

Elaboración de un "peletizado" flotante para tilapia (*Oreochromis niloticus*) con 30% de proteína

Paul Daniel Oquist Domo

MICROISIS:	_____
FECHA:	_____
ENCARGADO:	_____

ZAMORANO
Programa de Tecnología de Alimentos

Diciembre, 1999

#989

Elaboración de un “peletizado” flotante para tilapia (*Oreochromis niloticus*) con 30% de proteína

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

presentado por

Paul Daniel Oquist Domo

Zamorano, Honduras
Diciembre, 1999

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Paul Oquist

Zamorano, Honduras
Diciembre, 1999

DEDICATORIA

A mis padres Paul Oquist Kelly y Edith Domo que hicieron lo imposible para que llegara donde estoy.

A todos y cada uno de los integrantes de mi familia, a quien debo toda estima.

A la codicia de ser mejor y a la vanidad de manrenerse en el éxito.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre por ser el fiel amigo, el que me apoyó y estimuló a seguir adelante siempre y forjar en mí el deseo de superación personal.

A mi madre por ser la luz encendida al otro lado del portal, que silenciosamente iluminó la pasión por la vida y bienestar.

A la familia entera, la cual mediante el pensamiento me mantuvo de pie en los momentos más vulnerables.

A Javier Bueso quien fue un apoyo y un amigo para mí.

Al Dr. Daniel Meyer por comprenderme a pesar de mis defectos y debilidades.

A mis amigos de siempre, un gracias enorme donde quieran que estén.

A Antonio Salvador por ser el amigo-papá que cuidó y veló por mi bienestar. Gracias.

A Paul Peña por ser el amigo leal, hermano que me acompañó todos estos años incondicionalmente.

A Fernando Rojas por ser mi compañero y hermano.

A Franco Sangoluisa, Néstor Nuñez, Karlos Muñoz y José Bustos por ser más que amigos, unos excelentes amantes del saber vivir.

A Luis Maas, quien es el amigo que nunca falla.

A Ana Estela, Andrea y Marisela por los bonitos momentos que me regalaron.

A Jhilson, Denis, Hugo y Federico López por los grandes momentos de convivencia.

A Marvin, por ser una persona clave dentro de este estudio.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a Paul Oquist Kelly y al seguro estudiantil del "Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo" por su apoyo económico a lo largo de mis estudios en Zamorano.

RESUMEN

Oquist, Paul. 1999. Elaboración de un "Peletizado" flotante para Tilapia con 30% de Proteína. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras, 32p.

La extrusión es un proceso donde una mezcla de materiales crudos son calentados y cocinados por medio de altas temperaturas y un choque de presión. En los países en vías de desarrollo, la mayoría del alimento concentrado utilizado para la alimentación de tilapia es pulverizado, lo que presenta desventajas por las altas pérdidas durante el transporte, precipitación de nutrientes, deriva y contaminación del agua. En la Planta de Procesamiento de Granos de Zamorano se evaluaron tres velocidades de alimentación (1.8, 2.5 y 3.2 kg/min) y tres flujos de agua (0.6, 0.8 y 1 l/min) añadidos al proceso para obtener un "pellet" flotante para tilapia, empleando una máquina "peletizadora" marca Insta-Pro. Se evaluaron las características físicas del producto (densidad, resistencia física y flotabilidad) y se compararon los tratamientos usando la prueba Tukey de medias. Al aumentar la velocidad de alimentación del extrusor, el "pellet" tendió a ser más denso y a perder resistencia física, mientras que al aumentar el flujo de agua, el volumen y la resistencia física del "pellet" aumentaron. El tratamiento con un flujo de agua de 0.8 l/min y una velocidad de alimentación de 3.2 kg/min produjo un "pellet" con valores aceptables de densidad aparente (45 kg/Hl) y resistencia al manipuleo (19.5% de finos). Ningún "pellet" flotó en el agua. La no flotabilidad de los "pellets" se debió, probablemente, a la falta de suficiente presión de agua inyectada al extrusor.

Palabras claves: "pellet", características físicas, velocidad de alimentación del extrusor, flujo de agua, humedad.

Nota de Prensa

ZAMORANO EVALUA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN PARA LA ELABORACION DE "PELLETS" FLOTANTES PARA TILAPIA

En la planta de Granos de Procesamiento Zamorano se desea elaborar alimentos concentrados extruídos. Estos productos tienen una gran demanda en el mercado y para producirlos se deben determinar las condiciones adecuadas de operación del extrusor para cada producto específico.

Uno de estos productos son los "pellets" para la industria acuícola, la cual se ha acrecentado enormemente en los últimos años. La calidad de un "pellet" depende en gran parte de sus propiedades físicas como porcentaje de flotabilidad, resistencia física, densidad, forma (según uso) y estabilidad en el agua.

La calidad física se determina mediante pruebas por medio de herramientas sencillas determinando los parámetros a alcanzar realizando comparaciones con productos similares líderes en el mercado.

Para la elaboración se usó una dieta de 30% de proteína, una configuración de 10, 8, 8, 8 seguros de vapor (reguladores de presión) y un cortador con disco de agujeros múltiples (98) de 3 mm de diámetro. Se usaron flujos de agua de 0.6, 0.8, y 1 litro por minuto y velocidades de alimentación de 1.8, 2.5 y 3.2 kg/min.

En Octubre de 1999 se comprobó que la elaboración de este producto es posible en Zamorano y que puede convertirse en el futuro en un negocio interesante. El experimento arrojó como resultado que el "pellet" elaborado con un flujo de 0.8 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación muestra características de 19.5% de finos y 45 kg/Hl por hectolitro de densidad aparente, resultando ser el mejor "pellet" comparado con los de los otros tratamientos realizados.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Índice de Cuadros.....	xi
	Índice de Figuras.....	xii
	Índice de Anexos.....	xiii
1	INTRODUCCION.....	1
1.1	GENERALIDADES.....	1
1.2	DEFINICION DEL PROBLEMA.....	1
1.3	HIPOTESIS.....	2
1.4	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	2
1.5	ALCANCE Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	3
2	REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1	ASPECTOS GENERALES DE LA ACUACULTURA ACTUAL.....	4
2.2	PRINCIPIOS DE "PELETIZADO".....	4
2.3	DESCRIPCION DEL PROCESO.....	5
2.4	VARIABLES.....	6
2.4.1	Factores a considerar en la evaluación del producto final.....	7
2.5	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA EXTRUSION CON RESPECTO A OTROS PROCESOS DE "PELETIZACION".....	8
2.5.1	Ventajas.....	8
2.5.2	Desventajas.....	8
3	MATERIALES Y METODOS.....	9
3.1	UBICACION DEL ESTUDIO.....	9
3.2	DESCRIPCION DEL PRODUCTO.....	9
3.3	MATERIALES Y EQUIPO.....	9
3.3.1	Materiales.....	9
3.3.2	Equipo.....	10
3.4	METODOLOGIA.....	10
3.4.1	Diseño experimental.....	10
3.4.2	Variables físicas a medir.....	11

3.4.2.1	Densidad aparente.....	11
3.4.2.2	Pruebas de resistencia física.....	11
3.4.2.3	Pruebas de flotabilidad.....	11
3.4.3	Variables químicas a medir.....	11
3.4.3.1	Análisis de humedad.....	11
3.4.4	Análisis estadístico.....	11
3.4.5	Configuración de extrusor.....	11
3.4.6	Proceso de extrusión.....	11
3.5	ANÁLISIS ECONOMICO.....	12
4	RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
4.1	PRUEBAS PRELIMINARES DE APRENDIZAJE.....	13
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL "PELLET".....	14
4.3	HUMEDAD DEL "PELLET".....	18
4.3.1	ANDEVA.....	18
4.3.2	Comparación múltiple de medias (Tukey).....	18
4.4	ANÁLISIS ECONOMICO.....	20
4.4.1	Costos totales.....	20
5	CONCLUSIONES.....	21
6	RECOMENDACIONES.....	22
7	BIBLIOGRAFIA.....	23
8	ANEXOS.....	24

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Formulación utilizada para la elaboración del "pellet" para tilapia.....	9
2.	Flujo de agua y velocidad del alimentador de los tratamientos.....	10
3.	Efecto del flujo de agua y de la velocidad de alimentación sobre la densidad de "pellet" y la temperatura promedio del proceso.....	14
4.	Efecto del flujo de agua sobre la densidad y resistencia física del "pellet"	15
5.	Efecto de la velocidad de alimentación sobre la densidad y resistencia física del "pellet".....	15
6.	Efecto del flujo de agua y de la velocidad de alimentación sobre el % de finos del "pellet" y la temperatura promedio del proceso.....	16
7.	Efecto del flujo de agua y de la velocidad de alimentación sobre la humedad del "pellet" antes y después del secado.....	18
8.	Costos totales de producción de "pellets".....	20

