cobre y zinc (Hotz, 2004).

Gráfico 11. Contenido de zinc en las mezclas de la bebida de amaranto-fuente proteica (n = 3)



n: número de muestras, AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo, ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

5.2.2.3 Metales pesados

Los metales pesados no tienen función biológica, pero presentan la propiedad de la bioacumulación y pueden causar efectos tóxicos. En este estudio se analizaron tres de estos metales: cadmio, plomo y níquel. La muestra que

contiene la mezcla con la alverja presentó 9.09 mg/kg de concentración de plomo. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, esta muestra presenta una contaminación por plomo significativa, ya que establece un límite máximo de plomo de 0.5 mg/kg en cereales, harinas y derivados. Para las demás muestras solo se encontraron valores por debajo del límite de detección para los tres metales analizados.

5.3 Determinación de la calidad de la proteína de las mezclas amarantole-fuente proteica

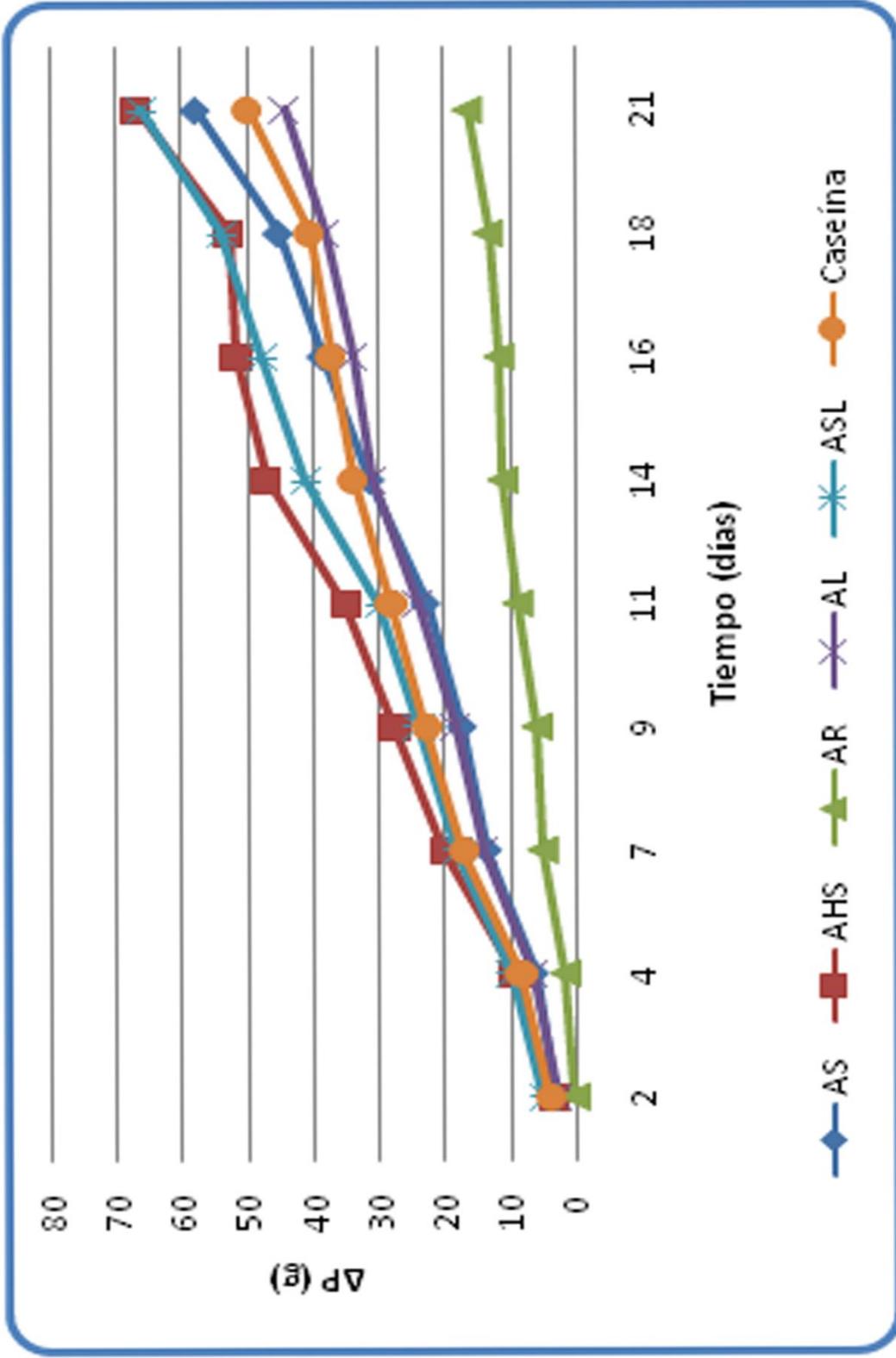
5.3.1 Prueba de PER

En el gráfico 12, se presentan las curvas de crecimiento de las ratas alimentadas con las dietas de las mezclas amarantole-fuente proteica seleccionadas en comparación con la dieta de referencia (caseína).

