

## EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE UN ALIMENTO ELABORADO A PARTIR DE FRIJOL (*Vigna sinensis*) COMO FUENTE PRINCIPAL DE PROTEÍNA PARA CERDOS (*Sus scrofa*) EN ETAPA DE INICIACIÓN\*

### EXTRUSION PROCESS EVALUATION OF AN ANIMAL FEED MADE OF BEAN (*Vigna sinensis*) AS A MAIN SOURCE OF PROTEIN FOR WEANING PIGLETS (*Sus scrofa*)

Recibido: 07-10-2008 / Aceptado: 02-02-2009

Jacovelin Morales de Perez<sup>1</sup> y Juan J. Fernández Molina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc. (UNELLEZ, Cojedes, Venezuela). Profesora adscrita al Programa Ciencias del Agro y Del Mar, Vicerrectorado de Infraestructura y procesos Industriales, UNELLEZ-San Carlos, Cojedes, Venezuela 2201. e-mail: jacovelin@gmail.com

<sup>2</sup>Ph.D. (Washington State University, Pullman WA, USA), Profesor Titular (J) Jefe del Programa Ciencias del Agro y Del Mar, Vicerrectorado de Infraestructura y procesos Industriales, UNELLEZ-San Carlos, Cojedes, Venezuela. 2201.

e-mail: jfermol@gmail.com

\*Tesis de Maestría. Área de Postgrado. UNELLEZ-San Carlos

#### RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el proceso de extrusión de un alimento elaborado a partir de frijol como fuente principal de proteína, para cerdos en etapa de iniciación; se empleó la modelación lineal para optimizar la mezcla de ingredientes utilizados y se evaluó el comportamiento de las variables físicas: Índice de expansión (I.E.), Capacidad de Absorción de Agua (CAA) y Humedad final (Humf) del producto a cinco humedades iniciales diferentes (26,5; 27,3; 29; 30,7 y 31,5 %) en combinación con 2, 3, 5, 7, 8 orificios en el dado del extrusor. Se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) para modelar los datos experimentales: Estos se ajustaron estadísticamente, generando las siguientes ecuaciones predictivas: Índice de Expansión (I.E.):  $Y_1 = -53,02 + 4,08 * X_1 - 1,20 * X_2 - 0,08 * X_1^2 + 0,05 * X_1 * X_2$ , Capacidad de Absorción de Agua (CAA):  $Y_2 = -2651,88 + 207,31 * X_1 - 19,60 * X_2 - 3,90 * X_1^2 - 3,61 * X_2^2$ , Humedad Final del Producto (Humf):  $Y_3 = 181,86 - 11,72 * X_1 - 0,64 * X_2 + 0,21 * X_1^2 + 0,18 * X_2^2$ . La modelación matemática arrojó un rango óptimo de contenido de humedad inicial en la mezcla de 27-28 % y número de orificios a la salida del extrusor de 3-4 bajo las condiciones experimentales del estudio.

**Palabras clave:** Extrusión, Índice de Expansión, Capacidad de Absorción de Agua.

#### SUMMARY

The aim of this research was to evaluate the extrusion process of an animal feed made of beans as a main source of protein for weaning pigs., linear modeling was employed to optimize the mixture of ingredients and the behaviour of physical variables was evaluated such as Expansion Index (EI), Water Absorption Capacity (WAC) and Product's Final Moisture Content (PFMC) at five different initial moisture contents (26.5, 27.3, 29, 30.7 and 31.5%) in combination with 2, 3, 5, 7 and 8 orifices of the extruder die. The experimental data were modeled by employing the statistical technique Response Surface Methodology (RSM). The experimental data was statistically fitted to generate the following predicting equations: Expansion Index (I.E.):  $Y_1 = -53,02 + 4,08 * X_1 - 1,20 * X_2 - 0,08 * X_1^2 + 0,05 * X_1 * X_2$ , Water Absorption Capacity (CAA):  $Y_2 = -2651,88 + 207,31 * X_1 - 19,60 * X_2 - 3,90 * X_1^2 - 3,61 * X_2^2$ , Product's Final Moisture Content (PFMC):  $Y_3 = 181,86 - 11,72 * X_1 - 0,64 * X_2 + 0,21 * X_1^2 + 0,18 * X_2^2$ . The mathematical model indicated that the optimal combination range of initial moisture content in the mixture and numbers of orifices at the extruder die used under the studied conditions were: 27 - 28% moisture content and 3-4 orifices.