INDICE DE FIGURAS

Figura

1. Efecto del tratamiento sobre la humedad antes y después del secado del
"pellet" 19

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de “pellets” flotantes por medio de extrusión.....	25
2.	Configuración del tornillo del extrusor de tornillo simple, modelo 600JR, Insta-Pro. 1996.....	26
3.	Tabla de recolección de datos de las características físicas del “pellet”...	27
4.	Tabla de recolección de datos durante la producción de “pellets” por medio del proceso de extrusión	28
5.	Costos fijos de elaboración de “pellets” en tanda de 8 horas.....	29
6.	Costos variables de la elaboración del “pellet” en tanda de 8 horas.....	31
7.	ANDEVA para las variables densidad y porcentaje de finos.....	32
8.	ANDEVA para humedad del “pellet” antes y después del secado.....	33

1. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

La acuicultura es uno de los rubros de más rápida expansión en el mundo. Debido a que la captura de los mares llegó a su tope, se ha optado por el cultivo de peces en lagunas artificiales, siendo la tilapia de los más importantes. La producción mundial de tilapia para el año 1996 fue de 801,118 toneladas métricas, de las cuales 53,617 toneladas métricas fueron producidas en América latina y el Caribe (New, 1999). Al representar el 80% de los costos operativos, la alimentación se vuelve un factor importante a considerar y se deben buscar las mejores alternativas que eviten el desperdicio y maximicen la producción.

El uso de la extrusión ha experimentado recientemente un importante incremento en la industria de alimentos concentrados para tilapia, especialmente en la elaboración de "pellets" flotantes, ya que ayuda a reducir pérdidas por sus características físicas superiores a los de los alimentos en polvo (Fichtali y Van de Voort, 1989). Este proceso es una solución para reducir los costos de alimentación.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

El problema prevaleciente en las explotaciones acuícolas, sobre todo en las poco tecnificadas es que el alimento utilizado está pulverizado, lo cual representa un grave problema, ya que la pérdida de los nutrientes es grande por precipitación o por los recambios de agua; además de que alteran la calidad del agua.

En la actualidad en este rubro bajo sistemas intensivos y semi-intensivos de manejo se está acrecentando el uso de alimentos expandidos. La presentación de estos alimentos promueve el ahorro ya que sus características de flotabilidad y de mayor estabilidad en el agua hacen que los peces los aprovechen mejor, reduciendo así las pérdidas. Los alimentos "peletizados" son producidos por pocas casas comerciales que dominan esta industria y que a veces no se encuentran distribuidos a lo largo de nuestras naciones, por lo que el transporte de estos alimentos resulta costoso. Esto, además trae consigo la destrucción parcial del producto produciéndose un porcentaje considerable de pérdida.

Zamorano cuenta con un equipo de extrusión. La maquinaria adquirida está destinada a la elaboración de varios productos extruidos.

Para optimizar la producción por extrusión se deben realizar estudios para obtener los parámetros necesarios para la elaboración de dichos productos. En este estudio se buscó definir los parámetros a utilizar en la elaboración de "pellets" flotantes para la alimentación de tilapia.

1.3 HIPOTESIS

Hipótesis nula

No existe diferencia en cuanto a las características físicas de densidad aparente, resistencia física y flotabilidad del "pellet" flotante para tilapia modificando las condiciones de flujo de agua y velocidad de alimentación del extrusor marca Insta-Pro.

Hipótesis alternativa

Al modificar las condiciones de flujo de agua y velocidad de alimentación del extrusor marca Insta-Pro se encuentran diferencias en las características físicas de densidad aparente, resistencia física y flotabilidad del "pellet" flotante para tilapia.

1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Elaborar un "peletizado" flotante de 30% de proteína para la producción de tilapia en Zamorano al menor costo posible y con la mejor calidad, y que tenga las características de densidad, flotabilidad, resistencia física y estabilidad en el agua, apropiadas a la producción de tilapia.

Objetivos específicos

- Determinar la velocidad de alimentación óptima del extrusor que rinda un "pellet" de alta calidad en cuanto a las características físicas de flotabilidad (95-100%), resistencia física (95%) y densidad (45 a 53 kg/Hl).
- Determinar la humedad óptima a la que debe ajustarse el material crudo para producir el "pellet" de mejor calidad en cuanto a las características físicas antes mencionadas.
- Estimar los costos del "pellet" procesado bajo las condiciones óptimas de velocidad de alimentación y humedad.

1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Alcance

Los resultados de este estudio promoverán la manera técnicamente más factible de producir "pellets" flotantes para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Limitaciones

Es muy difícil elaborar pellets a manera de diversificación de líneas de productos ya que eleva los costos de mano de obra y energía, así también deprecia la maquinaria con mayor rapidez.

Debió haberse trabajado con una bomba de agua capaz de crear 7.05 kg/cm^2 de presión, para obtener una distribución de agua uniforme en el material crudo y no con una manguera con la presión normal del grifo de agua. Estos factores limitaron la calidad del producto, ya que el agua es un participante fundamental en la elaboración de productos expandidos. Esta determina la forma y el grado de expansión para obtener un "pellet" flotante. Sin agua (a 7.05 kg/cm^2 de presión) el "pellet" no flotará y su forma será anormal y estéticamente no aceptable; su resistencia física será menor y su densidad será variable cada vez que se realice el "pellet" flotante bajo estas pobres condiciones de operación.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ACUACULTURA ACTUAL

La producción mundial de especies acuáticas tuvo una tasa de crecimiento de 11.6% entre 1984 y 1996, mientras que la producción de alimento acuático creció en un 12.9% entre 1995 y 1996 (Kearns, 1998). La industria acuícola es un rubro que se ha acrecentado en las últimas décadas en los países centroamericanos (Lim, 1997).

La producción de tilapia en Honduras para el año 1996 fue de 190 toneladas métricas ocupando el décimo lugar mundial en producción, lo que representa aproximadamente 7 millones de dólares al año (New, 1999). En el departamento de Olancho, Honduras, se están produciendo actualmente 5,500 kg semanales (Bueso, 1999. Comunicación personal¹).

Según Kenny (1999) semanalmente se exportan de Honduras hacia la ciudad de Miami, Estados Unidos, 13,600 kg de filete de tilapia debidamente empacados y se venden en supermercados como producto fresco. La alimentación es parte importante en estos sistemas ya que puede representar hasta un 80 % de los costos de producción (Popma y Lovshin, 1996).

2.2 PRINCIPIOS DE "PELETIZADO"

La extrusión aplicada a la elaboración de alimento animal y humano ha sido una técnica que se viene usando desde hace unos 50 años. Extrusión es definida como el proceso mediante el cual se da una determinada forma y tamaño y mejores condiciones de digestibilidad a un producto elaborado con granos ó harinas.

La extrusión termoplástica es el proceso donde una mezcla de materiales crudos son calentados y cocinados por medio de altas temperaturas y la aplicación de una diferencia inmediata de presión (Kearns, 1998). El proceso de extrusión termoplástica es considerado un tratamiento térmico de alta temperatura y tiempo corto que transforma una variedad de ingredientes crudos en productos modificados, intermedios y productos terminados (Mercier *et al.*, 1989).

¹ Bueso, J. 1999. Jefe de Planta de Procesamiento de Granos, Zamorano, Honduras

El extrusor de tornillo simple consta de tres secciones: alimentación, amasado y cocción. Es capaz de procesar harinas de cereales con una humedad arriba del 20% (no más de 40%) (Mercier *et al.*, 1989).

“Peletizar” es hacer pasar la masa tratada a través de dados (agujeros) que le dan forma cilíndrica y a la salida al exterior es cortado por una serie de navajas a una longitud determinada por la velocidad de las mismas (Robinson, 1999). Según Payne (1998) la calidad del “pellet” puede expresarse como el grado de resistencia física y valor nutricional necesarios para maximizar su vida útil al menor costo.

Las razones más importantes del por qué “peletizar” para la elaboración de un alimento acuático son la prevención de la separación de los ingredientes, el incremento del consumo alimenticio y la reducción del desperdicio en fábrica (Payne, 1998).

Un buen “pellet” flotante para tilapia debe tener entre 95 y 100% de flotabilidad durante seis a ocho horas en el agua sin llegar a perder su integridad física, con una densidad entre 45 a 53 kg/Hl, un porcentaje de finos de menos de 1% y un color uniforme de los “pellets”, lo que indica una buena mezcla. Para alcanzar un óptimo rendimiento, aparte de otros factores, es importante considerar dos requerimientos: una buena formulación del alimento y suficiente transferencia de calor en el comprimido (Payne, 1998).

Los estudios sobre el proceso de “peletización” se están conduciendo constantemente para reducir los costos del alimento, valiéndose del uso alternativo de otros ingredientes y del cambio de las características finales del producto (tamaño) (Kearns, 1998).