Las ratas alimentadas con las dietas que contienen a las mezclas AHS y ASL, presentaron un incremento de peso estadísticamente similar (67.08 ± 6.35 y 66.25 ± 10.66 , respectivamente), con estas dietas se observaron los incrementos en peso más elevados de todo el estudio, incluso superior al incremento de peso de los animales alimentados con la dieta de referencia (50.05 ± 4.67). Durante los primeros 11 días, la ganancia de peso de los animales alimentados con la dieta de la mezcla ASL, fue muy similar a la de los animales alimentados con la dieta de referencia, lo cual se atribuye a que ASL, tenía una mayor concentración de fenilalanina y lisina (anexo 2).

Los animales alimentados con la dieta de la mezcla AS, también presentaron un incremento de peso superior (57.92 ± 4.27) a las ratas alimentadas con la dieta de referencia, sin embargo, durante los primeros 15 días de experimentación, la curva de crecimiento estuvo por debajo de la dieta de referencia, lo que podría deberse a que AS, contenía una menor concentración de leucina y valina (anexo 2).

Gráfico 12. Incremento del peso en ratas alimentadas con las mezclas amarantole-fuente proteica



Muestras: AS: Amarantole-proteína lacto-suero, AHS: Amarantole-harina de soja, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche
ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

Por otro lado, las ratas alimentadas con las mezclas que contenían a las mezclas AR y AL, presentaron una ganancia de peso inferior (16.45 ± 2.35 y 44.32 ± 6.09 , respectivamente) a la dieta de referencia, siendo AR la que presentó el menor incremento de peso de animales de todas las dietas ensayadas, estas ratas presentaron pelo opaco y comportamiento nervioso, lo cual se debe a que la proteína es de calidad deficiente en cuanto a que no contiene todos los aminoácidos esenciales a pesar de haber realizado una mezcla cereal-leguminosa donde habría una complementación de aminoácidos (Soriano, 2006).

En la tabla 19, se muestran los datos del PER ajustado para las dietas de las mezclas realizadas, así como para la dieta control.

Tabla 19. PER ajustado de las mezclas amarantole-fuente proteica ($PER_{ajustado} \pm D.E$; n = 3)

Dieta	PER ajustado	CV
Caseína	$2.50^a \pm 0.18$	5.67
AS	$3.26^b \pm 0.25$	6.09
AHS	$2.61^{a,c} \pm 0.12$	3.69
AR	$1.70^e \pm 0.26$	11.95
AL	$2.72^c \pm 0.21$	6.05
ASL	$3.05^d \pm 0.26$	6.62

D.E: Desviación estándar, n: numero de muestras, AS: Amarantole-suero de leche, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo y ASL: Amarantole-suero de leche-leche en polvo. Letras distintas denotan diferencia significativa con nivel de significancia de 0.05%

El análisis estadístico realizado reveló la presencia de cinco grupos estadísticamente diferentes. Todas las mezclas, a excepción de la dieta con la mezcla AR, presentaron valores superiores a la dieta de caseína lo cual se debió a la disponibilidad de aminoácidos, ya que al parecer, con la adición de las diferentes fuentes proteicas se logró un buen balance de aminoácidos esenciales, lo cual se reflejó en la ganancia de peso de los animales. Esto también fue

confirmado por el cálculo teórico de la composición de aminoácidos a partir de la cantidad adicionada de fuentes proteicas (anexo 2).

En la dieta con la mezcla AS, se obtuvo un valor similar al reportado por la FAO (Fries et al, 1991) para un concentrado de la proteína del suero de leche (PER 3.2). AS presentó el valor más alto de PER de todo el experimento, el cual tiene una mayor concentración de triptófano, lisina y fenilalanina (anexo 2) al igual que la mezcla ASL, pero en menor proporción. El valor de 3.05 de PER ajustado para ASL se explica por la calidad de la proteína del suero.

