

INTRODUCCION.

El bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) es el pez más ampliamente cultivado en los Estados Unidos de Norteamérica. El grado de avance en la investigación sobre la biología de esta especie, ha propiciado su éxito a nivel de producción comercial, con un total de 225,000 toneladas para 1993 (Neubacher, 1995), siendo Mississippi el estado líder en producción de bagre (Wilson, 1991), suscitando con ésto el desarrollo de su cultivo en México, importándose de Estados Unidos de Norteamérica la línea genética que actualmente se cultiva (Velázquez y Ceballos, 1988, citados por Chávez, 1993), produciendo hasta 1990, 3820 toneladas (Chávez, 1993).

Aparentemente su cultivo en México no ha tenido el éxito esperado debido a problemas en el manejo de la especie, la falta de una metodología de cultivo definida y a la mala calidad del alimento (Velázquez y Ceballos, 1988, citados por Chávez, 1993), ya que el alimento producido en el país no es confiable en su calidad nutricional, precio y servicio, y los productores deben importarlo de los Estados Unidos (De la Garza, citado por Chávez, 1993).

Uno de los aspectos más extensamente investigados en el cultivo de esta especie es su nutrición (Bardach, 1972), cobrando particular importancia el nivel y calidad de proteína contenido en los alimentos suministrados, entre otros nutrientes. Usualmente los alimentos comerciales para bagre contienen 32 % de proteína cruda, aunque algunas granjas los adquieren con 28,30 y 36 % de proteína (Wilson, 1991) animal y vegetal para su alimentación en estanques. Esta variación en el contenido proteico determina el costo de los mismos, y su selección está en función de la etapa de crecimiento y del sistema de cultivo en que serán aplicados.

La harina de soya ha sido usada como la principal fuente de proteína de estos alimentos, suplementada con harina de pescado, o por una mezcla de ésta y harinas de carne y sangre (Robinson 1989, 1991, citado por Robinson et al, 1994), siendo las harinas de algodón y de cacahuete usadas en menor grado (Wilson y Robinson, 1982; Robinete, 1983; NRC, 1983, citados por Robinson, 1985).

El incremento en costos de la proteína animal y vegetal ha suscitado la necesidad de buscar otras fuentes de bajo precio para alimentación animal. Dentro de este rubro, los subproductos de la industria de alimentos marinos procesados comercialmente (Meyers y Rutledge, 1971; Meyers et al, 1973; Meyers, 1980; Meyers, 1986; Barrat y Montano, 1986; citados por Carver et al, 1989 y Domini y Lim, 1991), así como los de especies dulceacuícolas (Lovell, 1980; Robinson, 1985), pueden ser usados como ingredientes potencialmente nutricionales y de bajo costo en alimentos para acuicultura (Kiang, 1994; Rokey and Huber, sin año), reduciendo en parte la contaminación ambiental en los casos en que son desechados y reduciendo el costo del alimento considerablemente (Said, 1992).

Aunado a ésto, al emplearlos en forma de coextruídos utilizando ingredientes secos como pasta de soya, maíz, trigo, etc., pueden almacenarse a temperatura ambiente y pueden utilizarse

de manera continua todo el año como ingredientes en alimentos para acuicultura, aún cuando los subproductos estén disponibles en ciertos periodos del año (ej. cuaresma). Obviamente esto aumenta el valor nutricional del ingrediente seco usado, con la posibilidad de aumentar el nivel de inclusión de los subproductos acuícolas en las fórmulas, al no haber limitante por el exceso de humedad del subproducto.

La cocción por extrusión en la manufactura de alimentos acuáticos ha mostrado tener propiedades especiales en tres campos básicos de interés (Cluet, 1990; Kiang, 1993):

- a) Mejoramiento en la digestibilidad de ingredientes.
- b) Aprovechamiento e incorporación de subproductos húmedos.
- c) Incorporación de propiedades físicas especiales en los alimentos.

En el presente trabajo se trata de demostrar la factibilidad tecnológica, nutricional y económica del uso de subproductos húmedos de fileteado de carpa coextruídos con soya en alimentos balanceados para el bagre de canal *Ictalurus punctatus*.

ANTECEDENTES.

EXTRUSION.

DEFINICION.

“La extrusión-cocción se ha definido como el proceso por el cual materiales expansibles, almidonáceos y/o proteináceos son plastificados y cocidos en un tubo por una combinación de humedad, presión, temperatura y corte mecánico” (Smith, 1976 citado por Hauck and Huber, 1989).

El proceso se realiza en un periodo de 26 a 30 segundos (Carver et al, 1989; Kiang, 1993), y mejora la digestibilidad de la proteína, carbohidratos y aceite, debido a la cocción, gelatinización, esterilización, expansión, estabilización y ruptura de células de aceite en un solo paso (Kiang, 1993, 1994).

HISTORIA.

Desde al año de 1853, la tecnología de extrusión se ha venido utilizando en la producción de plásticos y otros materiales. La primer aplicación comercial en la industria del procesado de alimentos se dió en 1900, y se aplicó en la transformación de semolina o harina a pasta, fideos y macarrones (Hauck and Huber, 1989; Acosta, 1990). En 1930, Adams Corp. inició la fabricación de extrusores para producción de alimentos que alcanzaban altas temperaturas de cocción (Acosta, 1990). A partir de ésto, en 1935 los extrusores de tornillo simple fueron inicialmente aplicados al procesamiento de pastas, empezaron a aplicarse para la obtención de una mayor gama de productos alimenticios (Quintero, 1993).

A mediados de los 40's, fueron producidos comercialmente los primeros productos alimenticios expandidos (botanas de maíz) cocidos por extrusión (Hauck and Huber, 1989; Harper, 1989).

En los inicios de los 50's se vio la primera aplicación del extrusor de tornillo simple para la producción de alimentos para mascota expandidos, en los Estados Unidos, lo que marcó el crecimiento de la extrusión por cocción (Hauck and Huber, *op. cit.*).

En los 60's se produjeron extrusores de tornillo simple de mayor capacidad (5 ton/hora) para la producción de cereales precocidos (para desayunos) y almidones (Hauck and Huber, *op. cit.*; Harper, 1989).

Durante los 70's se realizaron más refinamientos en el proceso de extrusión de alimentos y extensión de sus aplicaciones. Esto incluye el uso de un extrusor como un mezclador y pasteurizador en el proceso de alimentos húmedos para mascotas, formulados con ingredientes para controlar la actividad del agua (Harper, 1989). Se desarrollaron coextruidos que contenían

más de un componente, como rollos de huevo y raviolos. Se desarrolló el control de textura a través del uso de almidones modificados, emulsificantes, sales y ajustes de pH. Se aplicó el uso de 2 extrusores en serie, el primero para cocer y el segundo para formar y estructurar, obteniendo productos con características únicas de textura, actividad del agua, hidratación y densidad. También inició el uso de extrusores de doble tornillo para procesar alimentos, expandiéndose el número de aplicaciones en los 80's (Harper, *op. cit.*). Además llegó a comercializarse la producción de proteína vegetal texturizada, con el extrusor de tornillo sencillo, que es actualmente muy aceptable (Hauck and Huber, 1989).

En los 80's hubo una rápida comercialización en la producción de alimentos para especies acuícolas mediante la extrusión, y representa el area de mayor producción usando este tipo de extrusores (Hauck and Huber, *op. cit.*).

Actualmente se sigue haciendo investigación para conocer mejor el proceso de extruir materiales crudos, hacer más eficiente económicamente el consumo de energía y la producción con la finalidad de incrementar el mercado de los productos extruidos.

PRINCIPALES COMPONENTES DE PROCESO EN EL EXTRUSOR.

a) Tornillo o rotor del extrusor.

Se compone de segmentos de tornillo simples o de alabe sencillo y/o de doble alabe (Fig. 3), y recibe los ingredientes, los mezcla, los transforma en masa homogénea plástica, los cuece los fuerza a través de seguros de presión (steamlocks) y de un dado en la parte final. Los steamlocks (Fig. 4) son piezas en forma de anillo que unen las secciones del tornillo modular, que producen corte y reducen el reflujo del vapor.

b) Cilindro, cañón o barril del extrusor.

Es la parte cilíndrica que cubre al tornillo o rotor del extrusor. Se divide en varias cubiertas o cámaras (inicial y de compresión) (Fig. 2).

c) Tolva mezcladora de productos. Es el espacio donde son vertidos los ingredientes o mezclas húmedas a procesar (Fig. 2). Estos ingredientes son mantenidos en agitación continua por medio de paletas, para evitar que se apelmazen, y la alimentación del producto en forma constante se hace a través de un tornillo impulsado por una fuerza motriz de velocidad variable.

d) Placa portadados.

Es la placa que se adapta a la parte final del barril del extrusor y que da forma al producto. Presenta orificios que pueden cancelarse o dejarse en funcionamiento, y que pueden

cambiarse de diámetro usando dados con orificios predeterminados (Fig. 27), que pueden ser de diversas formas, de acuerdo al tipo y tamaño de alimento a elaborar.

e) Cortador de productos.

Su función es cortar el producto saliendo del dado. Consta de cuchillas (Fig. 26) que giran a velocidad constante y predeterminada (Fig. 28) en función de la longitud deseada en el producto (Acosta, 1990).

ZONAS DE PROCESO.

a) Zona de alimentación.

Esta área es donde las partículas de baja densidad de los materiales crudos se introducen al barril, para ser transportados a su interior (Fig. 1). El canal de flujo del tornillo se llena con el material en esta zona, donde la densidad es baja debido al aire atrapado en el material entrante y a su naturaleza granular. Este material es escasamente comprimido al ser expelido el aire. Generalmente se inyecta agua en esta parte del barril para alterar la textura, desarrollar viscosidad y aumentar la transferencia conductiva de calor (Hauck and Huber, *op. cit.*)

b) Zona de amasamiento.

El extruído empieza a perder algo de su definición granular, se incrementa la densidad del extruído y la presión iniciada en la zona de alimentación continúa por el mayor grado de llenado del tornillo. El mecanismo de corte empieza a jugar un papel dominante, debido a la condición del barril lleno que aquí se da (Fig. 1). Las partículas de material empiezan a aglomerarse por el incremento de la temperatura resultante de la conducción, de la inyección directa de vapor (o agua en 2 bar) y de la disipación de la energía resultante de la fricción, formando una masa de flujo integral, que alcanzará su máxima compactación, teniendo un corte moderado, y un incremento continuo de la temperatura (Hauck and Huber, *op. cit.*)

c) Zona de cocción final.

Zona donde ocurre la texturización (Fig.1). La temperatura y presión se incrementan más rápidamente en esta región, donde las tasas de corte son más altas debido a la configuración del tornillo del extrusor y a la máxima compresión del extruído. El corte es definido como la acción de trabajo y mezclado, que homogeniza y calienta el producto transportado (Cruz, 1993). La presión, temperatura y viscosidad resultante del fluido son tales, que el extruído será expelido del dado extrusor para producir la textura, densidad, color y propiedades funcionales del producto final deseada (Hauck and Huber, *op. cit.*)

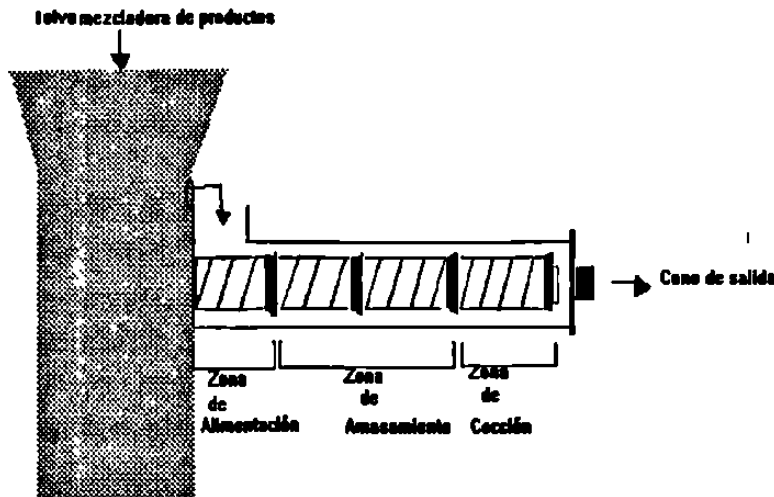


Fig. 1.- Zonas de proceso en el extrusor.

EFFECTOS DEL PROCESO DE EXTRUSION SOBRE ALIMENTOS ACUICOLAS.

EN MICROORGANISMOS.

El calor generado (80-200 °C) esteriliza subproductos animales húmedos y alimentos elaborados en este sistema, eliminando la contaminación por bacterias (i.e. Salmonella), mohos, levaduras y virus (Smith, 1976, Horn, 1979, Tacon y Jackson, 1985, citados por Tacon, 1989; Carver et al, 1989; Cluet, 1990; Botting, 1991; Said, 1992; Kiang, 1993; Woodroffe, 1993; Mustakas et al, 1964, 1970, citado por Choudhury, 1995).

EN ALMIDONES.

El proceso de expansión y ruptura de los gránulos de almidón se conoce como gelatinización. El proceso ocurre dentro de extrusores cocedores y es muy deseable, ya que los almidones gelatinizados tienen una fuerte habilidad de aglutinar otros constituyentes para formar un producto final uniforme. Además, los almidones gelatinizados son más digeribles que los crudos, por lo que el valor nutricional de productos con almidón es mejorado por extrusión. El almidón y el agua son necesarios para la expansión del producto final (Kiang, *op. cit.*; Woodroffe, *op. cit.*; Kearns, 1991, 1993; Choudhury, *op. cit.*; Quintero, 1993), lo que confiere flotabilidad y permite a los granjeros verificar visualmente el comportamiento de alimentación de sus peces (Dupree and Huner, 1984; Hilton et al, 1981, Vens-Capell, 1984, citados por Tacon, 1989; Wilson, 1991).

EN LAS PROTEINAS.

La extrusión desactiva inhibidores de proteasa y otros factores antinutricionales termolábiles encontrados en cereales y oleaginosas (i.e. inhibidores enzimáticos del crecimiento, como la ureasa de la soya, lipasas del salvado de arroz, inhibidores de tripsina, etc.) lo que puede

incrementar el valor nutritivo de la proteína (Smith, 1976, Horn, 1979, Tacon y Jackson, 1985, citados por Tacon, *op. cit.*; Carver et al, 1989; Cluet, 1990; Botting, 1991; Said, 1992; Kiang, 1993; Woodrooffe, 1993; Mustakas et al, 1964, 1970, citado por Choudhury, 1995).

La proteína se desnaturaliza por cocción en función de la temperatura (Kiang, *op. cit.*, Choudhury, *op. cit.*). En general hay muy poca pérdida de valor nutritivo de la proteína; sus cadenas de aminoácidos no se dañan (Woodrooffe, 1993) durante el proceso de extrusión en sus enlaces primarios, sin embargo los enlaces secundarios de las moléculas de las proteínas si se alteran (Kiang, 1993). Bajo ciertas condiciones las proteínas no desnaturalizadas pueden formar gel de la misma forma que el almidón (Woodrooffe, 1993). Además pueden actuar como un compactante, como en el caso de las proteínas vegetales texturizadas, y se pueden acomplejar con el almidón, para formar productos estables en agua (Quintero, 1993; Choudhury, 1995).

EN LA FIBRA.

Tiene poco efecto en la fibra, aunque la densidad del contenido de fibra parece que se incrementa por extrusión (Kiang, 1993; Woodrooffe, 1993) a consecuencia de la acción mecánica del extrusor rompiendo y comprimiendo las hebras de fibra (Woodrooffe, *op. cit.*). Se incrementa en un buen porcentaje en relación con su peso seco.

EN LAS GRASAS.

Tiene poco efecto, pero pueden actuar como lubricante y tienden a limitar la expansión. Cuando las grasas son extruídas en combinación con carbohidratos, forman un complejo que reduce la solubilidad de la grasa en éter, sin afectar su digestibilidad (Kiang, 1993; Woodrooffe, *op. cit.*).

EN MINERALES Y VITAMINAS.

La mayoría de los minerales son inertes al proceso de extrusión (Woodrooffe, *op. cit.*). Las vitaminas se destruyen fácilmente durante el proceso de extrusión, siendo más sensibles las vitaminas A, C, tiamina y niacina (Said, 1992; Woodrooffe, *op. cit.*; Kiang, 1993) y el complejo B el más estable (Kiang, *op. cit.*), por lo que siempre se recomienda sobresuplementar el alimento con las vitaminas, ya sea ajustándolas previo a la extrusión o adicionándolas postextrusión (Said, 1992; Woodrooffe, 1993).

EN ADITIVOS ALIMENTICIOS.

Muchos aditivos alimenticios tales como sabores, inhibidores de hongos y otros estabilizadores, son sensibles a los efectos de extrusión, ya sea que se destruyan dentro del extrusor o se pierdan por evaporación cuando el producto sale de la máquina (Woodrooffe, *op. cit.*; Fellows, 1994).

APLICACIONES DEL PROCESO DE EXTRUSION.

EN EL PROCESAMIENTO DE OLEAGINOSAS.

La mayor parte de las oleaginosas contienen componentes inhibitorios que impiden emplearlos efectivamente como ingredientes en estado crudo (Woodrooffe, *op. cit.*). La extrusión en seco los inactiva, haciendo a las oleaginosas útiles como ingredientes alimenticios, debido a que dichos componentes inhibitorios son susceptibles al calor (Tacon, 1989; Carver et al, 1989; Cluet, 1990; Botting, 1991; Said, 1992; Kiang, 1993 ; Woodrooffe, *op. cit.*; Fellows, 1994; Choudhury, 1995).

