

eléctrica. Esto se explica mejor con los altos valores de correlación encontrados en estos parámetros.

En cuanto a la textura del producto, la mezcla procesada menos húmeda (70 s:30 p) es la que se parece más a la pasta de soya texturizada. Esto está en función de la temperatura de proceso, de 146 °C (Harper, 1981), que se aproxima a la requerida para texturización de pasta de soya, y para que se presente el proceso de desdoblamiento de proteína (Harper, *op. cit*; Stanley, 1989; Quintero, 1993) como se mencionó anteriormente.

La textura de los coextruídos 60 s:40 p y 50 s:50 p difieren gradualmente del primer coextruído. En la medida en que se incrementa la inclusión de subproductos de pescado, y por lo tanto, la humedad de las mezclas, el producto final adquiere textura granulosa, disminuyendo gradualmente el tamaño de partícula, obteniéndose una textura harinosa en el coe 50 s:50 p. Dicha textura puede deberse principalmente a la temperatura de proceso y a la alta humedad de la mezcla, de tal forma que a bajas temperaturas (menos de 120 °C) no se presentan los cambios físicos y químicos que caracterizan a la pasta de soya texturizada.

Otra causa de estos resultados puede ser la presencia de sales en los coextruídos, por efecto de la inclusión de subproductos de pescado (esqueleto). La presencia de sales afecta la viscosidad y solubilidad, con efectos correspondientes sobre cocción (viscosidad en el extrusor) y expansión (dureza de la proteína) (Miller, 1994).

Choudhury (1995) menciona que el contenido de humedad, las proporciones en que son mezclados pescado e ingredientes secos y la tasa de alimentación tienen influencia sobre la energía mecánica específica, influenciando la presión del dado de salida, de tal forma que a mayor humedad decrece la presión de salida. Además, las características del coextruído son afectadas mayormente por el contenido de humedad y por la tasa de alimentación, por lo que los atributos del coextruído con texturas específicas y características nutricionales se pueden controlar, modificando las tasas de inclusión de pescado (Murray and Stanley, 1980, citados por Choudhury, *op. cit.*).

#### PERDIDA DE HUMEDAD POR PROCESO.

La pérdida de humedad por el proceso fue mayor en el coe 70 s:30 p (28 %) debido a su temperatura de proceso (146 °C). Pero no difiere significativamente del coe 60 s:40 p, que perdió un 24 % de humedad, pero con una temperatura media de proceso de 137 °C. El coe 50 s:50 p, que tiene la mayor humedad inicial (36.38 %) por su alta inclusión de subproductos de pescado, perdió menos humedad (12 %) que los otros dos coextruídos, debido a que tuvo una temperatura media de proceso más baja (126 °C), aunque casi al final la temperatura se estabilizó en 115 °C, lo que justifica aún más la poca pérdida de agua.

Carver et al (1989) reportan una pérdida de agua en sus coextruídos 25:75 (vísceras de calamar y pasta de soya respectivamente, y cabezas de camarón con pasta de soya respectivamente, crudos y ensilados) del 50 %, muy superior al obtenido por nosotros, pero la

humedad inicial de sus mezclas fue del 22 % y las temperaturas de proceso variaron desde 146 a 180 °C. Kiang (1993, 1994) y Fellows (1994) mencionan que en cuanto al producto sale del extrusor, una rápida disminución de la presión hace que se expanda y que se evapore del 40 al 50 % de la humedad que había en la materia original. Esto demuestra que la pérdida de agua está en función de la humedad inicial de la mezcla, de la presión generada y la temperatura a la que es procesada.

(Miller, 1994) menciona que arriba de un 8 % de humedad puede ser removida del producto por flashing cuando emerge del extrusor, y aún más si se aplica vacío.

Esta pérdida de humedad es también definida como una deshidratación (Miller, *op. cit.*), en la que los productos que salen a alta presión en el extrusor están con frecuencia a temperaturas por arriba del punto de ebullición normal, y puede perder una cantidad substancial de humedad en forma de vapor. Aunque este no es el principal propósito del proceso de extrusión, es particularmente útil en subproductos, ya que reduce la necesidad de secar por medios menos eficientes (Kiang, 1993, 1994).

En cuanto a la humedad inicial esperada de las mezclas sin coextruir, se observó que era un poco mayor a la obtenida realmente, lo que pudo ser debido al efecto de deshidratación de los subproductos de pescado por una inadecuada congelación (Licciardello, 1990), considerando que la congelación fue lenta y estuvieron almacenados a -15 °C por lo menos 3 meses antes de su uso. También la manipulación del producto al aire libre durante las operaciones de mezclado, pueden ocasionar un secado parcial de la mezcla.

## ANALISIS QUIMICOS.

### COMPOSICION BROMATOLOGICA DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Como se mostró en la tabla 9, la pasta de soya es el ingrediente seco empleado para coextruir, debido a su disponibilidad, bajo costo, alta calidad y su conocida utilidad como fuente proteica (Harper, 1981). En cuanto a su composición bromatológica, fue mas baja en fibra y grasa, comparado a los valores reportados en NRC (1983) para pasta de soya extraída por solventes, debido tal vez al proceso de descascarado y extracción de grasa en la planta de proceso. En cuanto a la proteína, fue más alta que la reportada en NRC (1983), también debido a lo mencionado anteriormente y quizás al factor de proteína empleado (6.25). Se usó este criterio para no tener problemas de estimación de proteína al momento de formular las dietas experimentales.

En cuanto a los subproductos de carpa herbívora, no se encuentran reportados valores específicos para la especie, sólo en rangos de proteína y grasas, siendo los primeros muy superiores en proteína, pero bajos en grasa con respecto a los citados en la bibliografía (Tacon, 1989). Por su alto contenido en humedad, el aporte proteico y de lípidos es bajo, pero al considerarlos en base seca, su aporte es del 68 y 15 % respectivamente, esto es importante ya que pierden humedad por efecto del proceso de extrusión, haciéndolos nutricionalmente importantes.

Para la soya extruída se observó un incremento en lípidos con respecto a la pasta de soya sin proceso, debido a la absorción del aceite del frijol de soya, que es liberado cuando el grano es pasado por el tornillo del extrusor para lubricarlo y calentarlo, previo a la extrusión de la pasta de soya. No hubo una pérdida de proteína por el proceso, ya que ambos valores (extruída y sin proceso) son muy similares.

En cuanto a la composición proximal de coextruídos, aunque la proteína presenta un mínimo aumento por el incremento gradual de subproductos de pescado, no varió significativamente,

Al comparar el nivel de proteína del coextruído 70 s:30 p (51.42 %) resulta un poco más alto que el reportado por Robinson et al (1985), quien usó una misma inclusión de pescado, pero usando desechos de bagre. La proteína resultó más baja (47.1 %) porque empleó para coextruir harina de soya desgrasada (42 %) y harina de soya integral, sin cáscara (28 %).

El contenido de proteína de este coextruído resultó más bajo que el reportado por Carver et al (1989), quien reporta para el coe 25:75 (vísceras de calamar o cabezas de camarón con pasta de soya resp.) 53.3 y 55.4 % de proteína respectivamente, aunque esto es debido a la alta inclusión de pasta de soya y su alto valor proteínico (55.1 %) usado.

La proteína del coextruído 50 s:50 p (51.75 %) resultó muy parecida a la reportada por Dominy y Lim (1991), quienes coextruyeron 50 % de soya y 50 % de calamar (51.83 %) y un poco más baja a la reportada por Carver et al (1989), que efectuó dobles coextruídos de calamar o cabezas de camarón con pasta de soya, obteniendo proporciones 46:54 respectivamente, con 56.2 y 53.7 % de proteína respectivamente. Es más notable la diferencia con el coextruído con calamar, por su alto contenido proteico (75.3 %) en base seca, con respecto a la carpa herbívora (68 %) también en base seca.

Al comparar la proteína teórica esperada con la obtenida realmente, resultó más alta en un 2 % aproximadamente y con tendencia a aumentar proporcionalmente con la inclusión de subproductos de pescado, lo que es indicador de la posible pérdida del nutriente por el proceso. Carver et al (1989) y Dominy y Lim (1991) también reportan pérdida de proteína en sus coextruídos elaborados con respecto a los elaborados, aunque no lo mencionan como efecto del proceso.

El % de lípidos si difiere significativamente en los coextruídos, por lo que a mayor inclusión de subproductos de carpa herbívora, mayor nivel de lípidos, pero resultan más altos que los reportados por Carver et al (1989) y Dominy y Lim (1991) en sus coextruídos, porque sus ingredientes son más magros que el pescado. En cuanto al proceso, un aumento en la razón grasa/humedad trae consigo una disminución en la temperatura del proceso y viceversa, como se pudo observar en el coextruído más húmedo y graso (50 s:50 p).

En cuanto a los lípidos teóricos esperados, estos fueron menores que los analizados en el laboratorio, muy probablemente debido a la absorción del aceite del frijol de soya cuando es empleado para lubricar y calentar el tornillo del extrusor. En el trabajo de Carver et al (1989)

sucede lo contrario, obteniéndose valores analizados menores a los calculados teóricamente, debido tal vez a una pérdida durante el proceso por efecto de la temperatura (146-180 °C contra 126-146 °C en nuestro estudio). En el trabajo de Dominy y Lim (1991) no hubo pérdidas en este nutriente, y sus coextruidos fueron procesados a 100 °C.

El % de ceniza no difirió significativamente en los 3 coextruidos, aunque debió esperarse un aumento por el incremento gradual en la inclusión de subproductos de pescado. Carver et al (*op. cit.*) y Dominy y Lim (*op. cit.*) tampoco reportan diferencias en el contenido de cenizas de los diferentes coextruidos elaborados con calamar/soya y camarón/soya. Al comparar la ceniza analizada con respecto a la esperada, está resultó inferior a la analizada en el laboratorio. Esto concuerda con los resultados de Carver et al (1989) y Dominy y Lim (1991) en sus coextruidos calamar-soya, aunque en el mismo trabajo de Carver, con coextruidos soya-camarón, presenta valores teóricos superiores a los analizados, no habiendo una relación con la humedad o temperatura del proceso.

Los valores de fibra teórica fueron mayores a los analizados en el laboratorio, los cuales no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), y tienen tendencia aumentar proporcionalmente a la inclusión de subproductos de pescado. En los valores de fibra teóricos sucede lo contrario, porque no se determinó la fibra cruda de los subproductos de pescado, por lo que en el análisis teórico no se consideró este valor, pudiendo obtener también la misma tendencia que en los analizados. En el trabajo de Dominy y Lim (1991) obtuvieron fibra cruda mayor a la esperada, y que concuerda más con el incremento en peso seco de la fibra por el proceso de extrusión (Kiang, 1993, Woodroffe, 1993), lo cual no se presentó en este estudio.

## DETERMINACION DE CALCIO Y FOSFORO DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Los valores de calcio y fósforo de pasta de soya fueron casi idénticos a los reportados en NRC (1983), La relación de calcio-fósforo presentada es de 1:2.

Para subproductos de carpa herbívora no se presentan valores reportados específicamente para esta especie. Sólo Allen (1984, citado por Tacon 1989) muestra esta composición como promedio de varias especies de agua dulce en una relación calcio-fósforo 2:1 (5.40 % y 2.90 % resp.), siendo este valor de calcio bastante alto con respecto al analizado en carpa herbívora (2.67 % en base seca) siendo su relación calcio-fósforo 1:1. La razón de esta diferencia, independientemente de la especie de que se trate, radica en el tipo de subproducto empleado. En nuestro caso, el subproducto contenía una buena porción de músculo y esqueleto. NRC (1983) dentro de los peces de agua dulce solo reporta para bagre de canal calcio en 7.77 % y de cobre 28 % (ambos en base seca).

Para coextruidos, el nivel de calcio y fósforo se incrementa con la inclusión de subproductos de carpa herbívora, manteniendo una relación calcio-fósforo (aprox.) de 1:1 en los coextruidos 60 s:40p y 50 s:50 p. Carver et al (1989) también obtuvo la misma relación Ca-P en sus coextruidos soya-camarón.

## **SOLUBILIDAD DE PROTEINA.**

### **DE PASTA DE SOYA Y SUBPRODUCTOS DE CARPA HERBIVORA SIN PROCESO.**

La solubilidad de la proteína de pasta de soya sin proceso (73.66 %) se encuentra en el límite de aceptación (73-85 %) de procesamiento óptimo de esta materia prima (Dale, 1992; Akiyama, 1992, citado por Treviño y Celis, 1994). Estos valores están basados en el rendimiento en pollitos en cuanto a la mayor ganancia en peso, y mejores TCA y eficiencia alimenticia (Dale, *op. cit.*; Parsons, 1992), aunque en otros experimentos con pollitos de 0-21 días se obtuvieron buenos resultados en ganancia de peso y TCA en un rango de 72-79 % de solubilidad de proteína (Araba y Dale, 1990, citado por Vohra y Kratzer, 1991). Akiyama (1992, citado por Treviño y Celis, 1994) considera como óptimo para especies acuícolas un índice de solubilidad de la proteína entre 60 y 80 %, aunque no menciona el método de solubilidad de proteína empleado.

En cuanto a la solubilidad de la proteína de los subproductos de pescado, es muy probable que en estado crudo (húmedo) sea del 100 %, aunque no se analizó. El reportado en este estudio corresponde al subproducto después del secado en estufa a 70 °C/24 hr. La solubilidad de la proteína viene dada por las proteínas globulares del músculo de pescado (Badui, 1993; Pacheco, 1995, com. per.), pero de los subproductos empleados (esqueleto), sólo un 40-50 % es músculo (aprox.), y el resto es esqueleto, por lo que pudo ser un factor que influyera en el valor obtenido (69.30 %).

El secado en la estufa también pudo ser otro factor determinante en la solubilidad de la proteína, aún cuando el calor de la estufa no es severo, pero si prolongado.

Otro factor pudo ser el congelamiento, que tiene un efecto muy marcado en la solubilidad de las proteínas. Para el análisis de solubilidad, los subproductos de pescado debieron ser primero molidos desde su lugar de origen, después congelados y finalmente descongelados, tomando una muestra para su secado en la estufa. Por lo que el daño que sufren las moléculas depende de la velocidad con que se efectúa la congelación; los ciclos de congelamiento-descongelamiento son muy dañinos para la mayoría de los alimentos y causan la desnaturalización y la agregación de sus proteínas (Badui, *op. cit.* y Pacheco, *op. cit.*). Las temperaturas bajas favorecen los puentes de hidrógeno entre proteínas y entre éstas y las moléculas de agua, lo que hace cambiar la conformación tridimensional de los polímeros. Debido a esto, los sistemas de estabilidad de la proteína se ven afectados, ya que los aminoácidos se ionizan con dificultad y por lo tanto puede haber asociación y precipitación (Badui, *op. cit.*).

### **SOLUBILIDAD DE PROTEINA EN COEXTRUIDOS.**

La solubilidad de proteína de los 3 coextruidos no varió significativamente entre sí ( $p > 0.05$ ), aún cuando fueron procesados a diferentes temperaturas y diferentes amperajes ( $p < 0.05$ ). Esta similitud puede ser debido a un efecto compensatorio de la solubilidad de proteína de los subproductos de pescado en el coextruido a medida que aumenta su inclusión, que

equilibra con la solubilidad de proteína de la pasta de soya a medida que baja su inclusión. Sin embargo, ésta sí es dañada por la temperatura del proceso (Dale, 1992) cuando es extruída, como se ve en la tabla 14, al pasar de 73.66 % a 58.92 % (casi 15 %) aunque no sabemos a partir de que temperatura puede desnaturalizarse más.

Por otro lado, los valores de solubilidad de soya extruída (58.92 %) y de coextruídos (61.80 %), que no difieren significativamente entre sí ( $p>0.05$ ) y se encuentran dentro del límite de aceptación para su uso en especies acuícolas (Akiyama, 1992, citado por Treviño y Celis, 1994), quien menciona un rango del 60-80 %, pero es una evaluación nutricional lo que decidirá cuan aceptable puede ser este valor, entre otros factores, como se discutirá más adelante en la Fase III.

El amperaje es un un indicador del esfuerzo mecánico para extruir las mezclas, y tiene una relación directa con la temperatura, como puede verse en la tabla 3. Esto le permite guardar una alta correlación con la temperatura de proceso de cada coextruído, pero no tiene ninguna relación con la solubilidad de proteína, al igual que la temperatura de proceso, al menos entre los coextruídos.

Por otro lado, como se ve en la tabla 17, resultó evidente que al efectuar un análisis teórico de solubilidad de proteína de una mezcla sin coextruir, sus valores sean más altos con respecto a los coextruídos porque aún no han sido procesados, y que después del proceso esta solubilidad disminuya hasta un 11 % por efecto de la temperatura de extrusión. Esto indica que mientras más dañado esté un polipéptido por efecto de las altas temperaturas, más se desnaturaliza y menos soluble se torna (Araba y Dale, 1990, citados por Vohra y Kratzer, 1991; Dale, 1992, Parsons, 1992, Badui, 1993). Esto es debido a que la mayoría de las proteínas globulares, incluyendo las enzimas, pierden su conformación cuando se calientan a más de 60-70 °C, y cuando se encuentran altamente desnaturalizadas, tienden a la agregación (Badui, *op. Cit.*).

### CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA (CRA)

Como se muestra en la tabla 17, el tiempo de inmersión en agua para obtener la máxima hidratación de soya extruída no varió significativamente ( $p>0.05$ ), por lo que cualquier tiempo pudo ser usado para la realización del experimento en coextruídos. El valor de retención de agua obtenido es de proximadamente 4 veces su peso inicial, que puede ser considerado como óptimo a nivel comercial (Audelo, 1995, com. Per.). Harper (1981) menciona rangos de hidratación de 2 a 6 veces su peso inicial, aunque ordinariamente, pueden ser esperados rangos de hidratación de 2.5 a 3. La capacidad de retención de agua se da cuando las proteínas en estado seco se hidratan mediante sus aminoácidos hidrófilos y retienen una cantidad de agua que está en equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente. Al colocar la molécula hidratada en un recipiente con agua, tenderá a saturar sus grupos hidrófilos con el disolvente hasta llegar a la solubilización (Badui, 1993).

Este valor de CRA de soya extruída, que fue procesada a 165 °C con un 33 % de humedad inicial, coincide con los resultados de Aguilera y Kosikowski y Cumming (citados por Harper, 1981), quienes cuando extruyeron pasta de soya desgrasada con 30 % de humedad, alcanzaban altas temperaturas (170 °C), disminuyendo la densidad del producto e incrementando la absorción de agua.

Sin embargo, al comparar la soya extruída con los coextruídos, se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la capacidad de retención de agua, observando que la soya extruída presentó el valor más alto, y que la adición de subproductos al 30 y 40 % disminuye ese valor, pero vuelve a aumentar con la inclusión del 50 % de subproductos de pescado.

Fellows (1994) menciona que el índice de absorción de agua de los cereales y sus derivados generalmente aumenta a medida que aumenta la intensidad del proceso, alcanzando su máximo a 180-200 °C.

Estos resultados muestran que al coextruir a temperaturas inferiores a 160 °C no se forma totalmente la matriz proteínica y la estructura fibrosa responsables de absorber agua, por lo tanto, inicialmente la adición de subproductos de pescado hacen al producto más denso, pero debido a la capacidad de absorber agua de las proteínas miofibrilares (Pacheco, 1995, com. Per.), un incremento en los mismos resultó en mayor retención de agua. Esto muestra que, si se agregaran más subproductos de pescado al coextruído, probablemente se incrementaría más la CRA con respecto al coe 50 s:50 p.

## ANALISIS DE COSTOS.

El costo de energía eléctrica por tonelada se incrementó con la humedad de las mezclas coextruídas, debido a que se requirió más tiempo para procesar la mezcla más húmeda (50s:50p). porque no cae por gravedad tan fácilmente como los demás coextruídos. Hauck y Huber (1989) mencionan que los costos de operación del extrusor se incrementan exponencialmente cuando la humedad de proceso en el barril está por debajo del 27 %. Los factores que contribuyen a aumentar los costos de operación son el motor principal y el incremento en el costo de los componentes de reemplazo del barril. Los costos de operación totales de extrusión se incrementan por arriba de 2.7 veces cuando la humedad del proceso decrece de 27 a 15 %, con incremento en los costos de electricidad por arriba de 4.7 veces e incremento de costos de desgaste 4.8 veces (Hauck and Huber, *op. Cit.*).

Efectivamente, la mayor humedad causa menor resistencia al proceso y menor desgaste del equipo (Miller, 1996), y lo pudimos comprobar observando un amperaje menor para la mezcla 50 s:50 p, pero el problema radica en que en el extrusor empleado (de tornillo sencillo) la mezcla no cae fácilmente por gravedad hacia el barril extrusor. Esto ocasiona mayor inversión de tiempo para procesarlo, y por lo tanto, mayor consumo de energía eléctrica.

El costo de proceso sigue la misma tendencia de la energía eléctrica, por que no hay variación en los otros rubros relacionados al proceso. No hay mucha diferencia entre el costo del

proceso de los coe 70 s:30 p y 60 s:40 p, pero sí es más notable con respecto al coe 50 s:50 p, que es más caro.

Pero al ver el costo total/ton. de cada coextruído, considerándolo como un producto comercial (90 % de mat. seca) resulta bastante barato el coextruído 50 s:50 p (de mayor humedad inicial con respecto a los otros dos). Esta diferencia de costos la da el precio tan bajo/ton. del subproducto de pescado, por lo que a mayor inclusión de éste, menor costo del producto. Aunque no fue estimado el costo del secado, y probablemente sea mayor para el producto más húmedo, seguiría resultando rentable el coextruído con mayor inclusión de subproductos de pescado. Al hacer la comparación con la pasta de soya sin proceso y extruída, ésta resulta de costo muy elevado como para considerarla un ingrediente factible de empleo en dietas para acuicultura, por lo que de entrada podría rechazarse, a menos que nutricionalmente diera resultados aceptables en una evaluación nutricional, pero la disminución del % de proteína soluble al extruir la pasta de soya, ya puede predecir lo contrario.

El coe 50 s:50 p se perfiló ligeramente aún más barato que la pasta de soya, por lo que comparativamente sigue siendo el más barato de todos los ingredientes mencionados, aún cuando se comparara con la harina de pescado, cuyo costo es de \$ 4000.0/ton. (Jáuregui, 1996, com. per.). Pero se requiere conocer su valor nutricional mediante un bioensayo (que se discute más adelante) para obtener la razón costo beneficio y poder considerarlos económicamente factibles de uso en dietas acuícolas.

En cuanto al costo por punto de proteína, resulta más barato el de los subproductos de pescado, por su bajo costo .

El costo por punto de proteína de los coextruídos baja en función del costo de los mismos, resultando más barato el del coe 50s:50p, pero resulta más caro el costo de la proteína de soya extruída, por efecto del proceso para su obtención.

Aunque no se efectuaron pruebas para determinar la vida de anaquel de los coextruídos, la baja humedad residual (menor al 6 %) después del secado les permitió conservarse adecuadamente hasta su uso en los alimentos extruídos, y aún hasta después de 12 meses de su elaboración, no hubo señales físicas de deterioro (hongos principalmente) ni desarrollo de rancidez, debido a su bajo nivel de lípidos (menos del 5 %), por lo que no requirió usar conservadores, como antioxidantes y antifúngicos. Aunque el uso de ambos es recomendado siempre que los ingredientes o alimentos estarán almacenados más de un mes y tendrán un mínimo de 10 % de humedad y 5-6 % de grasa, por lo que las dosis de inclusión de ambos conservadores estará en función de la humedad y grasa esperados (Téllez, 1996, com. per.).

Por otro lado, pueden emplearse otras harinas vegetales de menor costo que la pasta de soya para coextruir con subproductos de pescado como cereales (trigo, sorgo, maíz, etc.), con el objeto de producir ingredientes enriquecidos para usar como mezclas precocidas. En el presente estudio su utilidad como ingrediente en alimentos acuícolas estaría justificado por el bajo costo de ambos ingredientes, por la posibilidad de inclusión de mayor cantidad de subproductos de



**pescado en materia seca cuando es estabilizado por el proceso y como fuente de almidón, pero no se dispone de información sobre los cambios físico-químicos que ocurren en los componentes almidonáceos cuando son reextruídos (Kollengode et al, 1996), aunque existen en el mercado almidones precocidos que al parecer facilitan el proceso de expansión de pelets por el proceso de extrusión (Cruz, 1996, com. per.),pero éstos a menudo son demasiado caros.**

## CONCLUSIONES.

□ El extrusor puede ajustarse para manejar una amplia gama de fórmulas, pero para tal fin se requiere de entender perfectamente el proceso. Esto es, conocer cual es la función específica de cada pieza que conforma el extrusor, particularmente las que integran el barril extrusor, y cuales serían los resultados esperados para cada variable aplicada.

□ El proceso de cocción de productos alimenticios por extrusión, requiere la aplicación de calor por suficiente tiempo para completar reacciones deseadas, como la gelatinización de almidones y texturización de proteínas entre otras. A altas temperaturas se requiere menor tiempo para el proceso, por lo que el proceso de cocción puede ser caracterizado por la aplicación de temperatura, humedad y corte.

□ A través de modificaciones en la configuración del extrusor y componentes, la configuración del dado, selección de ingredientes y condiciones de proceso, es posible controlar la densidad del producto final.

☛ El cocimiento de un producto en un extrusor se ve afectado según la configuración que tenga el cañón o tornillo del extrusor. Así, los anillos de presión (steamlocks) son en parte responsables de aumentar la temperatura del proceso, por la restricción que se produce entre la periferia del anillo y la pared del barril extrusor. Esta holgura estrecha produce corte, pero además atrapa el vapor y lo reincorpora de regreso en la masa de material plastificado. A mayor tamaño de anillos de presión, mayor corte, y por lo tanto, mayor temperatura de proceso.

☛ El cono de salida o dado es el responsable de desarrollar la forma del producto, pero además da la densidad, textura y apariencia finales, controla la capacidad del extrusor y la presión dentro del mismo. Debe tener un flujo de línea de corriente que no rasgue o cause efectos de corte en las moléculas de proteínas ya laminadas y unidas.

☛ La velocidad de alimentación o flujo de la mezcla al barril extrusor es un parámetro importante, ya que permite regular el tiempo de retención de la mezcla en el barril, por lo que es responsable de la eficiencia en tiempo y dinero del proceso.

☛ Los segmentos de tornillos o gusanos son responsables de alinear y orientar las largas moléculas de proteína en la masa alimenticia, es entonces cuando ocurre formación de fibra y enlaces cruzados.

□ La texturización de pasta de soya requiere para iniciar el proceso una temperatura mínima de 140 °C, y puede variar durante el proceso desde 150 a 200 °C para la obtención de una matriz proteínica y fibrosa. Un 30 % de humedad en la pasta de soya parece ser suficiente para obtención de altas temperaturas, lo que trae consigo un producto de baja densidad y alta capacidad de retención de agua.

□ El tamaño de partícula requerido para texturizar pasta de soya en este extrusor resultó bastante determinante en la textura fibrosa del producto final. Un tamaño de 2000  $\mu$  (malla 10) es bastante aceptable, por lo que habría que seleccionar adecuadamente el lote a comprar para el proceso. Es probable que pudiera emplearse un tamaño de partícula más fino (menos de 1000  $\mu$ , malla 18), pero habría que buscar las condiciones idóneas para lograr la textura deseada.

□ La textura de los coextruídos depende fuertemente de la inclusión de subproductos de pescado. La adición de pescado húmedo en baja inclusión mejora la textura, pero en mayor inclusión reduce la temperatura óptima para texturización, adquiriendo textura harinosa.

☛ Podría incluirse más subproductos de pescado en el coextruído, ajustando la mezcla a 25-30 % de húmeda para lograr altas temperaturas de proceso, pero requeriría un prensado previo de los subproductos para reducir el nivel de humedad, pero esto implicaría pérdida de nutrientes como vitaminas, minerales, proteínas, etc., en el agua desalojada, lo que reduciría en parte su valor nutricional.

□ La pérdida de humedad en el proceso de extrusión es dada cuando los productos saliendo de la alta presión en el extrusor, están a temperaturas por arriba del punto de ebullición normal, y pierden una cantidad sustancial de humedad por “flashing it off” como vapor.

☛ La pérdida de humedad del producto extruído está en función de la humedad inicial de la mezcla a extruir. A mayor humedad inicial, menor pérdida de agua, debido al enfriamiento del barril extrusor, habiendo por lo tanto disminución en la temperatura de proceso y menor evaporación. Una humedad inicial del 22 % traería consigo una pérdida de humedad del 40 al 50 % al final del proceso.

□ La composición proximal de coextruídos y pasta de soya no varía en el contenido de proteína, pero nutricionalmente se ha enriquecido con los aminoácidos de los subproductos de pescado, lo que los hace más valorables económica y nutricionalmente. Además presenta complementación con otros nutrientes, tales como grasa, vitaminas y minerales.

□ La solubilidad de la proteína constituye una técnica importante para evaluar el daño a las proteínas ocasionado por las altas temperaturas del proceso de extrusión.

☛ A mayor temperatura de proceso, mayor es el daño a las proteínas y menor es su solubilidad, por efecto de desnaturalización térmica. La solubilidad medida en la soya extruída como en los coextruídos (58.9 y 61.8 % respectivamente) demuestra la desnaturalización ocurrida durante la extrusión.

☛ Los valores de solubilidad en un rango de 73 a 85 % es considerado óptimo para especies terrestres, y de un 60 a 80 % para especies acuícolas.

☛ Aunque la técnica es sugerida para pasta de soya, su utilización en pescado y coextruídos es por la presencia de proteínas globulares, cuya solubilidad es evaluada en pasta de soya. En estudios recientes se encontró que la tintura azul coomassie puede usarse en la prueba de KOH para medir la solubilidad de la proteína, reduciendo el tiempo de realización de KOH, ya que no es necesario el análisis Kjeldahl con nitrógeno.

☐ La capacidad de retención de agua (CRA) es una propiedad funcional importante de proteínas vegetales texturizadas. En pasta de soya se incrementa con la temperatura de proceso, ya que baja la densidad del producto. Puede incrementarse haciendo modificaciones por el lado alcalino, utilizando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o NaOH al 0.1 %.

☛ En coextruídos, la CRA decrece por adición de subproductos de pescado, pero vuelve a aumentar cuando éstos son incluidos en mayor porcentaje. Podrían obtenerse mejores valores si se hiciera una reducción de la humedad de los subproductos y se procesara a temperaturas mayores a 150 °C para texturización.

☐ La inclusión de subproductos de pescado en el coextruído baja el precio del producto: a mayor inclusión, menor costo, lo que los hace económicamente factibles de comercialización, pero la inclusión de subproductos húmedos es limitada, porque aumenta el grado de dificultad para extruirlo por su alta humedad y para cocerlo efectivamente, porque baja la temperatura, aunque el producto final puede ser almacenable después de un secado.

☛ Podría considerarse efectiva una mayor inclusión de subproductos de pescado en el coextruído, si éstos son deshidratados por prensado u otra técnica para remover el agua, lo que tendería a disminuir más el costo del producto. Aunque podría haber alguna desventaja nutricional por la pérdida de vitaminas, minerales, etc., pero quizá su efecto no sería significativo nutricionalmente hablando, considerando que al incluirlas en dietas, éstas son complementadas con dichos nutrientes.

☛ Podría obtenerse más eficiencia en el consumo de energía eléctrica si se aumentara al máximo la velocidad de alimentación, desde 70 a 100 rpm, aunque ésta no sería efectiva para mezclas demasiado húmedas, como el coe 50 s:50 p.

☛ Su factibilidad económica y nutricional fue desarrollado con un bioensayo, como se discute más adelante.

Algunas recomendaciones para la adecuada texturización de la pasta de soya son:

□ Un incremento en el pH de las proteínas vegetales antes o durante el proceso de extrusión ayuda en la texturización de la proteína, de tal forma que haciendo una modificación hacia el lado alcalino se incrementará la absorción de agua, y ésto se realiza utilizando hidróxido de sodio, de magnesio o calcio para subir el pH, al 0.1 % aproximadamente o según se requiera.

☞ El pH óptimo es considerado entre 6.5 y 7.5 , el rango normal de productos de soya.

☞ Se ha adicionado NaCl arriba del 3 % para incrementar la firmeza del producto rehidratado y aumentar el efecto del ajuste del pH, pero no parece añadir ningún beneficio en la textura de la proteínas vegetales extruídas, de hecho, tiende a debilitar la fuerza en la textura.

☞ Se pueden adicionar otros aditivos a la pasta de soya, como colorantes alimenticios, sabores, minerales, emulsificantes y aumentar los enlaces cruzados con el uso de sulfuros elementales y  $\text{CaCl}_2$ . Se ha adicionado lecitina a los ingredientes proteínáceos en un nivel de 0.2 - 0.5 %, mejorando las tasas de producción y obteniendo un producto más denso.

☞ El cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) es muy efectivo para el incremento de la integridad textural de las proteínas vegetales extruídas, y también ayuda para suavizar la superficie. Los niveles de adición de  $\text{CaCl}_2$  son entre 0.5 y 2.0 %. Con la adición de  $\text{CaCl}_2$  y pequeñas cantidades de azufre, la pasta de soya que contiene 7 % de fibra puede ser texturizada.

## **FASE II : ALIMENTOS EXTRUIDOS FLOTANTES.**

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

1) Determinar los parámetros de procesamiento en el extrusor para fabricar :

- a) Dietas con pasta de soya extruída como ingrediente principal.
- b) Dietas con pasta de soya y subproducto de carpa herbívora.
- c) dietas con coextruidos de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora con 3 niveles de inclusión de los subproductos de pescado.

2) Formular dietas experimentales para bagre, incluyendo los coextruidos

3) Determinar características físico-químicas del proceso y en los alimentos obtenidos: composición bromatológica, temperatura, amperaje, humedad inicial y final, expansión y flotación de pelets.

4) Estimar costos de producción de los alimentos extruídos : Costo de energía eléctrica, costo de proceso (mano de obra, energía eléctrica, fletes de materia prima, mantenimiento, refacciones, etc.) y costo total de producción (costos de ingredientes y del proceso).

## MATERIAL Y METODOS.

### DETERMINACION DE PARAMETROS DE PROCESO EN EL EXTRUSOR.

#### COMPONENTES DEL EXTRUSOR A EMPLEAR EN EL PROCESO.

En material y métodos de la Fase 1 se describe este inciso. Dentro de los componentes del barril, se cambió el cabezal y el cono de nariz por un cabezal con un cortador (Fig. 26) y un portadados, cuyos orificios pueden cancelarse o dejarse en funcionamiento, bloqueando o adaptando en ellos tapones o dados de diámetro variable. La placa portadados puede cambiarse por dados con orificios fijos (Fig. 27), de acuerdo a las características del alimento que se va a elaborar. En contacto con el dado o portadados, se encuentra una cuchilla de 4 hojas conectada al eje del motor del cortador (de velocidad variable), que efectúa el corte de los pelets que salen por los orificios de la placa, en función de la velocidad de rotación fijada.

