

**COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE DE LA FRACCIÓN
PROTEICA Y ENERGÉTICA DE LOS PRINCIPALES INGREDIENTES
UTILIZADOS PARA JUVENILES DE CARPA ROJA *Cyprinus carpio*
*haematopterus***

JORGE DARIO DUQUE ERAZO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
SAN JUAN DE PASTO, COLOMBIA**

2006
**COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE DE LA FRACCIÓN
PROTEICA Y ENERGÉTICA DE LOS PRINCIPALES INGREDIENTES
UTILIZADOS PARA JUVENILES DE CARPA ROJA *Cyprinus carpio*
*haematopterus***

JORGE DARIO DUQUE ERAZO

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título
de Ingeniero en Producción Acuícola**

Presidente:

DALTON JOSÉ CARNEIRO
Biólogo, M.Sc., Ph.D

Copresidente:

ÁLVARO JAVIER BURGOS ARCOS
Zootecnista, Esp., M.Sc. (C)

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA

**SAN JUAN DE PASTO, COLOMBIA
2006**

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor ”.

Artículo 1º del Acuerdo No 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

ÁLVARO JAVIER BURGOS ARCOS.
Copresidente de Tesis

SANDRA ESPINOSA NARVAEZ.
Jurado Delegado

JORGE NELSON LOPEZ.
Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre 21 del 2006.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

DALTON JOSE CARNEIRO	PhD. Biólogo., M.sc. Director CAUNESP, (LANOA)
CAMILA ANTONIO	M.sc. Zoot. Investigadora CAUNESP, (LANOA)
ALVARO BURGOS ARCOS	M.sc. Zoot., Esp. Profesor facultad de Ciencias Pecuarias Universidad de Nariño
SANDRA ESPINOZA NARVAEZ	Tec. Química., Ing. En producción Acuícola
JORGE NELSON LOPEZ	PhD. M.Vz. Director Ingeniería en Producción Acuícola
MARCO ANTONIO IMUEZ	Zoot., Esp. Profesor facultad de Ciencias Pecuarias Universidad de Nariño
ADRIANA PATRICIA MUÑOZ	PhD. Zoot., Profesora Universidad Nacional de Colombia
CAMILO GUERRERO ALVARADO	PhD. Zoot., Investigador CAUNESP
EDUARDO GIANNINI ABIMORAD	PhD. Zoot., Investigador CAUNESP
ANA PAULA GUERRELHAS TEIXEIRA	M.sc. Zoot., Investigadora CAUNESP
CLEUJOSI DA SILVA	M.sc. Zoot., Investigadora CAUNESP
CLAUCIA HONORATO	PhD. Bio., Investigadora CAUNESP
“JAPINHA”	Hacienda de Peces Ornamentales Espelho d” Agua Araraquara SP.
GUSTAVO CERICATO	M.sc. Bio., Investigador CAUNESP

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	20
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1 RESEÑA DE LA ESPECIE	23
4.2 TAXONOMIA CARPA ROJA	25
4.3 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS	25
4.4 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA ESPECIE EVALUADA	26
4.5 PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS BRASILERAS PARA ACUACULTURA	26
4.5.1 Alimentos de origen animal	26
4.5.1.1 Harina de pescado	26
4.5.1.2 Harina de vísceras de aves	28
4.5.1.3 Harina de carne y harina de carne - huesos	29
4.5.1.4 Harina de sangre	30
4.5.1.5 Harina de plumas hidrolizadas	31
4.5.2 Alimentos de origen vegetal	31

4.5.2.1 Harina de soya – soya integral	32
4.5.2.2 Maíz	33
4.5.2.3 Harina de trigo	34
4.5.2.4 Harina de algodón	35
4.5.2.5 Harina de gluten de maíz	36
4.5.2.6 Harina de maní	37
4.5.2.7 Sorgo	38
4.5.2.8 Harina de arroz	38
4.5.2.9 Levadura de alcohol de caña	39
4.6 LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS PECES	40
4.7 DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS PARA PECES	43
4.8 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD	45
4.8.1 Metodologías empleadas en estudios de digestibilidad en peces	47
4.8.1.1 Métodos In vivo	47
4.8.1.2 Método cuantitativo o método directo	48
4.8.1.3 Método con marcadores o método indirecto	49
4.8.2 Métodos para colecta de heces	49
4.8.2.1 Disección intestinal	50
4.8.2.2 Presión abdominal	50
4.8.2.3 Sistema Guelph convencional	51
4.8.2.4 Sistema Guelph modificado	52

4.9 INDICADORES DE DIGESTIBILIDAD	54
5. DISEÑO METODOLÓGICO	59
5.1 LOCALIZACIÓN	59
5.2 INSTALACIONES Y EQUIPOS	60
5.2.1 Laboratorio	60
5.2.2 Materiales y equipo de laboratorio	60
5.2.3 Material biológico	60
5.3 INGREDIENTES, PROCESAMIENTO Y ALIMENTACIÓN	61
5.3.1 Ingredientes utilizados y dietas experimentales	61
5.3.2 Procesamiento de las dietas	61
5.3.3 Alimentación	62
5.4 PLAN DE MANEJO	62
5.4.1 Adecuación, desinfección de acuarios y colectores	62
5.4.2 Parámetros fisicoquímicos	62
5.4.3 Adaptación	62
5.4.4 Biometría	62
5.5 TÉCNICAS DE LABORATORIO	62
5.5.1 Colecta de heces por el método Guelph modificado	62
5.5.2 Análisis bromatológico de los ingredientes, dietas y heces	63
5.5.3 Análisis de óxido crómico	64
5.5.4 Tratamientos	65

5.5.5 Diseño experimental y análisis estadístico	65
5.5.6 Formulación de hipótesis	66
5.6 VARIABLES EVALUADAS	66
5.6.1 Determinación de los coeficientes de digestibilidad	66
5.6.2 Energía digestible	67
6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
6.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	68
6.2 PESO INICIAL	68
6.3 COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE (C.D.A) DE LA FRACCIÓN PROTEICA	68
6.3.1 Maíz	70
6.3.2 Trigo	71
6.3.3 Soya integral tostada	73
6.3.4 Soya	74
6.3.5 Harina de vísceras de aves	75
6.3.6 Levadura de alcohol de caña	76
6.3.7 Harina de pescado	77
6.4 COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE (C.D.A) DE LA FRACCIÓN ENERGÉTICA	78
6.4.1 Maíz	80
6.4.2 Trigo	81
6.4.3 Soya integral tostada	82

6.4.4 Soya	83
6.4.5 Harina de vísceras de aves	84
6.4.6 Levadura de alcohol de caña	85
6.4.7 Harina de pescado	86
6.5 ENERGÍA DIGESTIBLE	87
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
7.1 CONCLUSIONES	89
7.2 RECOMENDACIONES	90
8. BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Carpa roja (<i>Cyprinus carpio haematopterus</i>)	24
Figura 2. Morfología de la carpa roja (<i>Cyprinus carpio haematopterus</i>)	25
Figura 3. Sistema Guelph modificado	53
Figura 4. Parte inferior del colector	53
Figura 5. Parte superior del colector	54
Figura 6. CAUNESP	59
Figura 7. Proceso de colecta de heces	63
Figura 8. Curva de calibración de Cr ₂ O ₃	64
Figura 9. Coeficientes de digestibilidad fracción proteica	70
Figura 10. Coeficientes de digestibilidad fracción energética	79
Figura 11. Valores de energía digestible (Kcal/Kg)	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Requerimientos nutricionales (<i>C. carpio Haematopterus</i>)	26
Tabla 2 Análisis químico proximal de Harina de pescado	28
Tabla 3 Análisis químico proximal de Harina vísceras de aves	28
Tabla 4 Análisis químico proximal de Harina de carne – huesos	30
Tabla 5 Análisis químico proximal de Harina de sangre	31
Tabla 6 Análisis químico proximal de Harina de plumas hidrolizadas	31
Tabla 7 Análisis químico proximal de Harina de soya – soya integral	33
Tabla 8 Análisis químico proximal de Harina maíz	34
Tabla 9 Análisis químico proximal de Harina de trigo	34
Tabla 10 Análisis químico proximal de Harina de algodón	36
Tabla 11 Análisis químico proximal de Harina de gluten de maíz	37
Tabla 12 Análisis químico proximal de Harina de maní	37
Tabla 13 Análisis químico proximal de Sorgo	38
Tabla 14 Análisis químico proximal de Harina de arroz	39
Tabla 15 Análisis químico proximal de Levadura de alcohol de caña	40
Tabla 16 composición de la dieta de referencia	61
Tabla 17 Medias de los coeficientes de digestibilidad aparente de la fracción proteica de los ingredientes evaluados	69
Tabla 18 Medias de los coeficientes de digestibilidad aparente de la fracción energética de los ingredientes evaluados	79

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formulaci3n dieta de referencia e ingredientes energ3ticos	92
Anexo B. Formulaci3n dieta de referencia e ingredientes proteicos vegetales	93
Anexo C. Formulaci3n dieta referencia e ingredientes proteicos animales.	94
Anexo D. Par3metros f3sico-qu3micos del agua (valores medios)	96
Anexo E. Biometr3a peces	97
Anexo F. An3lisis de varianza del peso inicial	98
Anexo G. Cronograma de alimentaci3n y colecta de heces	99
Anexo H. An3lisis qu3mico proximal de ingredientes evaluados	100
Anexo I. An3lisis qu3mico proximal dietas evaluadas	101
Anexo J. Determinaci3n de la ecuaci3n lineal de indicador	102
Anexo K. M3todo de digesti3n 3cida para determinaci3n de 3xido de cromo	103
Anexo L. Absorbancia, concentraci3n 3xido de cromo, energ3a y prote3na	104
Anexo M. Tabla digestibilidad fracci3n proteica	105
Anexo N. Tabla digestibilidad fracci3n energ3tica	106
Anexo O. An3lisis de varianza coeficientes de digestibilidad aparente de la fracci3n proteica	107
Anexo P. M3todo: Tukey HSD 95.0%	108
Anexo Q. An3lisis de varianza de los coeficientes de digestibilidad aparente fracci3n energ3tica	109
Anexo R. M3todo: Tukey HSD 95.0%	110

GLOSARIO

CARPA ROJA: La carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*) o también conocida como carpa koi o colorida es uno de los ciprinidos más comercializados en la región sudeste de Brasil. El cultivo de esta especie tuvo su origen en las colonizaciones alemanas, japonesas e italianas que poblaron esta región.

COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD: Describe la fracción del nutriente o energía del alimento que no es excretada en las heces. Su resultado varía en función de la especie, condiciones ambientales, cantidad y calidad del nutriente, proporción relativa entre los nutrientes y los procesos tecnológicos a que el alimento ha sido sometido

PROTEÍNA: Moléculas complejas constituidas por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Son componentes esenciales que ejecutan diversas funciones vitales y esenciales, como el metabolismo, la contracción muscular o la respuesta inmunológica.

ENERGÍA: Es la capacidad para realizar trabajo y es obtenida por los animales al catabolizar los diferentes nutrientes constitutivos de su dieta como son los carbohidratos, lípidos y proteínas. Por lo tanto la energía es un componente esencial para el mantenimiento de los procesos vitales como son el metabolismo celular, crecimiento y reproducción.

INDICADOR FECAL: Marcador empleado en estudios de digestibilidad, que estima la cantidad de alimento o nutriente consumido, el tiempo y la tasa de ingesta por el tracto digestivo. Presenta ventajas al sustituir la colecta total de las heces y al proporcionar economía de tiempo y costos

OXIDO DE CROMO: El Cr_2O_3 es el marcador fecal externo más utilizado en estudios de digestibilidad, presenta coloración verde clara a oscura y es prácticamente insoluble en agua, alcohol o acetona, pero es ligeramente soluble en ácidos y álcalis.

SISTEMA GUELPH MODIFICADO: método empleado para la colecta de heces en estudios de digestibilidad en peces, se caracteriza por ser de forma cónica al cual va adherido un registro de esfera y un tubo de ensayo en donde queda depositado el material fecal.

ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL: Materias primas que vienen siendo usadas con mayor frecuencia en la alimentación animal debido a su bajo costo y mayor

disponibilidad, pudiendo sustituir de forma parcial o total a los ingredientes de origen animal.

ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL: ingredientes que presentan adecuado balance de aminoácidos esenciales, que pueden contribuir en gran parte con los macro y microminerales exigidos por los peces, además confieren una mayor palatabilidad a las dietas. La poca oferta, el elevado precio e imprevisible calidad de muchos de estos productos son grandes limitantes para su uso en alimentación de peces.

RESUMEN

Se evaluaron los coeficientes de digestibilidad aparente (C.D.A) de la fracción proteica y energética de algunos ingredientes de origen animal y vegetal utilizados en dietas para juveniles de carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*) con el fin de conocer su valor nutritivo.

Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) del Centro de Acuicultura de la Universidad Estatal Paulista (CAUNESP), Campus de Jaboticabal FACA-UNESP São Paulo-Brasil.

En el desarrollo de este experimento se evaluaron 240 juveniles de carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*), con peso medio de 60 ± 10 g y coeficiente de variación de 7.10 %, distribuidos en 24 acuarios durante un periodo de 15 días. Los peces tuvieron un periodo de adaptación de 3 días a las condiciones experimentales y posteriormente fueron trasladados a los acuarios tipo Guelph y en intervalos de 30 minutos se colectó el material fecal por un periodo de diez horas.

Las dietas experimentales contenían un 69 % de dieta de referencia, 30 % ingrediente analizado y 1% óxido de cromo, empleado como marcador inerte. Los ingredientes evaluados fueron: dos energéticos (maíz, trigo), dos proteicos de origen animal (harina de pescado, harina de vísceras de aves) y tres proteicos de origen vegetal (soya, soya integral tostada, levadura de alcohol de caña).

Los Coeficientes de digestibilidad aparente de proteína obtenidos en el presente experimento demostraron que los ingredientes proteicos de origen vegetal poseen un alto valor nutritivo en la alimentación de juveniles de carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*), debido a que la soya y la soya integral tostada presentaron los mejores valores con 93.05% y 83.12% respectivamente. Por otra parte los porcentajes de C.D.A mas altos registrados para la fracción energética de las materias primas analizadas fueron de 83.61% (harina de pescado); 74.31% (soya); y 70.82% (soya integral tostada).

SUMMARY

The Coefficient of apparent Digestibility (C.D.A) from the proteic and energetic fraction of some animal and vegetal ingredients used in diets to the young red carps (*Cyprinus carpio haematopterus*), this in order to analyze and know their nutritional facts.

This research was developed in LANOA (Laboratory of Nutrition of Organisms Aquatics). That belongs to CAUNESP (Center of Aquaculture the Estate Paulista university), campus JABOTICABAL FACAV – UNESP SAO PAULO BRASIL.

Inside the development of this research were evaluated 240 young red carps with a weight around 60 ± 10 g and a varied coefficient of 7.10 %, they were distributed into 24 aquariums in periods of 15 days. The fish had an adaptable period of three days in the experimental conditions. Then they were moved into Guelph aquariums and intervals of 30 minutes the organic matter was collected for a period of ten hours.

The experimental diets contents a 69 % of reference diet, 30 % of analyzed ingredient and 1 % chromium oxid, this was used as an inhesent pointer. The evaluated ingredients were two energetic (corn, wheat). Two proteics of animal origin (flour of fish, flour of birds vicers) and three proteics of vegetal origin (soy, slice toasted soy, yeast of alcohol taken from caña).

The coefficients of apparent digestability obtained in this research show that the proteics ingredients of vegetal origin have a high level of nutritional facts inside the feeding of young red carps (*Cyprinus carpio haematopterus*) this because of soy and slice toasted soy, show the best values with 93.05 % and 83.12 % respectively. On the other hand the highest percentages of C.D.A recorded in the energetic fractions in the analysed raw material werereg 83.61 % (flour of fish) 74.31% (soy), and 70.82 % (slice toasted soy)

INTRODUCCIÓN

El valor nutricional de un alimento no solamente se basa en su composición química, además se debe tener en cuenta la cantidad de nutrientes y energía que el organismo acuático puede absorber y utilizar. El valor nutritivo de un alimento o de una dieta depende directamente de tres factores que se deben tener siempre en cuenta: El uso de ingredientes de alta calidad, una correcta combinación de ingredientes, de forma tal que el producto final presente un balance adecuado de nutrientes para la especie de cultivo y una buena digestibilidad y estabilidad en el agua.

Teniendo en cuenta lo anterior, la digestibilidad sirve como indicador de calidad en la evaluación de alimentos. Además de medir la eficiencia de dietas completas, describe la fracción de nutriente o energía ingeridos en el alimento que no es excretado en las heces. Es así como el conocimiento de la digestibilidad de cada ingrediente para una determinada especie, apoya la formulación precisa de dietas nutricionalmente completas y económicamente accesibles. De igual manera, el conocimiento de la digestibilidad de diferentes materias primas incrementa la posibilidad de sustitución de fuentes proteicas convencionales por alternas de bajo costo y de similar o mayor valor nutritivo.

En ese orden de ideas, se debe considerar todavía que el óptimo biológico idealizado por los nutricionistas, debe adecuarse al óptimo económico con el propósito que dietas formuladas con base en costo mínimo puedan atender las exigencias nutricionales de las diferentes especies de cultivo. Por lo tanto, la determinación de las necesidades cualitativas y cuantitativas de los nutrientes esenciales en la dieta es importante para la adecuada formulación de raciones para peces. Con base en lo anterior el desarrollo de investigaciones de digestibilidad, se constituyen en un aporte de relevancia científica y práctica en el estudio del valor nutritivo de los alimentos.

1. DEFINICIÓN Y DELIMITACION DEL PROBLEMA

La acuicultura es una industria que está en constante crecimiento y desarrollo. Sin embargo, los costos de alimentación son altos y prácticamente superan más del 70% de la inversión en el ciclo productivo. Por lo anterior, es necesario que las investigaciones en nutrición de especies acuícolas se enfoquen a la reducción de los costos de ingredientes, principalmente proteicos, que constituyen un alto porcentaje en la formulación de las dietas.

La información sobre hábitos y preferencias alimenticias de una especie no son suficientes para lograr altas metas de producción sino se diseñan dietas adecuadas para cada sistema de cultivo y sino se aplican estrategias de alimentación, apoyadas en investigaciones sobre los aspectos de digestibilidad aparente.

La producción de peces por unidad de área y los rendimientos económicos dependen de la cantidad y calidad del alimento utilizado y de la eficiencia del suministro. En este sentido, para mejorar y optimizar la alimentación de las diferentes especies de cultivo en países suramericanos como Colombia y Brasil, es necesario que las investigaciones estén encaminadas a determinar la digestibilidad de productos, subproductos y materias primas no convencionales que conlleven a una posible sustitución de un ingrediente por otro optimizando así el valor nutricional y los costos de las dietas formuladas para peces.

En el presente trabajo se realiza un aporte científico al determinar cual es el coeficiente de digestibilidad aparente de proteína y energía de algunos ingredientes de origen animal y vegetal para la alimentación de juveniles de carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*).

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cual es el coeficiente de digestibilidad aparente de proteína y energía de algunos ingredientes de origen animal y vegetal para la alimentación de juveniles de carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*)?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la fracción proteica y energética de los principales ingredientes utilizados en dietas para juveniles de carpa roja (*C. carpio haematopterus*).

3.2 Objetivos específicos

- ◆ Cuantificar los CDA de la fracción proteica de ingredientes de origen vegetal y animal empleados en alimentación de carpa roja (*C. carpio haematopterus*).
- ◆ Establecer las kilocalorías por kilogramo de energía digestible de la materia seca de ingredientes de origen vegetal y animal utilizados en alimentación acuícola.
- ◆ Comparar los CDA de los ingredientes alimenticios frente a los coeficientes de la dieta de referencia.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 RESEÑA DE LA ESPECIE

Según Casaca¹ el uso de la denominación carpa en Brasil hace referencia al grupo de las carpas comunes, que incluye los más variados fenotipos y otras variedades, las cuales poseen denominaciones propias como la carpa colorida, carpa koi, carpa japonesa, carpa espejo, carpa escama, carpa húngara, carpa alemán y carpa israelí. No existen registros de la introducción de carpas indias al Brasil.

El cultivo de carpas en Brasil tuvo su origen con las colonizaciones alemanas, japonesas e italianas en el sur del país, las cuales practicaban piscicultura de subsistencia en la que los peces eran alimentados con cáscara de maíz y desechos animales. La carpa fue introducida por Río de Janeiro y llegó a Sao Paulo en el año 1904, según Makinouchi, quien afirma que nuevas muestras de Alemania fueron enviadas para el municipio de Piracicaba SP, y llevadas en 1932 para Pindamonhangaba SP. En el año de 1934 se implantó un sistema de producción y distribución de alevinos de carpa dando inicio así a la explotación de esta especie de carpa en Brasil.

Esta especie es una variedad doméstica de la carpa común, obtenida a través de la cría selectiva. Su impresionante colorido, tamaño, longevidad y carácter activo (Figura 1), justifican plenamente el apodo de "joyas vivas" como se las conoce. Debido a su rusticidad, crecimiento rápido, requerimientos nutricionales para especie con hábito omnívoro, desove natural en estanques y otras cualidades deseables, esta especie se encuentra hoy ampliamente distribuida por todo el mundo.

Las principales características de esta especie de carpa son escamas cicloideas, presencia de dientes faríngeos y la ausencia de dientes mandibulares. Tienen modificado el primer radio en las aletas dorsal y anal (Figura 2). En relación con la forma y color del cuerpo, la variabilidad es grande, principalmente con las carpas seleccionadas para cultivo.

Boscardin et al ² sostienen que la producción de carpas tuvo un incremento de 171% en el Periodo de 1996 a 2001. La FAO (2003) revela que fueron producidas en el Brasil 23 mil toneladas (US\$ 83.6 millones) en 1996 y 64 mil toneladas (US\$

¹ CASACA, J.M. As Carpas: policultivo no sul do Brasil. En: Panorama da Acuicultura 1997. vol 7, No 42: p 16.

² BOSCARDIN. Aquicultura: uma visao geral sobre a producao de organismos aquaticos no Brasil e no mundo. Curitiba, grupo integrado de acuicultura e estudos ambientais. 2003. 42p. .

200.8 millones) en el 2001, con un crecimiento medio anual de 23.9%. A pesar de que la carpa común (*Cyprinus carpio*) es la más cultivada, hay otras especies de carpa, comúnmente agrupadas en la categoría de ornamentales como la carpa koi, colorida y capim que están siendo cultivadas con éxito en este país. Brasil produce el 98.3% de la producción total de esta especie de carpa en Suramérica con el 98.4 % de las explotaciones ubicadas en la región sur en los estados de Sao Paulo, Santa Catarina y Rió Grande Do Sul.

Figura 1. Carpas rojas (*Cyprinus carpio haematopterus*)



4.2 TAXONOMÍA CARPA ROJA (*Cyprinus carpio haematopterus*) según Cooper³.

Phylum: Vertebrata

Subphylum: Gnathostomata

Clase: Pisces

Subclase: Teleostomi

Orden: Cypriniforme

Familia: Cyprinidae

Genero: Cyprinus

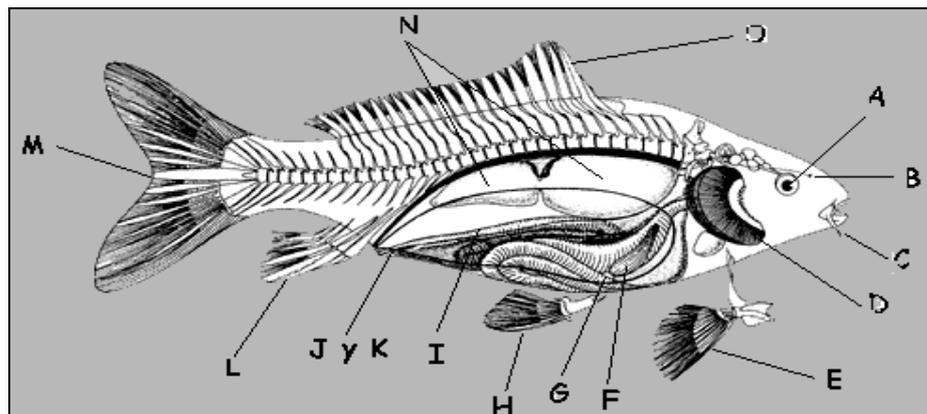
Especie: Carpio

Nombre científico: *Cyprinus carpio haematopterus*

Nombre vulgar: Carpa colorida, Carpa koi, Carpa roja.

4.3 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

Figura 2. Morfología de la carpa roja (*Cyprinus carpio haematopterus*).



- | | | |
|-----------------|------------------------|---------------------------|
| A. Ojos | B. Fosas nasales | C. Bigotes |
| D. Branquias | E. Aleta pectoral | F. Hígado |
| G. Bilis | H. Aleta pélvica | I. Órganos reproductivos. |
| J. Ano | K. Vejiga Urinaria | L. Aleta anal |
| M. Aleta caudal | N. Vejiga hidrostática | O. Aleta dorsal |

³ COOPER, E.L. Carp in North América. Bethesda, MD, USA: American Fisheries Society 1987p. 4.