PROCESAMIENTO DE OTROS INGREDIENTES.

El valor alimenticio de cereales y almidones secos de tubérculos puede ser mejorado por extrusión. Esto es especialmente útil cuando se alimentan especies carnívoras o animales omnívoros jóvenes (gatos, perros, terneros, lechones, potros, etc.). También es usada para procesar ingredientes en bloques para ganado vacuno, tales como combinaciones de almidón-urea (Woodrooffe, *op. cit.*).

PRODUCTOS INDUSTRIALES.

Los almidones gelatinizados extruídos pueden ser usados com adhesivos de papel, compactantes, espezantes (Woodrooffe, *op. cit.*; Audelo, 1993 , com. per.) y como ligentes en alimentos peletidos (Cruz, 1996, com. per.). La extrusión también se usa en la industria cervecera para mejorar las propiedades de fermentación de algunos almidones y para producir material de empaque expandido biodegradable (Woodrooffe, 1993).

ALIMENTOS COMPLETOS.

Incluye alimento para mascotas, para caballos, animales de laboratorio, animales de zoológico, lechones (Said, 1992; Woodrooffe, *op. cit.*), peces, etc. (Cluet, 1990; Botting, 1991; Kearns, 1991, 1993; Kiang, 1993; Rokey and Huber, sin año).

EN ALIMENTOS HUMANOS.

De cereales y derivados, como el pan tostado sueco, hecho de harina de trigo, leche en polvo, almidón de maíz y azúcar; hojuelas de maíz, a base de maíz granulado; otros cereales para desayuno, soya texturizada, productos de pastelería y botanas, etc. (Woodrooffe, 1993; Fellows, 1994; Choudhury, 1995).

APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS ORGANICOS HUMEDOS.

El extrusor tiene la capacidad de esterilizar y deshidratar materiales crudos húmedos, procedentes de plantas de proceso, como desechos de pescado, de pollo, plumas, desperdicios de carne, etc. (Woodrooffe, *op. cit.*), que pueden mezclarse con uno o varios sustratos para dar por resultado un ingrediente estable con valor agregado (Robinson et al, 1985; Carver et al, 1989; Dominy and Lim, 1991; Kearns, 1991, 1993; Kiang, 1993, 1994), con buena palatabilidad (Cluet, 1990). Como el material que pasa a través del extrusor está sometido a calor por un tiempo corto (menos de 30 s) en comparación al tiempo requerido en una reductora (al menos una hora) se argumenta que la extrusión cause menos daño a los nutrientes como el valor biológico del producto final es mayor.

COMPARACION DE ALIMENTOS EXTRUIDOS Y PELETIZADOS.

El peletizado a vapor es la tecnología más empleada para la manufactura comercial de alimentos para acuicultura (Tacon, 1989) y "es el proceso en el que un alimento finamente molido se compacta en partículas de mayor tamaño y de naturaleza estable mediante la aplicación de calor, humedad y presión mecánica" (Kearns, 1993), sin embargo algunos avances en las técnicas de peletizado por extrusión, p. ej., expansión, ofrecen horizontes nuevos para los fabricantes de alimentos para acuicultura (Tacon, 1989), que puede resumirse a continuación :

Extrusión	Peletizado
Versatilidad (alimentos flotantes, hundibles, ρ de hundimiento lento).	Es difícil producir alimentos flotantes o de hundimiento lento.
Se pueden elaborar una gran variedad de alimentos balanceados: lechones, camarones, ganado, peces, mascotas, etc.	Pocos alimentos (pollos, cerdos, conejos).
Utiliza desechos húmedos en el alimento final o en el procesamiento de ingredientes. Niveles de humedad de hasta 55 %.	Contenidos de humedad máximos de 16 a 17 %.
Grado de cocción del alimento de 90 % o más.	Grado de cocción del 50 % con múltiples acondicionadores.
Las bacterias no sobreviven al proceso.	Presencia de bacterias en el producto final.
Extremadamente estables en el agua y mantienen su integridad física por largos periodos.	No son tan estables sin aditivos y un operario competente.
Alta durabilidad mecánica de los pelets,	El producto se comprime y se forma más fino.

gracias a su matriz interna.

La mayor facilidad de manejo de la planta permite un alto % de productos aceptables.

Los finos y productos que no compactan deben reciclarse.

Posibilidad de una formulación más barata. Gran ahorro en costos.

Es necesario harina de pescado para satisfacer los requerimientos proteínicos, por las limitaciones de diseño.

Niveles de grasa de hasta 22 % en formulación.

Niveles de grasa de 4-5 %, o es incapaz de formar un pelet.

El 100 % de la materia prima debe pasar por un tamiz de malla 20.

La materia prima requiere un molido más fino, malla 60 aproximadamente.

Mayor inversión de capital.

Menor inversión de capital.

Mayor uso de servicios.

Uso de servicios ligeramente menor.

Grandes ahorros potenciales en la formulación.

Se deben emplear harinas de subproductos pesqueros caras para alcanzar el nivel de proteínas requerido.

Fuente: Kearns, 1991, 1993.

APLICACION DEL PROCESO EN LA ELABORACION DE COEXTRUIDOS.

UTILIZACION DE SUBPRODUCTOS HUMEDOS.

En la mayoría de los países se están estableciendo leyes restrictivas sobre la descarga de subproductos procedentes de la producción animal y de las industrias de procesado de alimentos. Como consecuencia, las técnicas de reciclamiento están siendo cada vez más necesarias y viables (Said, 1992; Woodrooffe, 1993; Kiang, 1994).

La mayoría de los subproductos animales son fuentes potenciales de nutrientes (Woodrooffe, *op. cit.*) y deben ser considerados como recursos renovables o recursos secundarios, que al ser procesados correctamente, pueden ser utilizados como ingredientes de alta calidad, reduciendo los problemas ambientales y al mismo tiempo los costos de producción del alimento (Said, 1992).

Se pueden aprovechar subproductos animales tales como:

- a) Desechos de peces y crustáceos : pez entero, esqueleto, conchas, cabezas, etc.
- b) Subproductos de aves de corral : Patas, pluma, gallinas enteras, desechos de criaderos, cabezas, etc.
- c) Subproductos de mataderos : desechos, pelos de cerdo, sangre.
- d) Residuos de procesamiento de comida : desechos de queso, subproductos de pastelería, desechos de confitería, etc. (Woodrooffe, 1993).

Dentro de este rubro, la utilización de subproductos de procesado de especies marinas y dulceacuícolas (procedentes de plantas de fileteado) para alimentos acuícolas, parece ser una buena opción, pero algunas limitantes en su uso, como el alto contenido de humedad, su distribución aislada, el alto costo de transportación, la naturaleza extremadamente susceptible de degradación enzimática y microbiana a la que suelen estar sujetos, y la ausencia o el acceso limitado a secadores o refrigeradores cercanos a las plantas de proceso, los excluyen económicamente como ingredientes (Carver et al, 1989), por ello se requiere de procesos químicos o tecnológicos para estabilizarlos.

La tecnología de extrusión en seco proporciona una alternativa para lograr ésto (Kiang, 1994), y puede aplicarse de dos formas:

1.- Directa. En la fabricación de alimento terminado, usando directamente los subproductos húmedos finamente molidos, mezclándolos con los ingredientes de la fórmula para obtener un alimento completo (Dominy y Lim, 1991; Kiang, 1994).

Dentro de este contexto cabe destacar la importancia nutricional de los subproductos de carpa plateada. La fracción lipídica de su músculo es rica en fosfolípidos y ácidos grasos saturados y poliinsaturados; tiene cantidades apreciables de vitaminas y minerales esenciales para el hombre; sus proteínas poseen una relación de aminoácidos esenciales a no esenciales de 0.95, teniendo como aminoácido limitante la histidina (Marilis-Lezcano, 1995).

El porcentaje de inclusión en la fórmula se da en función de su disponibilidad, de los ingredientes secos a utilizar, de su contenido de humedad, la aplicación del producto extruído y el diseño de la planta de proceso (Kiang, 1994).

La incorporación de subproductos húmedos en mezclas secas confiere características positivas al alimento extruído, además de ventajas monetarias:

- ⇒ Buen sabor, debido al sabor de la proteína cruda.
- ⇒ Buena textura, resultado de la texturización de las proteínas nativas,
- ⇒ Incremento de la estabilidad en el agua, reduciendo la contaminación en el ambiente acuático.
- ⇒ Posibilidad de complementación nutritiva, mejorando la eficiencia alimenticia (Mendoza, 1993).

2.- Indirecta. En la producción de ingredientes coextruidos estables a temperatura ambiente, mezclando materias primas secas, como harina de soya, maíz, trigo, etc., con los subproductos húmedos y coextruyéndolos (Kiang, 1994).

COEXTRUSION DE SUBPRODUCTOS ACUICOLAS CON PASTA DE SOYA U OTROS INGREDIENTES.

La utilización de soya cruda y calentada como material alimenticio para animales terrestres, ha sido intensamente estudiada (Lim y Akiyama, 1991).

El empleo de harina de soya extraída con solventes como principal ingrediente en la coextrusión obedece a que es una excelente fuente de proteína disponible para uso en alimentos para bagre (Robinson y Li, 1994), ya que presenta 2 de los 4 ácidos grasos esenciales para los crustáceos y los peces marinos (Kanazawa, 1981, citado por Carver et al, 1989), dando valor agregado al ingrediente alimenticio (Robinson et al, 1985, citado por Carver et al, 1989 y Dominy y Lim, 1991).

Tradicionalmente, los alimentos comerciales para bagre se fabrican utilizando relativamente pocas fuentes de proteína, como harina de carne y hueso, harina de cacahuate y harina de algodón usadas en menor grado (Wilson y Robinson, 1982; Robinete, 1983; NRC 1983; citados por Robinson et al, 1985). Existen pocos trabajos que mencionen el efecto adicional de coextruir soya con subproductos de organismos acuícolas para su uso como ingredientes en alimentos para bagre

Leibovitz (1981) mostró que la harina de soya puede reemplazar la harina de pescado en alimentos para bagre cultivados en bajas densidades de siembra.

En la búsqueda de fuentes alternativas de proteína, Robinson et al (1985) evaluaron la respuesta de alevines de bagre de canal alimentados con dietas en la que la harina de soya y harina de pescado se reemplazaron por varias mezclas proteicas extruídas, conteniendo pasta de soya desgrasada, soya integral (con grasa, sin cáscara) coextruídas o no con varios % de pescado hidrolizado (desechos de bagre), obteniendo buenas tasas de conversión alimenticia y ganancia de peso con la dieta que contenía el coextruído con desechos de pescado, mejores que una dieta que contenía pasta de soya y harina de pescado, aparentemente debido a un incremento en la disponibilidad de nutrientes, tales como lisina y/o energía. Este es el único trabajo aplicado en bagre.

De manera adicional se efectuó un bioensayo similar al anterior, considerando los mismos tratamientos alimenticios, pero variando el tamaño de muestra de peces y la duración del bioensayo. Los resultados fueron muy similares al experimento anterior, mostrando que los subproductos de bagre mezclados con soya dan una buena ganancia en peso y conversión alimenticia.

Posteriormente, Carver et al (1989) coextruyeron cabezas de camarón y vísceras de calamar ensiladas y crudas con harina de soya extraída con solventes (47 %), para producir ingredientes secos soya/calamar y soya/camarón en diferentes porcentajes, así como ingredienes pasados dos veces por el extrusor. El análisis de los coextruídos no mostró diferencias en cuanto al contenido de proteína cruda, sin embargo, se observó una neta mejoría en el contenido de ácidos grasos esenciales y fósforo en comparación con la harina de soya, por el aporte de los subproductos.

De manera similar al trabajo de Carver, Dominy y Lim (1991) evaluaron coextruídos de soya con vísceras de calamar en diferentes proporciones, como fuente de proteína en alimentos para camarón, mostrando que el tratamiento 40/60 soya/calamar fue superior en cuanto a ganancia de peso y FCR a la dieta control y la dieta con soya extruída, aunque no fue significativamente diferente del tratamiento 50/50 soya/calamar.

Pelcastre et al (1995) coextruyeron subproductos de fileteado de tilapia roja (cabeza y esqueleto) con pasta de soya en diferentes proporciones, pasados una vez por el extrusor y haciendo un doble coextruído con uno de los productos elaborados, obteniendo la mejor textura en el producto de menor inclusión de pescado y el doble coextruído. El análisis de los coextruídos no mostró diferencias en cuanto al contenido de proteína, pero si mostró una gran mejoría en el nivel de grasa, que se incrementó gradualmente con la inclusión de subproductos de pescado.

Yu et al (1981, citado por Choudhury, 1995) estudiaron la producción de galletas de pescado de una mezcla de pescado picado (*Chirocentrus esculentus*) y harina de tapioca molida.

Kristensen et al (1984, citado por Choudhury, *op. cit.*) investigaron la coextrusión de mezclas de pescado picado (bacalao, arenque, macarela y espadín), almidón de papa y harina de trigo, concluyendo que los productos extruídos pueden ser preparados usando pescado con menor contenido de grasa.

Maga y Reddy (1985, citados por Choudhury, *op. cit.*), en una investigación de coextruídos de carpa y harina de arroz, observaron que el coextruído puede ser almacenado a temperatura ambiente sin desarrollar mal olor, y uno de estos productos conteniendo 35 % de carpa fue encontrado agradable por un panel sensorial.

Venugopal (1987, citado por Choudhury, *op. cit.*) realizó un trabajo con un producto similar, usando harina de pescado parcialmente desodorizada, y harina de trigo.

Clayton y Miscourides (1992, citados por Choudhury, *op. cit.*) estudiaron en un extrusor de tornillo simple la extrusión de tejidos de pescado subutilizado, y concluyeron que se pueden preparar productos alimenticios texturizados y estables con propiedades reológicas y nutricionales.

Se han efectuado otros estudios de extrusión de mezclas de pescado molido y almidón, o ingredientes proteínicos con contenido de humedad de 35-50 %, usando extrusores de tornillo simple (un solo tornillo) (Choudhury, *op. cit.*). Murray and Stanley (1980, citado por Choudhury, *op. cit.*) estudiaron la coextrusión de pescado molido y pasta de soya en un extrusor de tornillo simple. La textura del coextruido dependió bastante de las tasas de proteína a agua, y de vegetales a proteína de pescado. La adición de pescado mejoró la textura, redujo la temperatura requerida para texturización óptima y aumentó el nivel de aminoácidos esenciales. Se concluyó que se pueden preparar coextruidos con características nutricionales y texturales específicas, controlando las variables de composición y proceso.

Hilmarsdottir (1984) y Karmas (1987) (citados por Choudhury, *op. cit.*) coextruyeron mezclas de pescado molido fermentado, de humedad intermedia, con harina de trigo y almidón, combinando el % de humedad de las mezclas con la extrusión.

Bhattacharya et al (1988, 1990, citado por Choudhury, *op. cit.*) investigaron la coextrusión de pescado molido, mezclado con harina de trigo, y evaluaron el efecto de las variables de proceso sobre la calidad nutricional y microestructura del extruido. Se aumentó la formación de fibra por incremento en temperatura.

Kitagawa y Nishi (1987) y Noguchi (1989) (citado por Choudhury, *op. cit.*) desarrollaron un coextruido multicapas con sardina y pasta de soya desgrasada, empleando un extrusor de doble tornillo, obteniendo una textura muy similar a la carne roja.

OTROS COEXTRUIDOS.

Por otro lado, el uso de tecnología de coextrusión de soya y otros ingredientes vegetales se ha extendido no tan solo a camarón y bagre, sino también a otras especies, como lo muestra Gomes et al (1993), quienes evaluaron en la trucha arcoiris la posible utilización de colzapro (un producto coextruido de semillas de colza + chícharo, con 24 % de proteína y 18 % de grasa, alto en lisina y metionina y en la relación w6/w3), incorporado en diferentes niveles en las dietas experimentales, mostrando que al 15 % de inclusión se obtiene la mejor tasa de crecimiento específico y TCA, con respecto a la que usó exclusivamente harina de pescado, sugiriendo la posible incorporación de 20 % de harinas de semillas de colza, sin efectos negativos en el crecimiento.

CULTIVO DEL BAGRE.

Los primeros estudios sobre el cultivo del bagre con fines comerciales los realizaron Doze y Clapp en 1920; Mobley y Murphee en 1931 lograron desoves en corrales. Al término de la década de los 50's Clemens y Sneed efectuaron desoves inducidos por hormonas (Aguilera y Zarza, 1986; Bardach, 1972).

Aunque los bagres ictalúridos han sido cultivados experimentalmente por 50 años o más y algunas granjas pequeñas estuvieron operando en el inicio de los 50's (Bardach, *op. cit.*; Tucker

and Robinson, 1990), fue hasta 1963 cuando fueron producidas algunas toneladas en Arkansas. Por el año de 1966, la producción en Estados Unidos fue 9-11 mil toneladas y en 1969 arriba de 30 mil toneladas (Bardach, *op. cit.*), convirtiéndose en los Estados Unidos en la principal industria acuícola (Aguilera y Zarza, 1986). Extrañamente, la producción comercial de bagre en Arkansas declinó, a la vez que empezó a crecer en Mississippi (Tucker and Robinson, 1990).

En los 50's, Homer Swingle y sus estudiantes exploraron el potencial para acuicultura a pequeña escala de bagre en Alabama. Posteriormente, investigadores en Auburn y otras universidades en el sureste introdujeron mejoras en las prácticas de alimentación y control de enfermedades, que fueron necesarios para establecer el cultivo a gran escala (Tucker and Robinson, *op. cit.*).