2.3 DESCRIPCION DEL PROCESO

A diferencia de los alimentos para otros animales la materia prima a usarse para elaborar alimento acuático necesita fina molienda, corto período de acondicionamiento, alta temperatura y alto contenido de humedad (Dominy, 1998). En el Anexo 1 se presenta el diagrama del flujo del proceso de extrusión, que se explica a continuación.

Antes del proceso de extrusión se debe realizar un preacondicionamiento para ajustar la humedad de la materia prima. Esto consiste en someter la mezcla a una humedad más alta (un total de 20 a 50%) de la que trae la materia prima (9-13%). Un adecuado nivel de humedad de la mezcla determina la forma y el grado de expansión para obtener un “pellet” flotante. El preacondicionamiento (a un 20 a 50%) aumenta el tiempo de residencia, reduce el consumo de poder mecánico e incrementa la capacidad, ya que el producto seco es más difícil de transportar a través del tornillo del extrusor. La humedad final óptima del producto es de un 10 a 12% (Mercier *et al.*, 1989).

En el mezclado se debe tomar en cuenta el tiempo, el tamaño de la partícula y su densidad así como también si hay grumos. El mezclado es importante ya que uniformiza la mezcla para que los nutrientes sean distribuidos en forma homogénea en todo el producto y así asegurar de que cada “pellet” tenga igual valor nutricional.

Luego se procede a la **extrusión** cuyo proceso es el siguiente:

Cocimiento: El rango recomendado de temperatura para elaborar un "pellet" flotante es entre 140 °C y 160 °C, siendo la óptima 150 °C. El calor puede ser producido por inyección de vapor o por resistencias eléctricas. En el extrusor Insta-Pro Jr, el calor es creado por medio de la fricción producida entre el tornillo, el alimento y la camisa o chaqueta que cubren el tornillo. El tiempo de cocción es breve (8 a 10 segundos). Las temperaturas antes mencionadas aumentan la digestibilidad de las proteínas y contribuyen a disminuir la cantidad de vitaminas en el alimento "peletizado". En este paso se lleva a cabo un tipo de esterilización, por el mismo calor producido durante la cocción, que es capaz de destruir bacterias, mohos y levaduras; los cuales podrían tener un efecto negativo durante el almacenamiento. Además, el calor produce la gelatinización de las partículas de almidón (responsables de la expansión y cohesividad del producto final), la ruptura de partículas de aceite y la forma y textura del producto.

En el cocimiento, además, es necesario añadir agua (por medio de una bomba de agua conectada a la sección de alimentación) al producto con el fin de enfriar la mezcla. El flujo de agua recomendado por Insta-Pro es de 1.25 litros por minuto a 7.05 kg/cm².

Expansión: La mezcla cocinada, que ha sido sometida a una fuerte presión y altas temperaturas dentro del extrusor, es expuesta súbitamente a un ambiente con menor presión y temperatura al salir al exterior. Esta disminución en presión genera la evaporación instantánea del agua de la mezcla hasta en un 50%, expandiendo el producto. El material responsable de la expansión es el almidón, que es proporcionado generalmente por la harina ó sémola de maíz. La dosis de agua, la proporción de almidón, grasa y fibra en la mezcla, y la cantidad de presión en la extrusión, son los factores que limitan la expansión. La humedad normal del producto final de la extrusión esta entre 14 y 16% y el producto requiere enfriamiento previo a secado.

Secado: A menos que se le haya incorporado vapor (aumenta la capacidad de la máquina y da una mejor apariencia) se debe secar el producto, para lo que es necesaria una secadora de banda. Según Insta-Pro (1996) el contenido de humedad final debe ser menor a 11%.

En el **empaquetado** tomamos en cuenta el material de empaque (generalmente sacos de filmína plástica), la humedad relativa del empaque y la atmósfera de empaquetamiento. En el **almacenaje** hay que controlar la temperatura, la humedad relativa y el tiempo de almacenaje.

2.4 VARIABLES

Según Harper (1981), las variables independientes en el ámbito de experimentación en los procesos de extrusión son: los ingredientes de la dieta, la humedad de la mezcla, las condiciones de preacondicionamiento, el tipo de tornillo (doble o simple), la configuración del tornillo del extrusor y el número de dados del cabezal, la velocidad de la alimentación y la velocidad del cortador.

El agua es un factor determinante (se recomienda un flujo de entre 0.6 y 1.25 litros por minuto a 7.05 kg/cm²) en la obtención de un producto de calidad. Con el agua se mejora la forma del "pellet" y disminuimos los problemas por sobrecalentamiento y aumentos de presión. Al haber un exceso de agua en el sistema, las temperaturas disminuirán junto con la presión, por consiguiente, la expansión será menor y el producto final resultará comprimido. Por el contrario si no existe la suficiente cantidad de agua en el sistema el almidón no se gelatiniza totalmente y por lo tanto la expansión no es adecuada y el producto final no flotará.

La forma final del "pellet" puede modificarse variando el flujo de agua aplicado a la mezcla en el cocimiento (Doud, 1998. Comunicación personal²). Si se disminuye la velocidad de alimentación (se recomienda entre 30 y 60%) se reduce la temperatura a la altura del dado que es la más importante. A medida se aumenta la velocidad de alimentación va a aumentar la presión en el dado, lo que conlleva un aumento de temperatura, resultando en una mayor expansión hasta cierto límite (140-160 °C) (Doud, 1998. Comunicación personal²).

2.4.1 Factores a considerar en la evaluación del producto final

En la evaluación las variables dependientes más importante son las características del producto final. Las típicas características del producto que se registran son: densidad aparente y real, flotabilidad, resistencia física, textura, gelatinización, formación de fibra, estabilidad en el agua, sabor, color y apariencia (Harper, 1981).

Si la flotabilidad es mayor, habrá mayor consumo y se reduce considerablemente el desperdicio de alimento en el agua (Payne, 1998).

Con un extrusor de tornillo simple y bajo condiciones de temperatura de 150 °C, 1.2 litros por minuto de flujo de agua (a 7.05 kg/cm²), una velocidad de alimentación de 50% y un contenido de humedad de la materia prima de 9% se puede obtener un "pellet" de aproximadamente 100% de flotabilidad (Insta-Pro, 1996). La humedad del extruido antes de secarlo varía entre 14 y 16%.

La cohesividad depende de la formulación (del porcentaje de almidón) para obtener una buena gelatinización. También depende de que se realice el proceso dentro de los parámetros adecuados, lo que se traduce en un "pellet" de mayor resistencia al manipuleo (Doud, 1998. Comunicación personal²).

Si el "pellet" resulta con una densidad aparente (cuánta masa ocupa en un volumen) adecuada (45 a 53 kg/hectolitro) habrá facilidad de transporte y almacenamiento, esto reduce costos lo que resulta en una mayor eficiencia en la producción (Payne, 1998). La densidad del "pellet" es inversamente proporcional al grado de expansión, que está determinado por la proporción de almidón de la formulación y la presión que se acumule en el proceso. Para alcanzar la expansión adecuada se debe realizar la extrusión con materiales crudos que tengan entre 30 y 35% de almidón; algunas materias primas pueden ser maíz (el mejor), yuca, arroz, trigo (Doud, 1998. Comunicación personal²).

²Doud, J. 1999. Técnico de Insta-Pro International. IA, USA

2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA EXTRUSION CON RESPECTO A OTROS PROCESOS DE "PELETIZACION"

Según Robinson (1999) las ventajas y desventajas se pueden resumir en:

2.5.1 Ventajas

- El proceso de extrusión es considerablemente más rápido.
- La expansión puede ser controlada para obtener un producto flotante, semiflotante o no flotante.
- La alta presión, temperatura y tiempo de cocción hacen a las proteínas y carbohidratos más disponibles al proceso digestivo del animal, resultando en una mejor conversión alimenticia en el cultivo de peces.
- Una mejor digestibilidad significa menos desperdicio por sistemas de manejo.
- Se puede producir "pellets" de varios tamaños, uniformes y con menos finos, lo que se traduce en menor alteración de la calidad del agua.

2.5.2 Desventajas

- Las altas temperaturas de extrusión causan la degradación de algunos nutrientes, medicamentos y vitaminas.
- La inversión inicial del equipo hace que sea significativamente más caro el proceso de "pelletización".
- El producto es menos denso (más voluminoso) y podría llenar un camión de carga antes de que éste alcance su límite máximo de peso (20,000 kg para un camión de carga estándar).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACION DEL ESTUDIO

El estudio fue realizado en la Planta de Procesamiento de Granos de Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. El área de elaboración de productos extruídos incluye un molino para granos, una mezcladora de ingredientes, el extrusor, una secadora y por último un área de almacén del producto terminado.