La mezcla de AHS, fue estadísticamente similar a la dieta de referencia y a la mezcla AL, aunque en esta se pudo observar un impulso del crecimiento mayor de las ratas, sin embargo, el valor de PER ajustado encontrado no fue tan alto como el de AS, esto se puede atribuir a que la dieta fue preparada al 9% de proteína; por otro lado, no hay diferencia significativa entre AHS y la dieta de referencia (caseína), ya que la composición aminoacídica es muy similar, aunque AHS contiene una mayor concentración de fenilalanina (anexo 2). Según la FAO (Fries et al, 1991), la harina de soya tiene un valor de PER ajustado de 2.2, valor que resulta cercano al determinado en este estudio, lo que podría indicar que en esta mezcla la proteína se complementó, de modo que su composición de aminoácidos se asemeja más a los de la proteína ideal propuesta por la FAO.

El análisis estadístico mostró que la mezcla AL es diferente a la dieta de referencia, pero no de la dieta de AHS, lo cual se puede deber principalmente a que su concentración de fenilalanina era un poco más alta (anexo 2). El valor de PER ajustado encontrado para la leche en polvo fue de 3.14, mientras que en la mezcla AL fue de 2.72, sin embargo, es una mezcla que también se asemeja a la proteína ideal por su composición de aminoácidos.

La dieta con la mezcla AR mostró el menor valor de PER ajustado, y con ello, una menor calidad de proteína con respecto a la dieta de referencia y a las demás mezclas analizadas, lo cual se puede atribuir a que la dieta fue preparada

al 9% de proteína. Aunque no se conoce la concentración de todos los aminoácidos de la alverja, el PER está por debajo del de la dieta de referencia por que la concentración de aminoácidos no alcanza los requerimientos mínimos de la proteína ideal. Por otro lado, Gutiérrez y Lozano (2008), reportó la presencia de ácido fítico (1.36%) en la harina de amaranto reventado, lo que al parecer podría afectar la absorción de minerales, repercutiendo de manera importante en el crecimiento de los animales de estudio.

5.3.2 Digestibilidad

Los valores de digestibilidad “*in vivo*” para las mezclas analizadas, se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Valores de la digestibilidad “*in vivo*” de las mezclas amarantole-fuente proteica (Digestibilidad ± Desviación estándar, n = 3)

Dieta	Digestibilidad “ <i>in vivo</i> ”
Caseína	91.28 ^a ±1.80
AS	88.19 ^{a,b} ±0.89
AHS	79.60 ^c ±1.70
AR	70.27 ^d ±4.36
AL	79.48 ^c ±2.89
ASL	86.07 ^b ±2.77

D.E: Desviación estándar, n: numero de muestras, AS: Amarantole-suero de leche, AHS: Amarantole-harina de soya, AR: Amarantole-alverja, AL: Amarantole-leche en polvo y ASL: Amarantole-suero de leche-leche en polvo. Letras distintas denotan diferencia significativa con nivel de significancia de 0.05%

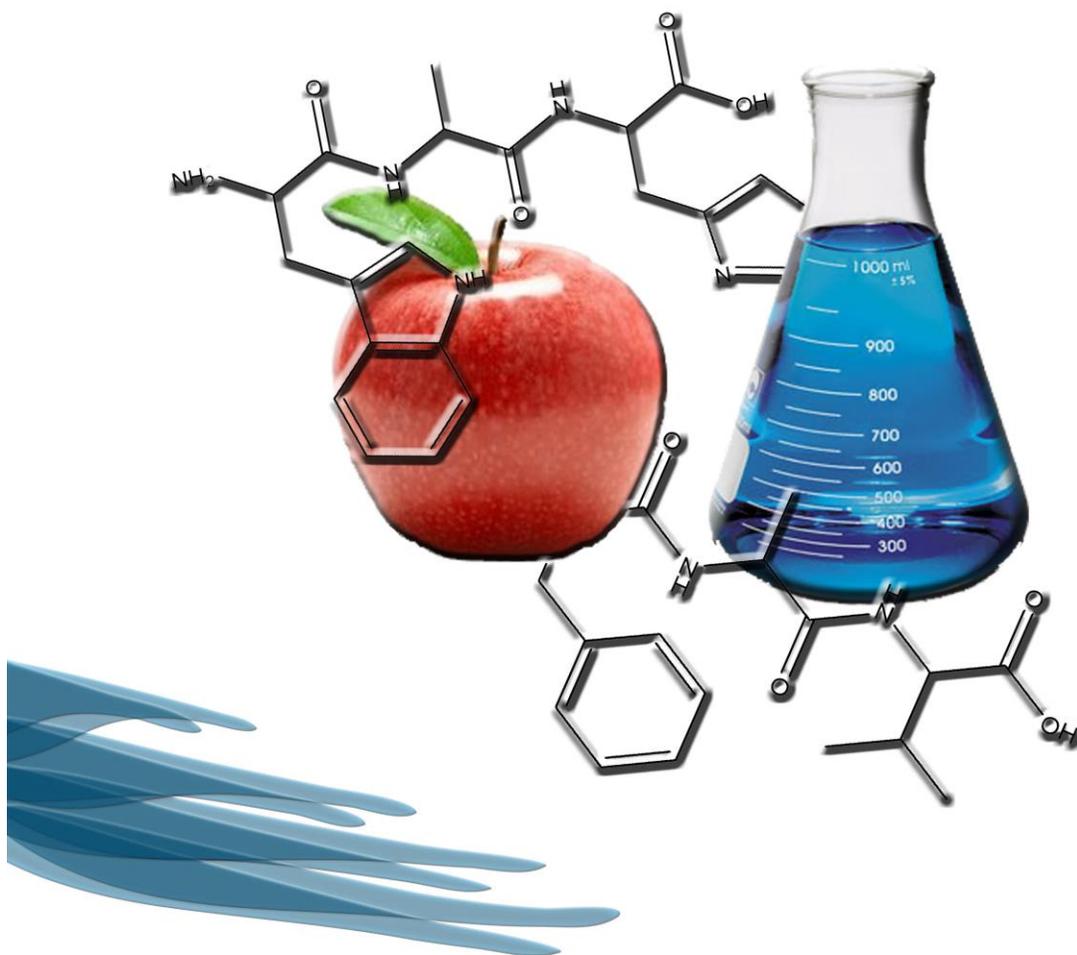
El análisis estadístico realizado, reveló cuatro grupos estadísticamente diferentes. La dieta de referencia a base de caseína presentó la digestibilidad más alta, aunque ésta fue similar a la mostrada por AS y ASL, de las muestras analizadas, estas dos mezclas fueron las de mayor digestibilidad, lo cual es debido a que la fuente de proteína de estas mezclas (proteína lacto-suero) es de alta