La mayoría de las investigaciones recientes y desarrollo necesarios para cultivo comercial de bagre a gran escala, fue conducido en otros estados, como Alabama, Louisiana, Arkansas y Oklahoma, pero se desarrolló con más actividad en Mississippi (Tucker and Robinson, *op. cit.*).

El crecimiento de la industria del bagre en Mississippi ha sido rápido desde 1978, registrando cerca del 75 % de la producción total de bagre, ya que cuenta con recursos físicos necesarios para acuicultura en estanques (tierra plana, suelos arcillosos y abundante agua), además de recursos económicos (Tucker and Robinson, *op. cit.*), siendo actualmente el estado líder en producción de bagre (Wilson, 1991).

Actualmente el bagre se cultiva en Estados Unidos en 18 estados, y aunque existe pesca deportiva de esta especie, los mercados están en las grandes ciudades del norte, aunque los estados del sur continuarán probablemente dominando el cultivo de bagre (Bardach, 1972), debido a la prolongada estación de crecimiento en esa parte del país.

En México se introdujo por primera vez en la presa "La Boquilla", Chih., y fue esta especie y la trucha las que dieron la pauta para el surgimiento de la piscicultura industrial en 1976 (Aguilera y Zarza, 1986), importándose de Estados Unidos la línea genética que actualmente se cultiva en México (Velázquez y Ceballos, 1988, citados por Chávez, 1993), produciendo hasta 1990, 3820 toneladas (Chávez, *op. cit.*). Actualmente su distribución se ha ampliado a los estados de Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Nuevo León y Querétaro (Aguilera y Zarza, 1986), todos ellos de climas tropicales y subtropicales, en altitudes que van desde los 500 a los 1500 msnm (Aguilera y Zarza, *op. cit.*).

DESCRIPCION TAXONOMICA.

La variedad de bagre que se cultiva tanto en México como en Estados Unidos es la del bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) (Aguilera y Zarza, *op. cit.*; Chávez, 1993).

Su posición taxonómica es la siguiente:

Reino	Animal
Phylum	Chordata
Subphylum	Gnastomata
Clase	Osteichthyes
Subclase	Actinopterygii
Orden	Teleosteos
Suborden	Siluroidei
Familia	Ictaluridae
Género	<i>Ictalurus</i>
Especie	<i>punctatus</i>

Nombre común : Bagre de canal, channel catfish (Estados Unidos), pez gato.

HABITAT.

El bagre es una especie de aguas cálidas (Wilson, 1991) que habita en aguas de presas, lagos y ríos caudalosos, con fondo de grava, arena y escombros (Bardach, 1972; Aguilera y Zarza, 1986; Tucker and Robinson, 1990; Chávez, 1993; Neubacher, 1995), con una estación de crecimiento de al menos 6 meses o más a ciertas latitudes (Wilson, 1991). Evita los cuerpos de agua poco profundos con vegetación densa (Aguilera y Zarza, 1986).

En el día se encuentra en hoyos profundos protegidos. Su actividad está asociada con la alimentación, que se incrementa inmediatamente después de ponerse el sol y antes del amanecer (Aguilera y Zarza, *op. cit.*; Tucker and Robinson, 1990). Los peces jóvenes se alimentan en áreas poco profundas, mientras los adultos se alimentan en aguas más profundas, y no se mueven de un lado a otro como los peces jóvenes (Tucker and Robinson, *op. cit.*).

Típicamente se alimentan en el fondo, pero pueden tomar alimento en la superficie. Los peces jóvenes se alimentan de insectos acuáticos, mientras que los adultos se alimentan de insectos, caracoles, cangrejos, algas, plantas acuáticas y peces pequeños, que contribuyen en una gran cantidad en la dieta de los bagres mayores de 18 " de longitud total (Tucker and Robinson, *op. cit.*).

CICLO DE VIDA.

El bagre puede alcanzar la madurez sexual a una talla de 20 cm con un peso aproximado de 350 g (Aguilera y Zarza, 1986). Puede ocurrir a los 3 años de edad, pero el periodo varía de 2 a 5 años (Bardach, 1972; Aguilera y Zarza, *op. cit.*; Tucker and Robinson, 1990), a un peso de 1.5 a.5 Kg (Bardach, *op. cit.*). Una vez que el pez madura sexualmente, ocurre el desove (Tucker and Robinson, 1990). En la temporada de reproducción, el macho construye el nido en las paredes de los ríos o embalses, ya que prefiere áreas semioscuras en la naturaleza, tales como hoyos, huecos de tronco (Bardach, 1972; Aguilera y Zarza, 1986; Tucker and Robinson, *op. cit.*).

El desove ocurre cuando la temperatura del agua está entre 24 y 29 °C, en el periodo primavera-verano (Tucker and Robinson, *op. cit.*), aunque puede ocurrir a una temperatura mínima de 22 °C (Aguilera y Zarza, 1986) o menor aún, de 20-23 °C (Bardach, 1972), abarcando de mayo a agosto. La hembra desova en el sitio preparado por el macho, y éste fertiliza los huevos, cuidándolos después de la fecundación, oxigenándolos con sus aletas pectorales y pélvicas, y se encuentran compactados en una masa gelatinosa llamada "freza" (Bardach, *op. cit.*; Aguilera y Zarza, 1986; Tucker and Robinson, 1990).

Después que los huevos eclosionan, los alevines usan nutrientes almacenados en su saco vitelino (Bardach, *op. cit.*; Tucker and Robinson, *op. cit.*) por algunos días hasta que se desarrollan totalmente y son capaces de alimentarse (Aguilera y Zarza, 1986; Tucker and Robinson, *op. cit.*).

En la naturaleza su crecimiento es lento, y puede tomar de 2-4 años para alcanzar una libra, dependiendo el crecimiento de la temperatura ambiental y la disponibilidad de alimento (Tucker and Robinson, *op. cit.*; Neubacher, 1995).

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.

Temperatura. Controla todos los aspectos del metabolismo de bagre y es un factor primario que afecta la factibilidad económica y comercial del cultivo de bagre (Tucker and Robinson, *op. cit.*). El bagre crece más rápido y convierte el alimento más eficientemente a temperaturas entre 26-29 °C (Tucker and Robinson, *op. cit.*; Lovell, 1989; Steffens, 1989; Wilson, 1991), aunque este rango puede variar de 28-30 °C (Wilson, 1996, *com. per.*; Robinson, 1996, *com. per.*), y 24-30 °C (Aguilera y Zarza, 1986), según el autor. El crecimiento decrece rápidamente a temperaturas superiores a 32 °C y por abajo de 21 °C (Tucker and Robinson, 1990).

Oxígeno. La tasa de consumo de oxígeno en bagre varía con la concentración de oxígeno disuelto, estatus de alimentación, peso del pez y temperatura del agua (Tucker 1985). La respuesta de los peces es mejor cuando las concentraciones de oxígeno disuelto son cercanas a la saturación en el día, y no bajan del 25 % de saturación en la noche (Boyd, 1982, citado por Tucker, *op. cit.*; Tucker and Robinson, 1990). Aguilera y Zarza (1986) citan niveles de oxígeno de 6 ppm para incubación y de 4-5 ppm para engorda.

pH. El rango de pH óptimo va de 6-9 (Aguilera y Zarza *op. cit.*; Tucker and Robinson, 1990).

CO₂. El bagre utiliza el CO₂ mejor que la mayoría de los peces: menos de 10 ppm son bien tolerados en concentraciones de oxígeno disuelto bajas, y puede sobrevivir en concentraciones tan altas como 50 ppm en concentraciones de oxígeno altas (Tucker, 1985; Tucker and Robinson, *op. cit.*).

Alcalinidad y Dureza. Es una medida de la capacidad de amortización del agua. En la mayoría de las aguas dulces es atribuido a la presencia de bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) y en un menor grado al hidróxido (OH^-). El bagre crece en aguas con alcalinidad y dureza totales en un rango de 5 ppm a 400 ppm como CaCO_3 . Aunque en general el agua usada para criar bagre debe tener una dureza total de más de 20 ppm como CaCO_3 (Tucker, *op. cit.*; Aguilera y Zarza, 1986; Tucker and Robinson, *op. cit.*).

Amoníaco. Es el principal producto de la degradación proteica en peces (Tucker, *op. cit.*). Se sugiere menos de 1.5 mg/l (Aguilera y Zarza, 1986).

Sólidos suspendidos y turbidez. Sólidos suspendidos son partículas inorgánicas y orgánicas encontradas en la columna de agua e incluye cieno, arcilla, fitoplancton y detritus orgánico. La turbidez se refiere al decremento en la penetración de luz a través del agua, y es causada por la presencia de sólidos suspendidos, así como componentes coloreados solubles. El bagre tolera altos niveles de sólidos suspendidos, tanto como 100 000 ppm, aunque se notan cambios conductuales en aguas con 20 000 ppm (Tucker, 1985; Tucker and Robinson, 1990).

Nitritos y Nitratos. Están relacionados con el proceso de nitrificación y desnitrificación. El nitrito es tóxico para bagre en relativamente bajas concentraciones en aguas de baja clorinidad, mientras los nitratos son esencialmente no tóxicos (Tucker, *op. cit.*). La concentración de (NO_3^-) en estanques comerciales para bagre varía de 0-4 mg N/l o más (Tucker and Schweder, 1983, citado por Tucker and Robinson, 1990).

Cobre y Zinc. Pueden ser altamente tóxicos para bagre. Son relativamente comunes en la corteza de la tierra. Su toxicidad decrece cuando el pH, alcalinidad y dureza se incrementan. Los niveles máximos sugeridos para exposición prolongada en aguas de baja alcalinidad (menos de 100 ppm como CaCO_3) es de 0.01 ppm para cobre disuelto total y 0.03 ppm para zinc disuelto total (Piper et al, 1982, citado por Tucker and Robinson, *op. cit.*), y en aguas de más alta alcalinidad al menos lo doble de estas cantidades es tolerado (Tucker, 1985). Aguilera y Zarza (1986) mencionan requerimientos de cobre en el agua de 0.025 mg/l y para zinc de 0.1 mg/l.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.

Ver anexo 5.

ORIGINALIDAD.

Aún cuando la harina de soya y soya integral han sido empleados como ingredientes en diferentes alimentos para organismos acuáticos, existe solo 1 trabajo documentado que ha empleado coextruídos de pasta de soya y subproductos de pescado en alimentos para bagre, y uno en alimentos para camarón, con subproductos de calamar y cabezas de camarón.

HIPOTESIS.

1) Se pueden obtener coextruídos con características químicas y físicas relativamente constantes, estableciendo correctamente los parámetros de procesamiento por extrusión.

2) Los coextruídos de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora constituyen un ingrediente factible de utilizarse en la formulación de dietas para bagre, tanto desde el punto de vista tecnológico como económico.

3) Las formulaciones para bagre con inclusión de coextruídos de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora pueden mejorar su ganancia en peso y tasa de conversión alimenticia, obteniendo una razón costo-beneficio óptima para producción de bagre.

OBJETIVOS GENERALES.

1) Elaborar ingredientes coextruídos de calidad constante a partir de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora, para su utilización en dietas para bagre.

2) Elaborar dietas extruídas en forma de pelets expandidos y flotantes para bagre, de calidad constante, usando coextruídos de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora.

3) Determinar el efecto nutricional y la razón costo-beneficio en bagre, de las dietas extruídas, por medio de la realización de un bioensayo en jaulas flotantes.

FASE I.- COEXTRUIDOS.

OBJETIVOS PARTICULARES.

1) Determinar los parámetros de procesamiento en el extrusor, para la obtención de productos de calidad constante y reproducible:

- Con pasta de soya sola humedecida a diferentes niveles (como modelo).
- Con mezclas de soya y subproductos de carpa en diferentes proporciones.

2) Determinar las características físico-químicas de los productos elaborados: temperatura, amperaje, humedad inicial y final, composición bromatológica, solubilidad de la proteína, capacidad de retención de agua.

3) Estimar costos de producción de los coextruidos: 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.

Se empleó un extrusor Insta Pro modelo 600 JR, el cual se encuentra ubicado en la planta piloto de alimentos del Laboratorio de Maricultura, en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL.

En su parte externa consta de los siguientes elementos (Fig. 2): a) Tolva mezcladora de productos, b) Motor del alimentador, c) Tolva pequeña, d) Entrada de agua, e) Cámara inicial, f) cinturón o abrazaderas, g) Cámara de compresión, h) Termómetro, i) Cabezal, j) Cono de nariz, k) Motor de arranque.

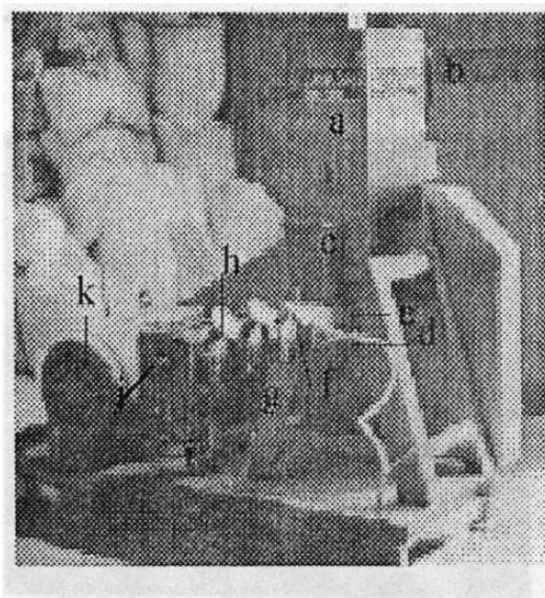


Fig. 2 .- Partes externas de extrusor Insta Pro 600 JR.

Dentro de las partes internas de ensamble del barril se encuentran las siguientes (fig. 3): a) Segmentos de tornillo de alabe sencillo, b) Anillos de presión, c) Rondana de presión y retenedor, d) Tornillo de bala.

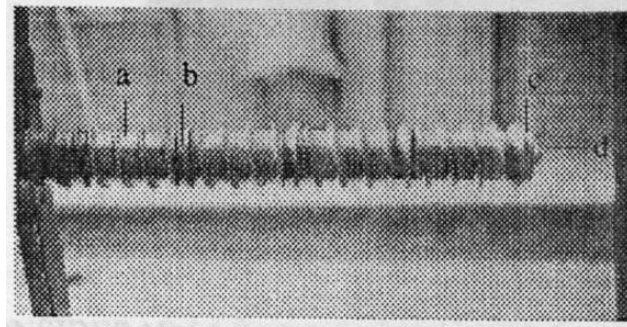


Fig. 3.- Partes internas de ensamble del barril.

Los anillos de presión (steamlocks) se presentan en 4 tamaños diferentes para este modelo, con una especificación técnica de acuerdo al modelo y un diámetro en pulgadas (Fig. 4): a) 600-10 p (3 ¼"), b) 600-10 (3 ½"), c) 600-08 (3 5/8") y d) 600-05 (3 ¾").

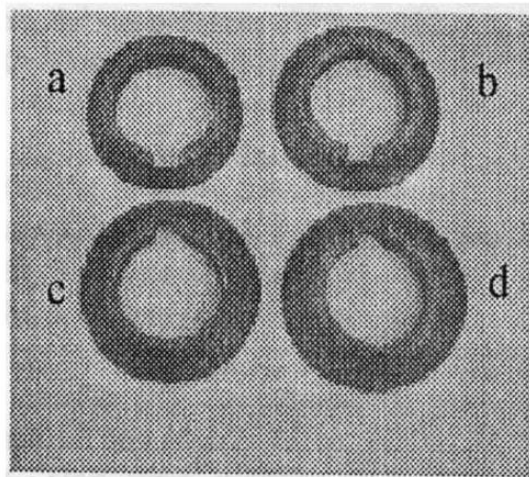


Fig. 4.- Anillos de presión (steamlocks) de extrusor Insta Pro 600 JR.

Además existen 2 diferentes diámetros de cono de nariz: de a)8 y b)13 mm de diámetro interno de salida (fig. 5).

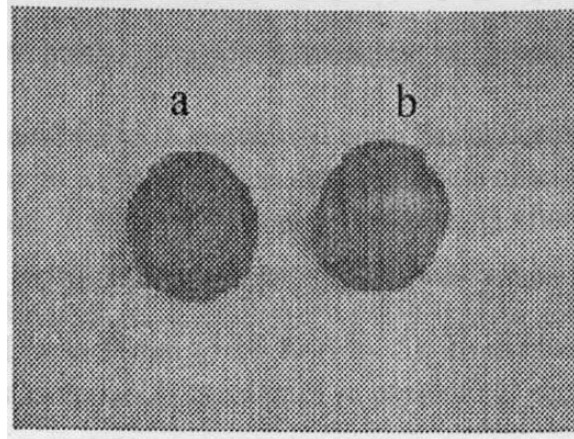


Fig. 5.- Conos de nariz de a) 8 mm y b) 13 mm de diámetro interno.

VARIABLES CONSIDERADAS PARA ESTANDARIZAR EL PROCESO.