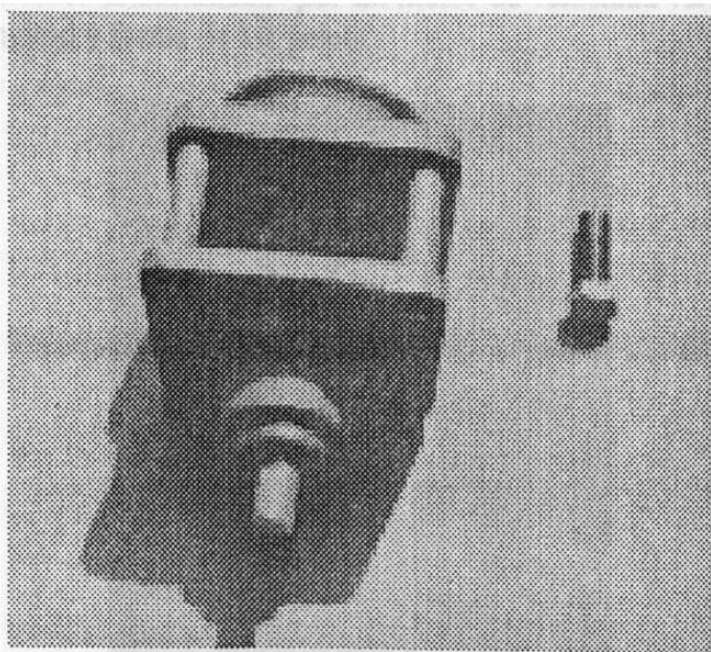
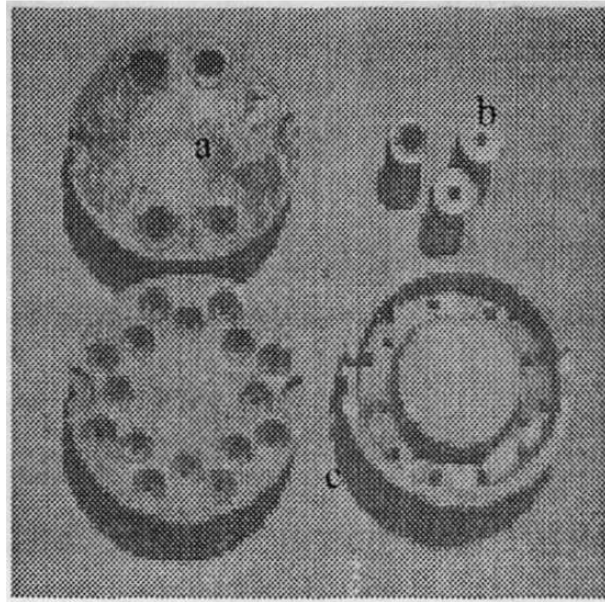
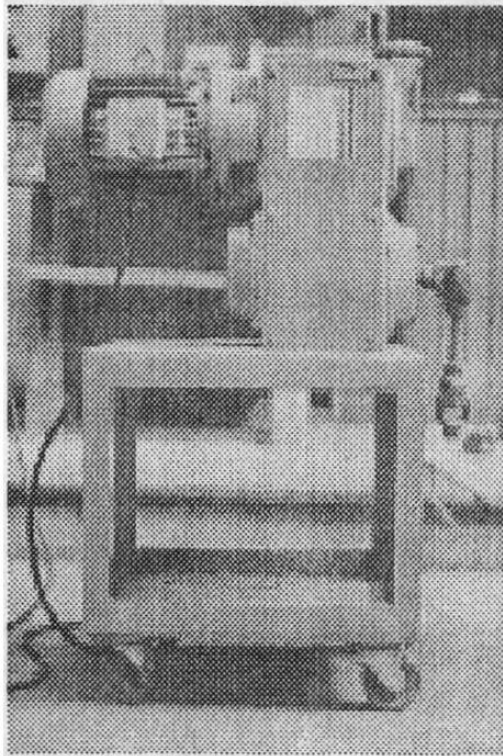


Fig. 26.- Cabeza con portadados y cortador, activado por un motor de velocidad variable.



**Fig. 27.- a) Placa portadados, donde pueden cancelarse orificios o adaptar diferentes tamaños y tipos de dados (b), y c) dados de orificios fijos.**

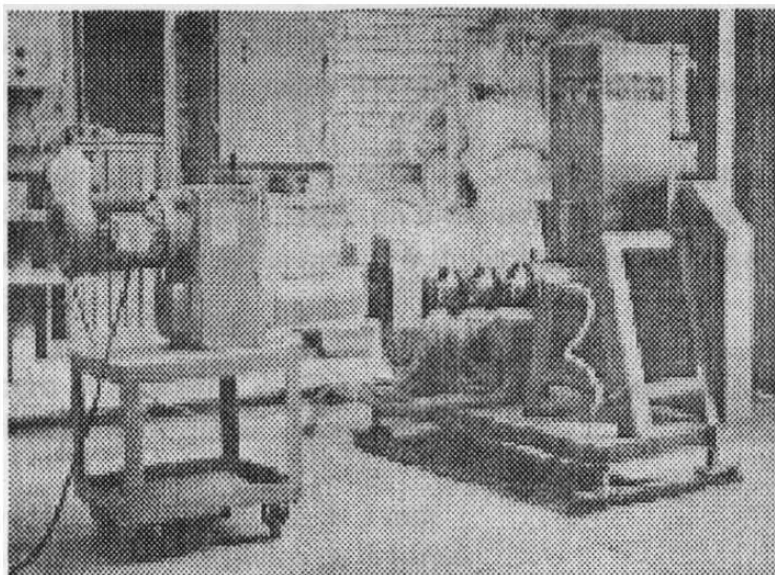
**El eje del cortador es accionado por un motor de velocidad variable (Fig. 28), de la que dependen la longitud y forma de los pelets.**



**Fig. 28.- Unidad motora de velocidad variable, que activa la cuchilla del cortador.**

**El motor y la cabeza del cortador montados sobre el barril extrusor se observan en la Fig. 29.**





**Fig. 29.- Extrusor armado completamente para producción de alimentos.**

De la configuración interna de ensamble del barril (Fig. 3), sólo se cambió el tornillo de bala por uno de cabeza plana (Fig. 26), que es el que se necesita para poder conectar el cabezal portadados.

Todas las pruebas se realizaron por ensayo y error, tomando los resultados positivos de cada prueba, para aplicar en los siguientes ensayos.

Dentro de las variables consideradas para estandarizar el proceso están las siguientes:

- a) La configuración del tornillo y de los anillos de presión. Se emplearon 7 diferentes combinaciones (Fig. 4) de éstos, y se fue modificando de acuerdo a las características físicas de los productos obtenidos:

Orden partiendo desde la base del eje:

- 1) 600-10 P/600-10/600-10/600-10
- 2) 600-10 P/600-10/600-10/600-08
- 3) 600-10 /600-08/600-08/600-05
- 4) 600-10 /600-08/600-08/600-08
- 5) 600-08 /600-08/600-08/600-10
- 6) 600-08 /600-08/600-10/600-10
- 7) 600-08 /600-08/600-10/600-10 P

- b) Humedad de las mezclas. Se probaron 10 diferentes porcentajes de humedad agregada a las mezclas: 12, 15, 17, 19, 20, 22, 24, 27, 32 y 40 %, por desconocer para este extrusor con que nivel de humedad se podían obtener los resultados

deseados. Cada humedad probada se repitió o desechó , según los resultados obtenidos, además de inyectar o no agua durante el proceso

- c) Grado de molienda. Se emplearon 3 distintos diámetros de tamiz para molienda: 1,2 y 4.5 mm, usando un turbomolino Pulvex motor Siemens de 5 HP. Se probó moler húmedo la mezcla y moler ingredientes por separado, sin repasar la mezcla.
- d) Número y diámetro de hoyos de la placa portadados. Se emplearon 5 combinaciones de placas y diámetros:
- 1) Dado con 20 orificios de 3 mm.
  - 2) Dado con 16 orificios de 4.5 mm.
  - 3) Portadados con 3 dados: 2 de    y un dado multihoyos, < 1 mm.
  - 4) Portadados con 3 dados de 4.5 mm.
  - 5) Portadados con 2 dados de 4.5 mm.
- e) Se varió la velocidad de alimentación de la mezcla en cada una de las pruebas, desde 30 a 100 RPM, también de acuerdo a las características del producto y comportamiento del proceso.
- f) Inyección de agua. Se dosificó desde 0 hasta 30 LPH. El agua es inyectada a presión por una bomba de agua de 1 HP, tipo DM, que succiona el agua hasta un pequeño depósito cilíndrico (sistema hidroneumático), con presión de arranque de 50 psi y de corte de 70 psi. Desde este cilindro se conecta una línea de cobre, que conduce el agua a un regulador, donde existe un medidor de flujo graduado desde 0-150 LPH, y es accionado por una válvula, que se cierra o abre manualmente para permitir el paso del agua. Después de este regulador se encuentra otra válvula, con la misma función que el rotámetro. Desde aquí se une otra línea de cobre o plástico de alta presión a la cámara inicial del extrusor, donde existe un inyector de agua, que tiene en su interior un pequeño sello cónico sujeto a un resorte, movido por la presión con que se inyecta el agua desde el flujómetro o regulador.
- g) Velocidad de corte. La unidad motora del cortador presenta una escala en velocidad desde 1 a 10. En el proceso, ésta se varió desde 1 a 8, y fue ajustado en cada caso a la longitud deseada del pelet.

## **MATERIAS PRIMAS.**

### **DIETAS EMPLEADAS PARA ESTANDARIZAR EL PROCESO.**

A lo largo del proceso de estandarización se emplearon 5 diferentes dietas, debido a que, de las formulaciones elaboradas, se utilizaba aquella de la que tuviésemos disponibilidad de ingredientes. Todas las formulaciones presentaron el mismo nivel de

inclusión de pasta de soya, y tuvieron una incorporación en sorgo > al 35 %, para garantizar la compactación y flotación de los pelets. Otra razón para variar las dietas fue la introducción de nuevos ingredientes.

Las fórmulas empleadas en el 80 % de las pruebas efectuadas y en las pruebas finales (4.5 %) se muestran en la tabla 25.

Tabla 25.- Formulaciones empleadas para estandarizar el proceso de extrusión.

Ingredientes	% Inclusión en la fórmula	% Inclusion en la fórmula
Pasta de soya	45	45
Har. de Subprod. Animales	8	3
Har. de Sangre	---	5
Sorgo	39.77	41.67
Accite de Soya	3.32	4.07
% pruebas utilizadas	80	4.5

No se incluyeron microingredientes en las pruebas experimentales (vit,min., vit. C, etc.), por su baja inclusión.

Sin embargo, estas dietas fueron muy similares a las formulaciones experimentales empleadas, en cuanto a la inclusión y tipo de ingredientes.

Antes de cada prueba, se lubricó y calentó hasta 100 °C el barril del extrusor, con frijol de soya, posteriormente se hizo el cambio de piezas necesario, y se introdujeron las mezclas a procesar.

#### MATERIAS PRIMAS E INGREDIENTES ESPECIALES. OBTENCION.

Materias primas como pasta de soya (s), sorgo, harina de subproductos animales (H.S.A.), harina de sangre, subproductos de pescado y micronutrientes (vitaminas, minerales, antioxidantes, antifúngico) fueron proporcionados por la empresa Acuacultivos Mexicanos , S.A. DE C.V.(ACUMEX), ubicada en Abasolo, Tamps., aunque los ingredientes fueron comprados en Monterrey, N.L (Técnicas Nutricionales,S.A. de C.V., Proteínas Naturales S.A. de C.V., AYAMSA, APELSA S.A. de C.V.) (Ver Anexo 6). En material y métodos de Fase I se describe el origen de los subproductos de pescado (p).

Ingredientes especiales como los coextruidos de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora (70 s:30 p, 60 s:40 p, 50 s:50 p) y soya extruída, fueron procesados en la Planta Piloto de Alimentos del Laboratorio de Maricultura, de la Fac. de Ciencias Biológicas (Material y Métodos Fase I).

## **ANALISIS QUIMICOS.**

### **ANALISIS PROXIMAL DE MATERIAS PRIMAS Y DIETAS EXPERIMENTALES.**

Para la fabricación de las dietas se utilizaron ingredientes convencionales de uso comercial. El análisis proximal de los ingredientes, la elaboración de las dietas y el análisis proximal de las mismas, se llevó a cabo en el Laboratorio de Maricultura de la FCB-UANL.

Se usó el método de análisis proximal descrito por AOAC (1990), cuyos parámetros se describen en material y métodos de la Fase I (Tabla 1).

### **DETERMINACION DE CALCIO DE INGREDIENTES Y DIETAS EXTRUIDAS.**

Se empleó el método de Absorción atómica, digestión vía seca (Anón., 1986, Perkin Elmer Corp.) (Anexo 1), usando un espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca ZEISS GERMANY FMD4, y lámpara de cátodo hueco de calcio. Se empleó una longitud de onda = 422.7 nm.

Se elaboró una curva std para sorgo, subproductos de pescado y para el resto de los ingredientes (alimentos, pasta de soya, Harina de Subprod. Anim., Harina de sangre) que fueron usadas al momento de leer las muestras (Anexo 2). Las muestras fueron leídas en momentos diferentes. Además fue necesario emplear 2 espectrofotómetros como se describe en Material y Métodos de la Fase I. El tratamiento de muestras se efectuó por triplicado para ingredientes y cada uno de los replicados de alimentos extruídos. Se encontraron las siguientes ecuaciones de regresión, empleadas al momento de leer las muestras:

a) Ecuación de la recta para sorgo:

$$y = -0.0013 + 0.000375 x$$

$$r = 0.9820$$

$$r^2 = 0.9643$$

b) Ecuación de la recta para H.S.A., Har. de sangre, p. de soya y alimentos extruídos (citada en Fase I):

$$y = 0.049 + 0.017 x$$

$$r = 0.9946$$

$$r^2 = 0.9891$$

c) Ecuación de la recta para subproductos de carpa herbívora (usada además en coextruídos, citada en Fase I):

$$y = -0.0067 + 0.000375 x$$

$$r = 0.9993$$

$$r^2 = 0.9985$$

donde  $y$  = absorbancia y  $x$  = ppm de Ca en la curva std.

## DETERMINACION DE FOSFORO DE INGREDIENTES Y DIETAS EXTRUIDAS.

Para fósforo se empleó el método espectrofotométrico del Molibdovanado fosfato (Acción final), AOAC, 1990 (Anexo 1), usando un espectrofotómetro marca Beckman DU 650, y lámpara de luz visible. El tratamiento de muestras se efectuó por triplicado para ingredientes y cada uno de los replicados de alimentos extruidos. Se encontraron las siguientes ecuaciones de regresión, usadas al momento de leer las muestras:

- a) Ecuación de la recta para pasta de soya, sorgo y subproductos de pescado, a 410 nm. (citada en Fase I):

$$Y = -0.061 + 69.599 x$$

$$r = 0.9987$$

$$r^2 = 0.9974$$

- b) Ecuación de la recta para harina de subproductos animales, harina de sangre y alimentos extruidos, a 400 nm:

$$y = 0.004 + 85.096 x$$

$$r = 0.9996$$

$$r^2 = 0.9993$$

donde  $y$  = absorbancia y  $x$  = mg de  $P_2O_5$  en la curva std.

Cada curva de calibración fue efectuada en diferentes tiempos, y al momento de leer las muestras (Anexo 2). La primera curva fue elaborada en el mes de agosto de 1995 a 410 nm, determinada por un barrido de luz visible, y la segunda curva fue elaborada en el mes de Noviembre del mismo año, a 400 nm. En esta curva, la concentración de  $P_2O_5$  calculada por el espectrofotómetro correspondía a la concentración teórica.

## ELABORACION DE DIETAS EXPERIMENTALES.

### FORMULACION DE DIETAS EXPERIMENTALES.

Las dietas experimentales (Tabla 26) fueron formuladas en el programa computacional Mixit 2, en base a la composición química de los ingredientes, y de acuerdo a los requerimientos nutricionales para bagre marcados por NRC, 1983, Robinson (1989), Wilson, 1992 (Anexo 5).

La inclusión de soya extruída y coextruídos al 45 % es porque presentan un nivel de proteína muy parecido (base seca)(Tabla 9), y porque son los ingredientes a probar nutricionalmente.

La inclusión de harina de sangre al 2 % es en base al límite de inclusión de la misma, no mayor al 5 %, y porque arriba del 2 % crea problemas de expansión, de igual forma para la harina de subproductos animales, su límite de inclusión no debe exceder del 10-15 %, esto si fuera exclusivamente de carne y sangre (Robinson y Li, 1994) (Anexo 4). El sorgo como fuente de almidón fue incluido arriba del 35 % para asegurar compactación y expansión al producto extruído.

Tabla 26.- Formulaciones experimentales para bagre.