4.4 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA ESPECIE EVALUADA

Requerimientos nutricionales (Tabla 1) establecidos por Casaca⁴ para la carpa roja (*C. carpio haematopterus*)

Tabla 1. EXIGENCIAS NUTRICIONALES

Nivel de nutriente	Alevín	Dedino	Juvenil	Reprod.
Proteína %. Min	40	39	37	35
Carbohidratos %. Max.	25	25	25	25
Lípidos %. Min.	8	7	7	5
Fibra %. Max.	1.5	2.0	3.0	4
Calcio %	2.5	2.5	2.0	2.0
Fósforo %	1	0.8	0.8	0.8
Magnesio %	0.08	0.07	0.07	0.07

CASACA, J.M. As Carpas: policultivo no sul do Brasil. En: Panorama da Acuicultura 1997. Vol. 7, No 42: p 16-20.

4.5 PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS BRASILERAS PARA ACUACULTURA

4.5.1 ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL. Kubitza⁵ afirma que en general los alimentos de origen animal presentan un adecuado balance de aminoácidos esenciales, pueden contribuir en gran parte con los macro y microminerales exigidos por los peces, además confieren una mayor palatibilidad a las dietas. La poca oferta, el elevado precio e imprevisible calidad de muchos de estos productos son grandes limitantes para su uso en alimentación de peces.

4.5.1.1 Harina de pescado. Según Kubitza⁶ este producto es obtenido a través del cocimiento, secado (deshidratación) y molido (desintegración) de los residuos del procesamiento de peces (peces enteros descartados, restos de filetes, cabezas, vísceras y escamas). La adición de ácidos orgánicos e inorgánicos es una medida utilizada para reducir el desarrollo de microorganismos durante el procesamiento y almacenamiento de las harinas de pescado. Pero la adición excesiva de estos ácidos puede reducir la palatibilidad de las harinas y por lo tanto la aceptación por parte de los animales.

⁴ CASACA, J. Op cit p. 16

⁵ KUBITZA, F. Nutrição e alimentação dos peixes cultivados., formulação e processamento de rações: restrições de ingredientes. Divosao de biblioteca e documentação campuz "Luiz de Queiroz" Universidade de sao Paulo, Jundiáí, Sp, Brasil. 2002. p 25.

⁶ Ibid. P .25.

Las harinas de pescado de buena calidad deben contener entre 62 a 70% de proteína, menos de 10% de extracto etéreo (lípidos) y material mineral menor al 13% (Tabla 1). Presentan equilibrio ideal de aminoácidos esenciales y son una importante fuente de P y microminerales como Zn, Mn, Se, Cu y Fe. En la fracción lipídica (aceites y grasas) de las harinas de pescado predominan los ácidos grasos polinsaturados, los cuales fácilmente se oxidan resultando en la formación de peróxidos y consecuente enranciamiento de la harina. Estos peróxidos confieren baja palatabilidad a la harina y pueden ser extremadamente tóxicos a los peces.

La adición de antioxidantes durante la fabricación evita la excesiva oxidación de los lípidos, mejorando la calidad nutricional y el tiempo de conservación de la harina de pescado. La etoxiquina (250mg/kg o 250g/T de harina) y el BHA o BHT (2000mg/kg de grasa en la harina) son antioxidantes usados en la estabilización de los lípidos de las harinas de pescado.

Las harinas de pescado comercializadas en Brasil, con raras excepciones, no alcanzan el 60% de proteína bruta y poseen una cantidad de minerales arriba de 20% (niveles de calcio arriba de 8%) y extracto etéreo superior a 15%. Estas son producidas con residuos de filetes (cabezas, espinas, piel, escamas y vísceras) y materiales que no sufren extracción de aceites. Por lo general son sometidos a un excesivo calentamiento, lo que puede disminuir la disponibilidad de algunos aminoácidos esenciales y raramente son estabilizados con antioxidantes durante la fabricación.

No hay límite de restricción para el uso de harinas de pescado de buena calidad en raciones para peces, a no ser por su alto costo o en casos donde un acentuado sabor a pescado o aceite de pescado es indeseable en el producto. Sin embargo, harinas con elevado % de calcio (arriba de 6%) no deben ser usadas en nivel mayor que 20% en las raciones, sin una adecuada suplementación con zinc. La biodisponibilidad de zinc en varias harinas de pescado es inversamente relacionada al contenido de fosfato tricalcico, bastante elevado en las harinas blancas, o sea harinas hechas con residuos de filetes y que presentan elevado porcentaje de material mineral, bastante común en Brasil.

La adición de 4 a 6% de harina de pescado mejora considerablemente la palatabilidad de las raciones de productos de origen vegetal y colabora en el suplemento de exigencias en minerales, como fósforo y aminoácidos esenciales, principalmente metionina y lisina.

Tabla 2. Análisis químico proximal

A. Q. P*	Harina de Pescado
Materia Seca (%)	89 ±0.01
Proteína Bruta (%)	64.1 ± 1.1
Cenizas (%)	15.9 ± 0.7
Extracto Etéreo (%)	11.4 ± 0.5
Fibra Bruta (%)	2.8 ± 0.2
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	4714

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA)
CAUNESP JABOTICABAL, SP.

4.5.1.2 Harina de vísceras de aves. De acuerdo con Kubitza⁷ estas harinas son obtenidas a través del cocimiento bajo presión, separación de la grasa, secado y molido de pedazos de aves exentos de material fecal (cabeza, pescuezo, sangre, vísceras).

El porcentaje de proteína en las harinas de vísceras varía de 55 a 65% (Tabla 2). La proteína de esta harina es deficiente en treonina y fenilalanina y marginalmente deficiente en lisina, considerando la exigencia en aminoácidos de los peces. Harinas súper procesadas térmicamente pueden presentar deficiencia en triptofano, aminoácido bastante sensible al calentamiento, puede presentar elevado porcentaje de extracto etéreo (13% o más) el que perjudica el proceso de granulación (peletización o extrusión) y consecuentemente, la estabilidad de las raciones en el agua. Su uso no debe exceder 20% de la ración. La harina de vísceras puede sustituir hasta el 75% de la harina de pescado en raciones para peces, desde que sea garantizada la suplementación con aminoácidos sintéticos (principalmente la metionina) y con una fuente de fósforo.

Tabla 3. Análisis químico proximal

A. Q. P*	Harina de Vísceras de Aves
Materia Seca (%)	92.39
Proteína Bruta (%)	58.09
Cenizas (%)	7.8 ± 0.6
Extracto Etéreo (%)	13.34
Fibra Bruta (%)	1.32
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	4789

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP
JABOTICABAL, SP.

⁷ Ibid. P 26.

4.5.1.3 Harina de carne y harina de carne – huesos. Kubitza⁸ sostiene que estas harinas son productos del cocimiento bajo presión de carne y huesos de animales, generalmente bovinos y cerdos. Desde el punto de vista nutricional, son bastantes imprevisibles debido a la gran variación en la calidad de las materias primas y el tipo de procesamiento empleado en su elaboración. La materia prima utilizada no debe contener piel, pelo, sangre, heces, contenidos estomacales, cascotes ni uñas.

La contaminación bacteriana de las harinas de carne y huesos puede ser frecuente por el uso de la materia prima excesivamente deteriorada, pudiendo poner en riesgo la salud de los animales.

Una buena harina de carne puede presentar un porcentaje de proteína alrededor de 60%. Pero, en el mercado, existen productos con 40% de proteína bruta y elevado porcentaje de material mineral, principalmente en lo que respecta al calcio y fósforo, indicando la gran presencia de huesos en la materia prima utilizada en la fabricación de esta harina.

La denominación “harina de carne” es utilizada cuando la harina presenta hasta 4% de fósforo total. Su contribución en la formulación de una ración es presentar niveles altos de Ca y P con buen equilibrio de aminoácidos esenciales, principalmente los sulfurados (metionina y cistina).

Las harinas de carne y huesos presentan porcentajes de fósforo total arriba de 4% y proteína bruta variando de 38 a 50%, niveles menores que las harinas de carne (Tabla 3).

La digestibilidad de la proteína de una harina de buena calidad debe ser superior al 80%. Algunos fabricantes adicionan sangre a estas harinas para elevar los niveles de proteína. Tal práctica, puede traer problemas debido a la baja palatabilidad y disponibilidad de aminoácidos. La proteína de las harinas de carne y huesos presenta menor digestibilidad y menores porcentajes de lisina que las harinas de pescado y las harinas de carne. Comparadas las exigencias nutricionales de los peces, la harina de carne y huesos parece ser deficiente en metionina, fenilalanina y marginalmente deficiente en triptofano. Las harinas de carne y huesos son buenas fuentes de macrominerales, como calcio y fósforo, y microminerales como el hierro, manganeso y zinc. El alto contenido de calcio limita su uso a un máximo de 15% en raciones de peces.

⁸ Ibid. p 27.

Tabla 4. Análisis químico proximal

A. Q. P*	Harina de carne y huesos
Materia Seca (%)	93
Proteína Bruta (%)	50.4
Cenizas (%)	29.3
Extracto Etéreo (%)	9.7
Fibra Bruta (%)	2.2
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	3389

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP
JABOTICABAL, SP

4.5.1.4 Harina de sangre. Según Kubitz⁹ la harina de sangre es un subproducto resultante de la deshidratación y molido, es colectada en mataderos de bovinos y cerdos. La legislación brasilera y la industria de raciones establecieron como mínimo el nivel de 80% de proteína bruta para esta harina. Entretanto la mayoría de los productos encontrados en el mercado brasilero presentan de un 70 a 72% de proteína (Tabla 4). La proteína de la harina de sangre es deficiente en metionina e isoleucina, sin embargo contiene adecuados niveles de lisina, analizados desde el punto de vista de las necesidades de aminoácidos para peces.

La combinación de esta fuente de proteína con la harina de gluten de maíz, que es pobre en lisina y rica en isoleucina, puede mejorar el equilibrio en los aminoácidos de las raciones. La digestibilidad de la proteína de la harina de sangre puede verse severamente comprometida por el excesivo calentamiento durante su fabricación.

Diferentes estrategias de procesamiento son usadas en la fabricación de esta harina. Los procesos de coagulación lenta o secado a alta temperatura, interfieren profundamente en la calidad y digestibilidad de las proteínas debido a las condiciones utilizadas. En el secado por vapor o sistema "spray dry" ocurre una pequeña alteración en las características físico-químicas de las proteínas, pudiendo estas presentar digestibilidad de hasta el 90%.

La harina de sangre presenta baja palatibilidad y niveles excesivos de hierro, por lo que su inclusión en dietas para peces no debe sobrepasar los niveles de 5 a 10% o enriquecer más del 20% de la proteína de la ración.

⁹ Ibíd. P.27.

Tabla 5. Análisis químico proximal

A. Q. P*	Harina de sangre
Materia Seca (%)	93
Proteína Bruta (%)	71.5
Cenizas (%)	6.6
Extracto Etéreo (%)	9.7
Fibra Bruta (%)	1.3
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	4612

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP
JABOTICABAL, SP

4.5.1.5 Harina de plumas hidrolizadas. De acuerdo con Kubitza¹⁰ este producto es obtenido por la digestión bajo presión de vapor indirecto, secado y trituración de las plumas de aves muertas. Las harinas de plumas de buena calidad deben contener porcentajes de proteína arriba de 80% (Tabla 5). A pesar de ser una fuente muy rica en cistina, la harina de plumas es deficiente en varios aminoácidos esenciales, como la histidina, lisina, triptofano, y metionina. Por lo que su uso en raciones animales debe ser limitado para no presentar un severo desbalance de aminoácidos esenciales. Esta harina puede sustituir hasta el 30% de la harina de pescado en raciones para peces, pero la baja palatabilidad de esta harina no permite su inclusión en las raciones con niveles superiores a 10 %.

Tabla 6. Análisis químico proximal

A. Q. P*	Harina de Plumas
Materia Seca (%)	93
Proteína Bruta (%)	79.02
Cenizas (%)	3.6
Extracto Etéreo (%)	3.9
Fibra Bruta (%)	1.3
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	5227.41
Extracto no Nitrogenado (%)	-----

*Laboratorio de Nutrición de Organismos acuáticos (LANOA) CAUNESP
JABOTICABAL, SP

4.5.2 Alimentos de origen vegetal. Kubitza¹¹ afirma que los alimentos de origen vegetal vienen siendo usados con mayor frecuencia en la alimentación animal

¹⁰ Ibid. P .28.

¹¹ Ibid p.28.

debido a su bajo costo y mayor disponibilidad, pudiendo sustituir de forma parcial o total a los ingredientes de origen animal.

En general, las harinas vegetales presentan proteína deficiente en uno o más aminoácidos esenciales, contienen menor valor energético que los ingredientes animales, son fuentes pobres en minerales y pueden contener varios factores antinutricionales.

4.5.2.1 Harina de soya. De acuerdo con Kubitza¹² la harina de soya es un subproducto que resulta de la extracción, por prensa mecánica o por solvente del aceite de los granos de soya, seguidos de tostado y molido.