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

Para estandarizar el proceso se consideraron las siguientes variables :

a) Tornillo de alabe sencillo (Fig. 3) y anillos de presión (Fig. 4) 600-08/600-05/600-05/600-05, diámetro del cono 8 mm (5/16 ") (Fig. 5). Humedad de la pasta de soya ajustada al 35 %. Con estas variables constantes se presentaron las siguientes variaciones:

Prueba 1.- Alimentación 30 RPM, 2 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 2y3.- Alimentación 60 RPM, 2 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 4.- 60 RPM, 3 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 5.- 60 RPM, 5 vueltas del cono hacia afuera.

b) Tornillo de alabe sencillo (Fig. 3) y anillos de presión (Fig. 4) 600-10/600-08/600-08/600-08, diámetro del cono 8 mm (5/16 ") (Fig. 5). Humedad de la pasta de soya ajustada al 35 %. Con estas variables constantes se presentaron las siguientes variaciones:

Prueba 6.- Alimentación 60 RPM, 5 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 7.- Alimentación 60 RPM, 6 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 10.- Alimentación 70 RPM, 6 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 12.- Alimentación 80 RPM, 6 vueltas del cono hacia afuera.

c) Tornillo de alabe sencillo (Fig. 3) y anillos de presión (Fig. 4) 600-10/600-08/600-08/600-08, diámetro del cono 13 mm (1/2 ") (Fig. 5). Humedad de la pasta de soya

ajustada al 35 %. Con estas variables constantes se presentaron las siguientes variaciones:

Prueba 8.- Alimentación 60 RPM, 5 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 9.- Alimentación 60 RPM, 4 vueltas del cono hacia afuera.

Prueba 11.- Alimentación 70 RPM, 3 vueltas del cono hacia afuera.

d) Tornillo de alabe sencillo (Fig. 3) y anillos de presión (Fig. 4) 600-10/600-08/600-08/600-08, diámetro del cono 8 mm (5/16 ") (Fig. 5). Humedad de la pasta de soya ajustada al 40 %. Con estas variables constantes se presentó la siguientes variación:

Prueba 13.- Alimentación 70 RPM, 6 vueltas del cono hacia afuera.

MATERIAS PRIMAS.

INGREDIENTES EMPLEADOS PARA ESTANDARIZAR EL PROCESO.

Para estandarización del proceso se empleó como modelo pasta de soya (extraída por solventes), adquirida en AYAMSA (Aceites y Algodones Mexicanos S.A.), en Monterrey, N.L., con un tamaño de partícula que pasaba por las mallas 10 (70 %) y 18 (2000/1000 micrones), que fue mezclada con agua hasta ajustar un 35 % de humedad total (considerando la humedad que aporta la pasta de soya más el agua adicionada), para simular la humedad que aportarían los subproductos de pescado en la proporción 60s:40p. Se trabajó con lotes mínimos de 30 Kg (incluyendo el agua), hasta la obtención de pasta de soya texturizada, de apariencia y olor agradable, color café claro y buen sabor. Este producto se empleó como ingrediente en una dieta experimental (D1 control).

INGREDIENTES EMPLEADOS PARA COEXTRUIR. OBTENCION DE SUBPRODUCTOS HUMEDOS.

Las condiciones que se determinaron en la estandarización del proceso se aplicaron a los coextruidos. Se emplearon pasta de soya (extraída por solventes), adquirida de AYAMSA, y subproductos de carpa herbívora, adquiridos en la granja de bagre Acuacultivos Mexicanos, S.A. de C. V. (ACUMEX S.A. DE C.V.) en Abasolo, Tamps., procedentes de una granja de cultivo de carpa (herbívora, común y plateada), ubicada en Pánuco, Ver. Estos subproductos fueron trasladados desde Veracruz ya eviscerados a Abasolo en un camión frigorífico. En ACUMEX se molieron inmediatamente en un molino de Carne Torrey, empleando únicamente el esqueleto, debido a que por la dureza de la cabeza, ésta no pudo molerse.

Los productos molidos fueron almacenados en una cámara de congelación, a -15 °C, y desde aquí trasladados a Monterrey para almacenarlos en frigoríficos en renta, en Monterrey, N.L., a la misma temperatura anterior, hasta su utilización. Se utilizó el subproducto de esta especie por su disponibilidad en ese momento.

ELABORACION DE COEXTRUIDOS.

PREPARACION DE MEZCLAS.

Los subproductos de pescado (p) se descongelaron una noche antes de procesarse, en cubetas de plástico de 20 l. Posteriormente se mezclaron con pasta de soya (s) en las siguientes proporciones : 70 s:30 p, 60 s:40 p y 50 s:50 p en una mezcladora vertical marca HOBART , de 3 HP y de aproximadamente 25 Kg de capacidad, por un tiempo de 3-5 minutos hasta observar homogeneidad en las mismas.

Se prepararon lotes de 15-18 Kg , empleando una báscula marca Torrey, de 15 kg de capacidad; la cantidad pesada fue determinada por la disponibilidad del subproducto húmedo, y para efectuar 3 repeticiones por cada coextruido.

EXTRUSION DE MEZCLAS.

Las condiciones tecnológicas empleadas en el proceso fueron determinadas como principal objetivo y se describen al inicio de la metodología. Las mejores condiciones de proceso se citan en resultados (Tabla 2). Previamente a la extrusión de las mezclas experimentales se calentó y lubricó el barril extusor con frijol de soya (cuyo grano es rico en aceite) hasta una temperatura de 120 - 130 °C (debido a que en las pruebas preliminares efectuadas para estandarizar el proceso, se observó que es cuando la pasta de soya empieza a texturizar) para poder estandarizar el proceso con los pequeños lotes experimentales preparados (15-18 Kg) para cada prueba. Al término del periodo de calentamiento y lubricación se procesó cada una de las mezclas por separado. El producto resultante fue secado al sol, extendido en el piso. El tiempo de secado al sol varió de acuerdo a la humedad final del coextruido procesado, desde 3 H hasta 6 H, y se guardó el producto hasta que se comprobó físicamente que estaba seco.

PARÁMETROS FISICOS REGISTRADOS.

Se registraron cada 20 s el amperaje (amp) y temperatura (°C) durante el 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.

Se determinó el % de humedad perdido en el producto, tomando muestras de la mezcla (pre-proceso) y del coextruido a la salida del extrusor (post-proceso), en bolsas de polietileno, por el método descrito en AOAC, 1990 .

Para conocer la merma del producto extruido por efecto del proceso se consideró 1) la deshidratación (para ello se pesaron las mezclas húmedos antes de extruir y después de extruir), y

2) el peso del producto crudo estancado dentro del barril. Los valores fueron expresados en porcentajes con respecto al peso inicial.

ANALISIS QUIMICOS.

ANALISIS BROMATOLOGICOS DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Se determinó la composición bromatológica de pasta de soya y subproductos de pescado (carpa herbívora), y de los coextruidos mediante las técnicas descritas en AOAC, 1990 (Tabla 1).

Tabla 1.- Parámetros determinados para análisis bromatológico de ingredientes y coextruidos.

PARAMETRO	METODO	APARATO EMPLEADO
HUMEDAD	gravimétrico	Estufa de aire caliente Marca Shellab 1330 FX 70 °C/24 hrs.
CENIZA	gravimétrico	Mufla marca Thermolyne Type 1500 Furnace 600 °C/2 H
PROTEINA	Kjeldahl	Unidad de Digestión Tecator 2006/420 °C Unidad de Destilación Tecator Kjeltex System 1026
GRASA	Soxleth	Extractor Tecator 1045
FIBRA	Filtración con Fibra cerámica	Parrilla Corning Hot Plate
ELN	Por diferencia	

DETERMINACION DE CALCIO DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Para determinación de calcio 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 $\lambda = 422.7$ nm.

Se elaboraron 2 curvas estándares de calcio para leer las muestras (Anexo 2). Cada curva fue elaborada al momento de leer las muestras. Para los coextruidos y suproductos de pescado se empleó el espectrofotómetro de Absorción Atómica del Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Biología, y para la pasta de soya, además de los alimentos extruidos y otros ingredientes, se usó el espectrofotómetro del Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía, en Marín. N.L., que tiene las mismas características que el anterior. Este equipo fue usado debido a que el primer aparato se dañó. Además las muestras fueron leídas en momentos diferentes. El tratamiento de las muestras se efectuó por triplicado para ingredientes y replicados de coextruidos.

Se encontraron las siguientes ecuaciones de regresión para las curvas estándares de calcio:

a) Ecuación de la recta para coextruidos y subproductos de pescado.

$$y = -0.00067 + 0.000375 x$$

$$r = 0.9993$$

$$r^2 = 0.9985$$

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

b) Ecuación de la recta para pasta de soya :

$$y = 0.049 + 0.017 X$$

$$r = 0.9946$$

$$r^2 = 0.9891$$

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

DETERMINACION DE FOSFORO DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Para fósforo se empleó el método espectrofotométrico del Molibdo vanado fosfato (Acción final) , AOAC, 1990 (Anexo 1), usando un espectrofotómetro marca Beckman DU 650 y lámpara de luz visible. Se realizaron varios barridos de luz visible con la muestra más concentrada para determinar la mejor longitud de onda a la que se deberían tomar las lecturas, obteniéndose picos de absorbancia máxima de 403 nm, 407 nm, 409 nm, 411 nm y 414 nm, y un valor promedio de 408.8 nm, y redondeado a 410 nm para efectuar las lecturas. Se elaboró una curva estándar para estas muestras (Anexo 2). El tratamiento de muestras se efectuó por triplicado para los ingredientes y cada uno de los coextruidos.

Se encontró la siguiente ecuación de regresión :

$$y = -0.061 + 69.599 x$$

$$r = 0.9987$$

$$r^2 = 0.9974$$

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

SOLUBILIDAD DE PROTEINA.

DE PASTA DE SOYA Y SUBPRODUCTOS DE CARPA HERBIVORA SIN PROCESAR.

Para evaluar el efecto del proceso sobre la solubilidad de la proteína de coextruidos, se usó la técnica de Rinehart, citada por Dale 1992 (Anexo 1), la cual evalúa el efecto del procesado sobre la proteína de la pasta de soya. Se basa en la solubilidad de la proteína en una solución de KOH al 0.2 %, empleando el método Kjeldahl para determinar la proteína cruda. También se determinó la solubilidad de la proteína de pasta de soya, soya extruída y subproductos de carpa herbívora crudos por separado y se calculó el valor teórico de solubilidad en coextruidos antes de coextruir, para poder determinar el efecto del proceso sobre la solubilidad de proteína de la mezcla.

SOLUBILIDAD DE PROTEINA DE COEXTRUIDOS.

Para medirla se tomaron 3 muestras cada coextruido y por cada replicado: al inicio, a la mitad y al final del proceso, para evaluar el posible efecto de la temperatura a diferentes tiempos, generando 9 muestras por tratamiento. Estas fueron colectadas en bolsas de polietileno, secadas en estufa de aire Shellab 70 °C/24 hrs, y molidas posteriormente para su análisis.

CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA

ENSAYO PRELIMINAR CON SOYA EXTRUIDA.

Se empleó el método propuesto por la Asociación Americana de Soya (Kearns, 1994, Audelo, 1995, com. per.). Se hicieron pruebas preliminares con soya extruída, pesando aproximadamente 5 gr de la muestra texturizada, se hidrató en un volumen de agua destilada en un vaso de precipitado de 400 ml, a 5, 10, 15, 20 y 25 minutos para determinar el mejor tiempo de retención de agua, cada uno con 3 replicados. Se dejó escurrir en una malla plástica durante 5 minutos y se volvió a pesar la muestra, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Retención de agua} = \frac{\text{peso de rehidratación} - \text{peso original}}{\text{peso original}}$$

Se aplicó un ANOVA de una vía, observando que no hubo diferencias significativas en cuanto a tiempo ($p > 0.05$), tomando 5 minutos para el análisis en coextruidos.

CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA PARA COEXTRUIDOS.

Para éstos se siguió el proceso descrito anteriormente. Se pesaron exactamente 5.01 g de cada coextruido y se hidrataron en 150 ml de agua destilada 5 minutos, con 3 replicados para cada uno.

ANALISIS DE COSTOS DE COEXTRUIDOS.

Para efectuar el análisis de costos de los coextruidos elaborados se consideraron varios factores: el costo de la energía eléctrica empleada en el proceso, el costo de la mano de obra, fletes de materia prima, mantenimiento/refacciones del extrusor y otros gastos, y el costo de los ingredientes.

COSTO ESTIMADO DE ENERGIA ELECTRICA.

Para estimar el costo de energía eléctrica, se consideró la potencia en HP de los motores que intervenían en el proceso, su equivalente en KW y el rendimiento (las horas de trabajo requeridas para procesar una tonelada de la mezcla húmeda). El rendimiento varió de acuerdo a la humedad de la mezcla, ya que después de cierto punto a mayor humedad, mayor tiempo de proceso (Tabla 18).

El costo de energía eléctrica se estimó en \$0.155/KWH para el mes de marzo (Tarifa T₇-OM), y fue proporcionada por la CFE en Monterrey. La energía eléctrica presenta un incremento de 1.2 % mensual, y el costo fue proporcionado de acuerdo a las siguientes especificaciones técnicas:

- a) Existe una subestación propia o transformador de 50 KW
- b) La energía se toma de alta tensión (13.8 Kvolts-34.5 Kvolts).

Sólo al inicio del proceso se agregó un 20 % al costo de energía eléctrica por arranque (motor de 50 HP), ya que en este momento es cuando se genera un alto consumo de electricidad (picos de electricidad).

COSTO ESTIMADO POR PROCESO.

Para esta fase se consideraron la mano de obra requerida para procesar una tonelada del coextruido, el costo de la energía eléctrica, fletes de materias primas, mantenimiento/refacciones y otros gastos (Tabla 20). Para mano de obra se consideró el salario mínimo/día vigente en el mes de marzo en Monterrey (\$18.70 /día), y que se requieren por lo menos 2 personas para efectuar el proceso.

La energía eléctrica se calculó en el apartado anterior y los demás rubros fueron tomados de un análisis de costos efectuados por la empresa ACUMEX S.A. DE C.V., la cual elabora su propio alimento en un sistema de extrusión similar al descrito aquí, sólo que con mayor capacidad de producción/hr.

COSTOS DE INGREDIENTES.

La pasta de soya se cotizó en \$2.36/Kg y los subproductos de pescado en \$0.50/Kg, y para el costo de las mezclas sin procesar se calculó de acuerdo al % de inclusión de cada uno de ellos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se empleó en todos los casos un test de Homogeneidad de varianza usando la prueba de Bartlett y Levene, de acuerdo al programa estadístico empleado (SPSS para DOS y SPSS 5.0 para WINDOWS), seguido de un análisis para detectar diferencias significativas entre los tratamientos probados, y si había diferencias significativas entre ellos ($p < 0.05$) se aplicó un test de Rango Múltiple de Duncan (Steel y Torrie, 1992) para comparaciones múltiples de medias entre tratamientos.

Se establecieron correlaciones entre los parámetros de proceso (amperaje, temperatura, humedad, etc.), y entre solubilidad de proteína y los parámetros de proceso.

Para conocer si había un efecto significativo de la humedad inicial sobre la humedad final y de los tratamientos sobre la humedad final, se aplicó un análisis de covarianza.

RESULTADOS

DETERMINACION DE PARAMETROS DE PROCESO EN EL EXTRUSOR PARA ELABORACION DE COEXTRUIDOS.

EXTRUSION DE PASTA DE SOYA.

Se realizaron un total de 13 pruebas, variando en cada una de ellas el tamaño y orden de los anillos de presión (como se describe en material y métodos), según se fuesen observando las características de la pasta de soya extruída, que podía ser desde mal texturizado a quemado o ocurrir un taponamiento del barril extrusor.

La velocidad de alimentación de las mezclas fluctuó desde 30 RPM hasta 80 RPM, con diferentes resultados en cada caso, obteniéndose los siguientes resultados en cada prueba :

Prueba 1.- Producto quemado (140 °C), con taponamiento del barril extrusor. Demasiados finos. Prueba eliminada.

Prueba 2 y 3.- Producto de color no uniforme (claro-oscuro), obtenido a 125-130 °C. No quemado. Mal texturizado, demasiados finos. Taponamiento del barril extrusor. Prueba eliminada.

Prueba 4 y 5.- Productos de color no uniforme (claro-oscuro), obtenido a 135-150 °C. Mal texturizado, demasiados finos. No se estabilizó la temperatura. Taponamiento del barril extrusor en Prueba 4. Prueba eliminada.

Prueba 6.- Configuración de anillos más adecuado. Producto de color uniforme, menos finos. Aunque subió mucho la temperatura (hasta 155 °C), no se quemó el producto. Proceso continuo.

Prueba 7.- Producto texturizado de color uniforme (café claro), obtenido a 130 °C. Proceso continuo.

Prueba 8 y 9.- La soya no texturiza, incontinuidad en el proceso. El producto obtenido es de color café claro. Temperatura de 130 °C. Se elimina el cono de ½ “.

Prueba 10.- Pasta de soya bien texturizada, de color café claro. No se quemó el producto. Temperatura inicial de 130 °C. Estabilidad en el proceso en 150-157 °C. En esta prueba se obtuvieron las mejores condiciones de proceso (Tabla 2).

Prueba 11.- Pasta de soya no texturizó. El producto obtenido fue de color café claro. Temperatura inicial de 135 °C y temperatura final de 125 °C. Salida del producto incontinua.

Prueba 12.- Pasta de soya mal texturizada. Demasiados finos. Temperatura inicial 130 °C y temperatura final de 155 °C. El proceso tiende a estabilizarse en temperatura (150 °C).

Prueba 13.- Esta prueba tuvo mayor contenido de humedad (40 %). La pasta de soya texturiza adecuadamente a 140 °C. Color uniforme, sin muchos finos. La temperatura inicial fue de 130 °C y el proceso se estabilizó a 150 °C. Flujo del producto continuo. Las variables de esta prueba es similar a las de la prueba 10. Sólo cambia el contenido de humedad de la mezcla.