3.2 DESCRIPCION DEL PRODUCTO

El producto elaborado fue un “pellet” flotante hecho de acuerdo a la formulación proporcionada por Insta-Pro (Cuadro 1).

3.3 MATERIALES Y EQUIPO

3.3.1 Materiales

Mezcla para “pellet”: Se utilizó una dieta para tilapia elaborada en la planta de Granos de Zamorano según recomendación de Insta-Pro; con 30% de proteína cruda y cuya formulación se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Formulación utilizada para la elaboración del “pellet” para tilapia.

Ingredientes	% en la formulación
Harina de pescado 65%*	5.0
Harina de soya 44%*	44.2
Harina de trigo	20.0
Aceite de palma	1.0
Harina de maíz	27.0
Harina de ave	2.5
Sal	0.3

*proteína cruda

3.3.2 Equipo

- Mezcladora horizontal con 150 kg de capacidad.
- Extrusor: Inta-Pro Modelo: 600 Jr, tornillo simple de tres secciones, motor de 50 HP, alcance de hasta 200 °C.

El extrusor consiste de: una tolva donde se deposita el material crudo.

- Un motor de 50 HP.
- Un barril horizontal o chaqueta de temperatura que consta de tres secciones separadas cada 30 cm que son:
La sección de alimentación,
La sección de amasado.
La sección de cocimiento final, donde se da la salida del producto.
- Un cabezal o dado, de 98 agujeros de 3 mm de diámetro.
- Un tornillo sin fin simple el cual esta ubicado dentro del barril.
- Un sistema de corte de 5 HP calibrada a 6½ (expresada en una escala de velocidad cuyo máximo es 10).
- Secadora: La cual llevará el producto final a la humedad deseada (aproximadamente 11%).

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 Diseño experimental

El diseño experimental fue un factorial de tres (flujo de agua) por tres (velocidad del alimentador), con tres repeticiones. Se utilizó un diseño completamente al azar para la distribución de los tratamientos. En el Cuadro 2 se presenta las condiciones para los tratamientos.

Cuadro 2. Flujo de agua y velocidad del alimentador de los tratamientos.

Tratamiento	Flujo de agua l/mín	Velocidad del alimentador %
0.6/50	0.6	50 ^a
0.6/70	0.6	70 ^b
0.6/90	0.6	90 ^c
0.8/50	0.8	50
0.8/70	0.8	70
0.8/90	0.8	90
1.0/50	1.0	50
1.0/70	1.0	70
1.0/90	1.0	90

^a1.8 kg/mín

^b2.3 kg/mín

^c3.2 kg/mín

3.4.2 Variables físicas a medir

3.4.2.1 Densidad aparente. Para las pruebas de densidad se utilizó la balanza Winchester Bushel. Pesa una masa de "pellets" que cabe en un recipiente de 0.303 hectolitros. La densidad óptima es de 45 a 53 kg/Hl (Insta-Pro, 1996).

3.4.2.2 Pruebas de resistencia física. Se colocaron dos kilogramos de "pellet" en una tómbola donde se les hizo girar por dos minutos, al cabo de los cuales se retiró los "pellets" de la tómbola, se pasaron por un tamiz número 10/64 y se pesó lo tamizado. El porcentaje de finos que produjo el "pellet" debido a la fuerza mecánica aplicada expresa su resistencia física. No debería ser mayor de 10% (Insta-Pro, 1996).

3.4.2.3 Pruebas de flotabilidad. Se extrajeron 100 pellets al azar que fueron colocados en una pecera con 12 litros de agua; al cabo de una hora se contó la cantidad de pellets aún flotantes, y expresándolo en base 100, dió el porcentaje de flotabilidad del "pellet". La flotabilidad estándar de un "pellet" para peces debe ser entre 95 y 100% (Insta-Pro, 1996).

3.4.3 Variables químicas a medir

3.4.3.1 Análisis de humedad. Se analizó la humedad (según el método AOAC, 1990) (16 horas a 105 °C) de la mezcla, y en cada tratamiento la humedad del "pellet" a la salida del extrusor y la humedad del "pellet" después del secado. El secado se realizó en una secadora de banda donde el "pellet" fue expuesto por 10 minutos con la secadora calibrada a 100 °C.

3.4.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un ANDEVA de los factores de los tratamientos (flujo de agua y velocidad de alimentación). Se realizó un análisis de residuales para determinar el grado de ajuste a la normalidad y la presencia de valores extremos. Luego de determinar la significancia de las diferencias entre los tratamientos para cada variable (flotabilidad, resistencia física y densidad), se procedió a realizar una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) utilizando un nivel de significancia de 0.05. Por último se realizaron regresiones entre las variables dependientes e independientes. Todos estos análisis se realizaron en el programa SAS® (1990).

3.4.5 Configuración del extrusor

La configuración del extrusor que recomienda Insta-Pro y que fue usada en el experimento fue la siguiente:

Usar tornillos de hélice simple en la primera y segunda sección. Colocar cinco anillos planos espaciadores al inicio de la primera sección del eje, luego colocar un seguro de vapor ("steamlock") (anillo grueso rasgado) de numeración 10 (8.9 cm de diámetro), luego colocar el primer tramo de tornillo.

Colocar cuatro espaciadores al inicio de la segunda sección de eje, seguido colocar un seguro de vapor de numeración 8 (9.2 cm de diámetro). Colocar el segundo tramo de tornillo. Esta misma operación se repite al inicio de la tercera sección del eje, pero con tornillo de hélice doble.

En la parte terminal de la tercera sección del eje se debe colocar tres espaciadores, luego colocar un seguro de vapor de numeración 8. Asegurar toda la sección con una bala llana ("flat bullet") (tornillo inverso plano que aprieta las secciones) (Anexo 2). Por último colocar las chaquetas y conectar los termómetros.

El cortador del extrusor ("cutter") que se utilizó consta de un disco plano con 98 aberturas de tres milímetros de diámetro.

3.4.6 Proceso de extrusión

Los ingredientes fueron pesados según la formulación indicada (Cuadro 1) y 100 kg fueron colocados en la mezcladora, donde se mezcló por 10 minutos. Se conectó la manguera al extrusor para que a la salida de la última chaqueta se pudiera medir el flujo de agua mediante un cronómetro y una probeta, luego esta fue desconectada. A continuación se procedió de la siguiente manera:

Se colocó la mezcla en la tolva del extrusor.

Se encendió el cortador.

Se encendió el extrusor.

Se encendió la alimentación a 30%.

Se conectó la manguera al extrusor.

Se operó la máquina a 30% de alimentación, se aumentó poco a poco la alimentación hasta alcanzar 140 °C que es cuando ya empieza a salir el "pellet" para nuestro propósito. Se colocó la alimentación en 50, después a 70 y por último a 90% (según el tratamiento a utilizar), velocidades en las cuales se muestreó. Cuando se obtuvo el "pellet", se transportó a la tolva de la secadora donde al finalizar el secado se logró una humedad de aproximadamente 14%. Por último se embolsó el alimento en sacos y se almacenó. El producto seleccionado para el análisis de las características físicas y químicas tuvo un peso de cinco kilogramos y se extrajo mediante un muestreo al azar tomando un tercio de la muestra al inicio, en el centro y al final del saco.

3.5 ANALISIS ECONOMICO

En el análisis económico se estimó el costo de producción de los "pellets", rentabilidad, costos fijos y variables y depreciación de la maquinaria.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 PRUEBAS PRELIMINARES DE APRENDIZAJE

Se hicieron dos pruebas preliminares de aprendizaje donde se usó una mezcla con 9% de humedad y con adición de agua pero con flujo no determinado donde se logró obtener "pellets" con forma esférica pero en una proporción baja con relación a la cantidad de material cocido deforme, esto se debió a que el flujo de agua aplicado fue mal distribuido y no constante.

Se realizaron pruebas ajustando la humedad de la mezcla a 15, 18 y 20%. Estas no resultaron debido a que se formaron grumos de mezcla a la altura del cabezal que taponaron los dados y causaron que se trabara el tornillo.

Se probaron varias velocidades de alimentación hasta encontrar una que satisficiera los requisitos (producto no pulverizado) para la elaboración del "pellet". En general se pudo observar que:

- Fue necesario una velocidad mínima de 50% (1.8 kg/min) para obtener un "pellet" con forma esférica y flotabilidad.
- Se perdió cierta cantidad de mezcla (alrededor de 40 kg) mientras el extrusor alcanza la temperatura óptima de operación.
- La temperatura mínima necesaria para llegar a la expansión de los "pellets" fue de 130 °C. En estas pruebas la temperatura alcanzó más de 180 °C y el producto se quemó.
- Al usar velocidades de alimentación arriba de 3.2 kg/min con flujos de agua menores de 0.6 l/min, la presión interna llegó a tal punto que el amperaje se disparó por encima de 120, que es el límite del extrusor. Hubo que remplazar fusibles.
- El voltaje no varió.
- El tiempo necesario para alcanzar la expansión del producto fue en promedio de 20 minutos, desde que se encendió hasta que empezó a producir "pellets".