biodisponibilidad, además de que por contener una fuente de proteína de origen animal, el contenido de fibra se reduce en la mezcla, lo que hace que se pueda aprovechar en mayor proporción.

Las mezclas AHS y AR, que contenían fuentes proteicas de origen vegetal, presentaron una menor digestibilidad, lo cual se puede explicar porque las fuentes proteicas incrementan el contenido de fibra (Tabla 18) y porque algunas proteínas por su naturaleza, son resistentes al ataque de enzimas proteolíticas, además de que algunas son insolubles en agua como las proteínas denominadas globulinas (legumina y vincilina), de igual manera, las leguminosas contienen inhibidores de tripsina y lectinas (Ramos, 2006). Las fuentes proteicas utilizadas presentaron valores de digestibilidad de 84 para la harina de soya y 82 para la alverja (Fries et al, 1991), lo cual explica los resultados obtenidos.

La mezcla AL fue estadísticamente similar a AHS a pesar de que las proporciones de las fuentes proteicas fueron diferentes, sin embargo, la digestibilidad pudo haberse afectado al igual que en las demás mezclas, por la posible presencia de tóxicos como el ácido fítico que puede presentar la harina de amaranto (Gutiérrez y Lozano, 2008). Lo cual podría explicar que la digestibilidad no sea similar a la digestibilidad de la leche que es de 94 (Fries et al, 1991).

Conclusiones



6. Conclusiones

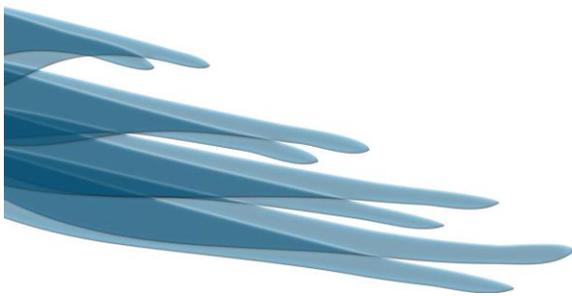
La mezcla amarantole-leche en polvo, presentó ventajas nutricionales, no solo por su contenido de proteína, sino también por su aporte de grasas y carbohidratos, además de ser la mezcla de mayor agrado para los consumidores, sin embargo, presenta la desventaja del incremento del costo en este producto.

La caracterización mineral indicó que las fuentes proteicas de origen animal, presentaron un mejor perfil de minerales en combinación con el amarantole comparadas con las de origen vegetal.

En general, todas las fuentes de proteína empleadas tuvieron la capacidad de impulsar el crecimiento de los animales durante la prueba biológica realizada, lo que indicaría que en dichas mezclas se logró una buena calidad proteica.