Las mejores condiciones de proceso se muestran en la tabla 2, donde se observa que se requieren temperaturas mínimas de 130-140 °C para iniciar el proceso y texturizar la pasta de soya inmediatamente, así como una restricción de anillos de presión intermedia, en cuanto al diámetro de los mismos, y que son inferiores a la configuración inicial propuesta : 600-08/600-05/600-05/600-05, que no dió los resultados esperados.

Tabla 2.- Parámetros óptimos de proceso de coextrusión de pasta de soya y subproductos de pescado.

Parámetro	Unidad de Medida	Valor Experimental Obtenido
*Anillos de presión	Std	600-10/600-08/600-08/600-08
Diámetro int. de cono de nariz	mm, "	8 mm o (5/16 ")
**No. de vueltas del cono	-----	6
Velocidad de Alimentación	rpm	50 - 70
Temperatura inicial	°C	130 °C

*Tienen valor dado en pulgadas, citados en material y métodos.

**Inicia desde que pega con el tornillo de bala.

En las condiciones indicadas en la tabla 2, se obtuvo un proceso de extrusión adecuado de la pasta de soya, caracterizado por la continuidad del flujo del producto, la estabilidad en temperatura (alrededor de 155 °C) y amperaje (60 amperes) (Fig. 6), y la homogeneidad en la apariencia de la pasta de soya post-proceso: texturizada y hojuelada, color café claro uniforme, olor y apariencia física agradables.

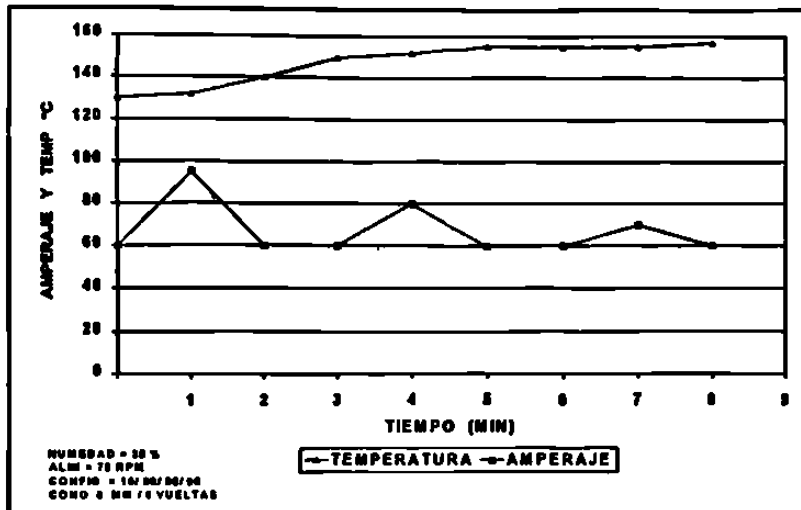


Fig. 6.- Temperatura y amperaje registrados para la extrusión de pasta de soya (Prueba # 10).

EXTRUSION DE MEZCLAS.

Se aplicaron las especificaciones técnicas descritas en tabla 2, para la extrusión de las diferentes mezclas.

Se observó para cada coextruido elaborado con sus 3 replicados, estabilidad en temperatura y amperaje (Figs. 7, 8 y 9 para las mezclas 70 s:30p, 60 s:40 p y 50 s:50 p respectivamente). Los puntos de la gráfica donde se observa un aumento inicial del amperaje, corresponden al momento en que empieza a salir el producto. Después tiende a estabilizarse. La caída de los mismos indica el final del proceso.

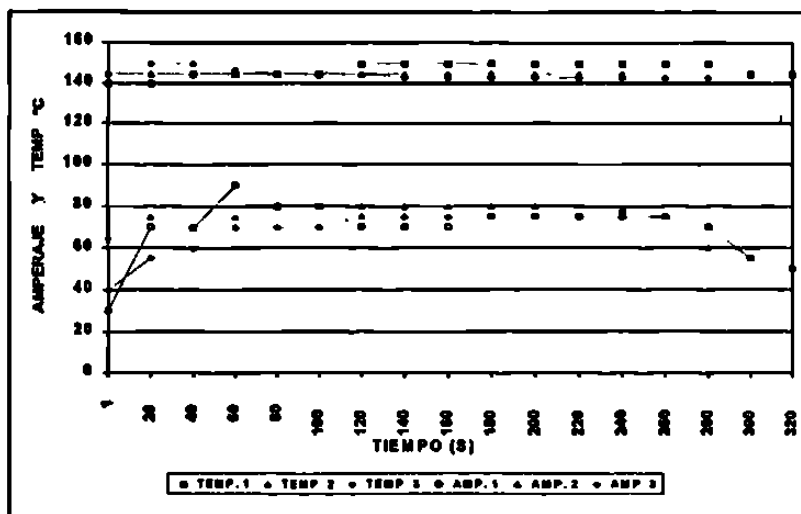


Fig. 7.-Temperatura y amperaje durante la coextrusión de pasta de soya (70 %) y subproductos de carpa herbívora (30 %).

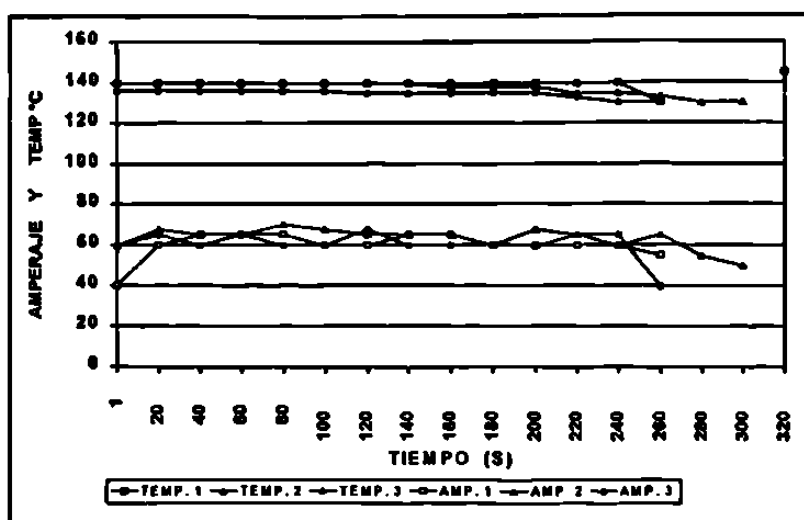


Fig. 8.-Temperatura y amperaje durante la coextrusión de pasta de soya (60 %) y subproductos de carpa herbívora (40 %).

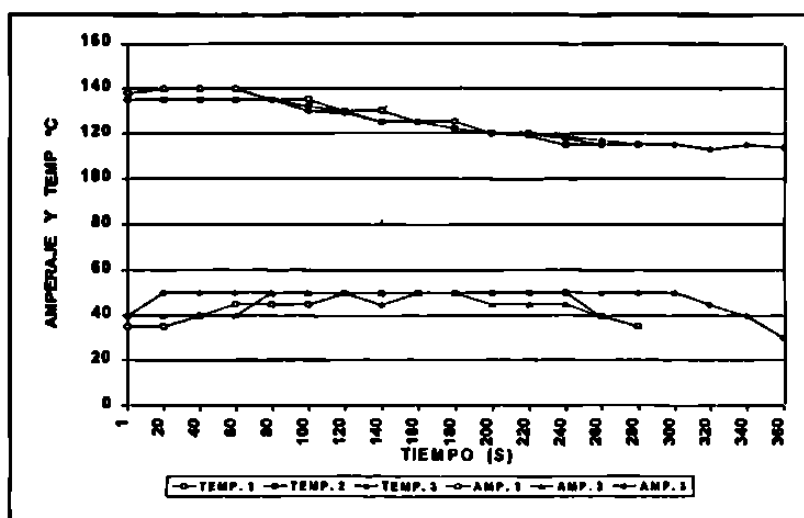


Fig. 9.-Temperatura y amperaje durante la coextrusión de pasta de soya (50 %) y subproductos de carpa herbívora (50%).

En el tratamiento 50 s:50 p (Fig.9) se observó una clara tendencia a disminuir la temperatura a medida que transcurre el tiempo de proceso, y aunque la temperatura media de las 3 repeticiones es de 126 °C, es hasta los 115 °C cuando tiende a estabilizarse la temperatura; el amperaje tiene una leve caída, que corresponde al momento en que termina de extraerse la mezcla.

EFFECTO DE INCLUSION DE SUBPRODUCTOS DE PESCADO EN LA TEMPERATURA Y AMPERAJE DEL PROCESO.

La temperatura promedio y amperaje promedio del proceso de cada coextruido disminuyeron mientras mayor fue el % de inclusión de subproductos de pescado (Tabla 3, Fig. 10), observándose diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) en la humedad inicial de las

mezclas a coextruir, amperaje y temperatura promedio alcanzados durante el proceso de cada uno de los diferentes coextruidos.

Tabla 3.- Valores promedio de los parámetros de proceso registrados durante la elaboración de coextruidos de pasta de soya (s) y subproductos de pescado (p).

% inclusión del subproducto en el coextruido	* % Humedad Inicial de la mezcla	** Temperatura °C	** Amperaje Amp.
70 s:30 p	26.95 ± 1.58 a	145.69 ± 2.78 c	71.15 ± 10.94 c
60 s:40 p	32.42 ± 1.46 b	137.07 ± 3.42 b	61.23 ± 6.05 b
50 s:50 p	36.38 ± 1.83 c	126.27 ± 8.49 a	45.83 ± 5.39 a
P (0.05)	0.0000	0.0000	0.0000

Letras diferentes indican que difieren significativamente ($P > 0.05$).

Valores representan la media de cada parámetro.

* n=9 casos/trat., generando 27 casos para análisis estadístico.

** n=45, 44 y 48 casos para cada tratamiento, generando 137 casos para análisis estadístico. Se consideraron todas las lect. registradas

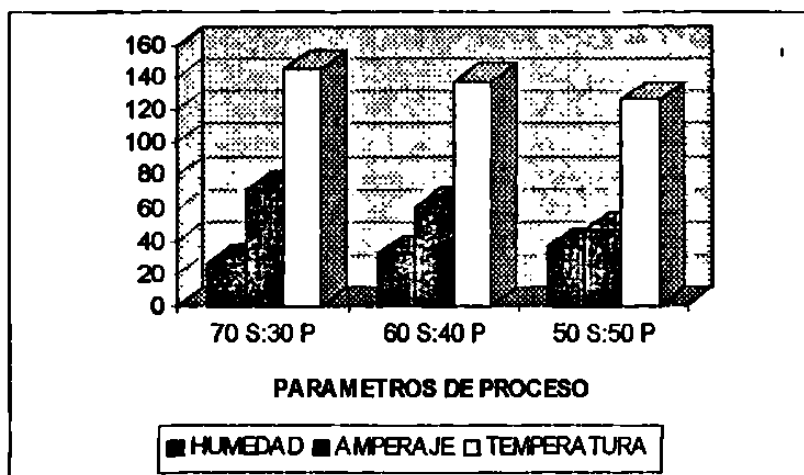


Fig. 10.- Valor promedio de los parámetros registrados en el proceso de coextrusión de pasta de soya (S) y subproductos de carpa herbívora (P).

Se observaron altas correlaciones entre los valores de los parámetros registrados y el % de inclusión de subproductos de pescado en los coextruidos (Tabla 4), lo que es indicador de la alta asociación existente entre dichos valores: a mayor concentración de subproducto (humedad), el coextruido alcanza menor temperatura y menor amperaje. La mejor correlación se observó entre temperatura y amperaje (Fig. 11).

Tabla 4.- Coeficientes de correlación observados para parámetros de proceso de coextruidos.

	% Humedad Inicial	Temperatura °C	Amperaje Amp
% de inclusión de subproductos de pescado en coextruido	0.9958	-0.9979	-0.9923
P	0.059	0.041	0.079
% Humedad Inicial		-0.9877	-0.9767
P		0.1	0.138
Temperatura °C			0.9982
P			0.038

El coeficiente de correlación entre los mismos parámetros es 1.
Se empleó la media de cada uno de los parámetros para análisis estadístico.

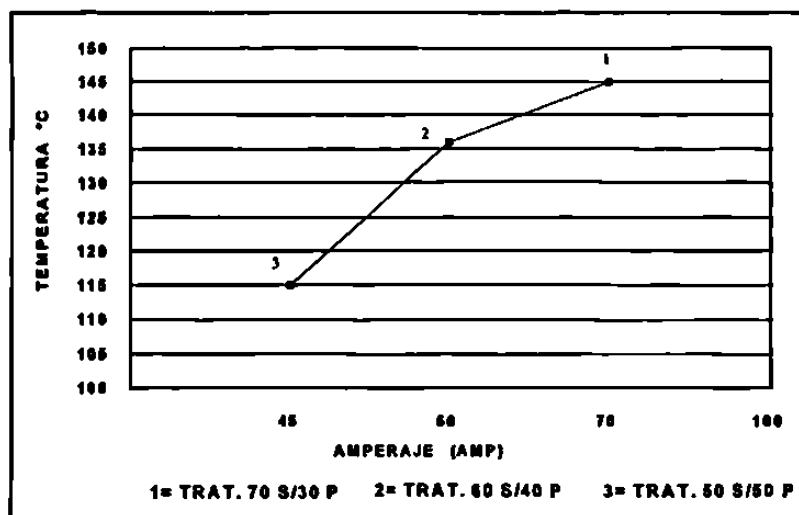


Fig. 11.- Relación observada en temperatura y amperaje de coextruidos por efecto de la inclusión de subproductos de pescado.

MERMA POR PROCESO.

La pérdida de humedad por efecto del proceso fue mayor para el coextruido con la menor inclusión de subproductos de pescado (tabla 5 y fig. 12), por lo tanto con menor contenido de humedad, pero no difiere significativamente de la pérdida de humedad del coextruido 60 s:40 p ($p > 0.05$), sin embargo la pérdida de humedad para ambos resulta significativamente mayor con respecto al coextruido 50 s:50p ($p < 0.05$).

Al considerar la pérdida de humedad en valores absolutos (Tabla 5), resulta casi el mismo valor para los coextruidos 70 s:30 p y 60 s:40 p (7.53 y 7.72 respectivamente), pero el valor más bajo corresponde al coextruido 50 s:50 p (4.34), que pierde la menor cantidad de humedad en el proceso.

Al estimar la humedad inicial esperada (Tabla 6), considerando la humedad de los ingredientes a coextruir por separado, con respecto a la humedad inicial real, se observó una leve diferencia entre estos valores, siendo más baja la humedad real. Esto se debió tal vez a la

deshidratación producida por el efecto de congelación sobre los subproductos de pescado, que estuvieron almacenados aproximadamente 3 meses antes de su uso, así como por el efecto del mezclado.

Un análisis de covarianza efectuado para conocer el efecto de la humedad inicial sobre la humedad final de los coextruídos, muestra que no es significativo ($p= 0.489$), pero el efecto del nivel de inclusión de subproductos de pescado en el coextruído sobre la humedad final si es altamente significativo ($p<0.05$).

Tabla 5 .-% de humedad perdida por proceso en los coextruídos.

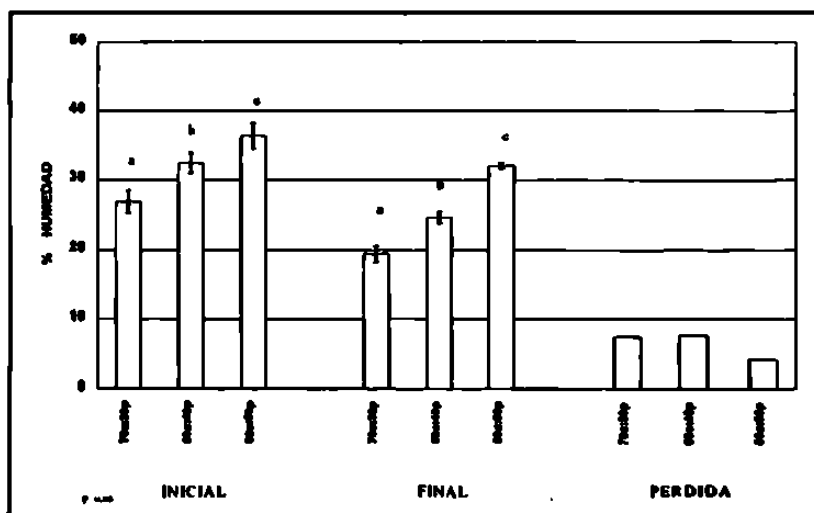
% de inclusión de subprod. de pescado en coextruído	% Humedad Inicial	% Humedad Final	% Humedad perdida con respecto a la humedad inicial	Humedad Perdida en % de la mezcla
70 s:30 p	26.95 ± 1.58 a	19.42 ± 1.19 a	27.89 ± 2.97 b	7.53
60 s:40 p	32.42 ± 1.46 b	24.70 ± 0.81 b	23.61 ± 5.03 b	7.72
50 s:50 p	36.38 ± 1.83 c	32.04 ± 0.38 c	11.69 ± 5.10 a	4.34
prob. Anova (0.05)	0.0000	0.0000	0.0000	
prob. Bartlet	0.819	0.016	0.291	

n= 9 valores por tratamiento, generando 27 casos.
 Los valores están expresados en %.
 Letras diferentes denotan diferencias significativas en $p<0.05$.
 s= pasta de soya y p=subprod. de carpa herbívora.

Tabla 6.- Humedad inicial esperada y real para coextruídos.

