

**Desarrollo de un churro de arroz fortificado
con fibra dietética en la Escuela Agrícola
Panamericana el Zamorano**

Alejandro Vega Morales

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Desarrollo de un churro de arroz fortificado con fibra dietética en la Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano

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

Presentado por:

Alejandro Vega Morales

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

Desarrollo de un churro de arroz fortificado con fibra dietética en la Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano

Presentado por:

Alejandro Vega Morales

Aprobado:

Edward Moncada, M.A.E.
Asesor Principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Carrera Agroindustria Alimentaria

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Vega, A. 2008. Desarrollo de un churro de arroz fortificado con fibra dietética en la Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 26p.

Se elaboró un churro de arroz fortificado con fibra dietética utilizando salvado de avena, para determinar el nivel de fibra aceptado por el consumidor. Se realizó una correlación entre los análisis sensoriales y físicos para el mejor tratamiento y se midió el efecto de la extrusión en el contenido de fibra dietética total. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos (0%, 8%, 16%) y tres repeticiones, donde los porcentajes de fibra dietética fueron los tratamientos y cada tanda del extrusor una repetición, para un total de nueve unidades experimentales. Se realizó un análisis sensorial cuantitativo afectivo de aceptación con 10 panelistas y una escala hedónica de cinco puntos, analizadas estadísticamente con el programa "Statistical Analysis System" (SAS versión 9.1) y una separación de medias Tukey. Para realizar el experimento se utilizó el extrusor de tornillo simple adiabático de cocción y cizallamiento medio. El churro con 16% de fibra dietética fue el más aceptado por los panelistas, mostrando un aumento en la crocancia y una mejor textura. Se determinó las siguientes correlaciones: inversa alta (-0.98, -0.97, -0.91) textura (Instron) y textura (sensorial); textura (Instron) y crocancia; actividad de agua y crocancia con una probabilidad menor a 0.05; inversa media (-0.84) actividad de agua y textura (sensorial) y una correlación directa media (0.80) actividad de agua y textura (Instron) con una probabilidad mayor a 0.05. Se encontró que por efecto de extrusión el contenido de fibra dietética total se redujo en un 2.3%, clasificándose como un alimento de buena fuente de fibra dietética (4.11g/porción de 30g) según el FDA.

Palabras clave: correlación, extrusión, textura

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
5. CONCLUSIONES.....	21
6. RECOMENDACIONES.....	22
7. BIBLIOGRAFÍA.....	23
8. ANEXOS.....	25

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Factores que aumentan la expansión de los materiales almidonosos....	4
2. Porcentajes permitidos de materias primas en la elaboración de alimentos extruidos.....	5
3. Condiciones de procesamiento y operación del extrusor adiabático de cocción de cizallamiento medio.....	7
4. Formulación utilizada para la elaboración del alimento extruido fortificado con fibra dietética.....	7
5. Descripción de los tratamientos del alimento extruido.....	9
6. Escala hedónica utilizada para el análisis sensorial.....	11
7. Codificación de tratamientos utilizados para el análisis sensorial.....	12
8. Efecto de la fibra dietética de avena en la textura del churro determinada sensorialmente.....	13
9. Efecto de la fibra dietética de avena en la crocancia del churro determinada sensorialmente.....	13
10. Efecto de la fibra dietética de avena en la apariencia del churro determinada sensorialmente.....	14
11. Efecto de la fibra dietética de avena en el sabor del churro determinada sensorialmente.....	14
12. Efecto de la fibra dietética de avena en la aceptación general del churro determinada sensorialmente.....	15
13. Fuentes de variación en el ANDEVA y CV de textura, crocancia, sabor, apariencia y aceptación general del los tres tratamientos.....	15
14. Resultados del análisis estadístico para la actividad de agua y textura del tratamiento con 16% de fibra dietética.....	16
15. Resultados del análisis de fibra dietética total (AOAC 985.29).....	16
16. Costos variables para una tanda de 8 Kg. de producto para el tratamiento con 16% de fibra dietética.....	20

Figura		Página
1.	Análisis de correlación entre compresión simple Vs. textura sensorial...	17
2.	Análisis de correlación entre compresión simple Vs. crocancia sensorial.....	18
3.	Análisis de correlación entre actividad de agua (aw) Vs. textura sensorial.....	18
4.	Análisis de correlación entre actividad de agua (aw) Vs. crocancia sensorial.....	19
5.	Análisis de correlación entre compresión simple Vs. actividad de agua (aw).....	19
Anexo		Página
1.	Ensamblaje del tornillo simple del extrusor.....	26

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos extruidos tipo churros o snack corresponden a una amplia gama de productos fáciles de consumir y que satisfacen el apetito a corto plazo por su buen sabor y texturas agradables. Su consumo ha aumentado debido a los cambios de hábitos alimenticios por el ritmo de vida acelerada y la búsqueda de una alimentación que aporte ingredientes funcionales y nutricionales altos, como vitaminas, fibra dietética y bajo contenido de colesterol.