**Key words:** Extrusion, Expansion Index, Water Absorption Capacity.

## INTRODUCCION

El proceso de extrusión ha venido tomando auge en los últimos años en la elaboración de alimentos para animales, debido a los múltiples beneficios que genera en la composición y digestibilidad del alimento final.

Históricamente, en Venezuela la agroindustria productora de alimentos concentrados ha crecido sobre la base de importaciones de sus ingredientes básicos aproximadamente en un 80% de sus requerimientos en materia prima para la elaboración de dietas alimenticias para animales (Leon et al., 1993; Viloria et al., 2005), esto se traduce en costos de producción elevados.

En apoyo a lo anterior se planteó dar una alternativa de solución a este problema utilizando el frijol para la alimentación animal, específicamente para cerdos; conociendo que en este en sus primeras semanas de vida la segregación de enzimas digestivas son insuficientes, y que los alimentos extruidos facilitan la digestión (Valla, 1993), a la vez que favorecen un mayor consumo y un mayor crecimiento diario. En este trabajo se tuvo como objetivo evaluar el proceso de extrusión de un alimento elaborado a partir de frijol como fuente principal de proteína para cerdos en etapa de iniciación, en combinación con otros rubros como los son: el sorgo y la semolina de arroz, para la obtención de un alimento nutricionalmente óptimo.

Este estudio esta basado en la hipótesis que los cambios en el índice de expansión (I.E.), la capacidad de absorción de agua (CAA) y la humedad final del producto, son relativos al número de orificios en el dado del extrusor y a la humedad inicial de la mezcla a extruír y los coeficientes obtenidos de la regresión múltiple describen la respuesta del producto. La investigación realizada fue de carácter experimental

exploratorio, en el laboratorio en condiciones controladas implementadas bajo diseño estadístico de metodología de superficie de respuesta (MSR) aplicándose un diseño compuesto central (2<sup>3</sup>) cuatro puntos estrella, dos puntos centrales completamente repetidos con a para ortogonalidad igual a 1,4142 para dos factores experimentales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Población y muestra de estudio

La población fue el producto obtenido de la molienda del frijol de la variedad caupí en combinación con sorgo y semolina de arroz (el cual es un subproducto de la agroindustria arrocera), provenientes todos del estado Portuguesa, de los cuales se tomó un subconjunto o muestra de la producción de frijol de los municipios Esteller, Santa Rosalía y Turén. La unidad experimental estuvo representada por cantidades de mezcla a extruír de 2,5 k cada una, se ha de resaltar que se emplearon otros ingredientes adicionales al frijol para la obtención de una formula optimizada con el empleo de modelos lineales, que cubriera todos los requerimientos nutricionales del animal.

### Extrusor

Se utilizó un extrusor Extrusor de tornillo simple, marca INSTA-PRO, modelo 600JR, capacidad 272 a 365 K/hr, velocidad del tornillo 550 r.p.m., con un caudal de 16,3 g/seg de y un rango de temperatura de (110-140 °C).

## DISEÑO DE OBSERVACIÓN

La mezcla fue extruída y troceada variando el porcentaje de humedad de la mezcla entre 26,5 y 31,5 así como el número de agujeros en el dado entre 2 y 8 según lo indicado en el diseño del experimento (ver tabla 1).

**TABLA 1. Diseño Experimental.**

Rango de Operación	-	-1	0	1	
% humedad	26,5	27,3	29	30,7	31,5
Nº de orificios	2	3	5	7	8

Fuente: Statistica versión 6.0. (Statistica, 2009).