Es una de las fuentes proteicas más utilizadas en raciones para peces, llegando a sustituir completamente la harina de pescado en la formulación de dietas para innumerables especies. El porcentaje de proteína bruta de la harina de soya puede variar de 44% a 48% (Tabla 6). Excepto por los niveles marginales de metionina, la proteína de la harina de soya es razonablemente equilibrada en aminoácidos esenciales, siendo una buena fuente de lisina dentro de las harinas vegetales. La digestibilidad aparente de su proteína para peces tropicales varía de 83 a 95%.

No hay restricciones en cuanto a los niveles máximos de incorporación de la harina de soya en raciones para peces, sin embargo, su baja palatabilidad puede restringir el uso de niveles elevados en dietas para algunas especies, principalmente peces con hábito alimenticio preferiblemente carnívoro, como truchas y salmones. La harina de soya puede sustituir la mitad de la harina de pescado en dietas para truchas y casi toda la harina de pescado en dietas para peces herbívoros/omnívoros tropicales.

En la harina de soya integral, que contiene menor nivel de proteína bruta (39%), el porcentaje de extracto etéreo (18%) (Tabla 6) puede tener empleo limitado en dietas para algunos peces.

Cuando la harina de soya no tostada recibe tratamiento térmico inadecuado contiene un factor antinutricional (factor antitripsínico) que destruye la tripsina, una enzima digestiva secretada en el intestino de los peces y otros animales monogástricos. Los efectos del factor antitripsínico en los peces incluyen reducción en la digestibilidad de la proteína y en la disponibilidad de aminoácidos y energía; reducción de la actividad de la lipasa pancreática; en la absorción de lípidos, hipertrofia del páncreas y aumento en la secreción de enzimas pancreáticas; reducción en la disponibilidad de vitaminas y minerales y atraso en el crecimiento.

¹² Ibid. P.29.

El inhibidor de tripsina, el factor antitripsinico, es eliminado con el procesamiento térmico de la harina de soya o durante la extrusión del grano de soya para la obtención de la harina de soya integral.

Tabla 7. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	Soya	Soya integral tostada
Materia Seca (%)	90 ± 0.3	88.3± 0.0
Proteína Bruta (%)	42.7 ± 0.3	40.6 ± 0.1
Cenizas (%)	6.0 ± 0.03	6.6 ± 0.9
Extracto Etéreo (%)	2.8 ± 0.05	17.6 ± 0.8
Fibra Bruta (%)	5.9 ± 0.9	6.4 ± 0.26
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	3766.2	4383
Extracto no Nitrogenado (%)	30.6	17.1
Ca (%)	0.35 ± 0.02	0.4 ± 0.0
P (%)	1.3 ± 0.07	0.6 ± 0.07

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP.

4.5.2.2 Maíz. Según Kubitzka¹³ es el alimento energético más utilizado en la alimentación de aves, cerdos y peces. El valor energético del maíz para peces depende del grado de molido y de la gelatinización del almidón. En general, en cuanto mayor sea el grado de molido (menor tamaño de partícula de maíz), mayor la digestibilidad del almidón de maíz. La energía digestible del maíz molido crudo es de 2.200 kcal/kg contra 3.060 kcal/kg para el maíz molido extrusado (NRC, 1993). Este último valor puede servir de referencia para la formulación de raciones a ser extrusadas.

Especies de hábito alimenticio carnívoro, como los salmónidos, poseen baja habilidad de digerir el almidón de maíz. Para trucha arco iris la digestibilidad del almidón de maíz crudo y maíz precocido es de 25 a 52%, respectivamente, comparando con valores de 55 a 78% para la tilapia azul (NRC, 1993).

El maíz presenta porcentaje de proteína alrededor de 9%, (Tabla 7) sin embargo la digestibilidad de su proteína puede ser superior al 90%. Para algunos peces, el maíz posee proteína deficiente en lisina y marginal en metionina comparada las exigencias de estos aminoácidos para los peces. Restricciones en cuanto al uso del maíz son mas rigurosas en dietas para peces carnívoros donde los niveles de almidón no deben exceder al 30% de la dieta. El almidón también está presente en otros alimentos de origen vegetal, como la harina de trigo y arroz. Es recomendable en dietas para peces carnívoros, que la suma de estos ingredientes amiláceos no sea mayor que el 40% de la dieta. Peces tropicales de hábito alimenticio herbívoro/omnívoro aprovechan mejor el almidón. El exceso de

¹³ Ibid. P. 30.

ingredientes amiláceos en la dieta puede resultar en mayor deposición de grasa visceral y acumulación de glicógeno en el hígado, perjudicando las funciones de este órgano y el bienestar general de los peces.

Tabla 8. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	Maíz
Materia Seca (%)	88.2 ± 0.2
Proteína Bruta (%)	7.8 ± 0.0
Cenizas (%)	1.5 ± 0.07
Extracto Etéreo (%)	2.5 ± 0.0
Fibra Bruta (%)	2.5 ± 0.0
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	3959
Extracto no Nitrogenado (%)	73.9
Ca (%)	0.18 ± 0.01
P (%)	0.3 ± 0.02

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP.

4.5.2.3 Harina de trigo. Kubitza¹⁴ establece, que este producto contiene de 15 a 17% de proteína bruta, 4.5 de grasa y 10% de fibra (Tabla 8). La proteína de la harina de trigo es deficiente en lisina, metionina y fenilalanina. Dentro de los alimentos vegetales es uno de los más ricos en fósforo, sin embargo presenta bajo porcentaje de calcio.

La harina de trigo es bastante higroscópica, o sea presenta alto poder de absorción de agua. Esta característica puede significar problemas con el desarrollo de hongos durante el almacenamiento de dietas formuladas con altos niveles de esta harina, principalmente en lugares con elevada humedad. Sin embargo la harina de trigo favorece la buena expansión de los pellets extrusados, y su elevado porcentaje de fibra bruta limita su uso en dietas a niveles inferiores a 25%.

Tabla 9. Análisis químico proximal

¹⁴ Ibid. P. 31.

A. Q. P.*	Trigo
Materia Seca (%)	88.7 ± 0.1
Proteína Bruta (%)	14.9± 0.0
Cenizas (%)	4.4 ± 0.2
Extracto Etéreo (%)	3.6 ± 0.0
Fibra Bruta (%)	9.4 ± 0.3
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	3840
Extracto no Nitrogenado (%)	56.4
Ca (%)	0.2 ± 0.04
P (%)	0.9 ± 0.05

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos
(LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP.

4.5.2.4 Harina de algodón. De acuerdo con Kubitz¹⁵ la harina de algodón es un subproducto del prensado y molido de las semillas de algodón. Su porcentaje de proteína puede variar de 38 a 42% (Tabla 9). Esta harina presenta proteína deficiente en metionina, lisina y treonina. La digestibilidad de esta harina puede variar de 83 a 93% para peces tropicales. Sin embargo, presenta factores antinutricionales como el gósipol y ácidos ciclopropenoicos. Para los peces tropicales, niveles de gósipol arriba de 1.000 ppm en la dieta pueden causar pérdida del apetito, reducción en el crecimiento, aumento en el depósito de lípidos en el hígado y perjudicar el desempeño reproductivo de los peces. Harinas de algodón mal almacenadas y con porcentaje de humedad elevado pueden contener micotoxinas o aflatoxinas B1.

El elevado porcentaje de fibra bruta, arriba de 11%, también limita el uso de la harina de algodón en raciones comerciales. El exceso de fibra aumenta la abrasividad de la mezcla, perjudicando el rendimiento durante la extrusión, de esta forma la inclusión en raciones para peces se limita a niveles inferiores a 20% pero pueden llegar a 30% en raciones extrusadas, debido a la mayor inactivación del gósipol en este proceso.

¹⁵ Ibid. P 31.

Tabla 10. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	H. algodón
Materia Seca (%)	91
Proteína Bruta (%)	38.9
Cenizas (%)	5.5 ± 0.2
Extracto Etéreo (%)	1.4 ± 0.0
Fibra Bruta (%)	12.1 ± 0.3
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	4268.43
Extracto no Nitrogenado (%)	33.1
Ca (%)	0.2 ± 0.04
P (%)	0.9 ± 0.05

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos
(LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP

4.5.2.5 Harina de gluten de maíz. Según Kubitza¹⁶ este producto resulta del procesamiento del maíz para retirar el almidón. Dependiendo del tipo de procesamiento, esta harina puede contener alrededor del 42 al 60% de proteína bruta (Tabla 10), pero es deficiente en lisina y marginalmente en arginina y triptofano; este es un ingrediente de elevado porcentaje proteico y bastante utilizado en raciones para post- larvas y alevinos.

Presenta digestibilidad de proteína entre 87 a 92% y buena palatibilidad. Su utilización puede ser limitada en raciones para engorde de algunos peces, cuando se desea un filete blanco sin pigmentación. En la producción de tilapias y bagre de canal por ejemplo, el uso de esta harina no puede exceder el 6% en las dietas finales debido a los altos niveles de carotenoides (200-350mg xantofila/Kg de harina de gluten) los cuales confieren una pigmentación amarilla al filete. Excepto por este aspecto, no hay mayores restricciones en cuanto al uso de este producto en otro tipo de raciones a no ser por las limitaciones conferidas por su desequilibrio en aminoácidos esenciales.

¹⁶ Ibid. P .32.

Tabla 11. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	Gluten maíz
Materia Seca (%)	93.15
Proteína Bruta (%)	46.2
Cenizas (%)	3.1
Extracto Etéreo (%)	2.2
Fibra Bruta (%)	3.1
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	5385.87
Extracto no Nitrogenado (%)	38.55

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos
(LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP

4.5.2.6 Harina de maní. Kubitzá¹⁷ sostiene que este es un subproducto obtenido por el molido de la torta resultante del prensado mecánico o por extracción mediante solvente del aceite de las semillas de maní. Presenta un nivel proteico entre 42 a 48% (Tabla 11). La proteína de esta harina es deficiente en lisina y metionina.

Bajo condiciones adversas de cosecha y almacenamiento del maní (elevada humedad), el desarrollo de hongos como el *Aspergillus flavus* resulta en la producción de aflatoxina, sustancia extremadamente tóxica para los peces. Los niveles de aflatoxina y el desequilibrio en aminoácidos esenciales son, aparentemente, los únicos factores que limitan los niveles de inclusión en raciones para peces.

Tabla 12. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	H. maní
Materia Seca (%)	92
Proteína Bruta (%)	43.1
Cenizas (%)	5.1
Extracto Etéreo (%)	4.6
Fibra Bruta (%)	7.2
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	-----
Extracto no Nitrogenado (%)	32

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos
(LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP

¹⁷ Ibid. P.32.

4.5.2.7 Sorgo. Kubitza¹⁸ afirma que este ingrediente con bajo porcentaje de tanino (< 0.1 % de tanino) puede sustituir hasta un 90% al maíz en formulación de raciones para peces. El sorgo posee de 8.0 a 11 % de proteína bruta (Tabla 12), es pobre en vitamina A y deficiente en lisina y metionina. El grano de sorgo destinado al consumo animal debe ser exento de hongos, micotoxinas, residuos de pesticidas, Contener un máximo de 1.0 % de tanino, expresó en ácido tánico. Su uso en raciones para peces debe ser limitado al 20 %.

Tabla 13. Análisis químico proximal*

A. Q. P.	Sorgo
Materia Seca (%)	90
Proteína Bruta (%)	10.37
Cenizas (%)	1.7
Extracto Etéreo (%)	2.7
Fibra Bruta (%)	2.6
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	3719.10
Extracto no Nitrogenado (%)	68.63

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos
(LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP

4.5.2.8 Harina de arroz. De acuerdo con Kubitza¹⁹ ésta presenta de 11 a 14% de proteína bruta, pero es pobre en la mayoría de los aminoácidos esenciales para peces, como metionina, fenilamina, treonina y marginalmente en lisina, histidina. Los niveles de extracto etéreo (grasa) varían de 12 a 18% (Tabla 13). La grasa de esta harina es altamente insaturada, por lo tanto de fácil rancificación, por este motivo se aconseja su uso lo más rápido posible. En caso de almacenamiento es necesaria la adición de antioxidantes, como el etoxiquim o el BHT, en las mismas dosis utilizadas para estabilizar la harina de pescado. Su palatabilidad es buena cuando esta harina es fresca pero si se enrancia la palatabilidad resulta perjudicada.

La harina de arroz posee un porcentaje elevado de fibra, muchas veces superior a 12%. Niveles excesivos de fibra pueden indicar su adulteración por la adición de grandes cantidades de cáscara de arroz. Esta harina también presenta un alto porcentaje de fitato, compuesto antinutricional generalmente abundante en los alimentos de origen vegetal. El fitato puede interferir en la absorción de minerales como el P y el Zn, además de la digestibilidad de la proteína.

¹⁸ Ibid. P.33.

¹⁹ Ibid. P 33.

Debido a los altos porcentajes de grasa y fibra bruta, la inclusión de la harina de arroz en las raciones de peces es limitada a un máximo de 15%, pero la harina de arroz desengrasado puede ser usada en niveles de hasta 20 a 25%.