Ingredientes	D1	D2	D3	D4	D5
Pasta de soya					33.437
Subprod. de Carpa Herb.					18.100
Soya Extruida	45.000				
Coe 70s:30p		45.000			
Coe 60s:40p			45.000		
Coe 50s:50p				45.000	
Sorgo	41.700	42.258	42.674	43.379	37.110
Har. Subprod. Anim.	7.000	7.000	7.000	7.000	6.251
Har. de Sangre	2.000	2.000	2.000	2.000	1.800
Aceite de Soya	3.057	2.499	2.083	1.378	2.199
Premix Vitaminico	0.200	0.200	0.200	0.200	0.180
Premix Minerales	0.500	0.500	0.500	0.500	0.440
Vit. C	0.200	0.200	0.200	0.200	0.180
Cloruro de Colina	0.080	0.080	0.080	0.080	0.070
Antioxidante Redox	0.013	0.013	0.013	0.013	0.012
Antifungico	0.250	0.250	0.250	0.250	0.220

Premix vitaminico: Vit. A 10 000 000 U.I.; Vit. D3 1 200 000 U.I.; Vit. E 50 000 UI; Vit. K3 5 g.; Tiamina 12 g; Riboflavina 20 g; Piridoxina 10 g; Vit. B12 20 g; Biotina 600 g; Acido fólico 2.5 g; Niacina 100 g; D-Pantotenato de Calcio 40 g; Vit. C 200; Exc. c.b.p. 1000 g  
 Premix minerales : Zinc 80 g; Manganeso 50 g; Yodo 2.5 g; Cobre 10 g; Cobalto 0.300 g; Fierro 100 g; Exc. c.b.p 1000 g.; Vit. C como Ascorbil Polifosfato; Cloruro de Colina 60 %

## PREPARACION DE MEZCLAS.

Se prepararon lotes de 30 Kg para cada prueba efectuada, con 2 replicados por tratamiento (por disponibilidad de coextruídos). Ingredientes como coextruídos, soya extruída, sorgo y harina de sangre fueron molidos en un turbo molino de martillos marca PULVEX, motor SIEMENS de 5 HP, con tamiz de orificios de 1 mm de diámetro (malla 18= 1000  $\mu$ ).

Posteriormente fueron agregados a una mezcladora vertical marca HOBART de 3 HP, de aproximadamente 25 Kg de capacidad. Cada batch fue dividido en 2 lotes de 15 Kg c/u para no forzar el motor y asegurar un mezclado eficiente. Primero se mezclaron todas las harinas previamente molidas, después se agregaron los microingredientes (vitaminas, minerales, antifúngico, antioxidante) previamente mezclados en bolsas de polietileno, a continuación se agregó el aceite y por último el agua, adicionada en un 20 %; el tiempo de mezclado fue de 3-5 minutos.

Para la dieta con subproductos húmedos, éstos fueron descongelados una noche antes. Después del mezclado con las harinas (previamente molidos), fueron repasadas en el molino, empleando un tamiz con orificios de 4.5 mm de diámetro (aproximadamente malla 5, 4500  $\mu$ ), ésto para reducir el tamaño de espinas y piel de los subproductos húmedos, que pudiera causar un problema de taponamiento en el extrusor. Posteriormente se volvieron a mezclar con los microingredientes (vitaminas, minerales, antifúngico, antioxidante), el aceite y el agua (ésta sólo se agregó en el segundo replicado).

Los macroingredientes (harinas, aceite) fueron pesados en una báscula Torrey, de 15 Kg de capacidad. Los microingredientes (vitaminas, minerales, etc.) fueron pesados en una balanza electrónica OHAUS Mod. TS4KD, lectura desde 0.1/0.01 g, de capacidad 4000g/400g, y las mezclas fueron puestas en cubetas de 19 l.

### EXTRUSION DE MEZCLAS.

Las condiciones tecnológicas empleadas en el proceso fueron determinadas como principal objetivo, y se describen al inicio de esta fase. Las mejores condiciones de proceso se citan en resultados (Tabla 28). Previamente se calentó y lubricó el barril extrusor con frijol de soya (cuyo grano es rico en aceite), hasta una temperatura de 120 -130 °C. Inmediatamente se paró el extrusor y se cambió el tornillo bala con la cabeza y el cono de nariz (Fig. 3 y 5) por el tornillo de cabeza plano y el cabezal con cortador (Fig. 26), y se unió el eje de éste a la unidad motora de velocidad variable (Fig.28). Después de estos cambios, se inició el proceso con una temperatura mínima de 100 °C, ya que en los ensayos preliminares se observó que es cuando empieza a ver rápida cocción y expansión, y además, para llegar a estabilizar el proceso con los pequeños lotes experimentales preparados, de 30 Kg.

De inmediato se puso en funcionamiento el extrusor, y se agregaron las mezclas por separado (ver condiciones de proceso en resultados). Al término de cada prueba, se retiraron los residuos de las mezclas de la parte interna del barril extrusor y la tolva de recepción de ingredientes, y se dejó listo para la siguiente sesión.

Los productos obtenidos(pelets) fueron secados al sol pocas horas, o toda la noche (según la hora del proceso), y posteriormente fueron almacenados en sacos de papel para su conservación hasta su uso.

### PARAMETROS FISICOS REGISTRADOS.

Se registraron cada minuto el amperaje (amp) y temperatura (°C) del proceso. La temperatura corresponde a la registrada en el termómetro del último segmento del barril. La lectura del amperaje fue tomada del tablero de control del extrusor.

## **MERMA POR PROCESO.**

Para conocer la pérdida de humedad por proceso, se determinó la humedad de c/u de las mezclas (pre-proceso) y alimentos (post-proceso), tomando muestras en bolsas de polietileno, empleando el método descrito en AOAC (1990).

## **OTROS PARAMETROS FISICOS EVALUADOS.**

### **EXPANSION DEL ALIMENTO EXTRUIDO (PELETS).**

Para conocer el % de expansión de los pelets de las 5 dietas extruídas, se midió el diametro de 10 pelets tomados al azar de uno de los dos replicados elaborados de las dietas que presentaron en apariencia la mayor expansión. Se usó un vernier graduado en mm para efectuar la medición, y se relacionó esta medida con respecto al diámetro de salida de los orificios del dado, de 4.5 mm.

### **FLOTACION DEL ALIMENTO EXTRUIDO (PELETS).**

Para conocer el % de flotación de los pelets de las 5 dietas extruídas, se colocaron en un volumen de agua destilada de 250 ml, 20 pelets tomados al azar de las dietas de uno de los dos replicados elaborados de las dietas que presentaron en apariencia la mayor expansión. Se hizo el conteo de los pelets flotantes a 5 tiempos, cada 5 minutos, y el % de flotación se determinó en función de los pelets flotantes cada tiempo, con respecto al tamaño de muestra original. Se emplearon 3 replicados para cada tiempo.

## **ANALISIS DE COSTOS DE DIETAS EXTRUIDAS.**

### **COSTO ESTIMADO DE ENERGIA ELECTRICA.**

El proceso para evaluar este rubro fue muy similar al usado en material y métodos de la primera fase para coextruídos. Se adicionaron el alimentador y la mezcladora, la unidad motora del cortador, el molino y la bomba de agua, además del motor de arranque del extrusor. Fue considerada su potencia en HP y su equivalente en KW, y el tiempo de uso de cada motor, para calcular el consumo de energía eléctrica requerida para procesar una tonelada de la mezcla húmeda.

El costo de energía eléctrica fue el mismo (\$0.155 /KWH para el mes de marzo), y se agregó un 20 % a este costo al iniciar el proceso sólo para el motor de arranque (50 HP, 37.3 KW), porque es cuando se presenta una mayor demanda de electricidad.

### **COSTO ESTIMADO POR PROCESO.**

Dentro de este rubro se consideran los mismos costos que para coextruídos (mano de obra, fletes de materias primas, mantenimiento/refacciones, otros gastos), excepto el costo de la energía eléctrica, que fue calculado en el inciso anterior.



## COSTOS DE INGREDIENTES.

El costo de los ingredientes por Kg del mes de enero-febrero de 1996 se muestran en la tabla 27 (resultados).

Tabla 27 .- Costo de ingredientes por Kg (mes de enero-febrero 1996).

Ingredientes	Costo/Kg \$
Harina de Pescado PROESA	4.00
Pasta de Soya	2.36
Subprod. de Carpa Herb.	0.50
Soya Extruida	3.19
Coextruido 70 s:30 p	2.48
Coextruido 60 s:40 p	2.43
Coextruido 50 s:50 p	2.33
Sorgo	1.25
Har.de Subprod. Anim.	1.10
Har. de Sangre	2.00
Aceite de Soya	4.50
Premix Vitamínico	33.00
Premix Minerales	3.60
Vit. C	35.17
Cloruro de Colina	8.70
Antioxidante Redox	5.00
Antifúngico	17.00

## ANALISIS ESTADISTICO.

Para determinar si había diferencias significativas entre los tratamientos de los parámetros evaluados, se realizaron análisis de varianza de una vía (Anova) y pruebas de comparación múltiple de Duncan, a un nivel de significancia de 0.05, por medio de una computadora con el programa SPSS 5.0 para Windows. Además de este análisis, se aplicó un análisis de covarianza entre la humedad final y la inicial, para conocer si había un efecto significativo de la humedad inicial sobre la humedad final, y del tratamiento sobre la humedad final de los alimentos extruídos.

Para el caso del % de flotación, los valores en % se transformaron a arc sin, debido a que es una variable de tipo binomial, y se aplicó un anova bifactorial entre los diferentes tiempos y las dietas, y al no haber diferencias significativas con respecto al tiempo, se aplicó un anova de una vía y comparación múltiple de Duncan entre las dietas y los valores de flotación transformados.

## RESULTADOS.

### DETERMINACION DE PARAMETROS DE PROCESO EN EL EXTRUSOR.

#### VARIABLES CONSIDERADAS PARA ESTANDARIZAR EL PROCESO.

Se realizaron un total de 44 pruebas, aplicando en ellas las diferentes combinaciones de anillos de presión, de humedad, de grado de molienda, de número y diámetro de hoyos de la placa portados, velocidad de alimentación, niveles de inyección de agua y de velocidad de corte.

Las mejores condiciones de proceso se muestran en la tabla 28, donde se observa que la configuración de anillos de presión es la misma usada en coextruidos, aunque la temperatura para iniciar el proceso es mucho menor (100 °C).

Tabla 28.- Condiciones de proceso determinadas para extrusión de alimentos flotantes.

Parámetro	Unidad de medida	Valor Exp. Obtenido
*Anillos de Presión	std	600 -10/600-08/600-08/600-08
**Velocidad de Alimentación	rpm	50-80
Velocidad de Corte	---	5-8
Núm.de Orif. del Portados	numero	2
Diám. Orificios del Portados	mm	4.5
Diám. de Tamiz para Molienda	mm	1
Hum. Adic. a Mezclas	%	20
***Nivel de Inyección de Agua	lph	10-20
Temp. Inicial	°C	100

\*Tienen un equivalente en pulgadas, citados en material y métodos. Fase I..

\*\*El proceso inició en 50 rpm, y cuando empezó a peletizar se aumentó a 80 rpm.

\*\*\*Inició en 10 lph, y se modificó de acuerdo a las características obtenidas en los pelets.

#### DIETAS EMPLEADAS PARA ESTANDARIZAR EL PROCESO.

La dieta con que se obtuvieron los resultados deseados fue la segunda fórmula mostrada en la tabla 25, aunque, bajo las mismas condiciones de proceso determinadas, la 1a. fórmula habría dado los mismos resultados. Este cambio de fórmula estuvo en función del cambio de ingredientes, y a la disponibilidad de los mismos al momento de procesar.

El criterio para evaluar el proceso estuvo basado en la homogeneidad del mismo, en cuanto al flujo continuo del producto, sin interrupción, la temperatura se estabilizó alrededor de 110 °C y el amperaje en 75 amp (Fig. 30), y en las características físicas del producto obtenido: pelets expandidos y flotantes, firmeza en su compactación (blindado), color café claro uniforme y apariencia y olor agradables. La temperatura y amperaje fueron registrados cada minuto.

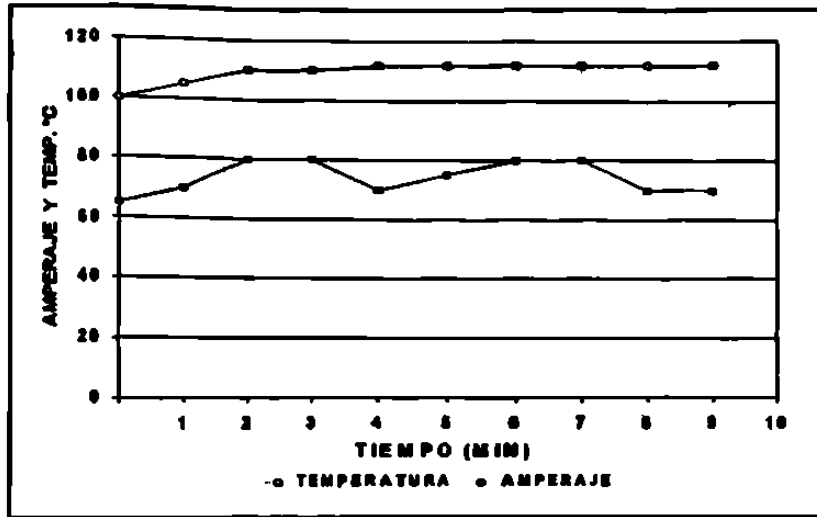


Fig.30.- Comportamiento de temperatura y amperaje para la mejor prueba de extrusión de alimentos.

### ANALISIS QUIMICOS.

#### ANALISIS BROMATOLOGICO DE MATERIAS PRIMAS.

Como se observa en la tabla 29, el contenido en proteína entre pasta de soya y coextruidos es muy similar, no así su contenido en lípidos, el cual aumenta progresivamente a la inclusión de subproductos de pescado. La soya extruída aumentó el % de lípidos con respecto a la pasta de soya, debido a la lubricación previa del tornillo del extrusor con frijol de soya, que es rico en aceite, y presenta un contenido proteína ligeramente inferior a la pasta de soya.

De los ingredientes convencionales, la harina de sangre es el más alto en proteína cruda, seguido por la harina de subproductos animales, que es muy alto en grasa; los subproductos de carpa herbívora, por su alto contenido de humedad, muestran un nivel bajo en proteína y lípidos; y el sorgo, que es el ingrediente más bajo en proteína, es el más alto en ELN como fuente de carbohidratos.

#### ANALISIS BROMATOLOGICO DE DIETAS EXTRUIDAS.

Como se observa en la tabla 30 y fig. 31, sólo el contenido de fibra no es significativamente diferente ( $p=0.0838$ ) entre las dietas extruídas, mientras que los demás nutrientes si varían entre las mismas ( $p<0.05$ ). El contenido de proteína varió desde 33 a 35 %, y la grasa desde 4.5 al 5.15 %, ambos en base seca, encontrándose en el rango de dichos nutrientes requeridos para engorda de bagre. La ceniza, calcio y fósforo aumentan su concentración de manera directa a la inclusión de pescado en el coextruído de la dieta, excepto para la dieta con pescado crudo, donde la concentración de calcio y fósforo es muy parecida a la dieta con el coe 60 s:40 p.

En la tabla 31 se muestra la inclusión en materia seca de los subproductos de pescado cuando el coextruído es incorporado al 45 % en la dieta, mostrando la mayor inclusión la dieta D4, mientras que la dieta D2 y D5 presentan aproximadamente el mismo nivel de incorporación de pescado.

Tabla 29.- Composición bromatológica de materias primas.

Ingrediente	Humedad	Proteína	Lípidos	Ceniza	Fibra	ELN	Energía Kcal/g	Ca	P
P. de Soya	8.00	47.29	0.29	6.69	3.16	34.57	4.09	0.28	0.65
Soya Extr.	8.11	46.95	0.75	6.76	4.11	30.59	4.11	0.28	0.66
Coe 70 s:30 p	6.24	48.21	1.96	8.14	2.01	33.43	4.26	0.67	0.96
Coe 60 s:40 p	5.70	48.67	2.87	8.61	2.16	31.99	4.31	0.93	1.08
Coe 50 s:50 p	5.28	49.02	4.41	8.55	2.23	30.50	4.41	1.41	1.21
*S.C.H..	74.36	17.42	3.92	3.77	0.00	0.53	1.37	0.68	0.66
Sorgo	9.66	12.38	2.04	1.81	2.87	71.23	3.81	0.04	0.25
**H.S.A.	4.70	53.25	24.97	12.62	2.36	2.07	5.44	1.79	1.10
Har. de sangre	4.99	86.12	0.27	3.12	0.31	5.18	5.06	0.14	0.12

\* S.C.H.- Subproductos de carpa herbívora.

\*\*H.S.A.- Harina de subproductos animales.

Valores de ingredientes reportados en base húmeda.

El factor de conversión de proteína fue 6.25 para todos los ingredientes, excepto para sorgo (5.38).

Tabla 30.- Composición bromatológica de dietas extruídas para bagre.

DIETA	Humedad	Proteína	Lípidos	Ceniza	Fibra	ELN	Ca	P
D 1	6.49	33.10	4.64	5.41	2.75	54.11	0.50	0.58
ds	1.05	0.40 a	0.42 a	0.19 a	0.64 b	0.59 c	0.03 a	0.01 a
D 2	5.18	33.92	4.94	5.93	2.19	53.02	0.66	0.75
ds	0.36	0.64 b	0.04 b	0.36 b	0.06 ab	0.58 b	0.04 b	0.08 b
D 3	5.90	34.92	4.59	6.33	2.38	51.78	0.73	0.78
ds	0.80	0.58 c	0.08 a	0.23 bc	0.58 ab	1.18 a	0.02 c	0.04 b
D 4	7.08	33.78	5.15	6.50	2.44	52.12	0.82	0.88
ds	0.30	0.77 ab	0.42 b	0.31 c	0.47 ab	0.75 ab	0.04 d	0.03 c
D 5	7.14	34.22	4.54	6.58	2.02	52.63	0.73	0.84
ds	0.82	0.71 bc	0.53 a	0.55 c	0.08 a	0.62 ab	0.03 c	0.02 c
Anova (0.05)		0.0009	0.0278	0.0000	0.0838	0.0003	0.0000	0.0000
*THV		0.680	0.000	0.008	0.000	0.324	0.358	0.002

D1=con soya extruída, D2= con coe 70 s:30 p, D3= con coe 60 s:40 p, D4= con coe 50 s:50 p, D5= con p. de soya y subprod.de pescado.