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL "PELLET"

Tanto el modelo, como el efecto del flujo de agua, la velocidad de alimentación fueron altamente significativos ($P < 0.0001$). La interacción entre el flujo de agua y la velocidad de alimentación fue significativa para la variable densidad ($P < 0.001$), mientras que para la variable porcentaje de finos no fue significativa. Esto nos indicó que no siempre con mayores velocidades la densidad va a ser mayor porque al aumentar el flujo de agua disminuye la densidad del producto. El modelo explicó el 99% de los datos analizados ($R^2 = 0.99$). El coeficiente de variación fue de 0.93 para la variable densidad, mientras que para la variable resistencia física fue de 11.78, indicando que los datos recolectados son confiables.

El tratamiento con flujo de agua de 0.6 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación fue el único que produjo "pellets" con mínima flotabilidad (5%), por lo que no se hizo un análisis estadístico. En el Cuadro 3 se observa que a medida que aumentó la velocidad de alimentación la temperatura aumentó. Con velocidad de alimentación determinada, se observó que al aumentar el flujo de agua, la temperatura disminuyó, aunque esta disminución no fue significativa (Cuadro 4). A medida aumentó la temperatura, la densidad aparente del "pellet" aumentó. Los rangos de temperatura estuvieron dentro del recomendado (130-160 °C).

El tratamiento de flujo de agua de 0.6 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación resultó ser superior en cuanto a la densidad aparente del "pellet" seguido de la combinación de flujo de agua de 0.8 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación. Ambos se ubicaron dentro del rango recomendado (45 a 53 kg/Hl). Aún habiendo obtenido la densidad recomendada, la flotabilidad de los "pellets" fue nula, excepto en el tratamiento de 0.6 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación que presentó una flotabilidad insignificante (<5%). Esto se debió a que la forma y longitud de los "pellets" fue irregular, ocupando más volumen de lo normal en un "pellet" industrial.

Cuadro 3. Efecto del flujo de agua y de la velocidad de alimentación sobre la densidad del "pellet" y la temperatura promedio en el proceso.

Flujo de agua l/min	Velocidad de alimentación kg/min	Densidad* aparente kg/Hl	Temperatura* ¹ °C
0.6	3.2	48.375 ^a	162.5 ^a
0.8	3.2	45.075 ^b	154.1 ^b
0.6	2.5	43.800 ^{bc}	146 ^c
1.0	3.2	42.675 ^c	152.6 ^b
0.8	2.5	42.300 ^{cd}	145.7 ^c
1.0	2.5	41.175 ^d	140.1 ^d
0.6	1.8	38.700 ^e	135 ^e
0.8	1.8	38.100 ^e	132.8 ^e
1.0	1.8	36.300 ^f	132.4 ^e

*Tratamientos con igual letra no son significativamente diferentes.

¹Temperatura promedio durante el proceso.

Cuadro 4. Efecto del flujo de agua sobre la densidad y resistencia física del "pellet".

Flujo de agua*	Temperatura* ¹	Densidad*	% de finos*
l/min	°C	kg/Hl	
0.6	147.8 ^a	43.60 ^a	64 ^a
0.8	144.2 ^a	41.18 ^b	49.5 ^b
1.0	141.7 ^a	40.05 ^b	11.7 ^c

*Medias dentro de la variable velocidad de alimentación.

*Tratamientos con igual letra no son significativos.

¹Temperatura promedio durante el proceso.

A medida que se aumentó la velocidad de alimentación, aumentó la densidad del "pellet" y a medida que aumentó el flujo de agua la densidad disminuyó. Esto se debió a que al aumentar la velocidad de alimentación de la mezcla ésta recibió menos agua, lo que disminuyó la gelatinización del almidón. Esto dió como resultado un menor grado de expansión que resultó en un "pellet" más compacto. Esta tendencia se observa mejor en los Cuadros 4 y 5.

El Cuadro 4 muestra que a medida que se aumentó el flujo de agua, la densidad aparente del "pellet" disminuyó ya que hay mayor expansión y aumenta el volumen con relación a la masa que se tiene, aunque no existió diferencia de pasar de 0.8 a 1 l/min ($P < 0.001$). El porcentaje de finos disminuyó considerablemente ($P < 0.0001$) debido a que una mayor humectación resulta en una mayor cohesividad del producto y una mayor gelatinización del almidón que hace al "pellet" más compacto y resistente al manipuleo. Con un adecuado nivel de humedad (1.2 l/min a 7.05 cm² de presión), el almidón se hidrata y al someterse a altas temperaturas se produce el proceso de gelatinización que confiere cohesividad a las partículas de los ingredientes de la mezcla.

En el Cuadro 5 se observó que al aumentar la velocidad de alimentación, (la mezcla recibe menor humedad) la temperatura aumentó ($P < 0.0001$). También la densidad aparente sufrió un aumento al igual que el porcentaje de finos en el "pellet" ($P < 0.001$). El "pellet" resultante posiblemente tendió a perder volumen y cohesividad debido a la falta de humedad suficiente para realizarse una buena gelatinización del almidón.

Cuadro 5. Efecto de la velocidad de alimentación sobre la densidad y resistencia física del "pellet".

Velocidad de alimentación	Temperatura* ¹	Densidad aparente*	% de finos*
(kg/min)	°C	kg/Hl	
1.8	133.4 ^a	37.70 ^a	21.4 ^a
2.5	143.9 ^b	42.43 ^b	34.3 ^b
3.2	156.4 ^c	45.38 ^c	36.48 ^c

*Medias dentro de la variable velocidad de alimentación.

*Tratamientos con igual letra no son significativos.

¹Temperatura promedio durante el proceso.

Cuadro 6. Efecto del flujo de agua y de la velocidad de alimentación sobre el % de finos del "pellet" y la temperatura promedio del proceso.

Flujo de agua l/min	Velocidad de alimentación kg/min	% de finos*	Temperatura* ¹ °C
1.0	1.8	4.20 ^a	132.4 ^e
0.8	1.8	10.00 ^{ab}	132.8 ^e
1.0	2.5	12.40 ^b	140.1 ^d
1.0	3.2	18.45 ^b	152.6 ^b
0.8	3.2	19.50 ^b	154.1 ^b
0.8	2.5	20.00 ^b	145.7 ^e
0.6	1.8	50.00 ^c	135 ^e
0.6	2.5	70.50 ^d	146 ^e
0.6	3.2	71.50 ^d	162.5 ^a

*Tratamientos con igual letra no son significativos.

¹Temperatura promedio durante el proceso.

Los tratamientos de 1.0 l/min y de 0.8 l/min con 1.8 kg/min de velocidad de alimentación fueron los que menos porcentaje de finos presentaron, lo que indica que mostraron una mayor resistencia física (Cuadro 6).

A medida aumentó la temperatura (covariable), el porcentaje de finos aumentó. Al incrementar el flujo de agua, aumentó la resistencia física del "pellet". Esto fue debido a que al recibir la mezcla mayor cantidad de agua, hubo mayor cohesividad ya que el agua es un componente vital para que se lleve a cabo la unión de las partículas, porque hidrata el almidón que en presencia de calor se gelatiniza. Esta tendencia se apreció mejor en el Cuadro 5.

A medida que se incrementó la velocidad de alimentación a un flujo determinado el porcentaje de finos aumentó. Esta disminución en resistencia física es significativa de 1.8 a 2.5 kg/min pero no lo es de 2.5 a 3.2 kg/min, esto se repite tanto a 0.6, 0.8 como a 1 l/min de flujo de agua.

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con flujo de 1.0 l/min y de 0.8 l/min en combinación con velocidades de alimentación de 2.5 y 3.2 kg/min.

El tratamiento de flujo de agua de 0.6 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación que fue superior en cuanto a características de densidad, resultó ser deficiente en cuanto al porcentaje de finos.

El tratamiento de 0.8 l/min de flujo de agua y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación que ocupó el segundo lugar en cuanto a la densidad (adecuada), también resultó ser el que mostró la segunda mejor resistencia física, lo que lo convierte en el mejor tratamiento (Cuadros 3 y 6).

En el análisis de regresión se confirmaron las tendencias observadas en la comparación múltiple de medias. El modelo de regresión del efecto del flujo de agua sobre la variable dependiente densidad aparente no fue significativo ($P < 0,2704$) y explicó apenas el 16,9% de los datos ($R^2 = 0,169$).