Tabla 14. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	H. arroz
Materia Seca (%)	87.59
Proteína Bruta (%)	13.59
Cenizas (%)	10.22
Extracto Etéreo (%)	15.17
Fibra Bruta (%)	6.9
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	4541.45
Extracto no Nitrogenado (%)	41.71
Ca (%)	0.11
P (%)	1.59

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos
(LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP.

4.5.2.9 Levadura de alcohol de caña. Padua et al²⁰ afirman que la utilización de levaduras como fuente proteica en alimentos para peces puede ser considerada una solución innovadora y promisoria. Las levaduras poseen las cualidades requeridas en dietas para peces, incluyendo pigmentos carotenoides, vitaminas del complejo B, minerales, ácidos grasos volátiles, estimulantes bacterianos, antibióticos naturales, péptidos que confieren mejor palatibilidad a la ración además de ser una fuente de proteína completa (Tabla 14).

La pared celular de las levaduras poseen 20 a 35% de carbohidratos compuestos principalmente por, glucanos y mananos, los cuales parecen actuar sobre el sistema inmunológico y en la prevención de colonizaciones bacterianas patógenas en el tracto gastrointestinal del animal.

Usada en la alimentación de peces como una fuente de proteínas, vitaminas y enzimas exógenas, las proteínas unicelulares son una esperanza futura como posible sustituto de la harina de pescado. Brasil, siendo el mayor productor mundial de alcohol de caña de azúcar, con una producción en el año 2000 de 12.7 billones de litros, es un país que aprovecha los subproductos del procesamiento

²⁰ PADUA, D.M.C., URBINATI, E.C., CARNEIRO, D.j., Morfometria de hepatocitos de pacu *Piaractus mesopotamicus*, submetido à dietas com níveis crescentes de levadura de alcohol. *Ars veterinaria* – revista de medicina veterinaria e zootecnia, Jaboticabal, SP, Brasil, v 26, n.1, p 1-8, 2000.

de la caña de azúcar resaltando una disponibilidad de 2 Kg de levadura seca por hectolitro producido.

Tabla 15. Análisis químico proximal

A. Q. P.*	Levadura alcohol de caña
Materia Seca (%)	86.62
Proteína Bruta (%)	34.70
Cenizas (%)	4.23
Extracto Etéreo (%)	0.74
Fibra Bruta (%)	0.50
Energía Bruta (Kcal/Kg.)	3837
Extracto no Nitrogenado (%)	46.45
Ca (%)	0.36
P (%)	0.69

*Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP JABOTICABAL, SP.

4.6 Los requerimientos nutricionales de los peces

Pezzatto et al²¹ sostienen que las necesidades nutricionales de los peces son establecidas, en su mayoría, bajo condiciones de laboratorio. Pero se puede considerar que aún, no siempre, esos estudios son desarrollados con control de todos los factores que actúan sobre el metabolismo de los peces. Las reales exigencias nutricionales están directamente relacionadas con los siguientes factores: especie, fase de desarrollo, sexo y estado de maduración sexual, sistema y régimen de producción, temperatura del agua, frecuencia alimenticia y calidad de agua.

Diferentes especies presentan exigencias nutricionales diversas en función de la habilidad intrínseca en aprovechar el alimento ofrecido o existente en el medio. Aquellas que aprovechan el alimento natural, como las filtradoras, pueden presentar menor exigencia en función de mayor capacidad de aprovechamiento del alimento natural disponible en comparación a las especies que no son filtradoras.

Las exigencias también pueden diferir entre especies en función de su habilidad intrínseca de utilizar los nutrientes presentes en la ración. Especies omnívoras, tienen mayor facilidad que las carnívoras, en utilizar dietas con elevados

²¹ Pezzatto, L.E; Barros, M.M; Fraclossi, D.M; Nutrição peixes, en Topicos especiais em piscicultura de agua doce tropical intensiva. Sociedade Brasileira de acuicultura e biología acuatica. 2004 p125.

porcentajes de carbohidratos. Las diferencias anatómicas entre especies como la carpa común (especie sin estómago), y aquellas que presentan estómago funcional, son compensadas por medio de la mayor secreción de la enzima tripsina, no perjudicando de esta forma el aprovechamiento de la proteína contenida en la dieta.

Diferentes valores de exigencias nutricionales pueden ser observados dentro de una misma especie en función de la edad o de la fase de desarrollo del pez. Peces en fase inicial de desarrollo presentan mayor exigencia nutricional, para mayores tasas de crecimiento, cuando son comparados con peces considerados juveniles o adultos.

Algunas especies presentan necesidades reproductivas en función del periodo de maduración gonadal. Las tilapias presentan madurez sexual precoz, alta fecundidad relativa y desoves parciales. Esto hace que parte de su dieta sea utilizada para atender las exigencias de nutrientes necesarias para la producción de gametos y las actividades de reproducción y desove. El cuidado parental de huevos y larvas, exhibido por algunas especies, además de demandar un aporte nutricional extra, puede implicar también la reducción en la ingesta de alimento, como el caso de la incubación oral de la tilapia nilótica. Otras, pueden presentar diferencias significativas en el crecimiento y consumo de alimento en este periodo y consecuentemente utilizar los nutrientes de la dieta exclusivamente en funciones de crecimiento.

Los requerimientos nutricionales han sido determinados en condiciones de laboratorio, con total control de variables, utilizando metodologías que confieren seguridad a los resultados obtenidos. Las dietas prácticas formuladas con base en esos estudios pueden presentarse subestimados o sobrestimados nutricionalmente en función del sistema de cultivo adoptado. Sin embargo, para los macro nutrientes, destacándose la proteína, existen informaciones suficientes para que tal práctica atienda las exigencias reales de algunas especies. Todavía son recomendadas combinaciones de ingredientes que resultan en concentraciones proteicas que no atienden el balance de aminoácidos exigido.

Las mismas pueden ser aplicadas a las relaciones energía: proteína y a algunos macro minerales, una vez que tales formulaciones son realizadas con base en valores totales, no considerándose la disponibilidad de esos nutrientes y las reales exigencias. Por ejemplo, el suplemento vitamínico mineral presente en la mayoría de las dietas comerciales ha sido formulado en el sentido de atender las exigencias de la mayoría de especies de peces explotados en piscicultura. Tales niveles, en algunos casos, son suficientes inclusive para suplir las eventuales pérdidas de procesamiento. Entretanto, para algunas vitaminas ha sido

recomendada la súper inclusión, no considerando la sobrecarga metabólica ni las inter-relaciones con otras vitaminas y demás nutrientes, lo que puede acarrear perjuicios metabólicos y financieros, estos últimos debido al aumento en el costo de las raciones.

Para los peces de aguas cálidas, los datos disponibles permiten la obtención de dietas que atiendan las exigencias nutricionales de algunas especies, principalmente en condiciones intensivas. Sin embargo para sistemas superintensivos y especies carnívoras, la atención a las necesidades nutricionales normalmente se encuentra por debajo de lo exigido. Se cree que muchos de los problemas se deben al desequilibrio nutricional, responsable del estatus nutricional de los peces, que está causando considerable perjuicio a las granjas piscícolas.

Los peces son animales poiquilotérmicos, cuya tasa metabólica esta asociada a la variación de temperatura del agua, existiendo una tasa de temperatura óptima para cada especie. De ahí que, las variaciones térmicas afectan el crecimiento de los peces, así las exigencias nutricionales sean constantes, variando apenas la cantidad ingerida, el tiempo de permanencia y de digestibilidad.

Cuando la temperatura se encuentra dentro de la tasa de confort para la especie, hay una mejor utilización de los nutrientes. En tales condiciones, los peces tienen su tasa de crecimiento optimizada.

Los requerimientos nutricionales son determinados con base en la tasa térmica de confort, sabiéndose que la exigencia de manutención es prácticamente constante así la temperatura se encuentre por encima o debajo de dicha tasa. El consumo de alimento es regido por la temperatura del agua y por el balance energía - proteína de la dieta. En ese orden de ideas, es erróneo el concepto de que en condiciones de baja temperatura la dieta deba contener mayor porcentaje proteico, una vez que las enzimas digestivas no tienen la misma acción que en condiciones de confort térmico. Lo mismo ocurre en condiciones de altas temperaturas o en situaciones de estrés fisiológico, ocasionado por alta temperatura y consecuente baja de concentración de oxígeno.

Las exigencias nutricionales de las diferentes especies de peces han sido determinadas considerándose las características anatómicas y morfológicas del sistema digestivo y de los diferentes hábitos y comportamientos alimenticios. Entonces, las mejores repuestas de desempeño productivo dependen de la adecuada frecuencia alimenticia. Larvas y alevinos responden a un mayor número de alimentaciones diarias que juveniles y adultos, debido a su mayor tasa de crecimiento específico. Entretanto, juveniles y adultos de algunas especies

también pueden presentar un desempeño productivo diferenciado con más de una comida diaria.

Peces con estómago funcional, como el pacu (*Piaractus mesopotamicus*), tambaqui (*Piaractus brachypomus*), bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) y salmónidos, tienen capacidad de almacenar mayores cantidades de alimentos. Para estas especies dos comidas diarias son suficientes. Por otro lado, las tilapias, a pesar de presentar estómago funcional, responden mejor a tres comidas diarias, pues la capacidad de almacenamiento de alimento en el estómago es reducida. Sin embargo, cuando se emplean tasas de alimentación excesivas, el aprovechamiento es perjudicado ya que el alimento es desperdiciado, no ingerido totalmente o excretado antes que el proceso de digestión se complete. En este caso, la economía es seriamente comprometida y la calidad de agua en el sistema de producción también es perjudicada.

La dieta suministrada a los peces debe atender sus exigencias nutricionales. Dietas no balanceadas afectan negativamente el aprovechamiento de los nutrientes. Niveles dietéticos de nutrientes, abajo o arriba de los exigidos, pueden interferir en la digestibilidad y absorción de otros nutrientes. Es importante resaltar que los peces regulan el consumo de alimento principalmente por la cantidad de energía dietética. Por lo tanto, si la dieta contiene altos niveles de energía, la saciedad puede ser alcanzada antes que el pez haya consumido la cantidad de nutrientes necesaria para la obtención de un buen índice de crecimiento.

La ración formulada debe presentar buena palatabilidad y estabilidad en el agua. Los alimentos no consumidos, luego del suministro están sujetos a pérdidas de nutrientes por lixiviación, las cuales interfieren en el consumo posterior, al perjudicar la conversión alimenticia y la calidad del agua.

4.7 Digestibilidad de los alimentos para peces.

Según Maynard y Loosly²², el análisis químico es la primera herramienta para determinar el valor nutritivo de un ingrediente o de una dieta. Después de la ingestión, la efectiva asimilación de los nutrientes depende de la habilidad fisiológica del organismo animal en cuestión.

De acuerdo con Cho²³, la determinación de la digestibilidad de los nutrientes de una materia prima, es el primer paso cuando se pretende evaluar su potencial de

²² MAYNARD, L.A; and j.K. LOOSLY. Nutrição Animal. Rio de Janeiro : McGraw Hill, 1989 p.115.

²³ CHO, C.Y. La energía en la nutrición de los peces. En Nutrición en acuicultura II. Editorial J. espinosa de los Monteros y U. Labarta, Madrid – España.1987 P. 197.

inclusión en una dieta para peces. Los primeros estudios acerca de la determinación de los coeficientes de digestibilidad de los alimentos fueron realizados por Homburger, en 1877.

Para Higuera²⁴, el valor nutritivo de un alimento depende de su contenido en nutrientes, de la capacidad animal para ingerirlos y absorberlos. El resultado de ese proceso varía en función de la especie, condiciones ambientales, cantidad y calidad del nutriente, proporción relativa entre los nutrientes y los procesos tecnológicos a que el alimento ha sido sometido. Así, la digestibilidad describe la fracción del nutriente o energía del alimento que no es excretada en las heces.

Pezzato²⁵, et al afirman que la sustitución de determinados productos y subproductos de la agroindustria, empleados como ingredientes en las dietas de peces, por otros poco comunes, se presentan como una práctica económica alternativa. La digestibilidad de estos productos poco comunes ha sido estudiada por varios autores y presenta resultados efectivos sobre la utilización de los nutrientes por una determinada especie.

Hepher²⁶, asegura que la digestión del alimento depende de tres factores principales: tamaño de las partículas, que constituyen el alimento ingerido (exposición a acción de enzimas digestivas); actividad de las enzimas digestivas y tiempo de exposición del alimento al sistema digestivo. Para Sullivan y Reigh, citados por Pezzato²⁷, independientemente del método utilizado para la determinación de los coeficientes de digestibilidad de una dieta o un ingrediente, los resultados finales pueden ser afectados por factores ambientales, por el estado de salud y hábito alimenticio de los peces, por las prácticas alimenticias adoptadas y por la composición y procesamiento de la dieta.