% de inclusión de subprod. de pescado en coextruídos	% Humedad Inicial esperada	% Humedad Inicial real
70 s:30 p	27.91	26.95
60 s:40 p	34.54	32.42
50 s:50 p	41.18	36.38

S= pasta de soya y p= subproductos de carpa herbívora.



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

Fig. 12.- Humedades obtenidas para coextruídos.

Considerando la cantidad procesada en Kg como un 100 %, el desglose de las mermas por evaporación de agua y retención de producto crudo en el extrusor, es el siguiente (Tabla 7):

Tabla 7.- % de pérdida por proceso considerando el peso inicial en Kg.

% inclusión de subprod. de pescado en coextruído	*Peso Inicial Kg	% Prod. obtenido después de extruído	% retenido en extrusor	% de agua perdido
70 s:30 p	17.94	86.64 ± 0.48	5.70 ± 0.11	7.66 ± 0.55
60 s:40 p	16.96	88.08 ± 2.20	5.61 ± 0.34	6.31 ± 1.97
50 s:50 p	15.46	91.00 ± 1.68	5.01 ± 0.57	3.98 ± 2.23

*El peso inicial en Kg es la media de los replicados de cada coextruído elaborado.

s= pasta de soya/p= subproductos de carpa herbívora.

Como se puede observar la tabla 7, la pérdida de agua en el coextruído por efecto de la extrusión, disminuyó en forma inversa a la inclusión de subproductos de pescado en el coextruído. Se extruyó el total de la mezcla preparada. No hubo reprocesamiento de los primeros Kg obtenidos, debido a que al iniciarse con altas temperaturas (120-130 °C), el total del producto extruído fue de la misma calidad.

Al considerar el rendimiento del producto obtenido después de extruído, con respecto al peso inicial, se observa que el mayor rendimiento es para el coextruído 50 s:50 p en base húmeda (91%) (Tabla 8 y Fig. 13), debido a que pierde muy poca agua durante el proceso, pero después del secado, su rendimiento en % en materia seca es el menor (61.84 %) (porque su contenido de humedad inicial es mayor que la de los demás coextruídos).

Tabla 8.- % de coextruídos obtenidos antes y después del secado.

% inclusión de subprod. de pescado en coextruído	*Peso Inicial Kg	% producto obtenido después de extruído (húmedo)	% producto obtenido después de extruído y secado
70 s:30 p	17.94	86.64	69.81
60 s:40 p	16.96	88.08	66.32
50 s:50 p	15.46	91.00	61.84

s= pasta de soya p= subproductos de carpa herbívora.

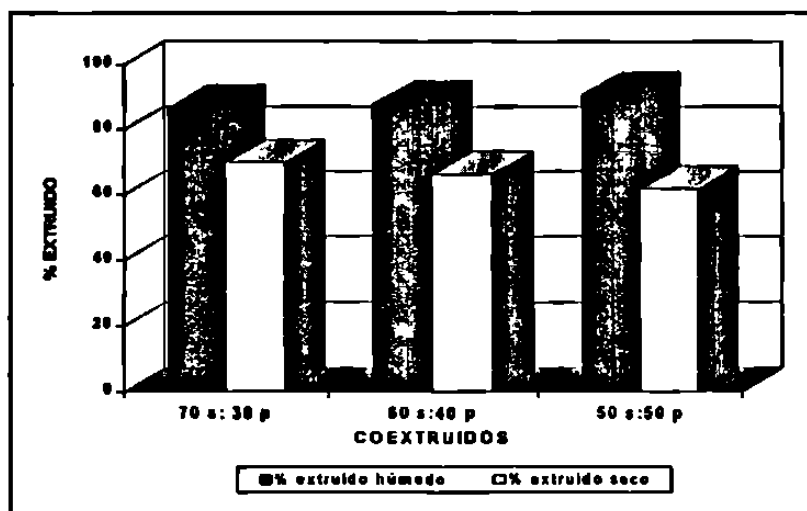


Fig. 13.- Rendimiento en % de coextruidos, antes y después del secado.

ANÁLISIS QUÍMICOS.

COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Como se observa en la tabla 9, el aporte de nutrientes de los subproductos de carpa herbívora es muy superior al de la pasta de soya cuando son comparados en base seca, excepto en extracto libre de nitrógeno. Este mayor aporte de nutrientes lo hace nutricionalmente importante. La soya extruída mostró un % de lípidos, ceniza y fibra más alto con respecto a la pasta de soya sin proceso, debido a la lubricación inicial del tornillo del extrusor con frijol de soya, que es rico en aceite y fibra. Estos incrementos hacen que la proteína sea ligeramente inferior a la de la pasta de soya.

Tabla 9.- Composición bromatológica de ingredientes que componen los coextruidos.

Ingrediente	Materia seca	Proteína	Lípidos	Ceniza	Fibra	ELN	Energía Kcal/gr	Ca	P
Pasta de soya	92	51.40	0.32	7.27	3.43	34.57	4.33	0.30	0.71
Pasta de soya extruída	91.89	51.09	0.82	7.36	4.47	33.29	4.30	0.30	0.72
Subprod. de carpa herb.	25.64	67.94	15.29	14.70	0.00	2.07	5.34	2.65	2.57

Valores de ingredientes reportados en base seca

El factor de conversión de proteína empleado en los ingredientes fue 6.25.

En cuanto a los coextruidos (tabla 10 y Fig. 14), el contenido de proteína, fibra y ceniza no difiere significativamente en los 3 tratamientos ($P > 0.05$), pero la grasa, calcio (Ca) y fósforo (P) sí lo hacen significativamente ($p < 0.05$), y sus valores aumentan en razón directa a la inclusión de subproducto de pescado. El % de carbohidratos (ELN) baja en relación al incremento de los subproductos de pescado.

Tabla 10.- Composición bromatológica de coextruidos de soya y pescado.

Coextruido	**Humedad	Proteína	Lípidos	Ceniza	Fibra	ELN	Ca	P
70 s:30 p	6.24	51.42	2.09	8.68	2.15	35.66	0.71	1.02
DS	0.23	0.44 a	0.18 a	0.37 a	0.20 a	0.69 c	0.09 a	0.07 a
60 s:40 p	5.70	51.61	3.04	9.13	2.29	33.93	0.99	1.15
DS	0.46	0.97 a	0.30 b	0.92 a	0.10 a	1.68 b	0.11 b	0.04 b
50 s:50 p	5.28	51.75	4.65	9.03	2.36	32.21	1.49	1.28
DS	0.24	0.71 a	0.35 c	0.62 a	0.30 a	0.75 a	0.21 c	0.07 c
P (anova)		0.6283	0.0000	0.3560	0.1368	0.0000	0.0000	.0000
Test de homog. de varianzas		0.112	0.218	0.062	0.021	0.018 *	0.152 *	0.31

Valores de coextruidos reportados en base seca.

N=9 valores por tratamiento, generando 27 casos para el análisis estadístico.

El factor de conversión de proteína fue 6.25.

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

*Test de Homogeneidad de varianzas de Levene (SPSS 5.0 WIN). Todos los demás son de Bartlett (SPSS DOS).

**% de humedad obtenido después de secar.

Al efectuar un cálculo teórico del aporte de nutrientes esperados de los coextruidos, considerando el análisis bromatológico de sus ingredientes, en base seca (Tabla 11), nutrientes como lípidos, ceniza, extracto libre de nitrógeno, calcio y fósforo mostraron una tendencia a ser más bajos con respecto a los analizados en el laboratorio, no así la proteína y fibra, que fueron más altos que los valores analizados. -

Tabla 11.- Aporte teórico de nutrientes de coextruidos de pasta de soya y subproductos de carpa herbívora.

Coextruido	Proteína	Lípidos	Ceniza	Fibra	ELN	Ca	P
70 s:30 p	53.21	1.91	8.07	3.07	33.82	0.56	0.91
60 s:40 p	53.99	2.66	8.44	2.90	32.01	0.67	1.00
50 s:50 p	55.00	3.58	8.89	2.69	29.83	0.82	1.11

Valores calculados en base seca, considerando el aporte en materia seca de los ingredientes de cada coextruido.

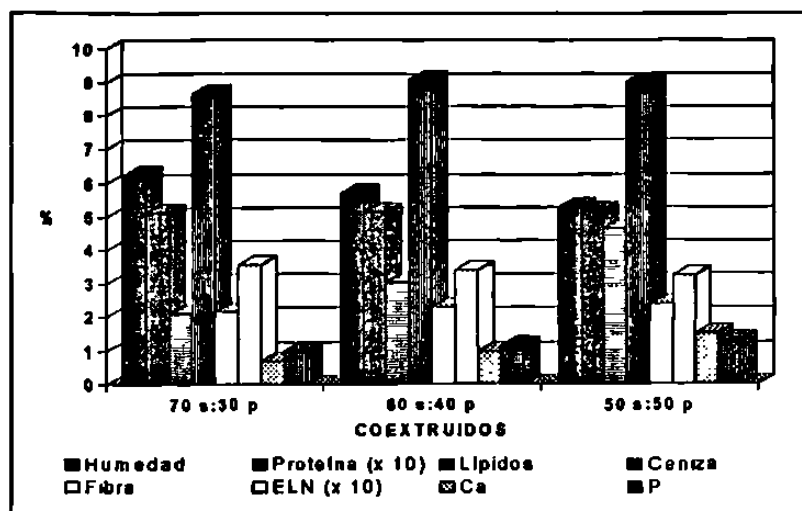


Fig. 14.- Composición bromatológica de coextruidos (b.s.).

DETERMINACION DE CALCIO Y FOSFORO DE INGREDIENTES Y COEXTRUIDOS.

Como se observa en la tabla 10, fig. 14, hubo un claro incremento en la concentración de calcio y fósforo con la inclusión de subproductos de pescado, obteniendo diferencias significativas entre los 3 coextruidos ($p < 0.05$). El calcio presentó una doble concentración en el tratamiento 50 s:50 p con respecto al primer tratamiento. Se presenta una relación aproximada 1:1 en los coextruidos 60s:40p y 50s:50p de ambos elementos y para el primer coextruido la concentración es menor que la del fósforo.

SOLUBILIDAD DE PROTEINA.

DE P. DE SOYA Y SUBPRODUCTOS DE CARPA HERBIVORA SIN PROCESAR.

Ambos ingredientes fueron analizados en base seca, y se observó que la pasta de soya tiene una solubilidad en el álcali ligeramente más alta que la del subproducto de carpa herbívora (Tabla 12). Este fue analizado después de secar en la estufa por 24 horas.

Tabla 12.- Valores de solubilidad de proteína para ingredientes de coextruidos.

Ingrediente	% Solubilidad
Pasta de soya	73.66 ± 0.27
Subprod. de carpa herb.	69.30 ± 1.88

El factor de conversión de proteína fue 6.25.
Ingredientes analizados después de secados.

SOLUBILIDAD DE PROTEINA DE COEXTRUIDOS.

A) COMPORTAMIENTO DE SOLUBILIDAD DE PROTEINA EN LOS 3 TRATAMIENTOS.

En las figs. 15, 16 y 17 se muestra el comportamiento de la solubilidad y la temperatura de proceso para cada coextruido, donde cada punto representa el valor en solubilidad de la muestra colectada a un tiempo determinado para cada repetición del tratamiento (3 muestras por tratamiento), y la temperatura en que fueron tomadas.

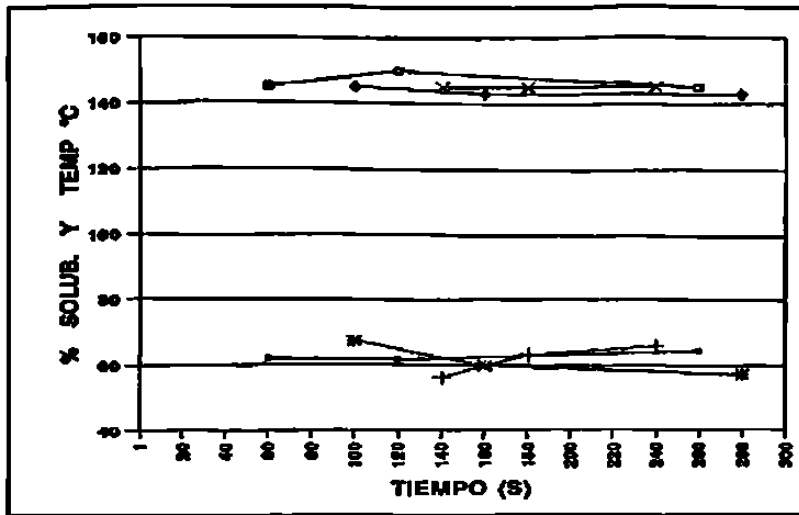


Fig. 15.-Comportamiento de la solubilidad de la proteína del coextruido 70 s:30 p a diferentes tiempos y temperaturas de colecta de las muestras.

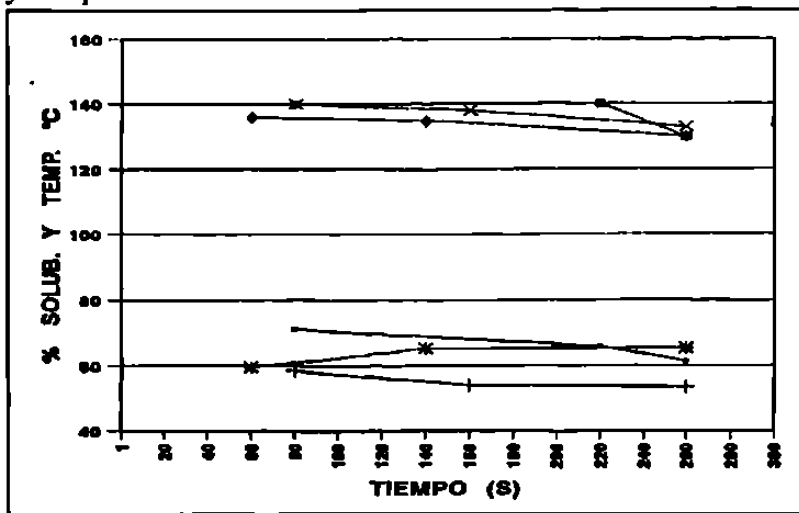


Fig. 16 .-Comportamiento de la solubilidad de la proteína del coextruido 60 s:40 p a diferentes tiempos y temperaturas de colecta de las muestras.

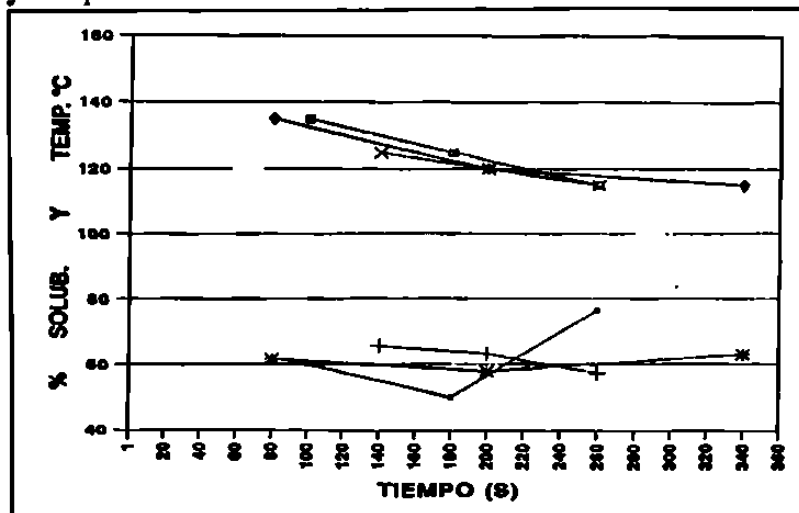


Fig. 17.-Comportamiento de la solubilidad de la proteína del coextruido 50 s:50 p a diferentes tiempos y temperaturas de colecta de las muestras.

B) EFECTO DE TEMPERATURA Y AMPERAJE EN SOLUBILIDAD DE PROTEINA.

Al aplicar un Anova de una vía y una comparación múltiple de Duncan a dichos parámetros, se observó que la solubilidad de la proteína (Tabla 13 y Figs. 18, 19 y 20) es similar para los 3 tratamientos ($p= 0.9805$), no así la temperatura de proceso ($p < 0.05$) y el amperaje de proceso ($p<0.05$), que fueron descendiendo en función de la inclusión de subproductos de pescado (incremento de humedad), como se mostró anteriormente. Esto muestra que la solubilidad de la proteína, al menos entre los 3 coextruidos, no se resultó afectada por las variaciones de temperatura de proceso ni por el nivel de inclusión del subproducto de pescado (o el nivel de humedad inicial en la mezcla), aunque realmente si es afectada por el proceso al compararla con la pasta de soya sin proceso, como se verá a continuación.

Tabla 13.- Valores de solubilidad de proteína obtenidos para coextruidos y sus respectivas temperaturas y amperajes de proceso.

% de inclusión del subprod. de pescado en coextruido	% Solubilidad de proteína	Temperatura °C	Amperaje Amp
70 s:30 p	61.97 ± 3.66 a	145.11 ± 1.95 c	72.78 ± 10.22 c
60 s:40 p	61.72 ± 5.69 a	135.78 ± 3.93 b	61.11 ± 8.59 b
50 s:50 p	61.69 ± 7.01 a	122.78 ± 7.64 a	45.56 ± 4.46 a
p anova (0.05)	0.9805	0.0000	0.0000
Test Homog. Var.	0.006	0.0000	0.013*

Muestras de coextruidos analizadas en base seca.

Test de Homog. de Var. De Levene (SPSS 5.0 WIN). Los demás son de Bartlett (SPSS DOS).

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

Cada valor es la media de 27 datos.