La mezcla con la proteína lacto-suero fue la que presentó la mejor digestibilidad. Sin embargo, en las mezclas adicionadas con proteínas de origen vegetal la digestibilidad se vio afectada debido en parte a la biodisponibilidad de las proteínas y al contenido de fibra.

Bibliografía



7. Bibliografía

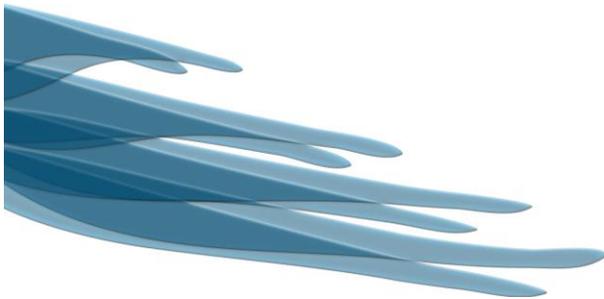
- ✓ **Adrian J., Potus J., Poiffait A. y Dauvillier P.** Análisis nutricional de los alimentos. Acribia : España, 2000. Págs. 247-262.
- ✓ **Alejandro I. G. y Gómez L. F.** Cultivo de amaranto en México. Publicaciones Universidad Autónoma de Chapingo, departamento de zonas áridas : Chapingo, México , 1996.
- ✓ **Anzaldúa-Morales A.** La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Acribia : España, 1994.
- ✓ **AOAC.** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Published by AOAC, Inc. Helrich K : Arlington, 1990. 15th edition : Vol. I y II.
- ✓ **AOAC.** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Hoewitz : Gasthersburg, 2000. 17th edition : Vol. II.
- ✓ **Badui D. S.** Química de los alimentos. Pearson : México, 2006.
- ✓ **Bravo E.** Soya. Instrumento del control de la agricultura y la alimentación. HIVOS : Ecuador, 2005.
- ✓ **Bressani R.** Composition and nutritional properties of amaranth. In: Amaranth biology, chemistry and technology. Paredes L.O. (editor). Instituto Politécnico Nacional, Irapuato, México, 1994.
- ✓ **Carey F. A.** Química orgánica. Mc Graw Hill : España, 1999. 3^o edición.
- ✓ **Collazos C.** Tablas peruanas de composición de alimentos. Ministerio de salud : Perú, 1996.
- ✓ **De Luna J. A.** Valor nutritivo de la proteína de soya. investigación y ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes : Aguascalientes, México, 2006. Vol. 18.
- ✓ **Del Valle F. R.** Nutritional quality of soy protein as affected by processing. Published by University of Massachusetts : Massachusetts, USA, 1981.
- ✓ **Domínguez V. A.** Los microelementos en la agricultura. Mundi-Prensa : Madrid, 2001.
- ✓ **FAO/WHO.** Protein quality evaluation. Report of a join FAO/WHO Expert consultation. IFA : Rome, 1990 [En línea]. Consultado el 18 de enero del 2009. Disponible en: www.who.int

- ✓ **FAO/WHO.** Protein quality evaluation. Report of a joint FAO/WHO Expert consultation. IFA : Rome, 1990 [En línea]. Consultado el 25 de enero del 2009. Disponible en: www.who.int
- ✓ **FAO/WHO.** Expert consultation on Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint WHO/FAO expert consultation : Geneva , 2003 [En línea]. Consultado el 10 de enero del 2009. Disponible en: www.who.int
- ✓ **Fries A. M., Morón C., Pérez A. M. y Rocero M. E.** Manual sobre la utilización de cultivos andinos subexplotados en la alimentación. FAO : Santiago, Chile, 2001.
- ✓ **Gatel F.** First european conf. on grain legumes. Angers : Francia, 1992.
- ✓ **Gordillo E. M.** El garbanzo, una alternativa para el secano. Henderson : México, 1991.
- ✓ **Gutiérrez R. J. F. y Lozano G. S.** Mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la fórmula comercial de una bebida a base de amaranto. Tesis de licenciatura. Química en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, 2008.
- ✓ **Hernández C. V.** Empresas y empresarios, negocios de familia, 2009 [En línea]. consultado el 19 de Enero de 2009. Disponible en: http://empresarios.mundoejecutivo.com.mx/articulos.php?id_sec=21&id_art=2127.
- ✓ **Hotz C. y Brown H. K.** Assessment of the risk of zinc. Deficiency in populations and options for its control. Published by university of Massachusetts : Massachusetts : USA, 2004.
- ✓ **Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubiran.** Ingestión Diaria Recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas y nutrimentos inorgánicos para la población mexicana, 2001.
- ✓ **Latham M. C.** Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Publicaciones de la Universidad de Cornell : Nueva York, 2002.