Para la recolección de datos se emplearon las normas Venezolanas COVENIN para las determinaciones de: contenido de proteínas (COVENIN, 1981), grasas (COVENIN, 19806), fibra cruda (COVENIN, 1981), cantidad de cenizas (COVENIN, 1981), contenido de calcio (COVENIN, 1982), contenido de fósforo (COVENIN, 1983), contenido de humedad (COVENIN, 1980), hierro y zinc (%) por espectrofotometría de absorción atómica (COVENIN, 1979). La determinación de la capacidad de absorción de agua (CAA) y el índice de expansión (IE) en porcentaje se procedió según la metodología empleada por Frazier et al (Frazier et al., 1984).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la formulación del alimento con la introducción de la composición de la materia prima y los requerimientos nutricionales del cerdo en la etapa en estudio en el programa Win QSB versión 2.0 (De Yi Long Chang, 1997), éste procedió a ejecutar un algoritmo dispuesto para evaluar la función objetivo sobre los vértices de la región de factibilidad, generando una solución óptima con la combinación de los diversos ingredientes dispuestos resultando finalmente en la composición del alimento: 65,84 % de frijol; 23,33% de sorgo y 10,83% de semolina de arroz, teniéndose ésta como la mezcla más óptima de los ingredientes utilizados, para lograr cubrir los requerimientos nutricionales del animal tal como se indica en la tabla 2.

**TABLA 2. Composición del alimento formulado vs necesidades nutritivas del cerdo en etapa de iniciación (11-25 Kg de peso).**

Ingrediente	Composición			
	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibras (%)	Cenizas (%)
Alimentos formulado	18,68	3,88	4,23	3,28
Necesidad del Cerdo	18,00	3,00	4,00-4,50	min 2

Fuente: Adaptación de Trujillo (Trujillo, 1987).

Del ANOVA para la variable Índice de Expansión se tiene que para los coeficientes lineales la humedad

y el número de agujeros en el dado del extrusor tuvieron gran influencia ( $p < 0,01$ ). Mientras que la interacción entre ambas variables también fue significativa ( $p < 0,05$ ), la falta de ajuste del modelo no fue significativa ( $p \geq 0,05$ ) para esta y las otras variables dependientes.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo de la respuesta generado a partir de las variables manipuladas en estudio explica en un 86,03% la variación en el Índice de Expansión del alimento (Okunade y Chang, 1993). A continuación se muestra la ecuación predictiva (Ec.4) ajustada.

Índice de Expansión (I.E):

$$Y_1 = -53,02 + 4,08 * X_1 - 1,20 * X_2 - 0,08 * X_1^2 + 0,05 * X_1 * X_2 \quad (4)$$

Donde:

- $Y_1$  = Índice de Expansión.
- $Y_2$  = Capacidad de Absorción de Agua.
- $Y_3$  = Humedad Final del Producto
- $X_1$  = Humedad de la mezcla a extruir.
- $X_2$  = N° de orificios del dado del extrusor.

En la gráfica de Superficie de Respuesta (Fig. 1) para esta variable se observa mayor influencia en el aumento de la misma, cuando la mezcla inicial a extruir presenta valores de humedad entre 27 y 28% en combinación con un número de orificios abiertos en el dado entre 2 y 4. Encontrándose un punto máximo de 1,9702 en la expansión del producto final cuando el valor de la humedad es de 27,1737% en combinación con 2 orificios. El máximo mostrado en la figura 1 indica que a menor número de orificios en el dado del extrusor se incrementa la presión y debido a la diferencia de presión a la salida del mismo ocurre la evaporación súbita del agua en el producto, al ser ésta sometida a temperaturas superiores a las de su vaporización, generando la expansión del producto, lo cual indica la modificación de las cadenas proteicas y de almidón; esto mejora la cocción del producto lográndose así la gelatinización de los gránulos de almidón y la desnaturalización de proteínas, aumentando la superficie del producto, con la consecuente destrucción de factores antinutricionales presentes en

la materia prima (Ratkis et al., 1986); de esta forma se obtiene un alimento más atacable por las enzimas digestivas del animal. A su vez un menor contenido de humedad presente en el material a extraer, da como resultado una mayor evaporación de la misma; incrementándose así, el efecto de la energía generada en el proceso sobre otros componentes; debido a que se reduce el consumo de ésta en la evaporación de la humedad del producto y permitiendo su uso más eficiente para una mejor cocción del alimento.