Valores de dietas reportados en base seca.

n=6 valores por tratamiento. generando 30 casos para análisis estadístico.

El factor de conversión de proteína fue 6.25

Letras diferentes denotan diferencias significativas, en  $p < 0.05$ .

\*THV = Test de homog. de Varianzas de Levene (SPSS 5.0 Win).

Tabla 31.- % de inclusión en materia seca de los subproductos de carpa herbívora y soya en dietas para bagre.

Dieta	Subprod. carpa herb. (n.s.)	Pasta de Soya
D1	0	45
D2	4.80	40.24
D3	7.05	37.98
D4	9.80	35.19
D5	4.64	30.76

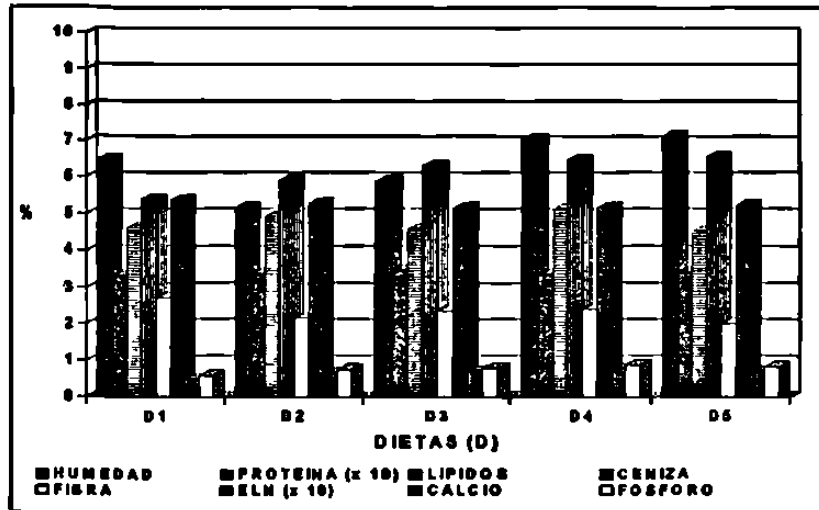


Fig. 31.- Composición bromatológica de dietas extruídas para bagre (b.s.).

#### DETERMINACION DE CALCIO Y FOSFORO DE INGREDIENTES Y DIETAS EXTRUIDAS.

Como se puede observar en la tabla 30, de los ingredientes empleados, el sorgo es el que aporta la menor cantidad de calcio, no obstante el contenido en fósforo es mucho mayor. La pasta de soya y soya extruída presentan una relación Ca:P 1: 2, ocurriendo lo contrario con la harina de subproductos animales, que es más alta en calcio, por la composición de ingredientes que la forman (pelo, pluma, pezuña, vísceras, etc.). Los otros ingredientes presentan una relación Ca:P de 1:1.

Para los alimentos extruídos (Tabla 30 y Fig. 31), el contenido de Ca y P está en una relación 1:1, y se incrementa su concentración de acuerdo a la inclusión de subproductos de pescado en el coextruído, excepto para la dieta 5, en la cual la concentración de calcio de ambos nutrientes es muy parecida a la de la dieta con el coextruído 60 s:40 p.

## ELABORACION DE DIETAS EXPERIMENTALES.

### EXTRUSION DE MEZCLAS.

Se aplicaron las especificaciones técnicas descritas en la tabla 28, de resultados Fase II en la extrusión de todas las mezclas. Se observó estabilidad en temperatura y amperaje para los 2 replicados de cada dieta procesada (Fig. 32, 33, 34, 35 y 36). No se observaron cambios drásticos en ninguno de estos 2 parámetros durante el proceso, obteniendo buena reproducción en los replicados de cada prueba.

El proceso de extrusión de dietas inició con una alimentación de 50 rpm, sin inyección de agua y el cortador en velocidad 1. Cuando empiezan a salir los pelets, se hizo un drástico aumento en la alimentación hasta 80 rpm, a la vez que se inyectó agua en un mínimo de 10 lph y se elevó la velocidad del cortador hasta 5. Estas 2 últimas variables fueron modificados, según lo fueran requiriendo la textura y apariencia física de los pelets obtenidos, además de la longitud deseada.

En este proceso, la inyección de agua fue desde 10-20 lph, y la velocidad de corte desde 5 a 8, hasta que se obtuvieron pelets expandidos (forma de bolitas) y flotantes, compactos, de color café claro uniforme, y en general, apariencia y olor agradables. Las dietas obtenidas fueron secadas ambientalmente (toda la noche), y al siguiente día fueron guardadas en sacos de papel hasta su uso.

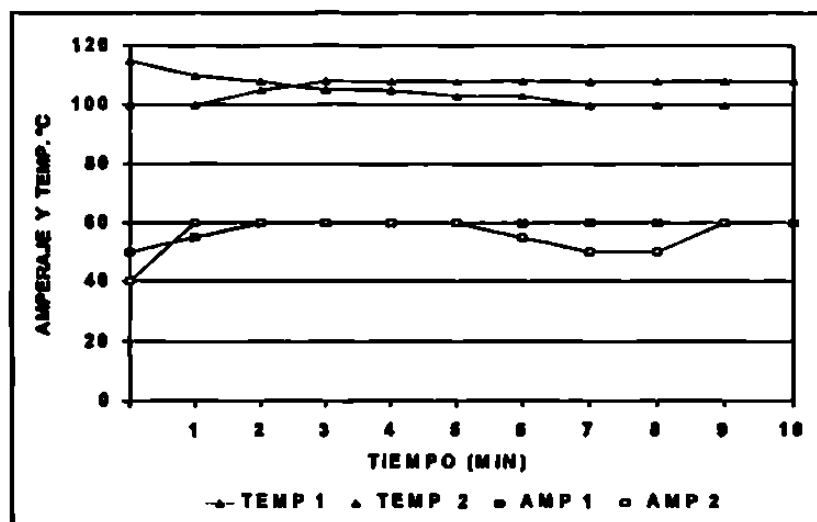


Fig. 32.- Parámetros físicos de extrusión de dieta con soja extruída (D1).

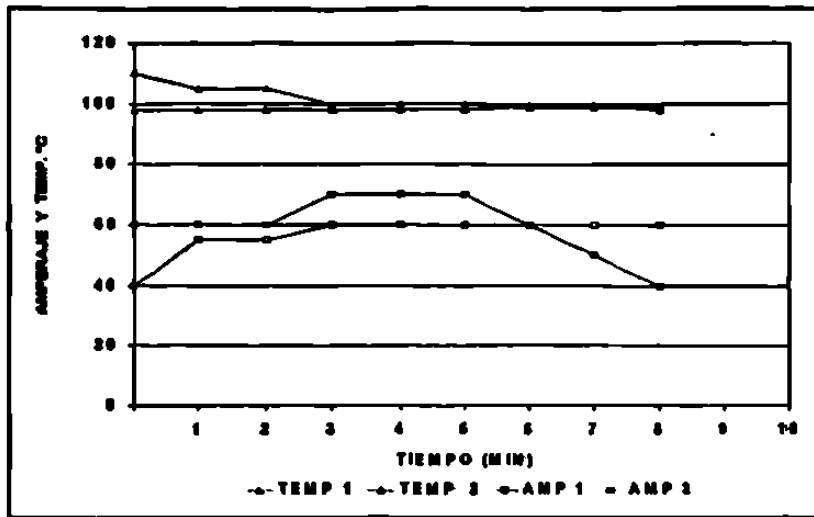


Fig. 33.- Parámetros físicos de extrusión de dieta con coextruido 70 s:30 p (D2).

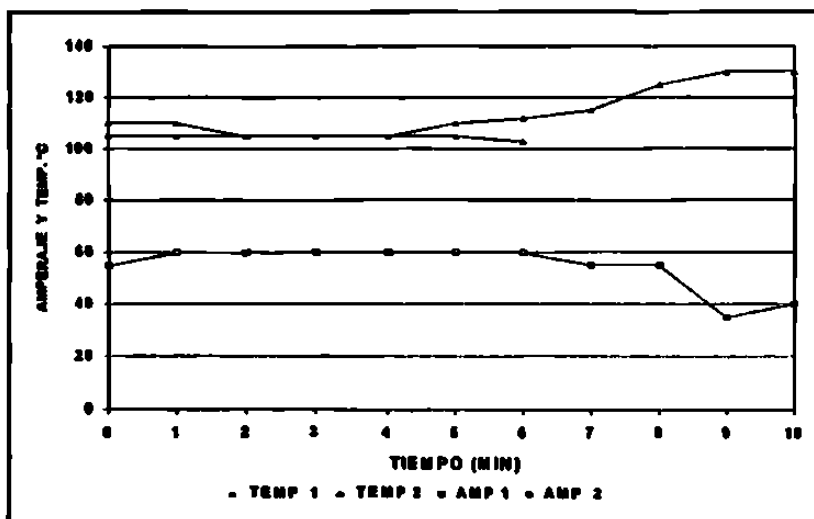


Fig. 34.- Parámetros físicos de extrusión de dieta con coextruido 60 s:40 p (D3).

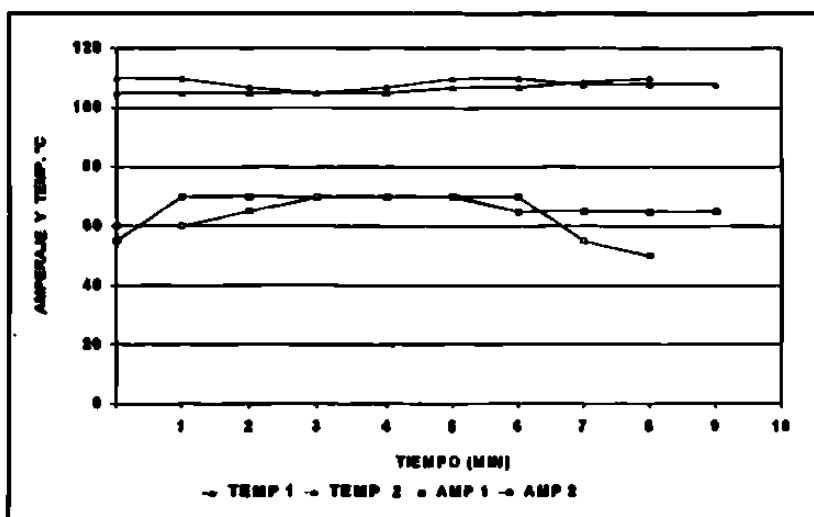


Fig. 35.- Parámetros físicos de extrusión de dieta con coextruido 50 s:50 p (D4).

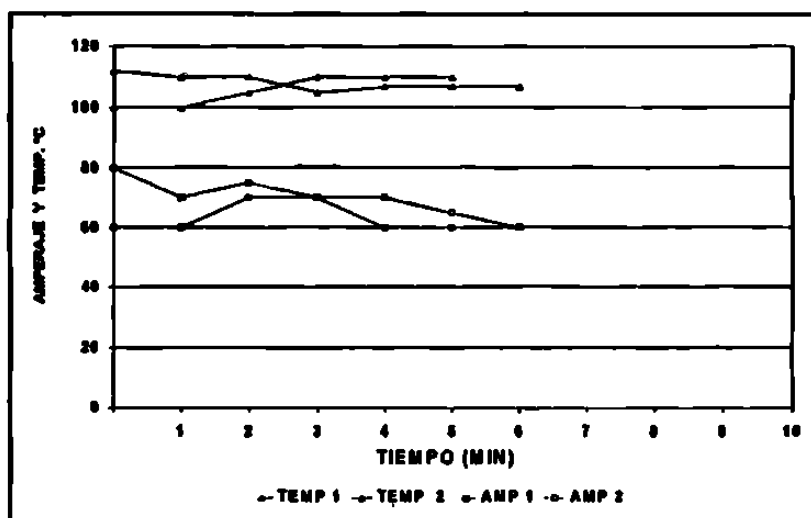


Fig. 36.- Parámetros físicos de extrusión de dieta con inclusión de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora (D5), sin proceso.

#### PARAMETROS FISICOS REGISTRADOS.

La temperatura promedio de proceso se mantuvo constante en todas las pruebas, de 100 °C a 110 °C, y aunque hay diferencias significativas entre las dietas extruídas ( $p < 0.05$ ), no presenta cambios drásticos en el proceso.

El amperaje promedio registrado se mantuvo alrededor de los 60 amperes, pero también presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las dietas procesadas. No se presentaron variaciones drásticas del mismo, lo que indica la homogeneidad del proceso (Tabla 32 y Fig. 37).

Tabla 32- Promedio de temperatura y amperaje registrados en la extrusión de dietas experimentales para bagre.

Dietas	Temperatura °C	Amperaje (Amp)
D1	105.42 ± 3.42 b	57.89 ± 3.84 a
D2	99.87 ± 2.22 a	59.37 ± 7.51 a
D3	110.94 ± 9.27 c	56.56 ± 7.68 a
D4	107.41 ± 1.94 b	65.76 ± 5.86 b
D5	107.36 ± 3.17 bc	66.36 ± 5.52 b
p Anova (0.05)	0.0000	0.0000
*THV	0.000	0.643

n=79 casos para análisis estadístico.

Letras diferentes indican que difieren significativamente ( $p < 0.05$ ).

\*Test de homogeneidad de varianzas de Levene (SPSS 5.0 Win).

El tiempo de proceso fue en promedio de 5 minutos para todas las pruebas, y no resulta significativo entre las dietas procesadas ( $p > 0.05$ ), pero dicho parámetro está en función de la cantidad del lote a procesar.



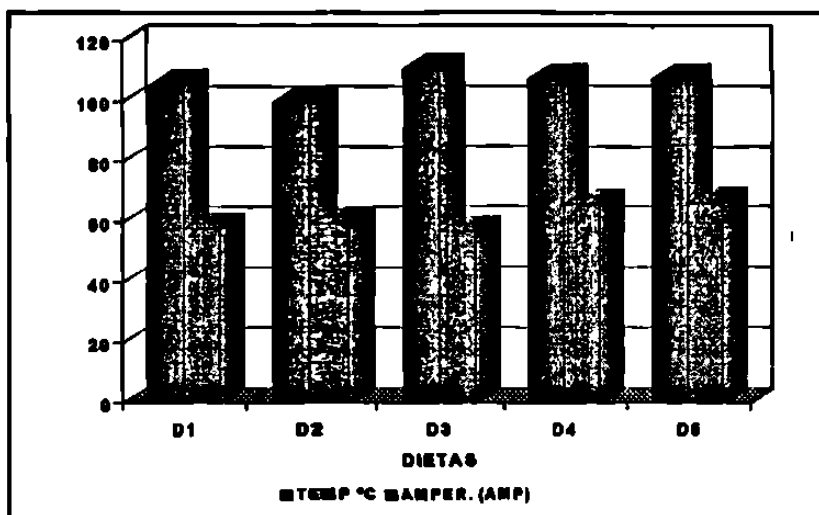


Fig. 37.- Promedio de temperatura y amperaje registrados en extrusión de dietas experimentales para bagre.

#### HUMEDAD GANADA.

No hubo pérdida de humedad en las dietas procesadas, sino al contrario, hubo ganancia de la misma, presentando diferencias significativas en el % de humedad ganada ( $p < 0.05$ ), debido a que es necesario inyectar diferentes niveles de agua (lph) durante la extrusión de las mezclas (Tabla 33 y Fig. 38), para lograr la compactación y expansión de las mismas, para efecto de gelatinización de almidones y flotación de los pelets, lo que provoca que la humedad final de las dietas presente diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Aún cuando se adicionó la misma cantidad de agua a todas las mezclas antes de procesarlas, la humedad inicial presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), que proviene de la dieta con subproductos de pescado (D5) de una de las repeticiones, en la cual no se ajustó la humedad inicial al nivel de las otras porque teóricamente no lo requería, de acuerdo a la formulación empleada (20 % teórico). La humedad real fue de 17.09 % (muy probablemente perdió humedad por el efecto de congelación), por lo que el segundo replicado se ajustó hasta obtener 21.5 % de humedad

Tabla 33.- Valores de humedad obtenidos para extrusión de dietas experimentales para bagre.

Dietas	% Humedad Inicial.	% Humedad Final	% Humedad Relativa Ganada
D1	22.51 ± 0.56 b	24.94 ± 1.63 cd	10.76 ± 6.44 a
D2	22.63 ± 0.46 b	23.47 ± 0.38 bc	3.77 ± 3.51 b
D3	22.74 ± 1.74 b	25.47 ± 0.72 d	12.42 ± 6.47 a
D4	22.40 ± 0.33 b	22.44 ± 0.49 ab	0.23 ± 2.94 b
D5	19.29 ± 2.44 a	21.35 ± 3.01 a	10.51 ± 2.48 a
P (Anova)	0.0008	0.0006	0.0004
*THV	0.000	0.000	0.006

n= 6 valores por tratamiento, generando 30 casos.  
 La humedad ganada es la (Hum. Ini. - Hum. Fin./Hum. Ini.)x 100  
 Cada valor representa la media del tratamiento.  
 Letras diferentes indican diferencias significativas en p<0.05.  
 \*Test de Homogeneidad de Varianzas de Levene (SPSS 5.0 Win).