- ✓ **Lehninger A. L.** Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular. Omega, S.A.: Barcelona, 1982. 2ª edición.
- ✓ **Linder M. C.** Nutrición, aspectos bioquímicos, metabólicos y clínicos. EUNSA : California, 1988.
- ✓ **Manrique L. B.** Explotación estratégica del recurso amaranto en México. Publicaciones de proyectos agropecuarios S.P.R de R.S : México, D.F., 2007.
- ✓ **Mexicana Norma Oficial.** NOM-147-SSA1-1996. Bienes y servicios, cereales y sus productos, harinas de cereales, semolas y semolinas. Alimentos a base de semillas comestibles, harinas, semolas o semolinas y sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones.
- ✓ **Moltó J.C.** Proteínas. En: nutrición básica humana. Publicaciones Universidad de Valencia : Valencia , 2006. Págs. 99-116.
- ✓ **Pérez E., Bahnassey Y. y Breene W. M.** Algunas características químicas y propiedades funcionales del almidón de *amaranthus hypochondriacus*. Publicaciones de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos : Caracas Venezuela, 1991.
- ✓ **Porras M. G.** Propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de harinas para preparar atole a base de amaranto. Tesis de licenciatura. Química en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, 2009.
- ✓ **Ramos M. E.** Utilización de diversas leguminosas grano, Análisis de su valor nutritivo. Publicaciones de la Universidad de Granada : Granada, 2006.
- ✓ **Robinson D.S.** Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos. Acribia : España, 1991. Págs. 109-141.
- ✓ **Sagarpa.** Servicio de información agroalimentaria y pesquera [En línea]. 2007. 28 de Enero de 2009. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ventana.php?idLiga=1043&tipo=1>.

- ✓ **Sarwar G. y Laughlan J.** Relative net protein ratio methods for evaluating protein quality. 1981.
- ✓ **Soriano C. J.** Conceptos y evolución histórica de la nutrición. Publicaciones Universidad de Valencia : Valencia, 2006. Págs. 23-36.
- ✓ **Suárez L. M., Kizlansky A. y López L.** Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. Publicaciones Universidad de Valencia : Valencia, 2006. Vol. 21.
- ✓ **Suárez-Ramos G.** Ontogenia de la semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L. (alegría). Publicaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México : México, 1991.
- ✓ **Swaigood H.E. y Catignani G.L.** Protein digestibility: in vitro methods of assessment. Adv. Food Nutr. Res : New York, 1991.
- ✓ **Trumbo J.** Importancia de los minerales en la nutrición humana. Publicaciones Universidad de Valencia : Valencia, 2001

Amexos



Anexo I. Fichas de cata utilizadas en el análisis sensorial

Prueba de grado de satisfacción

Producto: Atole a base de amaranto	
Edad: _____	Sexo: M F
Pruebe la muestra que se le presenta e indique cual es su agrado	
Me gusta	_____
Ni me gusta ni me disgusta	_____
Me disgusta	_____
Comentarios: _____ _____	
¡Gracias!	

Producto: Atole a base de amaranto	
Edad: _____	Sexo: M F
Pruebe las dos muestras que se le presentan de izquierda a derecha y escriba el código de la muestra que prefiere.	
Prefiero la muestra: _____	
Comentarios: _____ _____	
¡Gracias!	

Prueba de preferencia

Prueba de ordenamiento

Producto: Atole a base de amaranto

Edad: _____ Sexo: M F

Por favor pruebe las 5 muestras que se le presentan de izquierda a derecha y de atrás hacia adelante. Coma un pedazo de galleta y beba agua entre cada muestra. Acomódelas de acuerdo a su agrado.

Escriba el número de la clave de cada muestra

Mayor agrado _____

Menor agrado _____

Comentarios:

¡Gracias!

Anexo II. Incremento de peso de las ratas alimentadas con las dietas amarantole-fuente proteica

Incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta AS

AS									
Tiempo (días)	2	4	7	9	11	14	16	18	21
Incremento de peso acumulado (g)	3.40	6.45	13.58	17.40	22.87	31.38	38.62	45.28	57.92
Desviación estándar	0.88	0.63	1.85	2.09	2.46	2.34	3.14	4.05	4.27

AS: Amarantole-proteína lacto-suero

Incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta AHS

AHS									
Tiempo (días)	2	4	7	9	11	14	16	18	21
Incremento de peso acumulado (g)	3.67	9.45	20.20	27.90	35.15	47.32	51.90	53.07	67.08
Desviación estándar	1.87	1.44	1.80	2.47	4.51	4.11	5.41	8.70	6.35