El modelo de regresión del efecto del flujo de agua sobre la variable dependiente porcentaje de finos fue significativo ($P < 0,0025$) y explicó el 75% de los datos observados ($R^2 = 0,75$). El modelo de regresión fue el siguiente:

$$\% \text{ finos} = 135,36 - 130,79X$$

donde X = flujo de agua en l/min

De acuerdo con la regresión, usando flujos de agua menores de 0,96 l/min se puede obtener un "pellet" con no más de 10% de finos (recomendado).

El modelo de regresión del efecto de la velocidad de alimentación sobre la densidad aparente fue significativo ($P < 0,0015$) y explicó el 78% de los datos. ($R^2 = 0,78$). El modelo de regresión fue el siguiente:

$$\text{Densidad} = 28,40 + 0,19(X/0,036)$$

donde X = velocidad de alimentación en kg/min

Aplicando este modelo de regresión utilizando velocidades superiores de 3,1 kg/min, la densidad aparente estará dentro del rango recomendado de 45-53 kg/Hl.

El modelo de regresión del efecto de la velocidad de alimentación sobre El porcentaje de finos no fue significativo ($P = 0,5171$) y explicaba apenas el 6% de los datos ($R^2 = 0,0623$). Este pobre ajuste de los modelos de regresión demuestra que tanto las diferencias de densidad final del "pellet" y cohesividad entre tratamientos sólo pueden ser explicados por modelos de regresión múltiple ya que hay mucha interacción entre las variables independientes (velocidad de alimentación y flujo de agua).

4.3 HUMEDAD DEL "PELLET"

4.3.1 ANDEVA

Los resultados del ANDEVA muestran que tanto el modelo, como el efecto del flujo de agua, la velocidad de la alimentación y la interacción entre estas dos últimas fuentes de variación fueron significativas ($P < 0,0001$).

El modelo fue significativo ($P < 0,0010$) expresando que las diferencias de contenido de humedad antes y después del secado entre los tratamientos son estadísticamente significativas. El modelo explicó el 99% de los datos analizados ($R^2 = 0,99$) para ambos

casos. Los coeficientes de variación para el "pellet" antes de secado y después de secado fueron bajos (0.43 y 1.01, respectivamente), lo que significa que las mediciones de humedad fueron confiables.

4.3.2. Comparación múltiple de medias (Tukey)

Los resultados de la comparación múltiple de medias se observan en el Cuadro 7. Existieron diferencias significativas entre los tratamientos en la humedad de los "pellets" al salir del extrusor. Los tratamientos mayores de 18% de humedad pueden resultar en un "pellet" con alto costo por la cantidad de energía necesaria para secarlo, porque se requieren dos pases en la secadora para dejarlos a 14% de humedad.

El tratamiento de flujo de agua de 0.8 l/min y 3.2 kg/min de velocidad de alimentación produjo un "pellet" con la humedad óptima al salir del extrusor (Cuadro 7). A medida que se aumentó el flujo de agua en el proceso, aumentó la humedad del "pellet" al salir del extrusor. Al incrementar la velocidad de alimentación, el porcentaje de humedad fue menor en el "pellet". Esto se debió a que a medida se aumenta la velocidad de alimentación está circulando más cantidad de material en un menor tiempo, el que proporcionalmente está recibiendo menor humectación.

Los tratamientos 0.6 l/min con 3.2 kg/min, 0.8 l/min con 3.2 kg/min, 0.6 l/min con 2.5 kg/min y 0.8 l/min con 2.5 kg/min fueron los que produjeron "pellets" con la humedad recomendada al salir del extrusor (14% o menos) para evitar la proliferación de hongos en el producto. Nuevamente encontramos que el tratamiento 0.8 l/min con 3.2 kg/min de alimentación produjo "pellets" con un nivel óptimo de humedad antes y después del secado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del flujo de agua y la velocidad de alimentación sobre la humedad del "pellet" antes y después del secado.

Flujo de agua l/min	Velocidad de alimentación kg/min	Humedad antes* de secar	Humedad* después del secado
0.6	3.2	14.60 ^a	13.45 ^a
0.8	3.2	15.40 ^b	13.95 ^{ab}
1.0	3.2	16.10 ^c	13.95 ^{ab}
0.6	2.5	16.80 ^d	14.20 ^{ab}
0.8	2.5	17.15 ^e	14.50 ^b
1.0	2.5	18.25 ^f	15.25 ^c
0.6	1.8	18.85 ^g	15.45 ^c
0.8	1.8	25.25 ^h	19.60 ^d
1.0	1.8	27.50 ⁱ	20.30 ^e

*Tratamientos con igual letra no son significativamente diferentes.

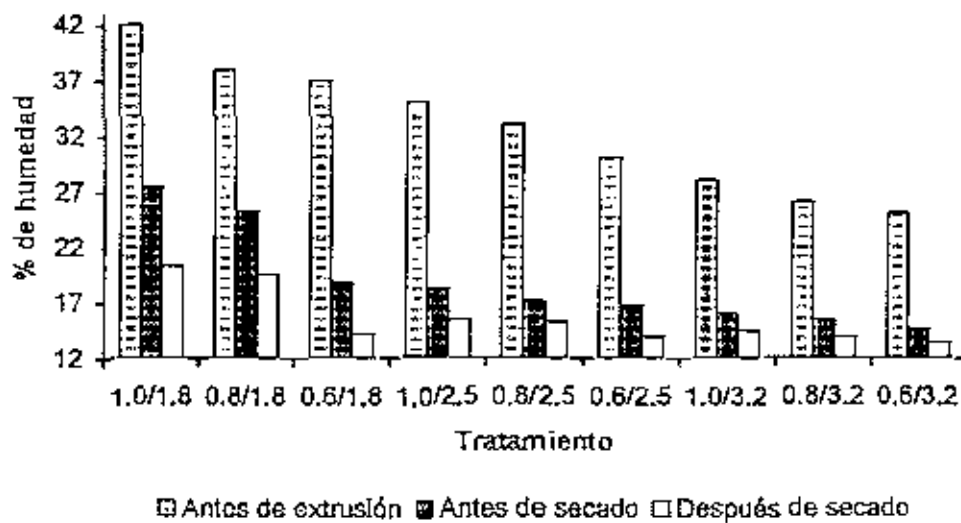


Figura 1. Efecto del tratamiento sobre la humedad antes y después del secado del “pellet”.

Hubo una interacción entre el flujo de agua y la velocidad de alimentación; los tratamientos con flujos de agua mayores y velocidades de alimentación menores fueron los que presentaron mayor humedad. Se observó que la humedad depende más de la cantidad de mezcla aplicada en el sistema que del flujo de agua (Figura 1).

4.4 ANALISIS ECONOMICO

Los costos para cada tratamiento dependieron de el flujo de agua y de la velocidad de alimentación. A mayor velocidad de alimentación, hubo mayor eficiencia porque se produce más, lo que reduce el costo por unidad de tiempo.

El desglose de los costos fijos y variables para una tanda de 8 horas se observa en los Anexos 5 y 6.

4.4.1 Costos totales

El Cuadro 8 recopila los costos totales del tratamiento 0.8 l/min de flujo de agua y 3.2 kg/min de alimentación el cual resultó ser el “pellet” más adecuado. Los costos están calculados para una tanda de 8 horas (día).

Cuadro 8. Costos totales de producción de "pellets".

Clasificación	Rubro	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total 8 horas	Lps/hora	Lps/saco (45kg)
Directos, variables	Ingredientes	1200	kg	4,8700	5844.00	731.17	166.20
	Agua de proceso	384	l	0.0581	22.32	2.80	0.63
Indirectos, fijos	Agua de limpieza	206.48	l	0.0581	11.99	1.50	0.34
	Depreciación de equipo	8	hora	8.6800	69.44	8.68	1.97
	Energía	588	Kw	1.2600	740.88	92.60	21.04
	Mano de obra	8	hora	6.4900	51.92	6.49	1.47
	Gastos administrativos	8	hora	21.0700	168.56	21.07	4.80
Total					6897.12	864.31	196.43
Ingreso bruto						1232.00	280.00
Ingreso neto						367.69	83.57
Rentabilidad/costos							42.5%
Rentabilidad/ventas							30%

El costo de 45 kg de "pellets" en el mercado actualmente es de Lps.280.⁰⁰ lo que indica que al adoptar los precios de la competencia se podría obtener una rentabilidad sobre las ventas de 30% y sobre los costos de 42,5%.

Tomando como referencia la tasa de interés bancaria para préstamos de 36%, se percibe 6,5% más de lo que se percibe en intereses si se prestara el dinero. Lo cual indica que sí es rentable la producción.