²⁴ HIGUERA, M. Diseños y métodos experimentales de evaluación de dietas. J.a.Monteros y m.labarta, editores. Nutrición en acuicultura II.. Madrid España.1987. P 291

²⁵ PEZZATO,Op cit. P.136.

²⁶ HEPHER. B, Nutrición de peces comerciales en estanques. Editorial Limusa, grupo Noriega editores. México, 1993 p-53.

²⁷ PEZZATO. Op cit. P. 139.

4.8 Determinación de coeficientes de digestibilidad

Guillaume et al²⁸, afirman que la digestibilidad de una materia prima en particular puede medirse de diferentes formas:

- Distribución única, sin ningún otro alimento. Se obtiene así la digestibilidad de la materia prima bruta pero salvo excepciones, la materia prima no constituye una dieta equilibrada y la digestibilidad de los nutrientes podría en cierta medida, ser diferente al incorporarse en un alimento particular.
- Incorporación en la dieta alimenticia de base, cuya digestibilidad se conoce, manteniendo la ración constante. Esta incorporación se efectúa, en una sola tasa (30% de la dieta, por lo general), o si se busca una mayor precisión, en varias tasas (por ejemplo 15, 30 y 45% de la dieta). El cálculo del CDA de la materia prima se hace entonces, por la diferencia con la dieta de base, o por extrapolación a partir de esta última.

Meurer²⁹ señala que pocos alimentos son utilizados como únicos componentes en una dieta, por tanto algunos investigadores evalúan la digestibilidad de un alimento en combinación con otros ingredientes. Cho et al citados por Meurer³⁰, determinaron los coeficientes de energía y proteína digestible de los ingredientes alimenticios por comparación de la digestibilidad de la dieta de referencia (DR), con la dieta analizada (DT), la cual poseía 70 % de la DR y 30 % de la DT. De esta manera, los efectos asociativos que son causados por interacciones entre ingredientes y que culminan con una mayor digestibilidad del ingrediente en la mezcla que su digestibilidad individualmente, son eliminados y el coeficiente de digestibilidad aparente es más confiable.

Los métodos de laboratorio y pruebas estadísticas no exigen un balance de la dieta de forma isoprotéica e isoenergética, cuando se evalúan los CDA de

²⁸ GUILLAUME, J. CHOUBERT, G. Fisiología digestiva y digestibilidad de los nutrientes en los peces. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Guillaume, J; Kaushik, S; Bergot, P; Metailler, R. INRA ediciones mundiprensa. 2004. p.75-77.

²⁹ MEURER, S, Digestibilidade Aparente Da Materia Seca, Proteína e Energia Brutas de alguns Ingredientes para Juvenil de Piracanjuba, Brycon Orbignyanus. Santa Catarina (Brasil): Universidad Federal de Santa Catarina. Dissertação curso de Pós-graduação em Acuicultura do Centro de Ciências Agrárias. 1999.P. 25.

³⁰ Ibid., p.25.

ingredientes. Esto se puede observar en estudios realizados por Espejo³¹ y Meurer³² entre otros, en los que su objetivo estaba encaminado a evaluar el aprovechamiento de las materias primas y la formulación respectiva de las dietas experimentales no requirió este tipo de balance. Sin embargo, en ensayos de digestibilidad en donde se mide el comportamiento del pez, mediante el cálculo de variables productivas como la ganancia de peso y conversión alimenticia es importante esta formulación.

Tompson, citado por Meurer³³, asegura que la digestibilidad de un determinado nutriente es normalmente expresada por un valor que representa la digestibilidad aparente o coeficiente de digestión. Igualmente Brunson³⁴, citado por Meurer, asegura que los coeficientes de digestibilidad aparente, pueden ser usados para seleccionar ingredientes que optimicen el valor nutricional y los costos de las dietas formuladas.

Hajen et al citado por Pezzato³⁵, reitera que uno de los mayores problemas para una clara determinación de la digestibilidad cuando el método de colecta se hace directamente del agua, consiste en la lixiviación, ya que toda pérdida de nutriente es asumida como si hubiera sido absorbida por el pez. Cualquier lixiviación resultará en coeficientes de digestibilidad aparente, erróneamente altos.

Cohelo, citado por Pezzato³⁶, afirma que no hay lixiviación significativa en las primeras horas, esto dependerá de la dieta, ya que al aumentar la cantidad de aglutinante se puede estar aumentando la compactación de las heces y disminuyendo la lixiviación. Así, la estabilidad de la ración y la alimentación controlada son condiciones para minimizar fuentes de polución en el agua. Sin embargo, no siempre es posible adicionar grandes cantidades de aglutinante a la ración, ya que algunos peces dejan de ingerir el alimento cuando éste adquiere tal característica.

³¹ ESPEJO, C; VICTORIA, N; LETERME, P. Valor nutricional de la soya integral para la tilapia roja. Universidad Nacional de Colombia Palmira.2002. (citado el 8 feb., 2004).Avalaible from Internet: www.unal.edu.co/biblioteca_virtual/zootecnia/summary.cfm

³² MEURER, S. Op cit. P. 25.

³³ Ibid, p.25.

³⁴ Ibid., p.25

³⁵ PEZZATO Op cit p. 146.

³⁶ PEZZATO Op cit P. 146.

4.8.1 Metodologías empleadas en estudios de digestibilidad en peces. De acuerdo con Muñoz³⁷ existen varias metodologías para la colecta de heces en estudios de digestibilidad en peces. En su desarrollo se debe controlar situaciones de estrés, por el manejo en métodos como: presión abdominal, succión anal, contención en cámara metabólica, alimentación forzada, sacrificio de los animales por disección intestinal y la lixiviación de nutrientes y energía en las heces.

La digestibilidad constituye un excelente factor de cuantificación del valor nutricional de los insumos utilizados en la alimentación acuícola, ya que no es suficiente que los elementos nutricionales se encuentren en porcentajes adecuados en alimentos, estos deben ser digeribles para que puedan ser asimilados. Existen varias formas de cuantificar la digestibilidad en peces y camarones, pero hay grandes diferencias con las investigaciones realizadas en mamíferos y aves ya que para obtener las muestras de heces se debe contar con el riesgo de ocasionar estrés por manipulación a los animales.

Por otra parte el hecho de que un ingrediente pueda tener un buen perfil nutricional, no implica un buen valor biológico, ni que sus nutrientes sean digeridos y absorbidos de manera adecuada por los peces, debido a esto la importancia de realizar estudios de digestibilidad

4.8.1.1 Métodos in vivo. La digestibilidad aparente corresponde a la fracción del alimento ingerido que no es encontrado en las heces, involucrando varios procesos como la masticación, absorción y solubización de los nutrientes del alimento. Se expresa en porcentaje obteniéndose así: EL COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD APARENTE (CDA).

$$CDA(\%) = \left[\frac{I - F}{I} \right] \times 100$$

I = cantidad de alimento consumido

F = heces totales sin corrección de las pérdidas fecales metabólicas

Las pérdidas fecales metabólicas, corresponden a las excreciones endógenas producto de la secreción enzimática, descamación del epitelio intestinal, material de origen metabólico (enzimas), proteínas de origen bacteriano, formación de la membrana peritrófica fecal en el caso de los crustáceos y la secreción de sustancias lubricantes.

³⁷ MUÑOZ, A.P. Curso: Nutrición acuícola tópicos actualizados. V seminario internacional de acuicultura. Universidad nacional de Colombia. Santa fe de Bogota. noviembre 2005. p 8.

Digestibilidad verdadera. Teniendo en cuenta el material endógeno producido puede ser definido el COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA (CDV)

$$CDV(\%) = \left[\frac{I - (F - F_m)}{I} \right] \times 100$$

F_m = cantidad de elementos nutritivos excretados como producto del metabolismo Fecal.

Existen dispositivos experimentales diseñados para la recuperación integral de las heces, orina o excreciones branquiales (acuarios metabólicos). no obstante, si no son cuantificados los productos endógenos, los errores no llegan a ser muy importantes y la determinación es generalmente considerada como no significativa.

Existen dos metodologías para realizar la estimación del nitrógeno metabólico fecal:

- Puede ser obtenido por extrapolación, alimentando los animales con una cantidad conocida de alimento sin proteína.
- Alimentando los animales con dietas de diferentes niveles de proteína y determinando por regresión de nitrógeno fecal contra la del alimento, el valor de cero proteína (Foster y Gabot 1971).

La digestibilidad de un nutriente puede ser estimada por dos métodos; por un método cuantitativo (directo) o por un método que utilice un marcador (indirecto).

4.8.1.2 Método cuantitativo o método directo. Implica la colecta cuantitativa, la estimación y análisis de todos los productos excretados el coeficiente de digestibilidad se calcula así:

$$CD(\%) = \left[\frac{\text{Nutriente Alimento} - \text{Nutriente Heces}}{\text{Nutriente Alimento}} \right] \times 100$$

Esta metodología permite evaluar la cantidad excretada de un nutriente (proteína, energía) comparando con la cantidad ingerida. Este coeficiente es utilizado con la ayuda de acuarios metabólicos. La utilización de este método es compleja teniendo en cuenta el fenómeno de la masticación externa del alimento dentro del agua, la cual provoca la desintegración y lixiviación.

4.8.1.3 Métodos con marcadores o método indirecto. El principio de esta metodología consiste en medir la concentración del producto estudiado con respecto a la de un marcador inerte mezclado en el alimento en baja cantidad. Para este propósito es comparada la relación del marcador en el alimento y en las heces.

La utilización del marcador como referencia permite estimar el Coeficiente de Utilización Digestiva Aparente.

$$CDA (\%) = 100 - 100 \times \left[\frac{\% \text{ Indicador Dieta}}{\% \text{ Indicador Heces}} \times \frac{\% \text{ Nutriente Heces}}{\% \text{ Nutriente Dieta}} \right]$$

Según Mendoza et al, citado por Muñoz³⁸ el marcador utilizado en esta metodología debe tener las siguientes características:

- Estar uniformemente mezclado con la dieta
- Ser totalmente inerte, que quiere decir: resistir a secreciones gástricas, y a digestión enzimática.
- No ser absorbible, ni metabolizable.
- No influir en fenómenos de absorción, digestión, y secreción de manera sinérgica o antagónica.
- Debe tener la misma velocidad de tránsito que el ingrediente evaluado.
- Rápidamente cuantificable.
- No afectar el consumo de la dieta.

La digestibilidad es afectada por valores asociativos de los ingredientes, y no corresponde a la media de los valores para cada uno de ellos. Con el objetivo de corregir tal efecto ha sido utilizada la fórmula propuesta por Cho y Slinger. Con ésta, la digestibilidad es determinada a partir de un alimento de referencia. El Coeficiente de Digestibilidad del Ingrediente es calculado.

$$CDi(\%) = \frac{100}{30} \times \left[CDa \text{ dieta teste} - \frac{70}{100} \times CDa \text{ dieta referència} \right]$$

4.8.2 Métodos para colecta de heces. Muñoz³⁹ afirma que las investigaciones de digestibilidad, deben orientarse a la colecta de una muestra representativa, libre de partículas de alimento no consumido y al uso de un marcador. Algunas técnicas son utilizadas por razones prácticas, de preferencia, produciendo generalmente

³⁸ Ibid. P. 9.

³⁹ Ibid. P.10.

coeficientes de digestibilidad poco confiables. La metodología más usada en estas técnicas es la colecta de heces de la parte final del intestino por extrusión manual, succión o disección intestinal. Esta técnica generalmente provoca una subestimación de la digestibilidad de los nutrientes (especialmente proteína) por la contaminación de las heces con material endógeno que podría, de otra manera, ser absorbido antes de que las heces sean excretadas.

Otras técnicas, tales como la colecta frecuente de heces por sifonamiento del fondo del acuario, están sujetas a producir coeficientes no confiables de digestibilidad, ya que el fraccionamiento de la heces por el movimiento de los peces puede provocar la lixiviación de nutrientes y por tanto la superestimación de los coeficientes de los nutrientes.

Finalmente, la técnica de Smith, donde las heces excretadas en el agua son colectadas de los peces colocados en pequeñas cámaras metabólicas, produce coeficientes cuestionables, ya que los peces son sometidos a alimentación forzada.

Las metodologías de colectas de heces pueden ser clasificadas de diferentes maneras, considerando el hecho que la colecta puede ser realizada fuera o dentro del agua, o teniendo en cuenta el grado de automatización de la técnica.

4.8.2.1 Disección intestinal. Después de un periodo de adaptación, los peces son alimentados con una dieta de referencia por 5 días mezclada con 0.5 a 1% de óxido de cromo. Al quinto día los peces recién alimentados son anestesiados con benzocaína. Los peces son sacrificados y abiertos lateralmente para retirar el contenido fecal del recto. La porción distal del intestino (después de la segunda válvula intestinal) es retirada del pez y colocada en una caja petri. Utilizando una tijera quirúrgica el intestino es abierto longitudinalmente, y con una espátula se retira el contenido fecal, que es llevado a otra caja de petri. Parte de este material es llevado a estufa de circulación de aire forzado a 55° C, hasta obtener peso constante. Las heces son colocadas en tubos de ensayo para realizar los análisis posteriores.