AHS: Amarantole-harina de soya

Incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta AR

AR									
Tiempo (días)	2	4	7	9	11	14	16	18	21
Incremento de peso acumulado (g)	0.43	1.88	5.23	6.12	8.95	11.15	11.72	13.38	16.45
Desviación estándar	1.05	1.16	1.44	1.39	2.35	2.22	2.71	2.80	2.35

AR: Amarantole-alverja

Incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta AL

AL									
Tiempo (días)	2	4	7	9	11	14	16	18	21
Incremento de peso acumulado (g)	2.83	6.58	14.20	18.50	24.17	31.10	33.85	38.18	44.32
Desviación estándar	0.88	1.16	2.27	4.65	5.16	6.18	6.03	6.94	6.09

AL: Amarantole-leche en polvo

Incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta ASL

ASL									
Tiempo (días)	2	4	7	9	11	14	16	18	21
Incremento de peso acumulado (g)	4.97	9.90	18.18	24.02	29.77	41.32	47.83	54.00	66.25
Desviación estándar	1.06	2.06	3.97	5.27	6.21	8.04	8.30	10.94	10.66

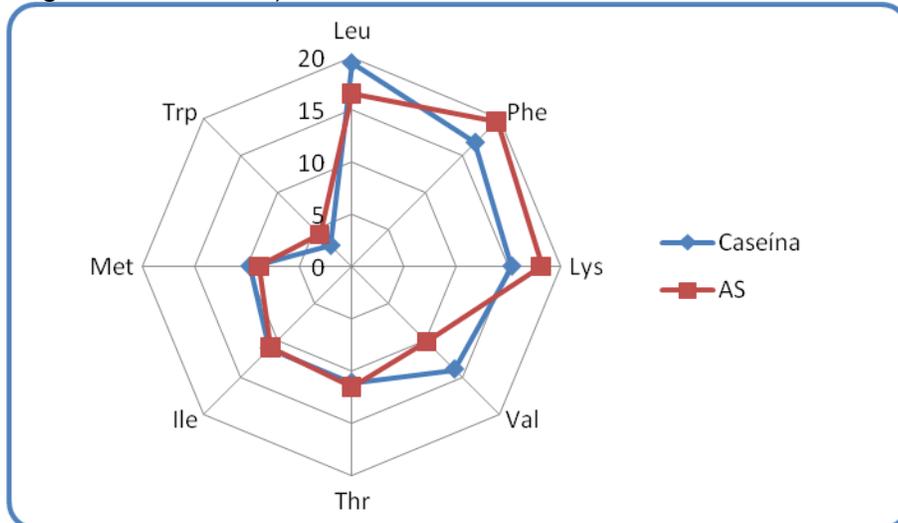
ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero

Incremento de peso de las ratas alimentadas con la dieta de caseína

Caseína									
Tiempo (días)	2	4	7	9	11	14	16	18	21
Incremento de peso acumulado (g)	3.93	8.40	17.12	22.85	28.18	34.10	37.37	40.67	50.05
Desviación estándar	1.54	2.00	2.54	3.54	4.40	5.32	5.32	4.48	4.67

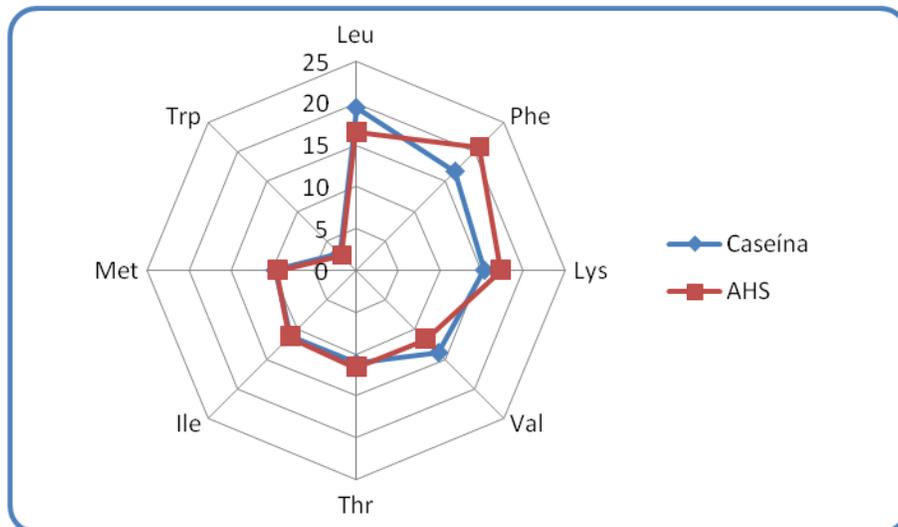
Anexo III. Cálculo teórico de la composición de aminoácidos esenciales en las mezclas amarantole-fuente proteica