### INDICE DE EXPANSIÓN

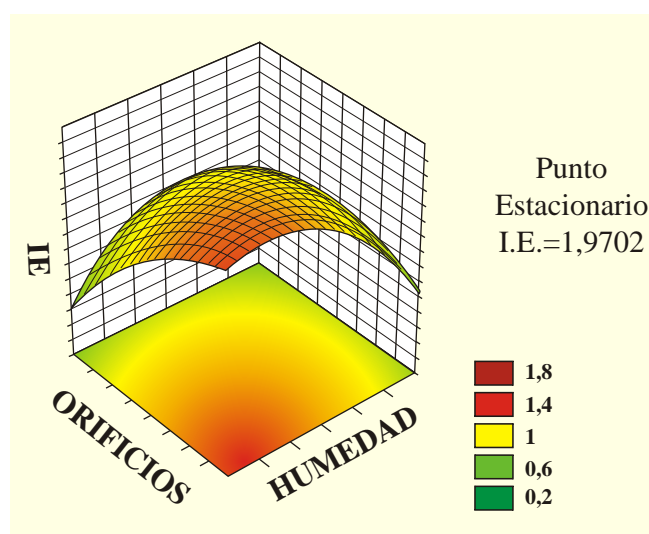


Figura 1. Superficie de respuesta para el Índice de Expansión.

Para la variable Capacidad de Absorción de Agua el ANOVA arroja que los coeficientes: lineal para la variable humedad inicial de la mezcla y cuadrático para el número de orificios en el dado del extrusor son altamente significativos para esta respuesta en estudio ( $p < 0,01$ ), mientras que el coeficiente lineal para la variable número de orificios y el cuadrático correspondiente a la humedad inicial fueron significativos ( $p < 0,05$ ), no encontrándose significancia en la afectación de esta variable para el coeficiente que muestra la interacción de ambas.

Para la predictividad de la ecuación para la variable Capacidad de Absorción de Agua se obtuvo un  $R^2 = 74,95\%$ . Ecuación predictiva:

Capacidad de Absorción de Agua (CAA):

$$Y_2 = -2651,88 + 207,31 * X_1 - 19,60 * X_2 - 3,90 * X_1^2 - 3,61 * X_2^2 \quad (5)$$

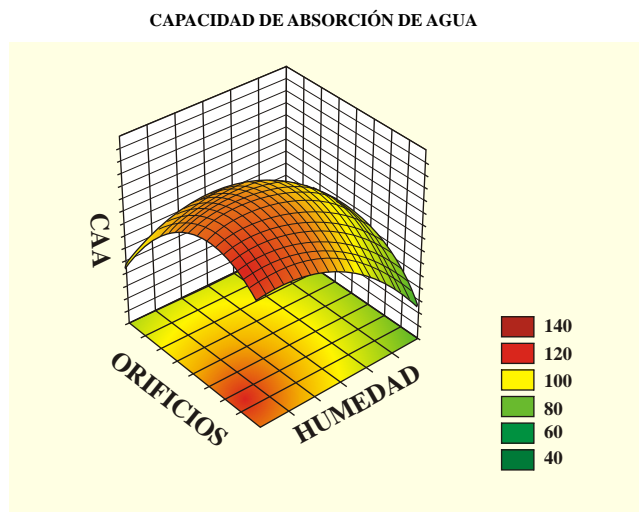


Figura 2. Superficie de Respuesta para la Variable Capacidad de Absorción de Agua.