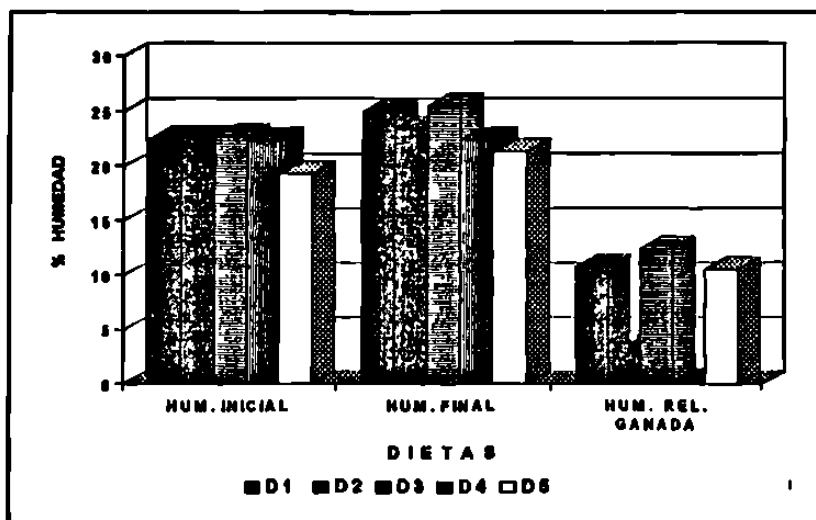


Fig. 38.- Humedades obtenidas para extrusión de dietas experimentales para bagre.

### OTROS PARAMETROS FISICOS EVALUADOS.

#### EXPANSION DE PELETS.

Como se observa en la tabla 34 y fig. 39, se presentaron 3 grados de % de expansión en las 5 dietas extruídas, lo que las hace significativamente diferentes entre sí (p<0.05), presentando el menor % de expansión la dieta 2 (con coe 70 s:30 p), seguida por la dieta 1 (con soya extruída), no habiendo diferencias significativas en las dietas 3, 4 y 5, aún cuando todas las dietas tuvieron incluidos niveles similares de sorgo (empleado como fuente de energía) y humedad, entre otras condiciones.

## FLOTACION DE LOS PELETS.

El anova bifactorial mostró que los diferentes tiempos de flotación (de 5 a 25 minutos), no tiene efecto significativo sobre el % de flotación de los pelets ( $p=0.378$ ), lo que implica que se puede usar cualquier tiempo para el análisis, pero sí tiene un efecto altamente significativo la dieta sobre el % de flotación ( $p=0.0000$ ), aunque la interacción entre ambos no presenta diferencias significativas ( $p=0.996$ ).

Al aplicar un anova de una vía entre el % de flotación (valores transformados a arc sen) y las dietas, hubo diferencias altamente significativas en los % de flotación ( $p=0.0000$ ), presentando la menor flotación la dieta 2 (con el coextruido 70 s:30 p), y el más alto valor la dieta con subproductos de pescado y pasta de soya (D5), como se muestra en la tabla 34 y Fig. 39.

Tabla 34 .- Valores promedio de % de expansión y flotación de dietas extruídas para bagre (pelets).

Dietas	% Expansión	% Flotación
D1	30.00 ± 1.89 b	68.00 ± 11.77 b
D2	22.89 ± 2.11 a	35.67 ± 5.30 a
D3	33.33 ± 5.24 c	72.33 ± 8.84 b
D4	33.33 ± 0.0 c	95.33 ± 1.29 c
D5	33.33 ± 0.0 c	98.33 ± 2.44 d
p Anova (0.05)	0.0000	0.0000
*THV	0.132	0.000

Valores expresados en %.

Para expansión,  $n=10$  valores/dieta= 50 casos.

Para flotación,  $n= 15$  valores/dieta= 75 casos. Los valores de % fueron transformados a arc sen .

Letras diferentes indican diferencias significativas en el nivel  $p<0.05$ .

\*Test de Homog. De Varianzas de Levene (SPSS 5.0 Win)

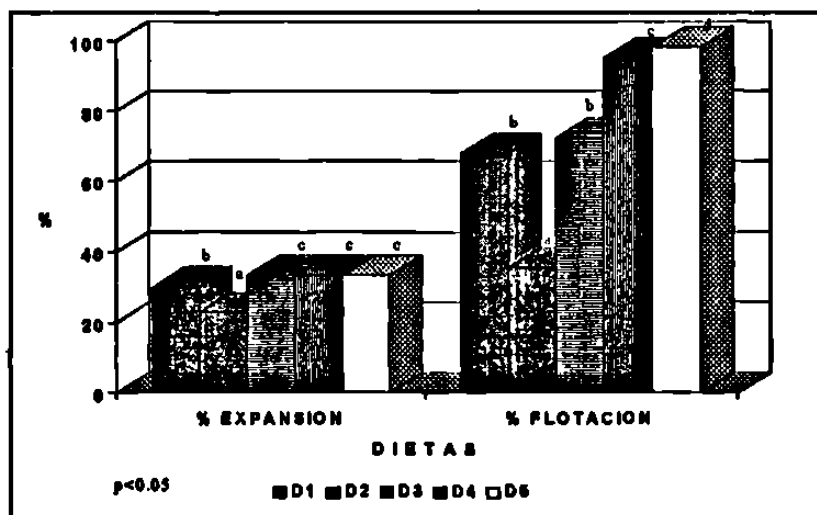


Fig. 39 .-Valores promedio de % de expansión y flotación de pelets de dietas extruídas para bagre.

### CORRELACION MULTIPLE ENTRE PARAMETROS FISICOS DE PROCESO.

Se efectuó un análisis de correlación múltiple entre los parámetros físicos de proceso (tabla 35), encontrando una alta asociación entre expansión y temperatura (0.9330), expansión y flotación (0.9150) dietas y amperaje (0.8086), y una pobre asociación entre temperatura y amperaje (0.0496), entre otros. La correlación entre amperaje, expansión y flotación no fue muy alta.

Tabla 35.- Valores de correlación entre parámetros físicos de proceso.

	Temperatura	Amperaje	% Expansión	% Flotación
Dietas (p)	0.4447 (0.453)	0.8086 (0.098)	0.5966 (0.288)	0.7528 (0.142)
Temperatura (p)		0.0496 (0.937)	0.9330 (0.021)	0.7148 (0.175)
Amperaje (p)			0.3623 (0.549)	0.6951 (0.193)
% Expansión (p)				0.9150 (0.029)

Se empleó la media de los parámetros para el análisis estadístico.

Valores de expansión y flotación expresados en %.

% de flotación no transformados a arc. sen.

N=5 casos por parámetro.

## ANALISIS DE COSTOS DE DIETAS EXTRUIDAS.

### COSTO ESTIMADO DE ENERGIA ELECTRICA.

Como se muestra en la tabla 36, el costo de energía eléctrica requerido para procesar una tonelada húmeda de alimentos, es un valor intermedio de los costos calculados también para electricidad en el proceso de los coextruidos 60 s:40 p y 50 s:50 p. Este costo no está totalmente en función del contenido de humedad inicial de la mezcla (22.4 %), sino por la adición de otros implementos técnicos necesarios para el proceso de alimentos (unidad motora del cortador, bomba de agua y molino), que aumentan el consumo de energía eléctrica, y por lo tanto el costo del proceso. Se presenta el mismo efecto en el costo estimado por proceso (tabla 38).

Tabla 36.- Costo estimado de energía eléctrica para alimentos extruidos.

Motor	Pot. en HP	KW	Hr Proceso/ Ton	\$/KWH	Total \$/ Ton
*Arranque	50	37.3	4.1	0.186	28.44
Alimentador	1	0.746	4.1	0.155	0.47
Unidad Motora del Cortador	5	3.73	4.1	0.155	2.37
Bomba de Agua	1	0.746	0.55	0.155	0.06
Molino	5	3.73	5.55	0.155	3.21
Mezcladora	50	2.238	0.5	0.155	0.17
<b>Costo\$/Ton</b>					<b>34.74</b>

1 HP= 0.746 kw

costo/kwh= \$0.155 (mes de marzo, proporcionado por CFE, Mty,N.L.)

\*Es el costo/kwh + 20 % por arranque del motor

Las horas de proceso /ton. húmeda marcadas para el motor de arranque, el alimentador y la unidad motora del cortador son el tiempo de funcionamiento independiente. Se hizo este desglose para estimar el consumo de energía eléctrica total. Pero las horas de trabajo en el extrusor para procesar una tonelada húmeda es de 4.1 Horas (Tabla 37), sin considerar además el tiempo de mezclado y de molienda.

Tabla 37.- Tiempo de trabajo requerido en cada fase del proceso en extrusor de alimentos flotantes (ton. húm.).

	Dieta
* % Humedad inicial	22.4
Hrs. de proceso en extrusor/Ton. húm.	4.1
Hrs.Mezclado/Ton. Húm.	0.5
Hrs. molienda/Ton.	5.55

\* Humedad obtenida después de adicionar 20 % de agua a la mezcla.

A este costo/ton. debe agregarse el costo del secado, que puede ser el mismo para todas las dietas, debido a que la humedad final con que salen del extrusor es muy parecida.

Tabla 39.- Costo de dietas extruidas para bagre.

Ingredientes	Precio/Kg	D1	D2	D3	D4	D5
Pasta de soya	2.36					33.437
Subprod. Carpa Herb.	0.50					18.100
Soya Extruida	3.16	45.000				
Coe 70s:30p	2.48		45.000			
Coe 60s:40p	2.43			45.000		
Coe 50s:50p	2.33				45.000	
Sorgo	1.25	41.700	42.258	42.674	43.379	37.110
Har. Subprod. Anim.	1.10	7.000	7.000	7.000	7.000	6.251
Har. de Sangre	2.00	2.000	2.000	2.000	2.000	1.800
Aceite de Soya	4.50	3.057	2.499	2.083	1.378	2.199
Premix Vitaminico	33.00	0.200	0.200	0.200	0.200	0.180
Premix Minerales	3.60	0.500	0.500	0.500	0.500	0.440
Vit. C	35.17	0.200	0.200	0.200	0.200	0.180
Cloruro de Colina	8.70	0.080	0.080	0.080	0.080	0.070
Antioxidante Redox	5.00	0.013	0.013	0.013	0.013	0.012
Antifúngico	17.00	0.250	0.250	0.250	0.250	0.220
Totales		100.000	100.000	100.000	100.000	99.999
Costo formula \$/kg		2.40	2.08	2.04	1.97	1.73
Costo formula \$/ton		2402.27	2078.13	2042.11	1974.20	1729.84
Costo de proceso		212.14	212.14	212.14	212.14	212.14
Subtotal (77.64 % MS)		2614.41	2290.27	2254.25	2186.34	1941.98
Costo Total \$/Ton (90 % M.S.)		3030.61	2654.87	2613.12	2534.39	2251.14

Sin embargo, al comparar la dieta que contiene al coextruido 50 s:50 p con una dieta (D6) que tuviera igual inclusión de pasta de soya (38.25 %) y harina de pescado (10 %), observamos que la D4 es un 12 % más barata que la D6 (Tabla 40 y Fig. 41).

Al comparar la D5, que tiene pasta de soya y subproductos de pescado sin procesar, con una dieta (D7) con un equivalente en inclusión de pasta de soya (33.5 %) y harina de pescado (5 %), la D5 resulta un 13 % más barata que la D7. Por lo que, las dietas con 5 y 10 % de harina de pescado (D7 y D6) son más caras que las dietas con subproductos de pescado/pasta de soya y coe 50 s:50 p, respectivamente

**Tabla 40.- Comparación de costos de dietas extruidas para bagre, con 10 y 5 % de harina de pescado.**

Ingredientes	Precio/Kg	D4	D6	D5	D7
Harina Pescado Proesa	4.00		10.000		5.000
Pasta de soya	2.36		38.250	33.437	33.500
Subprod. Carpa Herb.	0.50			18.100	
Soya Extruida	3.16				
Coe 70s:30p	2.48				
coe 60s:40p	2.43				
Coe 50s:50p	2.33	45.000			
Sorgo	1.25	43.379	44.040	37.110	46.197
Har. Subprod. Anim.	1.10	7.000	1.100	6.251	9.769
Har. de Sangre	2.00	2.000	1.100	1.800	2.000
Aceite de Soya	4.50	1.378	4.267	2.199	2.290
Premix Vitaminico	33.00	0.200	0.200	0.180	0.200
Premix Minerales	3.60	0.500	0.500	0.440	0.500
Vit.C	35.17	0.200	0.200	0.180	0.200
Cloruro de Colina	8.70	0.080	0.080	0.070	0.080
Antioxidante Redox	5.00	0.013	0.013	0.012	0.013
Antifúngico	17.00	0.250	0.250	0.220	0.250
<b>Totales</b>		<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>99.999</b>	<b>99.999</b>
<b>Costo formula \$/kg</b>		<b>1.97</b>	<b>2.28</b>	<b>1.73</b>	<b>2.02</b>
<b>Costo Fórmula \$/ton</b>		<b>1974.20</b>	<b>2283.77</b>	<b>1729.84</b>	<b>2023.03</b>
<b>Costo de Proceso</b>		<b>212.14</b>	<b>212.14</b>	<b>212.14</b>	<b>212.14</b>
<b>Subtotal (77.64 % M.S.)</b>		<b>2186.34</b>	<b>2495.91</b>	<b>1941.98</b>	<b>2235.17</b>
<b>Costo total \$/Ton. (90 % M.S.)</b>		<b>2534.39</b>	<b>2893.24</b>	<b>2251.14</b>	<b>2591.00</b>

D6 tiene un 10 % de H. de pescado y 38.25 % de p. de soya = D4 con el 45 % del coe 50s:50 p. D7 tiene un 5 % de H. de pescado y 33.5 % de p. de soya= D5 con 18.1 % de subproductos de pescado y 33.44 % de pasta de soya.

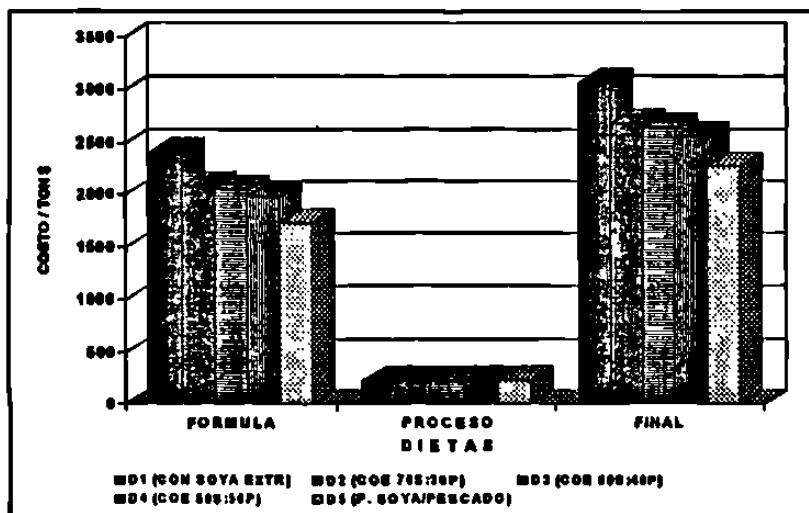


Fig. 40.- Costo/ton. \$ de dietas extruidas para bagre.

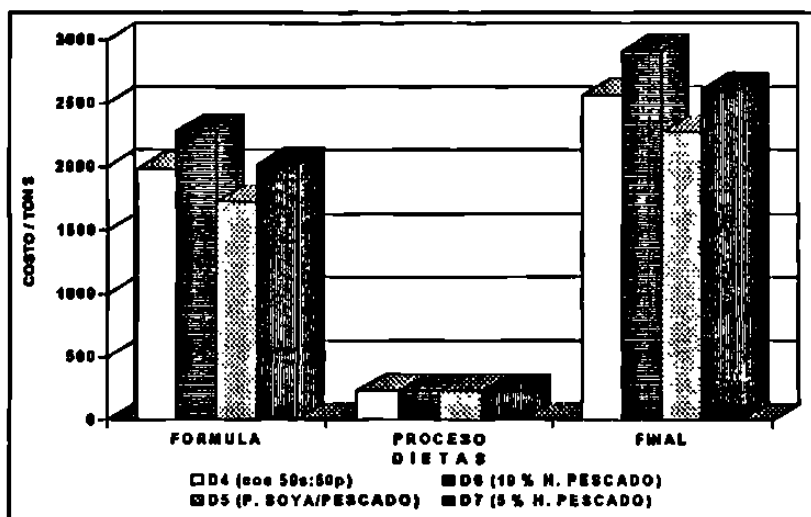


Fig. 41.- Comparación de costos de dietas extruidas para bagre, con 10 y 5 % de harina de pescado



## DISCUSIONES

### DETERMINACION DE PARAMETROS DE PROCESO EN EL EXTRUSOR.

Como se mencionó en resultados, fue necesario efectuar 44 pruebas, considerando más variables que en la elaboración de coextruídos. Esta cantidad de ensayos realizados fue debido a que no había una experiencia previa en el tipo de alimentos que deseábamos obtener: pelets expandidos y flotantes.

En lo que se refiere a los anillos de presión, Doud (1994, com. per.) propuso inicialmente emplear 600-10/600-08/600-08/600-08 ( $3^{1/2}$  “,  $3^{5/8}$  “,  $3^{5/8}$  “,  $3^{5/8}$  “). Se empleó un dado de 20 orificios de 2 mm c/u (Kiang, 1995, com. Per.), y se adicionaba 12 % de humedad a la mezcla. Previo a extruir la mezcla, se hacía un precalentamiento con frijol de soya hasta 110-120 °C para cocer rápidamente la mezcla y minimizar su pérdida (Harper, 1981; Carver et al, 1989; Botting, 1991; Doud, 1994, com. Per.) y un rango de alimentación de 50-70 rpm, entre otras variables, pero no daba los resultados deseados. Fueron probados todas las variables posibles en el proceso de peletización en el extrusor: humedad de la mezcla, velocidad de alimentación, número de orificios del dado y diámetro, tamaño de partícula de la mezcla, nivel de inyección de agua (lph) , temperatura para iniciar el proceso y diversas combinaciones de anillos de presión.