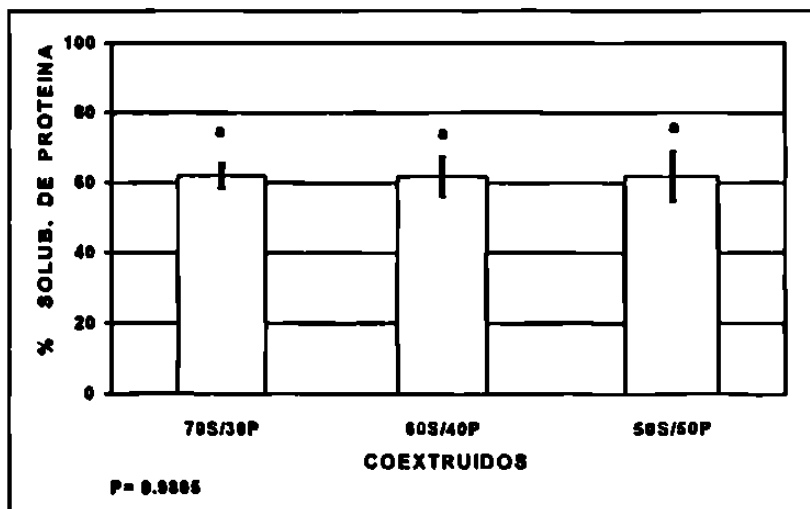


Fig. 18.- Solubilidad de proteína para coextruidos.

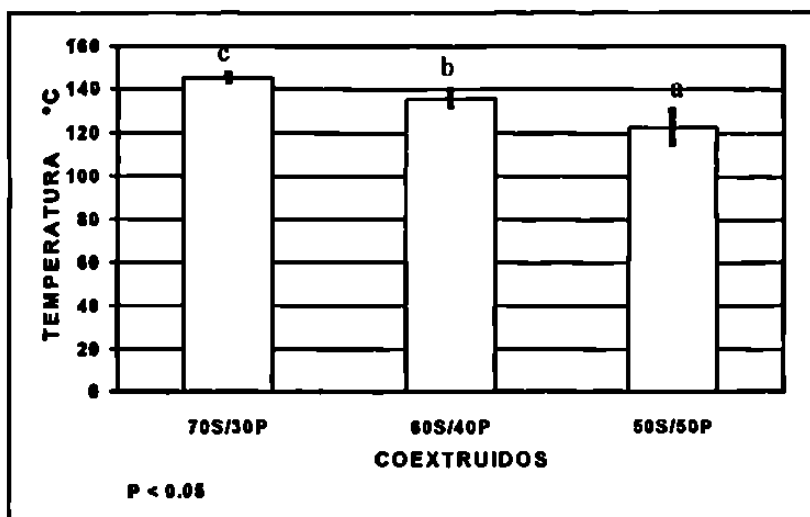


Fig. 19 .- Temperatura promedio de proceso durante la toma de muestras para solubilidad de proteína de coextruidos

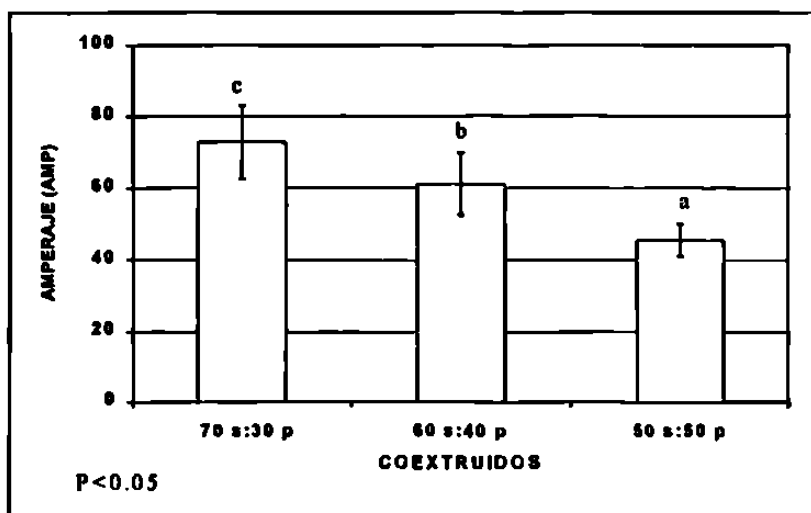


Fig. 20.- Amperaje promedio registrado durante la toma de muestras para solubilidad de proteína de coextruidos.

C) SOLUBILIDAD DE PROTEINA DE PASTA DE SOYA, P. DE SOYA EXTRUIDA Y COEXTRUIDOS.

Al hacer la comparación de la solubilidad de la proteína de los 3 coextruidos con la pasta de soya sin proceso y la pasta de soya extruída (Tabla 14), hubo diferencias significativas entre los 5 tratamientos ($p < 0.05$), aunque la solubilidad de proteína de soya extruída no difiere significativamente de la solubilidad de proteína de los 3 coextruidos. Este lote de pasta de soya extruída corresponde a uno elaborado especialmente para las dietas, y fue procesado a $165\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo esta temperatura un poco superior a la de obtención de los coextruidos. Este valor de solubilidad indica el daño ocasionado por el proceso de extrusión (temperatura), comparado con la pasta de soya sin proceso (pérdida de 13 puntos de % en la solubilidad de la proteína).

Tabla 14.- Valores de % de solubilidad de proteína para pasta de soya cruda , extruída y de coextruídos.

Ingrediente	% Solubilidad de proteína
P. de soya (harina)	73.66 ± 0.27 b
P. de soya extruída	58.92 ± 0.27 a
Coextruídos	61.80 ± 5.56 a
p Anova	0.0087

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

El valor de pasta de soya es la media de 3 repeticiones.

El valor de solubilidad de soya extruída es la media de 3 repeticiones.

El valor del coextruído es la media de 3 tratamientos = 81 casos, aunque para el análisis estadístico se consideraron todos los casos.

D) VALORES DE CORRELACION ENTRE SOLUBILIDAD DE PROTEINA Y PARAMETROS DE PROCESO.

Al realizar un análisis de correlación múltiple entre la solubilidad de la proteína y los parámetros de proceso registrados, no se encontró alguna asociación entre dichos valores (Tabla 15). Sólo se encontró asociación entre temperatura y amperaje ($r=0.8232$), temperatura y el % de inclusión del subproducto de pescado en el coextruído (-0.8742) y amperaje-tratamiento (-0.8107).

Tabla 15.- Coeficientes de correlación observados entre solubilidad de proteína, % de inclusión de subproducto de pescado en el coextruído y parámetros de proceso.

	% de inclusión del subprod. de pescado en coextruído	Temperatura °C	Amperaje (Amp)	Tiempo
% de solubilidad (p)	-0.0205 (0.856)	-0.0357 (0.752)	-0.1112 (0.323)	0.0195 (0.863)
% de inclusión del subprod. de pescado en coextruído (p)		-0.8742 (0.000)	-0.8107 0.000	0.1033 (0.359)
Temperatura °C p			0.8232 (0.000)	-0.4222 (0.000)
Amperaje (Amp) (p)				-0.4681 (0.000)

Se emplearon 81 casos para realizar el análisis.
(p) probabilidad

E) VALORES DE SOLUBILIDAD DE PROTEINA TEORICA Y ANALIZADA DE COEXTRUIDOS.

Se observó una gran diferencia entre la solubilidad de proteína analizada de coextruídos (después de extruir) con respecto a la solubilidad teórica que deberían presentar los mismos (antes de extruir) (Tabla 16) cuando sus componentes fueron analizados por separado (Tabla 11). Esta diferencia pudo ser ocasionada por pérdida de nitrógeno durante el proceso de extrusión, por

desnaturalización de la proteína. Por efecto de la extrusión se pierde aproximadamente un 11 % de solubilidad de proteína.

Tabla 16.- Valores de solubilidad teórica y analizada de coextruidos.

	Antes de extruir	Después de extruir
Coextruido	% solubilidad teórica	% solub. analizada
70 s:30 p	73.18	61.97
60 s:40 p	72.97	61.72
50 s:50 p	72.71	61.69

CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA (CRA).

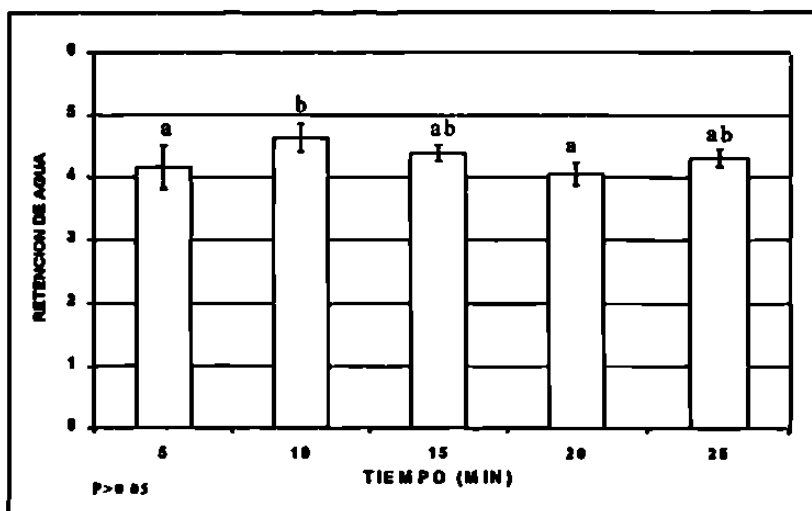
ENSAYO PRELIMINAR CON PASTA DE SOYA EXTRUIDA.

Al aplicar el análisis estadístico para conocer el mejor tiempo de retención de agua, no hubo diferencias significativas ($p= 0.0605$), lo que indicó que se podía ocupar cualquier tiempo para el ensayo, que fue efectuado con un volumen de agua destilado de 150 ml, pesando aproximadamente 5 g de la muestra (Tabla 16, fig. 21).

Tabla 17.- Capacidad de retención de agua (CRA) para pasta de soya extruída, evaluada a diferentes tiempos.

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	P Anova (0.05)	P Bartlett
CRA ds	4.16 0.34 a	4.63 0.22 b	4.39 0.13 ab	4.05 0.18 a	4.31 0.14 ab	0.0605	0.682

Cada valor representa la media de 3 tratamientos.
Letras diferentes denotan diferencias significativas.
ds= desviación std



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

Fig. 21.- Capacidad de retención de agua de soya texturizada a diferentes tiempos de hidratación.

CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA PARA COEXTRUIDOS.

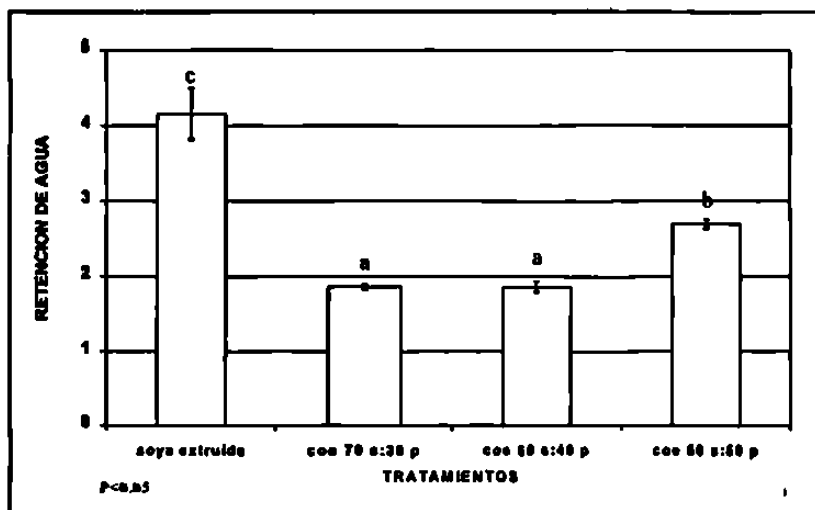
Se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre la soya texturizada y los coextruidos. La capacidad de retención de agua de la soya texturizada disminuye con la adición de subproductos de pescado al 30 y 40 %, pero al 50 % de inclusión, la capacidad de retención de agua vuelve a subir (Tabla 18 y Fig. 22).

Tabla 18.- Capacidad de retención de agua (CRA) para coextruidos y soya extruída.

Tratamiento	CRA
Soya extruída	4.16 ± 0.34 c
Coe 70 s:30 p	1.86 ± 0.03 a
Coe 60 s:40 p	1.86 ± 0.07 a
Coe 50 s:50 p	2.70 ± 0.06 b
p Anova (0.05)	0.0000
*Test Homog. Var.	0.16

Los valores representan la media de 3 repeticiones, a 5 minutos de hidratación. N= 12 casos.

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).



Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Fig. 22.- Capacidad de retención de agua de coextruidos y soya extruída.

ANALISIS DE COSTOS.

COSTO ESTIMADO DE ENERGIA ELECTRICA.

En el presente trabajo, las horas de proceso requeridas para procesar una tonelada de mezcla húmeda, fueron calculadas a partir del promedio del tiempo en minutos invertido en cada lote procesado (3 replicados por coextruído), y después extrapolado a una tonelada. La velocidad de alimentación fue exactamente la misma para los 3 coextruídos.

Tabla 19.- Horas de proceso netas requeridas para procesar los coextruidos, de acuerdo a su humedad inicial.

	Mezclas		
	70 s: 30 p	60 s:40 p	50 s:50 p
% Humedad Inicial	26.95	32.42	36.38
Hrs. de proceso en extrusor/Ton. Húm.	4.3	4.46	5.39
Hrs.mezclado/Ton.	0.5	0.5	0.5

Como se observa en la tabla 19, el tiempo de proceso se incrementa en forma directa a la inclusión de subproductos de pescado. Esto es debido a que, al procesar una mezcla con mayor nivel de humedad por adición del subproducto (50 s:50 p), no bajó fácilmente por gravedad desde la tolva receptora de ingredientes hasta el barril extrusor (como sucedió con el coextruido 70 s:30 p). Aunque aparentemente debería causar menor resistencia al proceso (50s:50p), esto sucede sólo en el barril extrusor, no en la tolva mezcladora de ingredientes. El contenido de humedad de la mezcla (36.38 %) requirió que se empujara con ayuda de un bastón, lo que necesitó más tiempo de proceso. Sucede algo parecido, pero en mucho menor grado, en el coe 60 s:40 p. Su tiempo de proceso fue apenas 0.16 H superior al coe 70 s:30 p.

En la tabla 20 se indican los parámetros para el cálculo del costo en energía. En esta tabla, el costo de energía eléctrica aumenta proporcionalmente al tiempo de proceso. Si se tomara en cuenta el amperaje promedio registrado durante las pruebas para calcular el gasto en energía, es probable que el ahorro en amperaje obtenido con las mezclas 60 s:40 p y 50 s: 50 p, compensaría lo que se gasta al tener un tiempo de proceso más largo.

Tabla 20.-Costo estimado de energía eléctrica para coextruidos

Coextruido	Motor	Pot. en HP	KW	H Proceso/ Ton	\$/KWH	Total \$/Ton
70 s:30p	*Arranque	50	37.3	4.3	*0.186	29.83
	Alimentador	1	0.746	4.3	0.155	0.50
	Mezcladora	3	2.238	0.5	0.155	0.17
	Costo \$/Ton					30.50
60s:40p	*Arranque	50	37.3	4.46	*0.186	30.94
	Alimentador	1	0.746	4.46	0.155	0.52
	Mezcladora	3	2.238	0.5	0.155	0.17
	Costo \$/Ton					31.63
50s:50p	*Arranque	50	37.3	5.39	*0.186	37.39
	Alimentador	1	0.746	5.39	0.155	0.62
	Mezcladora	3	2.238	0.5	0.155	0.17
	Costo \$/Ton					38.19

1 HP= 0.746 KW. El costo/KWH= \$0.155 (para el mes de marzo).

* Es el costo/KWH + 20 % por arranque del motor. s= pasta de soya y p= subprod. de carpa herbívora

COSTO ESTIMADO POR PROCESO.

En la tabla 21, se muestra que el costo estimado por proceso es afectado por el costo de la energía eléctrica y que las demás variables se mantienen constantes, siendo relativamente más caro procesar el coextruido 50 s:50 p. Se aplicó a la soya extruída el costo de proceso del coextruido 70 s:30 p, por requerir teóricamente la misma humedad y tiempo de proceso.

En cuanto al costo de la mano de obra, se considera sobreestimada, porque el tiempo neto de producción por tonelada húmeda requiere menos de 8 horas (jornada laboral). Se consideró así porque el proceso requiere otros tiempos para actividades implícitas en el proceso, como descarga de ingredientes en mezcladora, descarga de mezcladora a extrusor, recolección del producto extruído para llevar a secado, etc., considerando que no es un proceso automatizado.

Tabla 21.- Costo estimado del proceso/ton de coextruidos

Rubro	70 s:30 p	60 s:40 p	50 s:50 p
Mano de obra	37.40	37.40	37.40
Energía eléctrica	30.50	31.63	38.19
Fletes de Mat. prima	100.00	100.00	100.00
Manten./Refac.	20.00	20.00	20.00
Otros gastos	20.00	20.00	20.00
Costo \$/Ton. Húm.	207.90	209.03	215.59

Para la mano de obra se consideró el costo de un salario mínimo/día, en \$18.70 x 2 trabajadores= \$37.40

COSTO TOTAL (\$) POR TONELADA DE COEXTRUIDOS

Como se muestra en la tabla 22 y fig. 23, el costo final considera el precio del producto a un 10 % de humedad final (90 % de materia seca). Este costo disminuye a medida que se incrementa en el coextruido la inclusión de subproductos de pescado, debido a que éstos son casi un 80 % más baratos que la pasta de soya, suponiendo que tuvieran un costo comercial. Al comparar el costo de los coextruidos con el de la pasta de soya extruída, ésta resulta demasiado cara, y teóricamente su perfil nutricional es inferior al de los coextruidos (Anexo 3).