La gráfica de superficie de respuesta para la variable Capacidad de Absorción de Agua se muestran en la figura 2; se observa que en el rango de humedad inicial de aproximadamente 26,5 a 28,5% y número de orificios entre 3 y 5 produjo un incremento en la respuesta, obteniéndose una respuesta máxima de 159,7755 % a un porcentaje de humedad en la mezcla a extraer de 27,5131 y 4 orificios de salida, indicando que a medida que la humedad en la mezcla inicial se incrementaba y se aumentaba el número de orificios en el dado del extrusor disminuía la Capacidad de Absorción de Agua puesto que; al disminuir el área de salida del producto y por ende aumentar la presión y la temperatura hay mayor degradación de almidones y más grupos hidrófilos disponibles para absorber agua y viceversa, ya que tanto la energía mecánica como la térmica, transferidas al almidón durante la extrusión, provocan el rompimiento de las valencias primarias y secundarias, de los enlaces y puentes de hidrógeno que unen este polisacárido (Gonzalez et al., 1998).

En cuanto a la Humedad Final del Producto (Fig. 3) el modelo generado mostró una respuesta mínima de 16,4935% de Humedad Final a un nivel de humedad inicial en la mezcla a extraer de 27,9904 % y 4 orificios de salida; con un rango de combinación de humedad inicial alrededor del 27-28% en combinación con 3 a 5 orificios que



generan una respuesta mínima en esta variable, teniéndose que a medida que se incrementa la humedad inicial de la mezcla y el número de orificios en el dado del extrusor la respuesta disminuye. Se obtuvo la siguiente ecuación predictiva que explica el 66,17% de la variación (SAS, 1999):

Humedad Final del Producto (Humf):

$$Y_3 = 181,86 - 11,72 * X_1 + 0,21 * X_1^2 - 0,64 * X_2 + 0,18 * X_2^2 \quad (6)$$

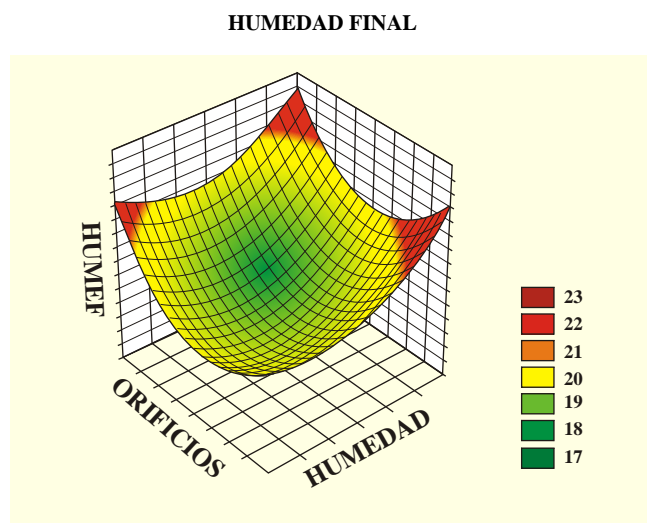


Figura 3. Superficie de Respuesta para la Variable Humedad Final.

El ANOVA para la Humedad Final del Producto arrojó alta significancia ( $p < 0,01$ ) en la respuesta generada por el coeficiente lineal de la humedad, mientras que fueron significativos ( $p < 0,05$ ) los coeficientes lineales y cuadráticos de la variable número de orificios y el factor cuadrático de la variable humedad inicial. No se encontró significancia estadística ( $p \geq 0,05$ ) en la interacción humedad inicial y número de orificios. Se ha de resaltar la importancia desde el punto de vista económico de la humedad final que posea el producto a la salida del extrusor puesto que, a menor humedad final del producto se genera un menor costo en el secado del mismo, operación que debe realizarse para poder almacenar adecuadamente el producto sin que éste sufra alteraciones microbiológicas posteriores que puedan afectar la calidad nutritiva y sanitaria del alimento.