5. CONCLUSIONES

- Ningún tratamiento produjo un “pellet” con una flotabilidad aceptable.
- El tratamiento con flujo de agua de 0,8 L/min y una velocidad de alimentación de 3,2 kg/min resultó ser el que produjo el mejor “pellet” en cuanto a las características físicas de densidad aparente, resistencia al manipuleo y humedad final.
- A medida se aumentó la velocidad de alimentación del extrusor, el “pellet” tendió a ser más denso y a perder resistencia física.
- Al aumentar el flujo de agua, el volumen y la resistencia física del “pellet” aumentaron.
- Si es rentable producir “pellets” en Zamorano, trabajando en una tanda de 8 horas diarias.

6. RECOMENDACIONES

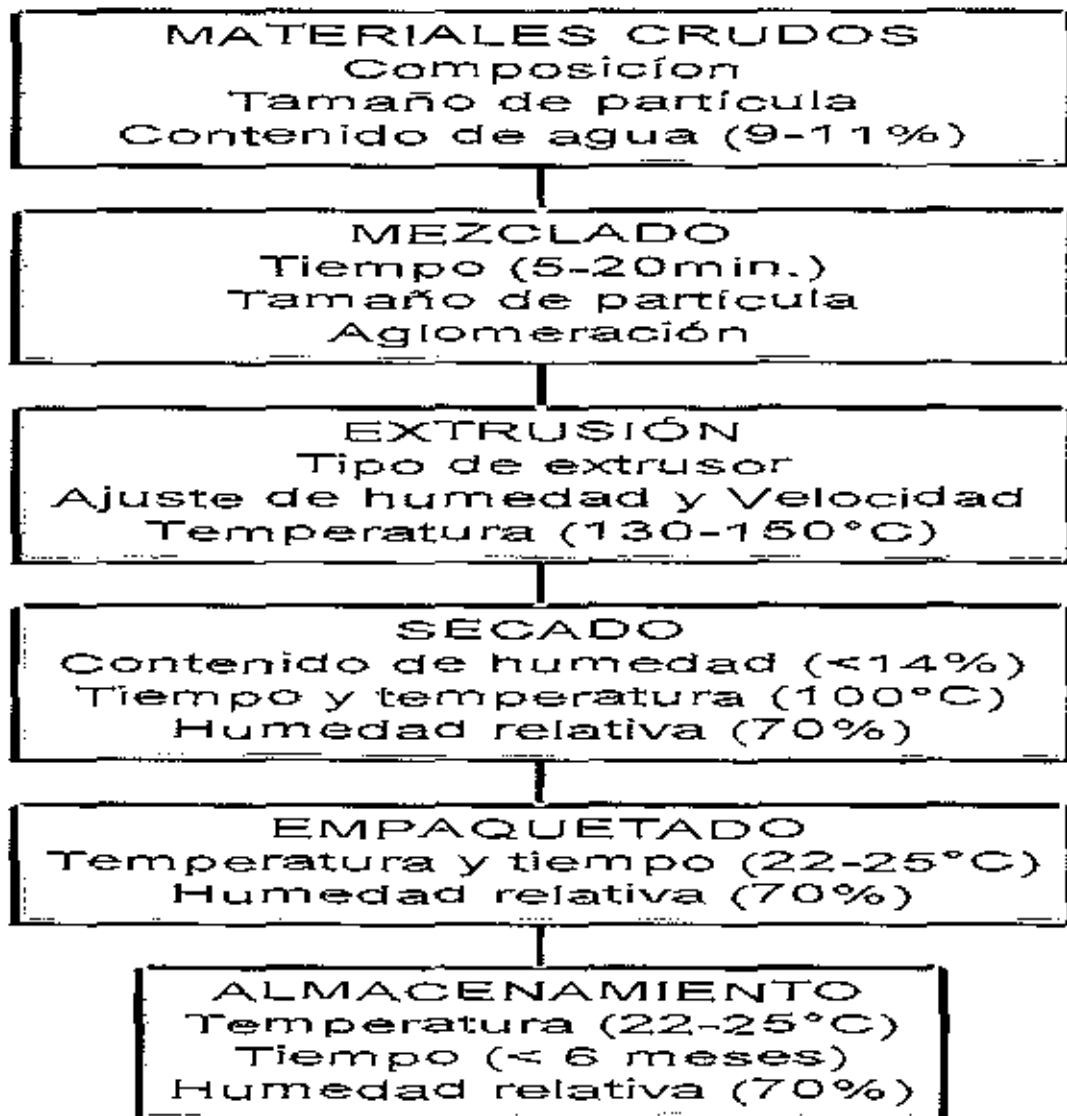
- Adicionar la bomba de agua al extrusor y experimentar con diversos niveles de flujo de agua.
- Probar diferentes formulaciones para determinar el nivel óptimo de almidón en la mezcla que genere un “pellet” con alto porcentaje de flotabilidad.
- Utilizar métodos más científicos para la medición del parámetro físico de resistencia física.
- Evaluar la granulometría de los materiales de la mezcla para determinar la óptima para la elaboración de “pellets” flotantes para tilapia.
- Experimentar con diversas configuraciones del extrusor a fin de determinar la que produzca el mejor “pellet” flotante.
- Usar otra fuente de cereales como fuente de almidón (maíz o sorgo a cambio de trigo) para abaratar los costos de producción.

7. BIBLIOGRAFIA

- DOMINY, W. 1998. Feedback, problems with processing?. Aqua Feed International, Middlesex, UK, 3:38-39.
- FICHTALL, J.; VAN DE VOORT, F. 1989. Fundamental and practical aspect of twin screw extrusion. Cereal Food World. The American of Cereal Chemist, Inc. Quebec, Canada. 921-929.
- HARPER, J. 1981. Extrusion of foods. Volumen II, CRC Press, Inc. Florida, USA. 174 p.
- INSTA-PRO®. 1996. User guide, Tilapia Feed. Des Moines. Ia. USA. sp.
- KENNY, E. 1999. Tilapia inunda mercado en EEUU, Producida en Honduras. Miami Herald. Acuacorp. USA. sp.
- KEARNS, J. 1998. Extrusion reviewed. Aqua Feed International, Middlesex, UK, 3:33-37.
- LIM, C. 1997. Nutrition and feeding of tilapias. IV Simposio Centroamericano de Acuicultura. D.E. Alston, B.W. Green and H.C. Clifford, editors. Tegucigalpa, Honduras. 94-107 p.
- MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. 1989. Extrusion cooking. American Association of Cereal Chemists, Inc. 2ed. Minnesota, USA. 463 p.
- NEW, M. 1999. Global aquaculture; Current trends and challenges for the 21st century. World Aquaculture. sp.
- PAYNE, J. 1998. Optimizing pellet Quality. Aqua feed international. Middlesex, UK, 3:29-32.
- POPMA, J.; LOVSHIN, L. 1996. Worldwide Prospects for Commercial Production of Tilapia. International Center of Aquaculture and Aquatic Environments. Department of Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University, Alabama 36849. USA. 20 p.
- ROBINSON, B. 1999. Pelleted, extruded, expanded feeds. Fish Farming News. USA. 6-7 p.

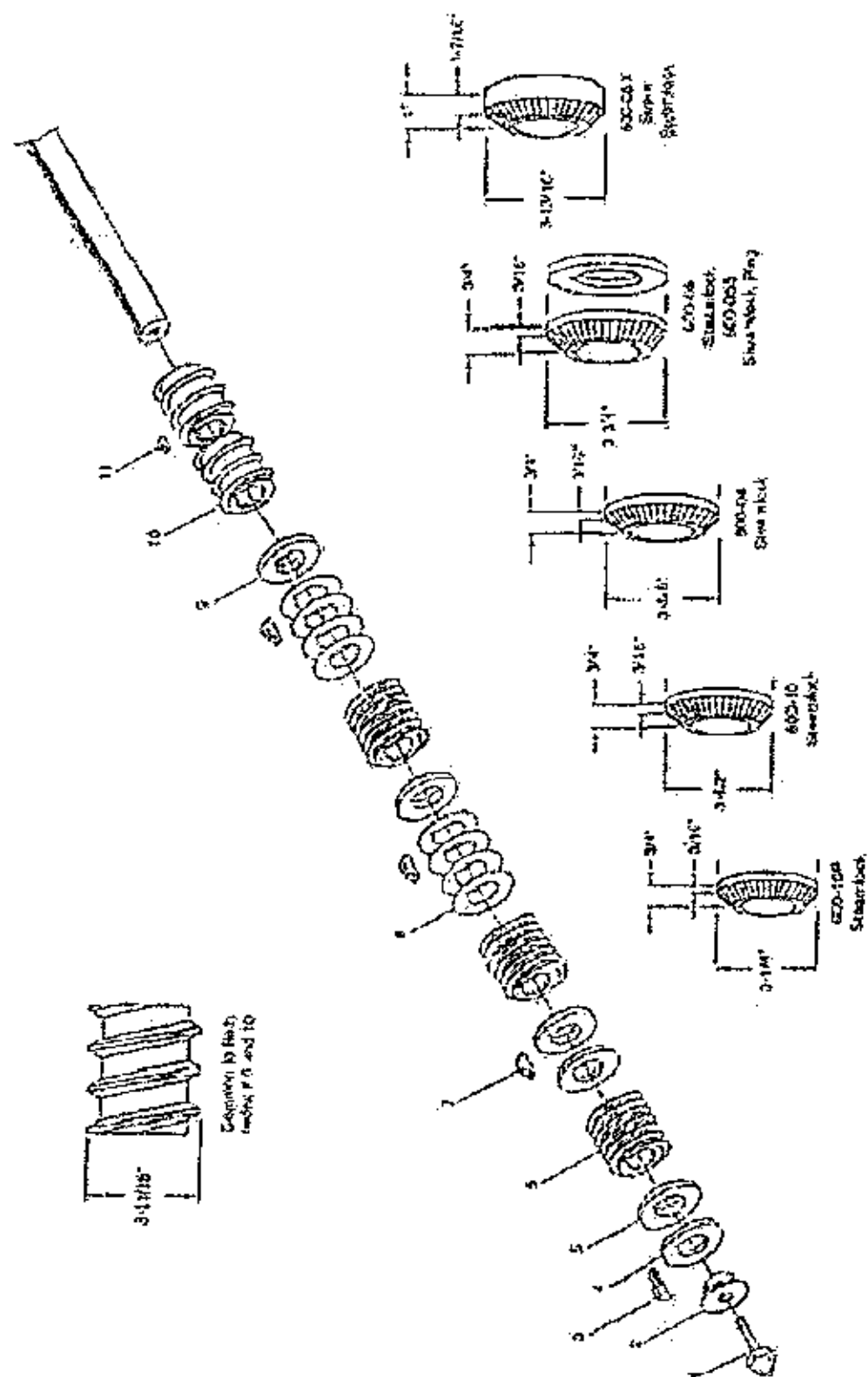
8. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de "pellets" flotantes por medio de extrusión.