4.8.2.2 Presión abdominal. Como en el método de disección intestinal, cada pez después de anestesiado es sometido a un masaje abdominal, desde las aletas ventrales en dirección al ano. De esta manera se colectan las heces, que son depositadas en cajas petri y conservadas en congelador para posteriores análisis.

4.8.2.3 Sistema Guelph convencional. Choubert et al citados por Pezzato et al⁴⁰, señalan que preocupados por posibles pérdidas de nutrientes y marcador por

⁴⁰ PEZZATO, Luis. E. Op cit., p.36.

lixiviación, en función de la permanencia de las heces en el agua de los acuarios de colecta, desarrollaron un equipo capaz de recuperarlas 15 segundos después de su excreción. Con el mismo objetivo Cho y Watanabe, citados por Delgado y López,⁴¹ usaron una columna de sedimentación para separar las heces del afluyente de agua (Sistema Guelph) y adaptaron una criba mecánica rotatoria para filtrar y sacar del agua el material fecal (sistema St-Pe). Los sistemas Guelph y St-Pe han sido replicados en varios laboratorios alrededor del mundo y pueden ser considerados como igualmente confiables. En un estudio reciente comparando el método de columna TUF y el sistema Guelph, se obtuvieron coeficientes de digestibilidad aparente muy similares con los sistemas para dietas prácticas.

Por otra parte, Storebakken et al, citado por Pezzato⁴², trabajando con el salmón del Atlántico, comparando métodos de obtención de heces, encontraron diferencias significativas entre los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca, proteína y extracto etéreo entre los métodos Guelph, disección intestinal, extrusión abdominal, y se concluyó, que los valores de digestibilidad obtenidos por el primer método fueron más seguros y que las diferencias entre estos métodos pueden llegar al 42% para materia seca y 63% para proteína. En este sentido Pezzato et al⁴³ comparó los CDA para la tilapia nilótica mediante dos métodos: Excreción natural y disección intestinal (proximal, intermedio y distal) evaluando la digestibilidad de la materia seca, proteína bruta y extracto etéreo de una ración práctica marcada con Cr₂O₃. El autor concluyó que en la porción distal del intestino ocurre un incremento de la digestión. El método de disección subestimó la digestibilidad del material tomado y los CDA medidos por el método indirecto, con heces tomadas en los acuarios de digestibilidad, fueron más confiables y reales.

Pezzato⁴⁴ propuso modificaciones a los sistemas de cálculo de la digestibilidad en peces desarrollados por Cho y Hernández et al. Al Implementar una metodología

⁴¹ DELGADO, M.D, LOPEZ, Y, O. Coeficiente de digestibilidad real de dietas de levante elaboradas con harina de vísceras de pescado en la alimentación de mojarra patiana (*Cichlasoma omatum*, regan 1905) mediante el método de oxido de crómico y cámaras metabólicas tipo Guelph. San Juan de Pasto (Colombia) Trabajo de grado (Ingeniería en Producción Acuícola) Universidad de Nariño, facultad de Ciencias Pecuarias. 2005. p.48.

⁴² PEZZATO, Luis. E Op cit p. 149.

⁴³ PEZZATO,L,E.; A.C SILVEIRA;M.M.BARROS. Digestibilidade aparente de fontes proteicas pela tilapia do Nilo *oreochromis niloticus*. en:Simposio Brasileiro de Aqüicultura 5. 1988 p .378

⁴⁴ PEZZATO L.E. Digestibilidade em peixes. Tese (livre docência)- facultade de Medicina Veterinaria e zootecnia Universidade estadual paulista- UNESP, Botucatu, SP, Brasil. 2001. p 56

en la cual los peces reciben las dietas experimentales en tanques separados del sistema de colecta de heces; durante el periodo de alimentación, los peces son alojados en tanque red de forma circular (80 cm de diámetro y 60 cm de altura), elaborados en fibra de vidrio. Cada tanque red hace parte de un conjunto de acuarios circulares (acuarios de alimentación), con capacidad de 300 litros, en un sistema cerrado de circulación con recambio cada hora. Este sistema es dotado de un filtro físico y biológico, con aireación y control de temperatura. En estos acuarios de alimentación, los peces permanecen durante el día de las 8 am a 5 pm, donde reciben la dieta a voluntad, con mayor frecuencia durante el final del periodo. Al día siguiente de los tanques red son llevados a los acuarios de digestibilidad. Estos tienen su inferior en forma cónica, con un registro al que se acopla herméticamente un frasco transparente de 200 ml, para la colecta de heces. Están provistos del mismo sistema que los acuarios de alimentación.

Los peces permanecen en los acuarios de digestibilidad hasta la mañana del día siguiente, cuando retornan a los tanques de alimentación, para un nuevo ciclo de colecta. Este procedimiento posibilita la obtención de heces sin que haya contaminación por la dieta o por el agua y en consecuencia evitando la lixiviación de nutrientes. Después de retiradas de los tanques y por medio de centrifugación manual del agua, las micro partículas presentes también son tomadas con el contenido presente en los frascos colectores. Las heces de cada frasco son centrifugadas a 10.000 r.p.m por 20 minutos, deshidratadas a 52° C por 48 horas, molidas y homogenizadas estando así listas para los diferentes análisis químicos.

4.8.2.4 Sistema Guelph modificado. Según Abimorad⁴⁵ este sistema consiste en el uso de un acuario cilíndrico fabricado en fibra de vidrio con una capacidad que varía de 60 a 100 litros.

Los acuarios poseen una forma cónica que facilita la decantación de las heces, quedando depositadas en el fondo. En la parte inferior llevan registros de esfera con mangueras de látex en donde van adaptados tubos de ensayo, para que el material fecal sea colectado (Figuras 3, 4).

Este sistema se caracteriza por tener un abastecimiento continuo de agua en la parte superior durante todo el proceso y por tener un tubo lateral que esta dentro del acuario para el recambio y por la ausencia de control de temperatura y de sistema de aireación (Figura 5)

⁴⁵ ABIMORAD, E.2001 teses. Metodos de coleta de fezes . Faculdade de ciencias agrarias e veterinarias Universidade estadual paulista, Jaboticabal, S.P Brasil 2001 p. 48

Después de ser alimentados con las dietas experimentales los peces pasan de los acuarios de alimentación a los colectores de heces y al cabo de algunos minutos, en intervalos de 30 minutos, el material fecal es colectado para evitar la lixiviación de nutrientes.

El procedimiento consiste en cerrar el registro de esfera y retirar el tubo de ensayo. Con las heces en el fondo del mismo, se descarta gran parte del agua y el contenido es depositado en cajas petri etiquetadas, permaneciendo en el congelador hasta obtener la cantidad necesaria para realizar análisis químicos de nutrientes e indicador.

Figura 3. Sistema Guelph modificado **Figura 4. Parte inferior del colector**

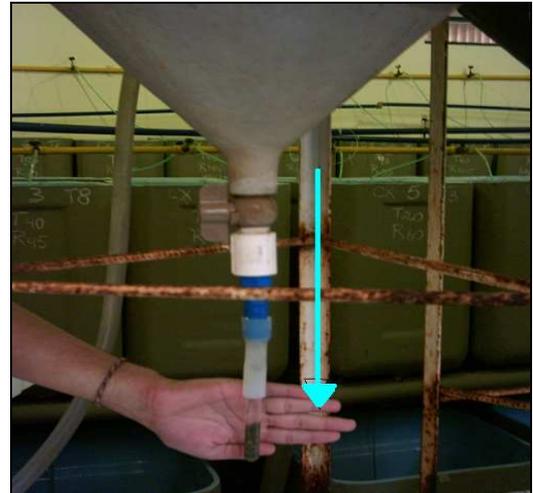
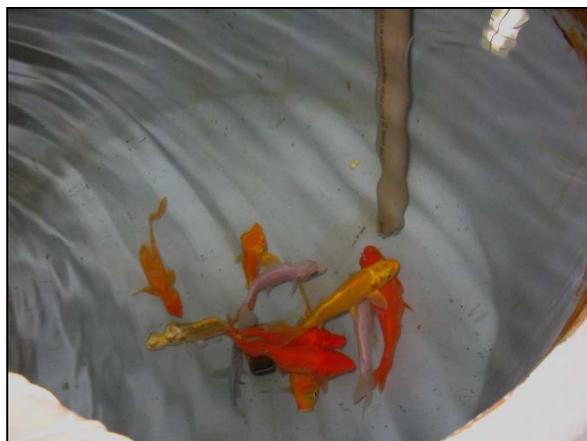


Figura 5. Parte superior del colector



4.9 Indicadores de digestibilidad

Pezzato, et al⁴⁶ señalan que los indicadores se dividen en internos y externos. Los externos son adicionados a la ración o administrados por otra vía al animal. En cuanto a los marcadores internos, estos están naturalmente en los alimentos. Estos indicadores presentan varias aplicaciones en estudios nutricionales: estimar la cantidad de alimento o nutriente consumido, medir el tiempo y tasa de ingesta por el tracto digestivo, estimar el coeficiente de digestibilidad total o parcial de los alimentos en estudios de digestibilidad y cuantificar el consumo de alimentos en condiciones controladas. Dentro de los marcadores fecales externos, el óxido de cromo III (Cr_2O_3) se presenta como el más empleado en estudios de digestibilidad con peces.

El uso de Cr_2O_3 como marcador fecal presenta ventajas al sustituir la colecta total de las heces y al proporcionar economía de tiempo y costos. El Cr_2O_3 es de coloración verde clara a oscura y es prácticamente insoluble en agua, alcohol o acetona y ligeramente en ácidos y álcalis.

Según Maynard y Loosly citados por Pezzato⁴⁷, las características ideales para que una sustancia sea considerada como indicador son: que sea completamente indigestible, no absorbible, con mínima acción farmacológica, que pase uniformemente a través del aparato digestivo, de rápida determinación química y preferiblemente que sea constituyente natural de la dieta.

⁴⁶ PEZZATO Op cit p. 136.

⁴⁷ Ibid. p. 136.

Coelho da Silva⁴⁸ et al, afirman que el óxido de cromo, presenta mayor densidad específica que los demás ingredientes, siendo su recuperación en las heces incompleta, ya que los otros ingredientes pasan de forma más rápida por el tracto digestivo, habiendo diferencias entre el volumen de materia seca obtenida durante los periodos diurnos y nocturnos. Por otra parte Bowen citado por Coelho da Silva⁴⁹ cuestionó el uso de Cr₂O₃ en estudios de digestibilidad con peces, justamente en función de su tránsito lento a través del tracto digestivo. De la misma manera en el sentido de corregir ese error, De la Noue et al citados por Coelho da Silva⁵⁰ investigaron en truchas arco iris las condiciones necesarias para el uso del Cr₂O₃ como marcador de la dieta para peces. Estos autores concluyeron que la colecta de las heces cuando se realiza a partir del tercer día de alimentación, proporciona valores definitivos a los coeficientes de digestibilidad.

De igual modo Sallum⁵¹ desarrolló estudios con Matrinxa, (*Brycon cephalus*) teniendo como objetivo determinar la concentración mas adecuada de óxido de cromo, para evaluar el coeficiente de digestibilidad. El autor concluyó que no existen diferencias cuando la utilización de marcador varia de 0.6 a 2.1 % de la dieta.

En cuanto a la posibilidad de existir influencia del período de colecta de las heces sobre el coeficiente de digestibilidad, en función de las desigualdades existentes entre los pesos de heces excretadas por los animales, Coelho da Silva et al⁵² verificaron la inexistencia de diferencias estadísticas en las estimativas de la digestibilidad, con base en el material colectado entre los periodos diurno y nocturno con la tilapia áurea (*Oreochromis aureus*).

Buddington⁵³ desarrolló un estudio en el sentido de encontrar el marcador mas adecuado para la medida del coeficiente en trucha arco iris y tilapias áurea,

⁴⁸ COELHO DA SILVA, J.F.C.;J.Campos; and J.H.Conrad. Uso do Oxidom cromico na determinação da digestibilidade experientae 1988 (1): p.23

⁴⁹ Ibid., p. 25.

⁵⁰ Ibid., p.25.

⁵¹ SALLUM, W.B.Oxido cromico III como indicador externo em ensayos metabolicos para matrinxa(*Brycon cephalus*) tese doutorado , Universidade Federal de Lavras, Minais gerais. Brasil. 2000. P. 46.

⁵² Coelho da Silva, op cit., p.26.