## CONCLUSIONES

A partir del cumplimiento de los objetivos planteados se logró formular un alimento acorde a las necesidades nutritivas del cerdo en etapa de iniciación obteniéndose la siguiente formulación: 65,84 % de frijol ; 23,33% de sorgo y 10,83% de semolina de arroz según la aplicación de la modelación lineal, de igual forma a partir del empleo de la técnica estadística Metodología de Superficie de Respuesta se logró modelar la respuesta tecnológica del producto extruído, obteniéndose como región del estudio de mayor factibilidad para la elaboración de un alimento óptimo tecnológicamente los siguientes rangos: Humedad = 27-28 % y N° de orificios del dado del extrusor = 3-4.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- León R, Angulo I., Jaramillo M., Requena F y Calibrese H. *Caracterización química y valor nutricional de granos de leguminosas tropicales para la alimentación de aves* FONAIAP-CENIAP. Zootecnia Tropical. 1993 Vol. 11(2):151-170.
- Viloria. F., González. C., Vechionacce. H., Sulbarán. L., Araque. H. y Quijada. J. 2005. *Impacto económico potencial de la producción alternativa para cerdos*. Universidad Central de Venezuela, facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. Disponible en: <http://www.feporcina.org/06noticias/expo/memorias/Resumenes/Alimentacion%20y%20Materias%20Primas%20Alternativas/Costos.Pdf>
- Valls, P. A. 1993. *El proceso de extrusión en cereales y habas de soja I. Efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes*. Memorias IX curso de especialización fedna; Barcelona, España. Pp. 109-115.
- Software Statistica version 6.0, StatSoft. 2009.

- Inc.2300 East.14th street Tulsa, OK 74104, USA. Disponible en: <http://www.statsoft.com>
- COVENIN. 1980. *Determinación de Proteínas. Método de Kjeldahl*. Norma Venezolana. N° 1195 80 Alimentos.
- COVENIN. 1980. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación de Grasas*. Norma Venezolana. N° 1785 81.
- COVENIN. 1981. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación del Contenido de Fibra*. Norma Venezolana. N° 1789-81.
- COVENIN. 1981. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación del Contenido de Cenizas*. Norma Venezolana. N° 1783-81.
- COVENIN. 1982. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación del Contenido de Calcio*. Norma Venezolana. N° 1158 82.
- COVENIN. 1983. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación del Contenido de Fósforo*. Norma Venezolana. N° 1178 83.
- COVENIN. 1980. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación del Contenido de Humedad*. Norma Venezolana. N° 1553-80.
- COVENIN. 1979. *Productos de Cereales y Leguminosas Determinación del Contenido de Hierro y zinc por espectrofotometría*. Norma Venezolana. N° 1409-79.
- Frazier, P. J, Craswshaw A, Daniels N and Eggitt R. 1984. *Optimization of process variables in extrusion texturing of soya*. Extrusion Cooking Technology. Ronald Jowitt Editor. Applied Science Publisher, N.Y. p. 1-25.
- De Yih Long Chang. 1997. Software WINQSB. Módulo LP-ILP Linear and Integer Programming. Versión 1.0.
- Trujillo V. 1987. *Modelos Matemáticos en la Nutrición Animal*. Segunda edición. México: Mc Graw Hill
- Okunade A, Chang C and Evans R. 1993. *Comparative analysis of regression output summary statistics in common statistical packages*. The american Statistician. 47: 298-303.
- Ratkis, J.J., Wolf, W.J. y Baker, E.C. 1986. *Protease inhibitors in plant foods: content and inactivation*. En: Friedman, M. (ed). Nutritional and Toxicological Significance of enzyme inhibitors in food. Plenum Publishing. Nueva York, Estados Unidos. pp:216-220.
- González, R; Mora, R; Hernández, H, Bello, L. 1998. *Evaluación de las propiedades funcionales del almidón extrudido de plátano*. Yautepec-Morelos, México: Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN; [visitado en mayo2007] disponible en: <http://www.encb.ipn.mx/cibia/TomoIII/III-50.pdf>
- Software SAS versión 8.0. 1999. [CD-ROM], Cary, NC, U.S.A.