Finalmente las mejores condiciones de proceso se citan en la tabla 28. Se volvió a la configuración de anillos de presión propuesta inicialmente por Doud (*op. Cit.*). Los anillos de presión producen calor por la restricción que hay entre la periferia del anillo y la pared del barril extrusor, lo que produce corte en la mezcla, atrapa el vapor y lo reincorpora en la masa que se está procesando (Cruz, 1993).

El número de orificios del dado de salida fue otra de las variables que definió el éxito del proceso. Al reducir desde 20 orificios a sólo 2 orificios, que mantienen alta presión detras del dado para prevenir generación prematura de vapor, se aumentó la presión de salida del producto extruído, produciendo expansión (Botting, 1991; Woodroffe, 1993; Doud, 1994, com. Per.; Rokey and Huber, sin año; Miller, 1994), dándole al producto la densidad, textura y apariencia finales, controlando además la capacidad del extrusor (kearns, 1993; Li and Robinson, 1994; Robinson and Li, 1995). Normalmente los extrusores en seco operan a presiones de 25-40 bar (Woodroffe, 1993).

El grado de molienda (tamaño de partícula) fue otra variable importante. Se usó la malla o tamiz de orificios más pequeño (1 mm), porque lo pelets compactaban con más firmeza. Este diámetro equivale a una malla del No. 18 (1000  $\mu$ ), aunque las harinas molidas tuvieron un tamaño de partícula de 1000-500  $\mu$ . Al moler al tamaño más pequeño, se mejorará la estabilidad del pelet en el agua y se aumentará su durabilidad, aunque otros factores son importantes para lograr ésto, como el nivel de inclusión de almidones y grasa (Dupree and Huner, 1984). No sólo se mejorará la apariencia física del producto, también se reducirá el desgaste y costos de energía en el extrusor (Botting, 1991). En alimentos hundibles, los fabricantes de alimento hacen una doble molienda a través de una malla 45 USA (0.354 mm) antes de peletizar (Dupree and Huner, 1984). En alimentos para camarón y alevines, el tamaño de malla para molienda debe ser entre

250-420  $\mu$  (Botting, 1991; Bigliani, 1993; Woodroffe, 1993.) y 800  $\mu$  para peces más grandes (Botting, *op. cit.*).

El % de humedad de las mezclas también constituyó una variable importante en el proceso. Aunque se probaron diferentes humedades, la adición del 20 % a las mezclas (Kiang, 1995, com. per.) dio los mejores resultados. La humedad de la fórmula es un factor importante, ya que la extrusión con baja humedad ocasiona un mayor desgaste en comparación con una extrusión con mayor contenido de humedad (Kearns, 1991, 1993; Miller, 1996). Una humedad óptima reducirá además el consumo de energía por tonelada de producto procesado (Rokey and Huber, sin año; Acosta, 1990; Kearns, *op. cit.*).

Esta humedad penetra en cada una de las partículas de la materia prima, suavizándola y humedeciéndola, lo que aumenta la tasa de transferencia de calor por medio de fricción en cada una de ellas, reduciendo la condición abrasiva del sustrato; ayuda en la gelatinización de almidones y desnaturaliza las proteínas (Kearns, *op. cit.*; Li and Robinson, 1994; Robinson and Li, 1995).

Aunque se adicionó 20 % de agua a las mezclas, la humedad inicial analizada fue de aprox. 22 %, debido a la humedad que aportan los ingredientes, pero además fue inyectada agua durante el proceso en un rango de 10-20 lph para la obtención de pelets expandidos. Es muy probable que el contenido de humedad haya aumentado en su interior a 24-27 % (no fue medido), y que es necesario para obtención de alimentos acuícolas flotantes (Kearns, *op. cit.*; Rokey and Huber, sin año; Kiang, 1995, com. per.), además de que permite altas capacidades, incrementa la retención de nutrientes y define mejor el producto, generando una presión final de 34-37 atm. en el extrusor (Rokey and Huber, *op. cit.*).

En cuanto a la velocidad de alimentación de la mezcla, se inició siempre en 50 rpm, y en cuanto el producto empezaba a salir, se aumentaba rápidamente a 80 rpm, porque fue en este rango cuando se obtuvieron los mejores resultados. El propósito del alimentador es proveer un flujo controlado constante de la mezcla alimenticia hacia el barril extrusor (Kearns, sin año), para asegurar una inyección de agua y un mezclado homogéneo para obtención de buenos productos, además de que influye en los parámetros del sistema tales como la energía mecánica específica y la presión del dado (Choudhury, 1995).

En cuanto a la temperatura para iniciar el proceso, se observó que a 100 °C el producto tenía buen cocimiento y expansión, por lo que antes de cada mezcla se hizo un precalentamiento con frijol de soya hasta 120-130 °C para minimizar la pérdida del producto a extruir (Doud, 1994, com. per.; Botting, 1991) y obtener cocción inmediata. Al hacer el cambio del tornillo de bala por uno de cabeza plana y colocar el cabezal con el portadados y el eje del cortador, la temperatura descendía hasta 110-120 °C, suficiente para iniciar el proceso y lograr gelatinización de almidones, aunque es a menor temperatura (aprox. 70 °C) cuando se da este efecto (Badui, 1993), que será discutido más adelante.

La velocidad del cortador fue determinada de acuerdo a la longitud deseada del pelet, de aproximadamente 0.5 cm. Siempre se inició el proceso con el cortador en velocidad 1, y al salir

los pelets se aumentaba hasta 5 o más, se fuese mostrando su longitud, ajustándolo al tamaño deseado.

## **ANALISIS QUIMICOS.**

### **ANALISIS BROMATOLOGICO DE MATERIAS PRIMAS.**

Ingredientes como pasta de soya y sorgo tuvieron valores de proteína ligeramente más altos a los reportados en NRC (1983). En pasta de soya pudo ser porque se empleó el factor 6.25 para determinar proteína, en lugar de 5.71 (usado comúnmente).

En cuanto a la harina de subproductos animales, dada su heterogénea composición de ingredientes, no hay un ingrediente comparativo para consultarlo en literatura. Resulto alto como fuente de proteína y lípidos. La harina de sangre es muy similar a la reportada en NRC (1983), aunque en composición de lípidos y ceniza es ligeramente más baja.

Para subproductos de carpa herbívora, como se mencionó anteriormente, no hay valores reportados específicos para la especie, sólo en rangos de proteína y lípidos (Tacon, 1989). Al considerarlos en base húmeda, su aporte de proteínas y lípidos es bajo, pero al estimarlos en base seca, su aporte es del 68 y 15 % respectivamente, tomando importancia nutricional por la calidad de ambos nutrientes.

Para coextruidos, como se citó anteriormente, no varía su contenido de proteína, pero el de lípidos si aumenta de acuerdo a la inclusión de subproductos de pescado. Ceniza y fibra se mantienen constantes, y el extracto libre de nitrógeno (ELN) baja en relación a la inclusión de subproductos de pescado.

### **ANALISIS BROMATOLOGICO DE DIETAS EXTRUIDAS PARA BAGRE.**

Al comparar en base seca todos los nutrientes de las dietas, se presentaron diferencias significativas en los mismos ( $p < 0.05$ ), excepto en fibra. Para proteína y lípidos como principales nutrientes la diferencia entre las dietas no es muy grande, encontrándose dentro de los requerimientos nutricionales para bagre (32 % de proteína, no más de 6 % grasa), citados en NRC (1983); Robinson, 1989; Robinson, 1991; Wilson, 1991, 1994; Kiang, 1994, com. per.; Robinson and Li, 1995). El nivel de fibra es considerado óptimo, ya que es bajo, e indigestible para peces (Dupree, 1984; Kiang, *op. cit.*), y es un buen parámetro que puede ser usado para determinar un buen alimento (Kiang, *op. cit.*).

### **DETERMINACION DE CALCIO Y FOSFORO DE INGREDIENTES Y DIETAS EXTRUIDAS.**

En todas las dietas, el nivel de ambos nutrientes es muy superior al requerido por la especie y se encuentra en una relación 1:1. El bagre absorbe calcio del agua, y su requerimiento es del 0.45 % cuando es cultivado en aguas libres de calcio, aunque si lo hay en el agua y la dieta, no es necesario suplementarlo (NRC, 1983; Steffens, 1989; Robinson, 1989; Wilson, 1991, 1994; Robinson and Li, 1995).

Para fósforo, el requerimiento en forma de fósforo disponible es de 0.4-0.5 %. En las dietas, cerca de 1/3 del fósforo vegetal y cerca de 1/2 del fósforo animal es disponible para bagre. Al obtener en las dietas experimentales valores de fósforo superiores al requerimiento de fósforo disponible, y considerando las anteriores observaciones, es posible que se cubra ese requerimiento. Otra observación importante es el balance adecuado de ambos nutrientes, de tal forma que se dispone de menos fósforo en las dietas cuando se carece de calcio (NRC, *op. cit.*; Steffens, *op. cit.*; Robinson, *op. cit.*; Wilson *op. cit.*; Lovell et al, 1978 y Robinson et al, 1986, citados por Davis et al, 1991).

## **ELABORACION DE DIETAS EXPERIMENTALES.**

### **EXTRUSION DE MEZCLAS.**

De manera general, las mezclas extruídas tuvieron el mismo comportamiento durante su elaboración, obteniéndose en todas las dietas (excepto D1 y D2) las condiciones físicas y tecnológicas esperadas, como se discutirá más adelante. En una de las pruebas preliminares efectuadas durante el proceso de estandarización de las dietas, se observó la importancia de usar el mismo ingrediente de lotes diferentes en una mezcla, y la variación en el resultado final en el proceso de extrusión, mostrando que las propiedades reológicas del ingrediente en cuestión y las condiciones durante la extrusión influyen sobre la naturaleza del producto (Fellows, 1994).

Siguiendo con lo anterior, en otras pruebas efectuadas se mostró la importancia del nivel de inclusión de harinas con proteína animal en la textura final del producto. Cuando se incluía harina de sangre en un 5 y 3 % el pelet no expandía, o no tenía suficiente adhesión o compactación, soltando demasiados finos. Esto es debido a que las harinas con proteína animal generalmente no contribuyen estructuralmente en los alimentos acuáticos cocidos por extrusión, porque no expanden o combinan con otros ingredientes en la misma manera que los ingredientes almidonosos o proteínas vegetales. Esto se debe principalmente al alto grado de proceso termal que han recibido en su preparación (Rokey and Huber, sin año).

## **PARAMETROS FISICOS REGISTRADOS.**

### **TEMPERATURA Y AMPERAJE.**

Uno de los parámetros más importantes del proceso de extrusión, además de la presión, diámetro y número de orificios del dado y la tasa de corte en el barril extrusor, es la temperatura (Fellows, 1994), generada por la fricción y presión dentro del barril cuando la mezcla pasa a través de las restricciones crecientes de los anillos de presión, que sumado al efecto de la humedad del producto y la inyectada al barril, produce cocción del producto (Kiang, 1993, 1994), durando el proceso menos 30 s (Kiang, *op. cit.*, Said, 1992).

En el presente trabajo, el rango de temperaturas del proceso fue desde 100 hasta 111 °C, estando un poco por debajo de las temperaturas requeridas para alimentos extruídos flotantes en este extrusor (Kiang, 1995, com. per.) quien cita temperaturas de 120-132 °C para mezclas con 20 % de humedad, adicionándole 4 % por inyección de agua dentro del barril. Rokey y Huber (sin

año) menciona que se requieren temperaturas de 125 a 138 °C, y una presión de 34 a 37 atm. en el dado del extrusor, además de una humedad del 25-27 %. Aunque Dupree y Huner (1984) considera un rango de temperatura más amplio para lograr tal efecto, desde 107-155 °C, y presiones de 5 a 7 Kg/cm<sup>2</sup>, por lo que al considerar las temperaturas de nuestras dietas (tabla 32), se encontrarían dentro del límite requerido.

Con las temperaturas obtenidas, excepto para la D1 y D2, se lograron la expansión y flotación deseada, como será discutido más adelante. Para la dieta 2 se obtuvo la temperatura más baja (100 °C), siguiendo la dieta 1 (105 °C), que fueron las que expandieron y flotaron menos, aún cuando les fue agregada la misma cantidad de humedad (20 %) y las mismas condiciones de proceso. La razón de la más baja temperatura en la D2 fue que en uno de los replicados se inició a los 98 °C, en lugar de los 105-110 °C que se tenían previstos, y además la inyección de agua de 0 - 20 lph contribuyó a descender esa temperatura a un poco menos de 100 °C. Aunque en la D5 se inyectó la misma cantidad de agua, se inició el proceso alrededor de los 110 °C.

Dentro de la importancia de la inyección de agua (lph) se dosificó de acuerdo a las características físicas que fue presentando el producto, en un rango de 0-20 lph, por lo que hubo dietas (D1, D3 y D4) que requirieron sólo 15 lph. Este comportamiento fue definido por las propiedades reológicas de cada mezcla, de tal manera que las características del material a extruir ejercen una influencia importante sobre la textura y el color del material extruído, y las más importantes son: el contenido de agua, el estado físico de los componentes y su composición química (en especial, el contenido y tipo de almidones, proteínas, grasas y azúcares) (Fellows, 1994), que tuvieron variación en el nivel de aceite, sorgo (mínimo) y de la inclusión de subproductos de pescado en el coextruído.

Para lograr mayores temperaturas de cocción a las obtenidas en este estudio, pueden seguirse varias recomendaciones: a) Uso de anillos de presión (steamlocks) de mayor tamaño; b) uso de tornillos de doble alabe para mayor fricción; c) razón grasa-humedad. Una vez que se tiene la combinación correcta de anillos de presión, tornillos y orificios de salida, como la temperatura varía debido a las variaciones de calidad de los materiales, la temperatura deseada puede alcanzarse variando el contenido grasa-humedad. A mayor grasa y menor humedad, bajará la temperatura y viceversa. d) tamaño y número de los orificios de salida. A menor tamaño y menor número de orificios, mayor temperatura de proceso y viceversa (Triple "F" Inc., sin año).

El amperaje se puede considerar sólo como un estimador del grado de fricción que experimentan las mezclas en proceso y del consumo de energía eléctrica, que a baja humedad en la mismas se puede esperar un mayor desgaste de las piezas del tornillo (Miller, 1996) y un mayor consumo de energía eléctrica (Kearns, 1991, 1993; Rockey and Huner, sin año). En este trabajo, el amperaje medio fue de 60 amperes, que se puede considerar óptimo, tomando en cuenta la humedad con que se procesan las mezclas (22 %) y lo citado anteriormente.

## HUMEDAD GANADA.

La humedad inicial de las mezclas (22 %) se mantuvo dentro de la humedad recomendada para el proceso (Woodrooffe, 1993; Kiang, 1995, *com. per.*), aunque con la inyección de agua al

barril del extrusor, muy probablemente la humedad se incrementó en un 24-27 %, suficiente para lograr alimentos flotantes (Kearns, 1991, 1993; Rokey and Huner, sin año; Robinson, 1991; Woodrooffe, *op. cit.*; Li and Robinson, 1994; Robinson and Li, 1995; Kiang, *op. cit.*), de tal forma que la humedad final resulta ligeramente más alta que la inicial, ya que no hubo pérdida de la misma, debido a que la temperatura de proceso no fue muy alta.

Robinson (*op. cit.*), Li y Robinson (*op. cit.*) y Robinson y Li (*op. cit.*) menciona que se debe perder cerca de un 2 % por efecto de flash off y enfriamiento evaporativo, pero que se requiere un secado adicional, porque los alimentos contienen 20 % o más humedad saliendo del extrusor (Rokey y Huner, sin año), requiriendo un secado de alrededor de 30 minutos, y temperaturas de 135-150 °C. Por lo que esta humedad final concuerda con las humedades finales obtenidas en nuestras dietas.

Un secado rápido es importante para minimizar el colapso, por lo que el vapor debe ser reemplazado por aire. Un grado de porosidad es necesario para que esto suceda. Si no hay porosidad, el vacío dentro de las células achatará la estructura expandida (Miller, 1994).

#### EXPANSION DE PELETS.

La expansión de los pelets de las 5 dietas presentó diferencias altamente significativas, mostrando que D1 (con soya extruída) y D2 (con coe 70 s:30 p) tuvieron los valores más bajos, sobre todo la D2. Esta diferencia pudo ser debida a las temperaturas en que fueron procesadas ambas dietas (Tabla 32) y que son inferiores a las temperaturas recomendadas para expansión de pelets, de 107 °C (Dupree y Huner, 1984), aunque hay rangos más altos, desde 125-138 °C (Rokey y Huner, sin año), 120-132 °C (Kiang, 1995, *com. per.*). La temperatura es importante porque altera la viscosidad, la cual disminuye cuando se incrementa la temperatura (Miller, 1994), obteniendo una alta correlación entre la expansión y la temperatura de proceso, aunque existen otros factores importantes, además de la temperatura, que influyen en la expansión de los pelets: % de humedad de la mezcla, % de inclusión de almidón en la dieta, grado de molienda de los ingredientes (tamaño de partícula), grasa (Said, 1992) y dados de orificios pequeños (Miller, 1994)

La humedad es un reactante que ayuda en la gelatinización de almidones y desnaturaliza las proteínas (Miller, *op. cit.*, Kearns, 1991, 1993) y que tiene un profundo efecto sobre el grado de expansión y apariencia del producto (Botting, 1991), considerando humedades óptimas de entrada de 20-22 % y después aumentada por inyección de agua al barril hasta ajustar un rango del 24-27 % (Kearns, 1991, 1993; Rokey y Huner, sin año; Woodrooffe, 1993; Kiang, 1995, *com. per.*), lo que al parecer fue logrado en este trabajo considerando que la humedad inicial de las mezclas fue del 22 % (aprox.) más la humedad inyectada, es muy probable haber alcanzado esos niveles (24-27 %), de acuerdo a los productos obtenidos).