Al costo total/ton. de coextruidos debe agregarse el costo por secado, que variará para cada coextruido (por el % de humedad final), y que no es estimado en este trabajo, además del costo por almacenamiento de los subproductos de pescado en un frigorífico.

Tabla 22.- Costo total de materias primas y coextruidos.

Rubro	Pasta de soya	Subprod. de carpa Herb.	Soya Extruida	coe 70s:30p	coe 60s:40p	coe 50s:50p
Ingredientes	2360.00	500.00	2360.00	1802.00	1616.00	1430.00
^a Proceso	-----	-----	207.90	207.90	209.03	215.59
Subtotal \$ (% aportado de M.S.)	(92.00)	(25.73)	2567.90 (73.05)	2009.90 (73.05)	1827.03 (67.58)	1645.59 (63.62)
^c Total Ajustado a 10 % Hum. Final	2360.00		3163.74	2476.26	2430.49	2327.93

^aLos costos de proceso se muestran en la Tabla

^bAporte de materia seca (M.S.) reales.

^cNo se incluye costo de secado, que variará para cada coextruido

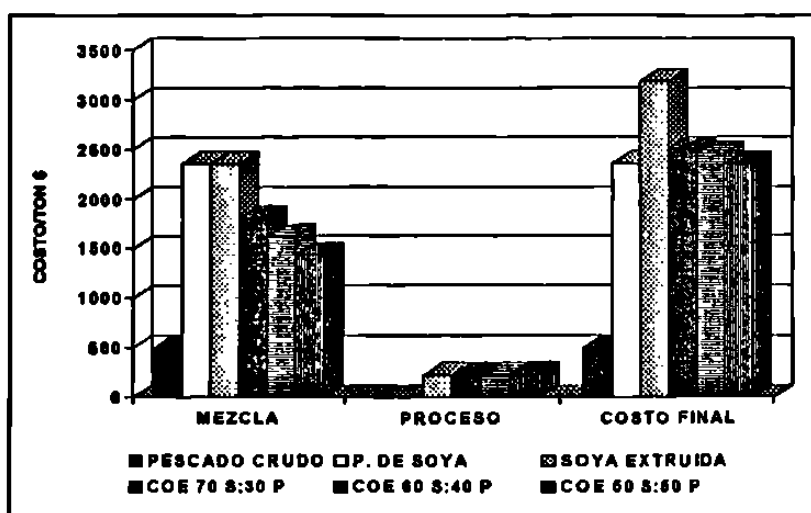


Fig. 23.- Costo total final de proceso/ton \$ de coextruidos.

El costo por punto de proteína (Kg/ton. de ingrediente o g de proteína/Kg de ingrediente) se comporta de la misma manera que en el costo/ton. de coextruidos (Tabla 23 y Fig. 24). El valor más alto se presenta para la soya extruida, por lo que es más cara, y el más barato para el coextruido 50 s:50 p. Aunque, al considerar los ingredientes por separado, resulta más barato el punto de proteína de los subproductos de pescado, que no han sido procesados, y que se emplean frescos.

Tabla 23.- Aporte de proteína animal y vegetal y costo por punto de proteína(o/oo) de ingredientes y coextruidos

Ingredientes	*% Proteína total	% Proteína Vegetal	% Proteína Animal	% lípidos Totales	Costo/ Punto. Prot. \$	**Costo/ Ton \$
Pasta de soya (s)	47.29	100		0.29	4.99	2360.00
Subprod. de Carpa Herb.(p)	17.42		100	3.92	2.87	500.00
Soya Extruida	46.95	100		0.75	5.47	2567.90
Coe 70 s:30 p	48.21			1.96	4.17	2009.90
Coe 60 s:40 p	48.67			2.87	3.75	1827.03
Coe 50 s:50 p	49.02			4.41	3.36	1645.59

* Valor analizado.

**Costo del ingrediente procesado, sin ajustar su humedad (ver tabla 22).

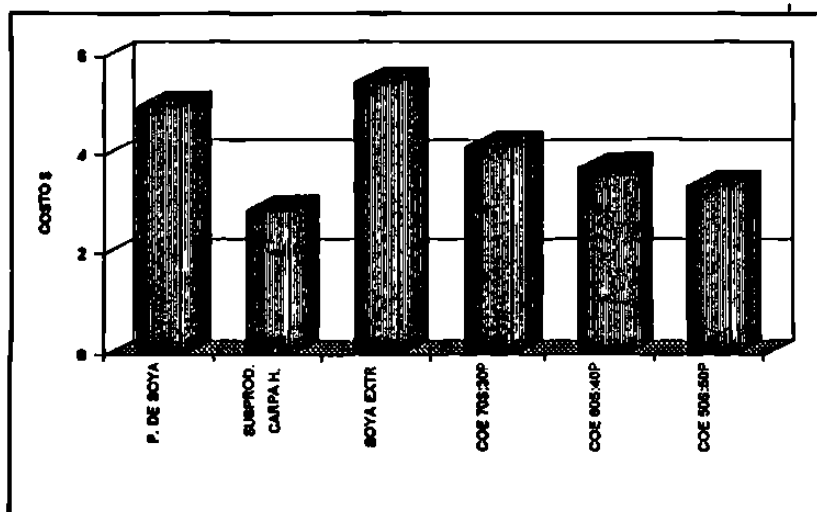


Fig. 24.- Costo por punto de proteína de coextruidos.

Al efectuar un análisis de costos teórico, se realizó el mismo cálculo que en las tablas 20, 21 y 22 para estimar el costo de los coextruidos, ajustados a 10 % de humedad final, pero considerando el % teórico de humedad de la mezcla inicial a partir de los datos de los ingredientes. En este caso, se obtiene un costo/ton. más alto (tabla 24 y fig. 25), resultando en nuestro caso, benéfico la pérdida de humedad durante la operación de mezclado y el almacenamiento congelado, porque baja los costos de producción.

Tabla 24.- Costo/ Ton. reales y esperados (teórico) de coextruidos.

Coextruido	Costo/Ton \$ Real ^a	Costo/Ton \$ Teórico ^b
70 s:30 p % m.s	2476.26 (73.05)	2508.19 (72.12)
60 s:40 p % m.s.	2430.49 (67.58)	2509.21 (65.46)
50 s:50 p % m.s.	2327.93 (63.62)	2517.90 (58.82)

Costo/ton. considerado para un 90 % de materia seca (M.S.).

^a El % M.S. corresponde a la materia seca aportada inicialmente por la mezcla Ver Tabla 6).

^b El % de M.S. es la suma de la materia seca aportada por cada ingrediente (Ver Tabla 6).

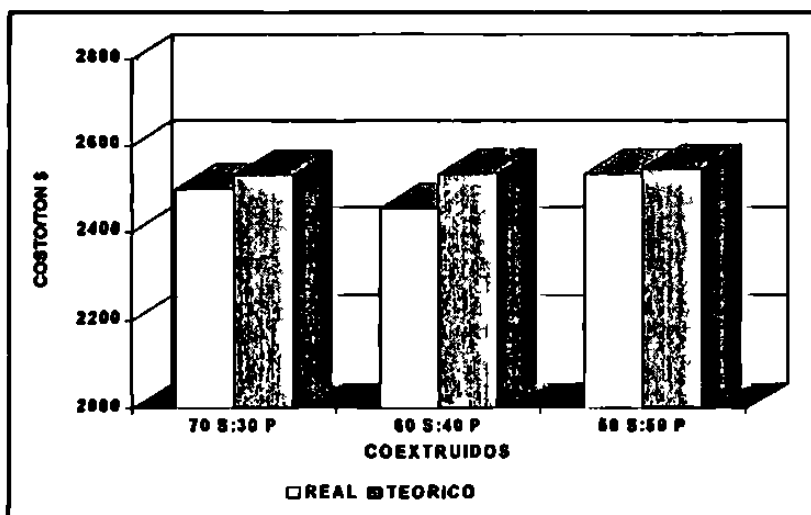


Fig. 25.- Costo/ton. de coextruidos, con valores reales y teóricos.

DISCUSIONES.

DETERMINACION DE PARAMETROS DE PROCESO EN EL EXTRUSOR.

EXTRUSION DE PASTA DE SOYA TEXTURIZADA.

Como se mencionó en resultados, fue necesario realizar un total de 13 pruebas, considerando como principales variables el tamaño y orden de los anillos de presión, además de la velocidad de alimentación de la mezcla, el número de vueltas del cono de nariz y su diámetro interno.

Doud (1994, com. per.) propuso para este proceso usar anillos de presión (steamlocks) 600-08/600-05/600-05/600-05 y cono de 5/16 " (8 mm). La humedad total de las mezclas fue del 35 % en las primeras 12 pruebas. Los anteriores anillos de presión se usaron en las primeras 5 pruebas, sin buen resultado, obteniendo la pasta de soya quemada y mal texturizada, a pesar de variar el número de vueltas del cono hasta 5. Esta configuración requería que las mezclas no excedieran del 24 % de humedad, y la formulación no tuviera incluidos más de 30 % de subproductos húmedos, e iniciar con una temperatura mínima de 138 °C (Doud, 1994, com. per.). La razón de estos resultados pudo ser por el poco espacio libre entre la periferia externa de los anillos de presión (steamlocks) y la pared interna del barril del extrusor, lo que reduce el área de tránsito de la mezcla, y produce mayor fricción, por lo tanto, altas temperaturas. Aunque es probable que se hubieran obtenido buenos productos si se hubiese empleado una velocidad de alimentación arriba de 60 rpm, además de inyección de agua (sólo al inicio) y mayor número de vueltas hacia afuera del cono de nariz, ya que una baja dosificación da una mayor retención dentro del barril extrusor, lo que provoca que el producto se queme, particularmente en la zona final de cocción del tornillo del extrusor (Hauck and Huber, 1989; Quintero, 1993; Kearns, 1993), alcanzando temperaturas de hasta 150 °C.

El cambio de anillos de presión a otros de menor restricción (600-10/600-08/600-08/600-08) dió los mejores resultados en las pruebas 6,7,10 y 13 y fue propuesta para extrusión de alimentos peletizados (Doud, 1994, com. per.). Sólo fue necesario ajustar la dosificación del producto hasta 70 rpm y el número de vueltas del cono 5/16 " hasta 6, ya que éste al representar el dado de salida, es el último dispositivo por el que pasa el producto en el barril extrusor, y es el responsable de darle la densidad, textura y apariencia finales, controlando la capacidad del extrusor (Kearns, 1993; Miller, 1994). Cuando se usó un cono de nariz de ½ " (13 mm) con estos anillos de presión (steamlocks), y se aumentó gradualmente el número de vueltas hacia afuera en diferentes pruebas, nunca se estabilizó el proceso ni se obtuvieron buenos productos, por lo que se eliminó esta variable.

Se obtuvo pasta de soya texturizada como modelo para aplicar en la elaboración de coextruídos. Se hizo el precalentamiento con frijol de soya hasta 120-130 °C para obtener cocción inmediata y minimizar la pérdida del producto (Harper, 1981; Carver, 1989; Botting,

1991), y se agregó la pasta de soya humedecida con 35 % de humedad total (Harper, 1981). De inmediato texturizó el producto, alcanzando el barril temperaturas de cocción de 155 °C (Harper, 1981).

La pasta de soya empleada tuvo alrededor de 47.29 % de proteína, 0.29 % de lípidos y un 3.16 % de fibra, tal como lo sugiere Harper (1981) para procesarla. Durante el procesamiento de materiales ricos en proteínas, como la pasta de soya, se observa que estas macromoléculas experimentan cambios estructurales debido al incremento de la temperatura, presión y esfuerzos cortantes (Quintero, 1993; Kearns, 1994). Como la temperatura de la proteína y el agua se incrementa, el resultado es un extensivo desdoblamiento de la proteína con pérdida de su forma globular, tridimensional (forma nativa). Durante este paso, los enlaces iónico, hidrógeno y disulfuro son desdoblados (Harper, 1981; Stanley, 1989; Quintero, 1993). Después que esto ocurre, las cadenas de proteína relativamente lineares son libremente reorientadas y recombinadas por efecto del barril, tornillo y dado del extrusor. Esta alineación de las moléculas de proteínas ocurre en un campo cortante, caracterizado por un gradiente de velocidad. Los sitios reactivos de las moléculas adyacentes llegan a estar suficientemente cerca, que se forman enlaces intermoleculares, manteniendo estable la fibra desnaturalizada (Harper, 1981; Quintero, 1993; Kearns, 1994; Fellows, 1994). Una vez que la fibra es formada en el tornillo, se hace pasar por el dado donde se logra una reorientación final. Al salir por el dado, el vapor sobrecalentado se libera, lográndose una expansión (Harper, 1981; Quintero, 1993), dando una dispersión homogénea, irreversible y unida de todos los microingredientes a través de una matriz proteínica (Kearns, 1994).

Harper (1981) menciona que las temperaturas requeridas para procesar ingredientes proteínicos va desde 150-200 °C, y que la presión de descarga del extrusor varía desde 17 a 60 atm. Doud (1994, com. per.) menciona que la temperatura mínima de operación debe ser de 140 °C. Ambos criterios fueron observados en las pruebas que realizamos, sobre todo en la prueba final (155 °C).

En cuanto al tamaño de partícula para texturizar pasta de soya, se obtuvieron buenos resultados cuando se usó pasta de soya que pasaba por una malla 10 (2000 μ) por lo menos un 70 % y el resto pasaba por una malla 18 (1000 μ). Kearns (1994) recomienda para extrusores de un solo tornillo usar pasta de soya, cuyo 95 % de su molienda pase por una malla 100 (150 μ) y un máximo del 50 % pase por una malla 325 (45 μ). Pero posterior a estas pruebas, cuando se usaba pasta de soya que pasaba por una malla 18 (1000 μ) o más chica, nunca se pudo estandarizar el proceso, debido al fino tamaño de la harina.

Kearns (1994) sugiere que para extrusores de doble tornillo se puede emplear materia prima con un tamaño de partícula de hasta malla 8 (2360 μ). Este tamaño se aproxima mucho más al que usamos en el extrusor de un solo tornillo. Harper (1981) comenta que las harinas finas humedecidas tienden a ser más duras para alimentar, y tienen una menor tendencia al corte en el extrusor. Brian (citado por Harper, 1981) sugiere que el uso de harina resultará en más alta

productividad del sistema extrusor, porque la harina requiere más baja energía de entrada para texturización.

ELABORACION DE COEXTRUIDOS.

En la elaboración de coextruidos se aplicaron exactamente las condiciones tecnológicas en el extrusor que para texturizar pasta de soya, sin presentarse algún problema técnico para su fabricación, excepto para el coextruido 50 s:50 p, que por la humedad de la mezcla (36 %) resultó difícil que bajara por gravedad hasta el barril extrusor, y no alcanzó suficiente temperatura para texturizar (115 °C).

Se efectuó un precalentamiento del barril extrusor con frijol de soya entero, para iniciar con 120 °C-130 °C como lo sugiere Carver et al (1989), Botting (1991), Doud (1994, com. per.) antes de cada mezcla a coextruir.

EFFECTO DE LA INCLUSION DE SUBPRODUCTOS DE PESCADO EN LA TEMPERATURA Y AMPERAJE DEL PROCESO Y EN LA TEXTURA DEL PRODUCTO.

Para el coextruido 70 s:30 p, con 27 % de humedad inicial, se obtuvo una temperatura media de proceso de 146 °C, como lo menciona Doud (1994, com. per.). Carver et al (1989) obtuvo temperaturas de proceso superiores a ésta, desde 146-180 °C, pero el contenido de humedad inicial de la mezcla fue del 23 %, coextruyendo mezclas de vísceras de calamar con pasta de soya, y cabezas de camarón con pasta de soya en una proporción 25:75, por lo que se comprueba que a menor humedad, mayor temperatura de proceso. El producto obtenido de la mezcla coextruida tiene una textura muy similar a la pasta de soya texturizada, esto porque el aporte en materia seca del pescado es de apenas un 11 %, considerando la mezcla como un 100 %. Robinson (1985) reporta temperaturas de cocción de 149 °C, que es muy similar a la obtenida en el presente trabajo, usando un coextruido con la misma inclusión de desechos de bagre.

Para el coextruido 60 s:40 p (32.42 % de humedad inicial) se obtuvo una temperatura media de proceso de 137 °C, como sugiere Doud (1994, com. per.), pero cuando se coextruyó 50 s:50 p (36.38 % de humedad inicial), la temperatura media de proceso fue de 126 °C, aunque es a los 115 °C cuando se estabiliza el proceso. Este descenso en la temperatura de proceso viene dado por el aumento en la inclusión de subproductos húmedos de pescado. Esta mayor humedad tiene el efecto de enfriar el barril extrusor a temperaturas por abajo de 120 °C, lo que limita el cocimiento efectivo (Botting, 1991). Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Dominy y Lim (1991), quienes coextruyeron mezclas 50:50 y 40:60 de pasta de soya y vísceras de calamar respectivamente, obteniendo una temperatura media de proceso de 100 °C.

En cuanto al amperaje, éste bajó en la misma relación que la temperatura del proceso, debido a que al haber mayor humedad en la mezcla, hay menor fricción, y por lo tanto, un menor esfuerzo cortante o mecánico en el proceso, que puede traducirse en un ahorro de energía