Composición de aminoácidos esenciales de la mezcla AS y de la proteína ideal (g/100 g de aminoácido)



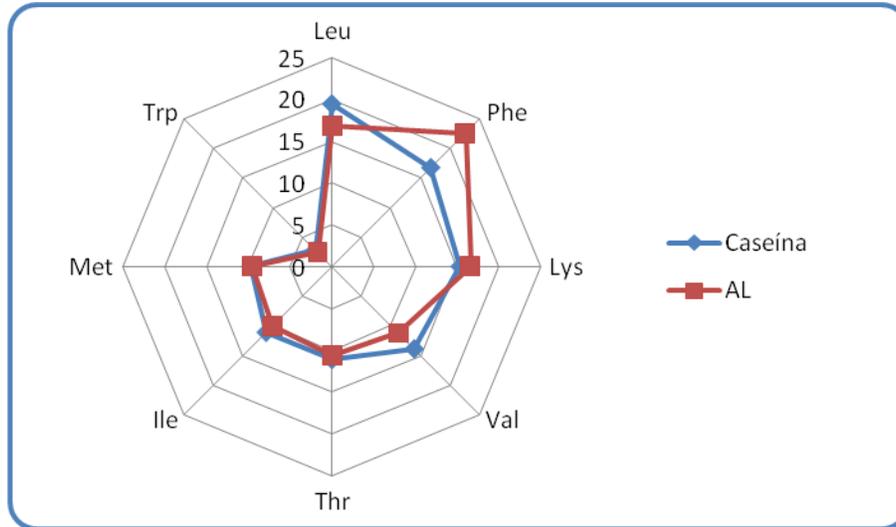
AS: Amarantole-proteína lacto-suero; Leu: Leucina, Phe: Fenilalanina, Lys: Lisina, Val: Valina, Thr: Treonina, Ile: Isoleucina, Met: Metionina, Trp: Triptófano

Composición de aminoácidos esenciales de la mezcla AHS y de la proteína ideal (g/100 g de aminoácido)



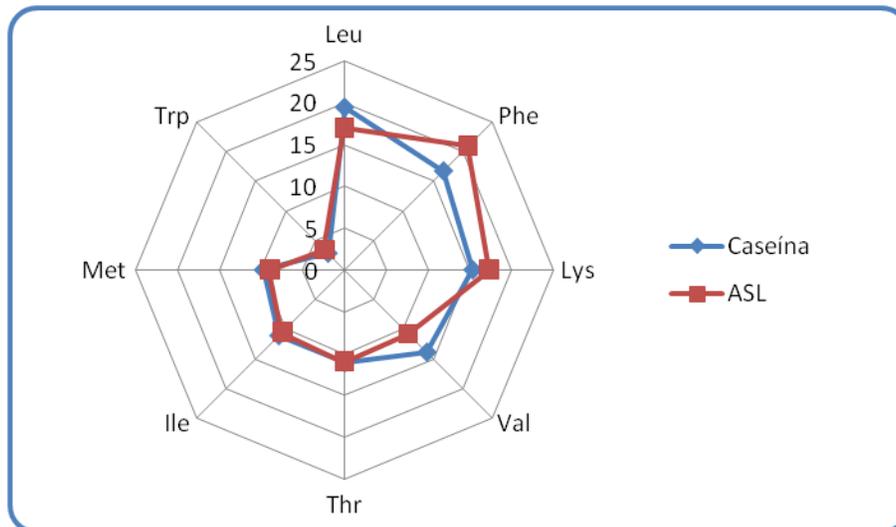
AHS: Amarantole-harina de soya; Leu: Leucina, Phe: Fenilalanina, Lys: Lisina, Val: Valina, Thr: Treonina, Ile: Isoleucina, Met: Metionina, Trp: Triptófano

Composición de aminoácidos esenciales de la mezcla AL y de la proteína ideal (g/100 g de aminoácido)



AL: Amarantole-leche en polvo; Leu: Leucina, Phe: Fenilalanina, Lys: Lisina, Val: Valina, Thr: Treonina, Ile: Isoleucina, Met: Metionina, Trp: Triptófano

Composición de aminoácidos esenciales de la mezcla ASL y de la proteína ideal (g/100 g de aminoácido)



ASL: Amarantole-leche en polvo-proteína lacto-suero; Leu: Leucina, Phe: Fenilalanina, Lys: Lisina, Val: Valina, Thr: Treonina, Ile: Isoleucina, Met: Metionina, Trp: Triptófano