El % de inclusión de sorgo (arriba del 40 %) como única fuente de almidón, fue suficiente para lograr la expansión del producto. Esto concuerda con lo reportado por Woodrooffe (*op. cit.*) y Rokey y Huner (*op. cit.*), quienes mencionan que se requieren niveles del 20 % o más

para producir pelets flotantes, de tal forma que la mayor inclusión de almidón en la fórmula facilita este proceso (Said, 1992; Woodrooffe, *op. cit.*).

En cuanto al grado de molienda (tamaño de partícula), una molienda fina de los almidones facilita la gelatinización y expansión (Said, *op. cit.* Woodrooffe *op. cit.*). Esto fue mostrado en la molienda hecha a los ingredientes de las dietas, empleando el tamiz de orificios más pequeño (1 mm=1000  $\mu$ ).

El nivel de grasa en la mezcla extruída tiende a retardar la expansión, parcialmente porque actúa como un lubricante y porque se acompleja con los almidones, inhibiendo la formación de gel característica de este material, reduciendo la compactación del pelet (Dupree y Huner, 1984; Said, *op. cit.*; Woodrooffe, *op. cit.*). En las dietas elaboradas, el nivel de grasa se mantuvo entre 4 y 5 %, encontrándose dentro de los límites recomendados para adecuada expansión, de tal forma que 6 % o menos de grasa son adecuados para tal fin, resultando en alimentos hundibles al exceder este nivel en la formulación (Dupree y Huner, *op. cit.*; Said, *op. cit.*; Woodrooffe, *op. cit.*).

Por otro lado, el % de expansión obtenido fue superior al 30 %, excepto para la D2, pero no concuerda con Kearns (1993), quien cita que los alimentos flotantes al salir del dado se expanden de 125-150 % del tamaño original. Esto pudo ser debido a que tal vez no se generó la presión y temperaturas requeridas para el proceso, o que en el valor reportado se empleó un extrusor de doble tornillo, que presenta un preacondicionador de vapor, que facilita la expansión del producto final.

Por lo que el proceso de gelatinización (considerando los anteriores puntos) se da cuando el agua entra a los gránulos de almidón nativo (formado de amilosa y amilopectina), rompiendo la cristalinidad de la amilosa e interfiriendo con su estructura ordenada, de tal forma que el volumen del gránulo puede llegar a incrementarse de 25 a 30 veces. Al ir aumentando la temperatura, las moléculas de amilosa empiezan a difundirse fuera del gránulo. Al proseguir la gelatinización, los gránulos se abren y más moléculas de agua se unen a los grupos hidroxilos expuestos de las cadenas de almidón, obteniendo una estructura coloidal de gel con la amilosa, soportando los gránulos colapsados que contienen básicamente amilopectina (estado viscoso elástico) (Botting, 1991; Said, 1992; Woodrooffe, 1993; Kearns, 1993; Badui, 1993; Remsen y Clark, 1978, Harper, 1982, citados por Quintero, 1993).

En este punto, la mezcla supercalentada es entonces forzada a través de un dado (de 3 a 6 mm de diámetro en alimentos para bagre), localizado al final del extrusor. Entonces una repentina reducción en la presión resulta en la vaporización de parte del agua en la mezcla y el pelet expande, incrementado drásticamente su volumen (Robinson 1991; Kiang, 1993; Woodrooffe, 1993; Rokey y Huber, sin año; Miller, 1994; Fellows, 1994; Li y Robinson, 1994; Robinson y Li, 1995).

## FLOTACION.

## FLOTACION.

El % de flotación obtenido también varió significativamente, obteniendo el valor más bajo para la dieta 2, observándose una alta correlación con el % de expansión de las dietas y la temperatura de proceso, por lo que la dieta 2, al estar menos expandida, tiene menor flotación (más densidad), siguiéndole en flotabilidad la D1, D3, D4 y D5.

La D3, D4 y D5, aún cuando presentan el mismo grado de expansión, no presentan el mismo nivel de flotación, esto es que algunos pelets tuvieron mayor o menor densidad. Una de las razones pudo ser debido a que tuvieron fluctuaciones en la adición de agua al barril (lph), desde que hubo inyección de 0-20 lph durante el proceso, adquiriendo densidades superiores a los 550 g/l. Entre 550-650 g/l hay parcial flotación. Abajo de este nivel (550 g/l) todos los productos flotan (Botting, 1991). Kearns (1991, 1993) y Rokey y Huber (sin año) citan para esta característica densidades en el orden de 320-400 g/l.

Otra causa pudo ser la tasa de alimentación de la mezcla, la cual fluctuó desde 50 a 90 rpm, y que fue modificada de acuerdo a las características del producto obtenido. Además, cualquier fluctuación en la presión del agua puede traer estos resultados (Botting, 1991; Woodroffe, 1993).

## ANALISIS DE COSTOS DE DIETAS EXTRUIDAS.

El costo de energía eléctrica requerido para procesar una tonelada húmedad de mezcla resultó como un costo intermedio de los coextruidos 60 s:40 p y 50 s:50 p, debido a que se agregó el costo de consumo de energía de otros implementos requeridos para extruir alimentos peletizados, como la unidad motora del cortador, la bomba de agua y el molino, presentándose la misma tendencia en el costo del proceso.

En cuanto al costo total por cada dieta (Tabla 39), dentro de las dietas con coextruidos el costo desciende cuando se aumenta la inclusión de subproductos de pescado en el coextruido, debido a que es mucho más barato (80 %) que la pasta de soya, resultado más barata la dieta con el coe 50 s:50 p (D4), y ésta un poco más cara que la dieta con pasta de soya y suproductos de carpa herbívora (D5), debido a que estos ingredientes no tienen un proceso adicional y son incluidos crudos. La dieta con soya extruída (D1) presenta el costo más elevado de las 5 dietas, aún más que una dieta con harina de pescado incluida en un 10 %, debido sobre todo al costo de la pasta de soya y al proceso de extrusión para incluirla como ingrediente, de tal forma que mediante una evaluación nutricional con buenos resultados y una razón costo-beneficio excelente, se justificaría su utilización en cultivo de bagre, como se discutirá más adelante.

Al comparar las dietas más baratas (D4 y D5) con dietas equivalentes en las que se sustituyen los subproductos de pescado por harina de pescado (D6 y D7 para esta comparación) en la misma inclusión en materia seca (10 y 5 % resp.), éstas resultan aún más caras que cuando no se incluye harina de pescado, por su alto costo, aunque la dieta con 5 % de harina de pescado tiene un costo equivalente a la D3 con el coe 60 s:40 p, que presenta un nivel de inclusión de subproductos de pescado en materia seca de 7 %, por lo que sería interesante evaluar nutricionalmente desde este punto de vista.



## CONCLUSIONES.

□ En lo referente a los parámetros de procesamiento en el extrusor se concluye una parte en fase I.

□ La expansión de los pelets es debido a la rápida disminución de la presión en cuanto el producto sale del barril extrusor, y por vaporización de parte del agua en la mezcla, y es determinada por :

☞ El diámetro y número de dados de salida. A menor cantidad y menor diámetro, mayor es la presión de salida y mayor la expansión del pelet. Se obtuvo el mejor resultado con el menor número de orificios usado: 2 orificios de 4.5 mm de diámetro.

☞ Depende de la cantidad de almidón que contenga: Se recomienda un mínimo de 20 %, aunque este nivel es para extrusores más sofisticados. Para el extrusor Insta-Pro 600 JR , niveles superiores al 35 % da buenos resultados, aunque deben combinarse otras características en el proceso.

☞ La temperatura de proceso: un mínimo de 120 °C, aunque en nuestro trabajo obtuvimos buenos resultados con 107 °C.

☞ De la presión generada la cantidad de humedad en el material que se va a extruir: presiones de 5-7 Kg/cm<sup>2</sup>, y humedad inicial del 22 % (20 % de agua adicionada para ingredientes secos) y el resto inyectado en el barril del extrusor hasta ajustar la humedad de 24-27 %. La dosificación va desde 0-20 lph.

☞ Se requieren pelets de densidades inferiores a 550 g/l para máxima flotación.

☞ El grado de geletinización de sus almidones. Este último punto no se investigó en el presente trabajo.

□ Se requiere además un flujo de alimentación de la mezcla controlado y constante para asegurar homogeneidad en la inyección de agua y mezclado, para la obtención de buenos productos.

□ A mayor inclusión de subproductos de pescado en el coextruido, baja el costo de la dieta, resultando una opción factible económicamente, si se mantendrán los ingredientes almacenados por exceso de subproductos de pescado. Aunque la inclusión de subproductos de pescado húmedos es la opción más económica, si se compara con dietas con igual nivel de inclusión de harina de pescado (dieta comercial).

☞ El proceso de extrusión adicional a la pasta de soya eleva tanto el costo del producto, que no parece en primera instancia factible económicamente como ingrediente en dietas acuícolas. Su razón costo-beneficio se evalúa en un bioensayo nutricional, que se discute en la fase 3.

## **FASE III.- EVALUACION NUTRICIONAL.**

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

1) Determinar el efecto nutricional en bagre de las dietas extruídas, en base a su ganancia de peso, tasa de conversión alimenticia (TCA), tasa de sobrevivencia y tasa de eficiencia proteica (PER).

2) Determinar la razón costo-beneficio de las dietas extruídas para bagre, para conocer su factibilidad económica como alimentos para acuacultura.

## MATERIAL Y METODOS.

### DIETAS EXPERIMENTALES.

#### FORMULACION Y COMPOSICION DE LAS DIETAS.

Como se mencionó en material y métodos de la fase II, las dietas fueron formuladas en el programa Mixit 2, para reunir los requerimientos nutricionales marcados por NRC (1983), Robinson (1989) y Wilson (1992). La composición de las dietas se muestra en la Tabla 26 (Mat. y Mét. II). Pero además se formuló una dieta adicional conteniendo un doble coextruido de camarón (c) y pasta de soya (s), aprovechando su disponibilidad, siendo elaborado por la Ing. Alma Laura Melo de la siguiente manera:

1.- Se elaboró un coextruido sencillo con 32 c:68 s (cabezas de camarón y pasta de soya respectivamente). Las cabezas de camarón molidas procedían de la empresa AQUATAM, de Altamira, Tamps., y fueron transportadas hasta Monterrey en hieleras. Se coextruyó bajo las mismas condiciones que los coextruidos de soya y pescado.

2.- Se elaboró un segundo coextruido, mezclando un 68 % del coextruido anterior, y un 32 % de cabezas de camarón, procesándolo en las mismas condiciones, quedando como sigue: 32 c:68 [32 c:68 s].

3.- Este último ingrediente fue incluido en la fórmula en un 45 % al igual que el resto de los coextruidos, por presentar un nivel de proteína muy parecido (base seca). El aporte en materia seca del camarón en 45 % de inclusión del doble coextruido es de un 10 %. Todos los demás ingredientes tuvieron la misma inclusión, excepto el aceite de soya (2.81 %) y sorgo (41.5 %). La composición de la dieta se muestra en la tabla 41.

Tabla 41.- Composición de dieta 6 (D6) para bagre con doble coextruido de camarón y soya.

INGREDIENTE	% INCLUSION
	D6
Doble coextruido 32 :68 [32c:68s]	45.000
Sorgo	41.949
Har. Subprod. Anim.	7.000
Har. de sangre	2.000
Aceite de soya	2.808
Premix Vit. <sup>a</sup>	0.200
Premix Min. <sup>a</sup>	0.500
Vit. C <sup>a</sup>	0.200
Cloruro de colina <sup>a</sup>	0.080
Antioxidante Redox	0.013
Antifúngico	0.250

<sup>a</sup>Su composición se muestra en la tabla 26 .

Se probó además una dieta comercial para bagre (D7) marca "As", que fue proporcionada por el Campo Agrícola Experimental del ITESM, en el lugar donde se efectuó el bioensayo. La composición de la dieta 7 en ingredientes, según la etiqueta, es la siguiente: sorgo, harina de carne y heso, harina de pescado, salvado de trigo, pasta de soya, harina de alfalfa, gluten de maíz, trigo, maíz amarillo, aceite vegetal y/o de pescado, ortofosfato, carbonato de calcio, cloruro de sodio, metionina, lisina, premix de vitaminas, premix de minerales, antioxidante BHT.

#### **PREPARACION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.**

El proceso de elaboración se describe en la Fase II de este trabajo.

#### **COMPOSICION PROXIMAL DEL DOBLE COEXTRUIDO CAMARON-SOYA.**

Para analizarlo se emplearon los métodos de la AOAC (1990), descritos en la Tabla 1, de Material y Métodos de la Fase I.

#### **ANALISIS PROXIMAL DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.**

Todas las dietas fueron analizadas en el Laboratorio de Maricultura de la Facultad de Ciencias Biológicas, mediante los métodos de la AOAC (1990) (Tabla 1). El análisis proximal de las dietas 1 a 5 se presentan en la tabla 30. El análisis de las dietas 6 y 7 se muestran en resultados en la Tabla 44 .

#### **BIOENSAYO.**

#### **ELABORACION DE JAULAS.**

El bioensayo fue efectuado por Daniel Iruegas como parte de su tesis de licenciatura, en jaulas cilíndricas flotantes, fabricadas con red plástica, de 0.5 m de diámetro y 1.20 m de altura. Las jaulas fueron colocadas en un estanque de 20 x 50 m, y 1 m de profundidad, dentro de un marco de madera, para evitar que se dispersaran en el agua. Para esto se empleó uno de los estanques facilitados por el Campo Agrícola Experimental del ITESM, en Apodaca, N.L.

#### **CARACTERISTICAS DE LOS ANIMALES.**

Para realizar el bioensayo se emplearon bagres juveniles, con un peso promedio de 23.40 g y una talla de 12.6 cm, que fueron donados por Acuacultivos Mexicanos, S.A. de C.V., en Abasolo, Tamps., y traídos hasta Monterrey en un transportador, al que se le agregó hielo para bajar el metabolismo de los peces, y agitadores para asegurar adecuada oxigenación del agua.

## PARAMETROS FISICO-QUIMICOS.

Se determinó diariamente en el agua la temperatura, pH y Oxígeno disuelto El rango en que variaron dichos parámetros se muestran en la Tabla 42 .

Tabla 42.- Parámetros físico-químicos registrados durante el bioensayo.

Parámetro	Rango	Media
Temp. °C	18-25.5 °C	22.35 °C
Oxígeno	5-13 ppm	8.71 ppm
pH	7.2 - 7.6	7.45

## DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se colocaron 12 peces por jaula, con un peso promedio de 23.40 g, y una talla promedio de 12.6 cm. Se alimentaron diariamente durante 48 días. La tasa de alimentación varió del 3 al 2 %, según su comportamiento alimenticio. Cada tratamiento se corrió con 3 replicados. Los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente en las jaulas; diariamente se registró consumo de alimento, y cada 15 días se pesaron los peces para ajustar la dieta.

## EVALUACION BIOLOGICA.

Al final del bioensayo se determinó la ganancia en peso en % (incremento en peso), consumo de alimento, tasa de conversión alimenticia (TCA), sobrevivencia (S) y Tasa de Eficiencia Proteica (PER), mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de Ganancia en Peso} = \frac{\text{peso final (g)} - \text{peso inicial (g)}}{\text{peso inicial (g)}} \times 100$$

$$\text{Tasa de Conversión Alimenticia} = \frac{\text{Alimento consumido (g)}}{\text{Peso ganado (g)}}$$

$$\text{Tasa de sobrevivencia} = \frac{\text{No. final de animales}}{\text{No. inicial de animales}} \times 100$$

$$\text{Tasa de Eficiencia Proteica} = \frac{\text{peso ganado}}{(\text{Alimento consumido})(\% \text{ Prot. B.H.})} = \frac{1}{(\text{TCA})(\% \text{ Prot. B.H.})}$$

B.H.= Base húmeda.

## **ANALISIS ESTADISTICO.**

Para determinar si existieron diferencias significativas entre los tratamientos en los parámetros biológicos evaluados, se realizaron análisis de varianza de una vía (Anova) y pruebas de comparación múltiple de Duncan, a un nivel de significancia de 0.05, por medio de una computadora, con el programa SPSS 5.0 para Windows.

## **COSTOS.**

### **COSTO DEL DOBLE COEXTRUIDO DE CAMARON Y PASTA DE SOYA.**

Para estimar este costo, se consideraron las mismas variables que para la elaboración de los coextruidos de pasta de soya y pescado. Se tomó como base el coe 70s:30p para las horas de proceso requeridas para una tonelada (Ver tabla 21, 22 y 23), por su contenido de humedad inicial (26.05 %) aproximado al del coextruido 32 c:68 s (29.44 %), ésto considerando una humedad de 75 % para las cabezas de camarón (c) y 8 % para la pasta de soya (s).

Primero se estimó el costo del coextruido sencillo 32 c:68 s. A partir de este costo se calculó el del doble coextruido, considerando un 32 % de cabezas de camarón y 68 % del coextruido sencillo, ambos aportan la misma humedad final que el coextruido sencillo (29.44 %).

### **COSTO TOTAL DE PROCESO DE DIETA CON DOBLE COEXTRUIDO.**

Se consideraron las mismas variables que para los alimentos con coextruidos soya/pescado (Ver Tabla 36, 36 y 39).

### **COSTO/KG DE BAGRE PRODUCIDO CON LAS DIETAS EXPERIMENTALES.**

Se determinó la relación costo-beneficio, de acuerdo a la TCA obtenida en el bioensayo y el costo de las dietas elaboradas.