⁵³ BUDDINGTON, R.K. Hydrolysis – resistant organic mater as a reference for measurement of fish digestive efficieny.transactions of the American fisheries society .1995, vol 109: p.653.

mosambica y nilotica. El autor concluyó que la materia orgánica resistente a la hidrólisis fue más eficiente y precisa que el Cr_2O_3 . Así mismo, se encuentran referencias indicando que el Cr_2O_3 afecta el coeficiente de digestibilidad del alimento. Al respecto Ringo citado por Buddington⁵⁴ observó que la flora de bacterias aeróbicas intestinales del Arctic charr (*Salvinus alpinus*) fue afectada por la inclusión del 1.0% de Cr_2O_3 en la dieta.

Inaba⁵⁵ et al, en estudios con trucha arco iris verificaron que los coeficientes de digestibilidad de la proteína fueron mayores en las heces obtenidas por excreción natural, en acuarios de colecta, comparados con los estimados a partir de presión abdominal. La respuesta fue atribuida al nitrógeno presente en las heces, proveniente de enzimas digestivas y células de la descamación de la pared intestinal. Igualmente Smith y Lovell citados por Inaba⁵⁶ intentaron con la alimentación natural, evitar el estrés provocado por la alimentación forzada en bagre de canal y anestesiando los peces antes de la colecta, previnieron la mayor excreción de nutrientes en las heces a partir de la extrusión manual.

Austreng⁵⁷ comparó varios métodos de obtención de heces, para la determinación de los coeficientes de digestibilidad, en trucha arco iris. El autor confrontó los resultados obtenidos de la colecta por presión abdominal (extrusión) y por la disección en cinco regiones del intestino, concluyendo que el primer método fue más conveniente y acertado.

De igual modo Henken et al⁵⁸ con el objetivo de comparar los métodos de colecta de heces por sedimentación y disección del tercio final del intestino de los peces, con concentrado marcado con Cr_2O_3 , en bagre africano, afirman que los coeficientes de digestibilidad obtenidos por el último método son más seguros. Shahat citado por Henken⁵⁹ comparó los métodos de determinación de la

⁵⁴ Ibid., p.653

⁵⁵ INABA, D; C. ORGINO; C. TAKAMATSU M; S. SUGANO; and H. HATA. Digestibility of dietary components in fishies. 1- Digestibility of dietary proteins and strch in rainbow trout. Bulletin of the Japanese society of scientific fisheries. 1996. 28(3). P.367.

⁵⁶ Ibid., p. 354.

⁵⁷ AUSTRENG, E. Digestibility determination in fish using chromicoxidemarking and analisys of contentsfrom different segments of the gastrointestinal tract. Aquaculture nutrition.1995.13: p.265

⁵⁸ HENKEM, A.M.; D.W.KLEIGELD; and P.A.T. The effect of feeeding level on apparent digestibility of dietary dry mater, crude protein and gross energy in the African catfish (*Clarias gariepinus*) 1985. Journal Aquaculture.1985. p 51..

⁵⁹ Ibid., p.54.

digestibilidad por medio de la colecta de muestras en el estómago, recto y por el filtraje diario de agua en un cultivo de bagre: los coeficientes de digestibilidad de la proteína y energía no fueron significativamente diferentes, excepto para las muestras de harina de algodón tomadas en el recto.

Sin embargo en peces según Lied et al⁶⁰, el óxido de cromo no satisface los criterios para ser utilizado como marcador, por que no siempre puede ser totalmente recuperado en las heces y necesita ser incluido en altas concentraciones (0.5 a 1.0%) de la dieta para llevar a resultados homogéneos. Así mismo altos niveles de óxido de cromo en la dieta pueden perjudicar la absorción y el metabolismo de los nutrientes en los peces. De hecho, trabajando con híbridos de tilapia, Shiau y Lin citados por Lied⁶¹ mostraron que la utilización de carbohidratos para esta especie es afectada por la suplementación dietética con cromo, indicando que este elemento no puede ser totalmente inerte para los peces.

En contraste Wilson 1997, Fernandez et al, 1999, Hillestad et al 1999 citados por Sampaio de Oliveira⁶² no encontraron efectos negativos del óxido de cromo en las estimativas de digestibilidad de macronutrientes para el bagre de canal *Ictalurus punctatus* y salmón del atlántico (*Salmo salar*).

Morales et al, citados por Sampaio de Oliveira⁶³ evaluando la fibra bruta y ácidos insolubles como marcadores, concluyeron que los resultados mas consistentes encontrados y comparados con el óxido de cromo, fueron aquellos obtenidos con el uso de la fibra bruta como marcador. Cuando el ácido insoluble fue utilizado, hubo una tendencia a sobrestimar los valores de los coeficientes de digestibilidad. Las causas no son del todo claras, pero según Morales et al, pueden estar relacionadas con la velocidad de tránsito gastrointestinal ya que una significativa fracción de la ceniza resistente a la hidrólisis puede ser absorbida por el pez, invalidando esta sustancia como marcador.

⁶⁰ LIED. E, JULSHAM. K, BRAEKKAN. O. Determination of protein digestibility in Atlantic cod (Dadus morhua) with internal and external indicators. Canadian Journal Fisheries and Aquatic science. 1982., v. 39, p. 854.

⁶¹ Ibid, p. 858

⁶² SAMPAIO DE OLIVEIRA. A. Substituição do fontes proteicas de origen animal por fontes proteicas de origen vegetal em rações para o "black bass" (Micropterus salmoides) Teses do doutorado em agronomia. Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz" Universidad de Sao Paulo Piracicaba Sp Brasil. 2003. P. 49.

⁶³ Ibid p. 49.

Goddard y Mc Lean citados por Sampaio de Oliverira⁶⁴ señalan que las ventajas del uso de ácidos insolubles como marcadores en estudios de digestibilidad son el bajo costo, fácil manejo y la utilización de equipo de laboratorio básico, que benefician a los investigadores.

⁶⁴ Ibid p. 49.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) del Centro de Acuicultura de la Universidad Estatal Paulista (CAUNESP-UNESP), (Figura 6), localizado en el campus de Jaboticabal, estado de Sao Paulo, al sur este de Brasil con coordenadas geográficas de latitud 21°15'26" sur y longitud 48° 19'23" oeste con una altitud de 530 m.s.n.m, temperatura media de 32° centígrados y humedad relativa media de 37 a 40 %, como lo afirma el instituto geofísico de Barrinha⁶⁵. El Centro de Acuicultura de la Universidad Estatal Paulista fue creado en 1988. Adscrito a la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias de la Universidad Estatal Paulista

Figura 6. Centro de Acuicultura de la Universidad Estatal Paulista. (CAUNESP-UNESP) Campus de Jaboticabal.



⁶⁵ Available from Internet: www.barrinha.geofisico.com.br

5.2 INSTALACIONES Y EQUIPOS.

5.2.1 Laboratorio. Se utilizaron 24 acuarios con capacidad de 150 litros de flujo continuo, aireación constante, a través de compresor radial. El agua es suministrada de un pozo artesanal, con temperatura promedio de 29° centígrados; además cuenta con 6 incubadoras tipo israelí en fibra de vidrio de 80 litros de capacidad, modificadas como colectores tipo Guelph para realizar estudios de digestibilidad. Estos colectores son en la parte inferior de forma cónica al cual se adaptan registros de esfera y pequeñas mangueras de látex, que permiten la fijación de tubos de ensayo para la deposición de las heces.

5.2.2 Materiales y equipos de laboratorio

Balanza analítica Mettler modelo aj 150 rango 0.0001 a 150 gramos
Balón de 100 ml
Balde de 5, 15, 20 litros
Bloque digestor Kjeldahl Tecnal 3
Bomba calorimétrica Parr modelo 1281
Crisoles de porcelana
Compresor radial wendells modelo 8-20
Desecador
Espectrofotómetro Hach EMI 2000
Extractor soxhlet E-Q
Extrusora Extrutec
Formol al 8%
Manguera plástica de 3 mm de diámetro
Micromolino Tecnal modelo 5624
Nasas plásticas de 0.08 metros cuadrados
Oxímetro YSI 55 modelo 55-12FT
pH metro american marine INC modelo 407/886-3939
Sal marina.
Termómetro digital OXI 315I WTW
Tubos digestores
Tubo volumétrico
Yodo

5.2.3 Material biológico Se evaluaron 240 ejemplares de carpa roja (*C. carpio haematopterus*) con peso medio de 60 ± 10 grs y coeficiente de variación de 7.10 provenientes de una piscifactoría comercial especializada en la producción de esta especie de la ciudad de Araraquara estado de Sao Paulo Brasil, los ejemplares de carpa roja se distribuyeron en 24 acuarios experimentales con capacidad de 150 litros, a una densidad de 10 peces por acuario.

5.3 INGREDIENTES, PROCESAMIENTO Y ALIMENTACIÓN

5.3.1 Ingredientes utilizados y dietas experimentales. En la preparación de las dietas experimentales se incluyeron dos ingredientes energéticos: maíz y trigo, tres de origen vegetal que aportan proteína como: soya integral tostada, soya y levadura de alcohol de caña, así como dos alimentos proteicos de origen animal: harina de pescado y harina de vísceras de aves. Las dietas experimentales contenían un 69 % de dieta de referencia (Tabla 16), un 30 % del ingrediente analizado y 1% de óxido de cromo. (Anexos A, B, C).

Tabla 16. Composición (%) de la dieta de referencia

Ingrediente	Referencia
Maíz	14,37
Harina de trigo	10,45
Harina de arroz	2,70
Sorgo	14,57
Cascarilla de arroz	14,87
Harina de soya	11,87
Harina de algodón	7,91
Cáscara de girasol	2,10
Cáscara de soya	1,20
Harina de pescado	5,55
Harina de vísceras de aves	2,18
Harina de carne	2,99
Harina de sangre	1,74
Aceite vegetal	6
Premix ^{1/}	1,50
Total	100,00

5.3.2 Procesamiento de las dietas. Todas las dietas fueron elaboradas en el Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos (LANOA) CAUNESP, mezclando primero los macro y luego los micro-ingredientes, luego pasaron por el procesamiento de extrudización. Algunos ingredientes como la harina de soya integral tostada y la harina de trigo, fueron finamente molidos con el fin de garantizar una mejor homogenización de los componentes de la dieta.

Para el procesamiento de extrudización la mezcla se enriqueció con 20 % de agua y posteriormente fue homogenizada y tamizada para permitir un mejor paso de la dieta por la matriz de la maquina, donde se cocino a alta presión y temperatura por un tiempo de 20 a 60 segundos (esto depende del tamaño de las partículas de la mezcla, y calidad de las materias primas).

5.3.3 Alimentación. Los peces fueron alimentados a voluntad dos veces al día (9 am y 5 pm) durante dos días, el tercer día, que coincidió con la colecta de heces, se alimento una hora antes. De acuerdo con Meurer este tiempo supera, en mucho el cambio de contenido y tránsito gastro- intestinal⁶⁶.

5.4 PLAN DE MANEJO.

5.4.1 Adecuación, desinfección de acuarios y colectores. Antes de la recepción de los animales se realizó una desinfección y lavado de los acuarios experimentales, de sus accesorios como son los tubos, mangueras de aireación y sifonamiento; piedras difusoras, nasas, baldes, termómetros y colectores. Los anteriores elementos se desinfectaron con una solución de yodo a una concentración de 250 ppm, sal marina y formol diluido al 8%.

5.4.2 Parámetros fisicoquímicos. Se realizaron monitoreos diarios para evitar variaciones de temperatura, pH y oxígeno, garantizando así la homogeneidad de las condiciones experimentales.

5.4.3 Adaptación. Los peces se adaptaron por un período de 7 días a las condiciones de manejo experimental para evitar o disminuir fuentes de variación. Así mismo, se suministró concentrado comercial con 32 % de proteína, efectuando siempre un control de consumo. Evitando posibles sobras y residuos, se realizaron recambios diarios y semanales del 100 %.

5.4.4 Biometría. Antes del desarrollo experimental se tuvo en cuenta el peso de los peces, para homogenizar a la población. En este procedimiento se anestesiaron los animales con benzocaina a una concentración de 0.05g/l.

5.4.5 Cronograma de alimentación y colecta. Se implemento para efectuar un control de los días en que se alimentaron los peces con las dietas evaluadas y de la fecha en la que van al colector facilitándose así el manejo consecutivo de tratamientos y réplicas experimentales (Anexo D).

5.5 TÉCNICAS DE LABORATORIO

5.5.1 Colecta de heces por el método Guelph modificado. Las carpas al cumplir con el periodo de alimentación fueron trasladadas a los colectores de fondo cónico, para realizar colectas a intervalos de 30 minutos, almacenado el material fecal en congelador para evitar la posible lixiviación de nutrientes hasta completar la cantidad necesaria (1g mínimo) para realizar análisis de energía, proteína e indicador (Figura 7). Los peces permanecieron en los acuarios tipo

⁶⁶ MEURER, S., op cit. p 41.