Fuente: Mercier, *et al.* 1989

Anexo 2. Configuración del tornillo del extrusor de tornillo simple, modelo 600JR.
Insta-Pro, 1996



Anexo 4. Tabla de recolección de datos para la producción de “pellets” durante el proceso de extrusión.

FECHA: _____

CARACTERISTICAS	
Configuración	
Cantidad de material utilizado (Kg)	
Velocidad del cortador	
Flujo de agua	
Tiempo total	

TIEMPO (min)	VOLTAJE	AMPERAJE	Temperatura °C	Velocidad de alimentación %
Inicial				
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
Final				

Anexo 5. Costos fijos de elaboración del "pellet" en tanda de 8 horas.

Los costos fijos fueron absolutamente los mismos en cada tratamiento:

a) Consumo de energía.

Equipo	Consumo/hora (KW)	Lps/hora	Total 8 horas
Mezcladora	0.19	0.24	1.92
Extrusor	38.05	47.94	338.52
Cortador	5.97	7.52	47.76
Secador	28.09	35.39	283.12
Lamparas	1.2	1.51	12.08
Total	73.5	92.6	740.8

b) Depreciación del equipo.

Equipo vario	Vida útil (años)	Lps	Lps/hora	Total 8 horas
Línea de extrusión	10	742,500	8.46	67.68
Herramientas	1	1843	0.2108	1.69
Total			8.6708	69.37

c) Gastos administrativos repartidos (papelería, combustible, aseo, etc.).

Admon./mes	% * extrusión	% * pellet	Factor (día)	Lps/día	Lps/hora	Total 8 horas
5650.20	0.30	0.62	0.11	120.60	15.07	120.56
13500.00	0.05	0.62	0.11	48.02	6.0	48
Total					21.07	158.56

* factores estimados del tiempo aplicado en cada actividad

d) Costo de mano de obra.

Personal	Sueldo/mes	% * extrusión	% * pellet	Factor (día)	Lps/día	Lps/hora	Total 8 horas
Operario	2300.00	0.20	0.62	0.11	32.73	4.09	32.72
Jefe de planta	13500.00	0.02	0.62	0.11	19.21	2.40	19.2
Total						6.49	51.92

*factores estimados del % del tiempo aplicado en cada actividad

e) Costo de agua de limpieza.

Flujo min/ l/min	mes	% * extrusión	% * pellet	Factor* (día)	l/día	Lps/l	Lps/día	Lps/ hora	Total 8 horas
32.25	180	0.5	0.62	0.11	206.5	0.0581	12.00	1.5	12

*factores estimados del % del tiempo aplicado en cada actividad

Anexo 6. Costos variables de la elaboración del "pellet" en tanda de 8 horas.

A continuación observamos los costos variables de la producción de "pellet":

a) Costo de Ingredientes.

Ingredientes	kg/hora	Lps/45kg	Lps/hora	Total 8 horas
Harina de pescado	9.76	24.03	105.77	848.16
Harina de soya	87.27	61.33	269.87	2158.96
Harina de trigo	39.49	46.75	205.77	1646.16
Aceite de palma	1.97	12.98	10.35	82.8
Harina de maíz	53.31	28.38	124.89	999.12
Harina de ave	4.95	3.16	13.9	111.2
Sal	0.59	0.14	0.6	4.8
Total			731.17	5849.36

b) Costo variable del agua de proceso según tratamiento.

l/min*	L/hora	Lps/l	Lps/hora	Total 8 horas
0.6	36	0.0581	2.09	16.72
0.8	48	0.0581	2.80	22.4
1.0	60	0.0581	3.49	27.92

* Flujo según flujo de agua en el tratamiento.

Anexo 7. ANDEVA para la variables densidad y porcentaje de finos.

DENSIDAD

Source	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Modelo	8	225.80500000	28.22562500	188.17	0.0001
Error	9	1.35000000	0.15000000		
Corrected Total	17	227.15500000			

R-cuadrado	C.V.	Raíz cuadrada CMC	DENSID Media
0.994957	0.925813	0.38729833	41.83333333

Source	GL	Type I SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	38.94250000	19.47125000	127.81	0.0001
VELOCIDA	2	179.86750000	89.93375000	599.56	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	7.39500000	1.89875000	12.66	0.0010

Source	GL	Type III SS	Mean Square	F	Pr > F
FLUJO	2	38.94250000	19.47125000	127.81	0.0001
VELOCIDA	2	179.86750000	89.93375000	599.56	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	7.39500000	1.89875000	12.66	0.0010

FINOS

Source	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Model	8	10853.57111111	1356.69638889	104.46	0.0001
Error	9	117.96500000	13.10722222		
Corrected Total	17	11071.53611111			

R-cuadrado	C.V.	Raíz cuadrada CMC	DENSID Media
0.889345	11.78214	3.62038979	30.72777778

Source	GL	Type I SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	10032.96777778	5016.48388889	382.73	0.0001
VELOCIDA	2	797.36777778	398.68388889	30.42	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	123.23555556	30.80888889	2.35	0.1370

Source	GL	Type III SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	10032.96777778	5016.48388889	382.73	0.0001
VELOCIDA	2	797.36777778	398.68388889	30.42	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	123.23555556	30.80888889	2.35	0.1370

Anexo 8. ANDEVA para humedad del "pellet" antes y después del secado.

ANTES DEL SECADO

Source	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Model	3	321.51111111	40.18880889	6028.33	0.0001
Error	9	0.06000000	0.00666667		
Corrected Total	17	321.57111111			
	R-cuadrado	C.V.	Raíz Cuadrado CME	DENSIO Media	
	0.999813	0.432517	0.08164908	18.87777778	
Source	GL	Type I SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	46.21444444	23.10722222	3466.08	0.0001
VELOCIDA	2	236.40444444	118.20222222	17730.33	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	38.89222222	9.72305556	1458.46	0.0001
Source	GL	Type III SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	46.21444444	23.10722222	3466.08	0.0001
VELOCIDA	2	236.40444444	118.20222222	17730.33	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	38.89222222	9.72305556	1458.46	0.0001

DESPUES DEL SECADO

Source	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Model	3	102.93111111	12.86630889	514.86	0.0001
Error	9	0.29500000	0.02500000		
Corrected Total	17	103.15811111			
	R-cuadrado	C.V.	Raíz Cuadrado CME	DENSIO Media	
	0.897819	1.011749	0.15811388	15.82777778	
Source	GL	Type I SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	28.61444444	14.30722222	572.29	0.0001
VELOCIDA	2	54.60111111	27.30055556	1092.02	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	19.71555556	4.92888889	197.16	0.0001
Source	GL	Type III SS	Cuadrado medio	F	Pr > F
FLUJO	2	28.61444444	14.30722222	572.29	0.0001
VELOCIDA	2	54.60111111	27.30055556	1092.02	0.0001
FLUJO*VELOCIDA	4	19.71555556	4.92888889	197.16	0.0001