Los churros (snacks) están hechos para ser menos perecederos y más apetecibles, es por ello que en la actualidad los consumidores desean maximizar su satisfacción con más variedad y cualidades saludables. Las recomendaciones constantes, de aumentar el consumo de fibra dietética (28-35g/día), por sus beneficios como: mejorar la salud y ayudar a reducir el riesgo de algunas enfermedades o condiciones causadas por la deficiencia de esta, nos ha llevado a la búsqueda de elaborar un chorro de arroz fortificado con fibra dietética, para mejorar la aceptación y contribuir a aumentar la ingesta diaria recomendada de fibra dietética.

Los extrusores son capaces de combinar diversos ingredientes funcionales en los churros (snack), que en ocasiones son desagradables al gusto, en este caso incorporando el salvado de avena para realzar la calidad nutricional del producto y ser una buena fuente de fibra dietética en alimentos extruidos.

Existen diferentes cambios durante el proceso de extrusión de alimentos, que pueden afectar la calidad nutricional, es por eso que el objetivo de este estudio fue desarrollar un chorro de arroz fortificado con fibra dietética, determinando cuál es el nivel óptimo y aceptado por el consumidor de fibra dietética, realizando a la vez una correlación entre el análisis sensorial y físico para el mejor tratamiento y determinando el efecto de la extrusión sobre el contenido de fibra dietética total.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Desarrollar un churro de arroz fortificado con fibra dietética.

1.1.2 Objetivo específicos

- Determinar el nivel de fibra dietética óptimo para la elaboración de churros de arroz.
- Determinar el nivel de fibra dietética aceptado por el consumidor en churros de arroz.
- Determinar el efecto de la extrusión en el contenido de fibra dietética, por medio de un análisis de fibra dietética total, para el mejor tratamiento.
- Realizar una correlación entre el análisis sensorial y físicos para el mejor tratamiento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DE EXTRUSIÓN

Según Rossen y Miller (1973), la extrusión de alimentos es un proceso en el que un material alimentario es forzado a fluir, bajo una o más variables de condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de un troquel para moldear, secar e inflar los ingredientes.

La extrusión es usada en una amplia gama de alimentos, debido a las múltiples funciones que realiza, las cuales son: aglomeración, desgrasado, deshidratación, expansión, gelatinización, trituración, homogeneización, mezclado, moldeado, desnaturalización de proteínas, cizallamiento, alteración de texturas químicas o físicas, cocción térmica y unificación de los ingredientes (Riaz, 2000).

De acuerdo a varios autores (Harper, 2000; Reverte, 2004), las principales ventajas de la extrusión comparada con los métodos tradicionales de procesado, cocción y moldeado son: adaptabilidad a una amplia versatilidad de productos, variabilidad de formas y características, mejora de características de textura y sabor, producción de nuevos productos y uso de ingredientes no convencionales, alta productibilidad, bajo costos, alta calidad del producto, alta capacidad de procesado en continuo y eficiencia energética, bajo desperdicio, no libera efluentes, procesado de materiales relativamente deshidratados y viscosos, control automatizado de cambios térmicos de los constituyentes de los alimentos.

Según Ascheri y Carvalho (2008), Existen diferentes factores que afectan la expansión del alimento extruido (Cuadro 1). El tamaño de partículas es un factor importante en la expansión, principalmente cuando se utiliza un extrusor de tornillo único, segundo la relación amilosa/amilopectina. El índice de expansión disminuye con el aumento del contenido de amilosa. La amilopectina produce elasticidad, textura y superficies regulares. En contraste, la amilosa conduce a productos más duros y menos expandidos.

2.2 GENERALIDADES DE LA FIBRA DIETÉTICA

Investigadores han sugerido mejoras nutricionales y reducción de costos por medio de la disminución de la capa de grasa que es usada para incorporar los sabores y la adición de fibra dietética. El creciente interés por la fibra es debido a su efecto benéfico sobre la función gastrointestinal y en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Anderson et al., 1990).

En la actualidad se considera que el consumo diario en una persona adulta debe ser de 20 a 35 g de fibra, del cual 40% debe ser fibra dietética soluble (Dreher, 1987).

Estos materiales tienden a permanecer firmes y estables durante el procesado y no son reducidos en su tamaño durante la extrusión. Su presencia física en las paredes de la célula reducirá el potencial para la expansión de la película de almidón mediante la desestabilización de las paredes de la célula cuando sus estructuras penetran las paredes de la película (Guy, 2001).

Según (Ralet *et al.*, 1991) estudios hechos en remolacha demostraron que la extrusión redujo la masa molecular de la pectina y de la hemicelulosa, dando como resultado un aumento de tres veces de la solubilidad en agua de la fibra. Sin embargo, la fibra total fue mas baja después de la extrusión (Ning *et al.*, 1991).

Según el CFR (2008), se considera una buena fuente de fibra dietética si contiene entre 2.5 y 4.9 gramos en una porción de 30 gramos de un alimento.

2.2.1 Efectos nutritivos y de expansión de la fibra dietética en extrusión

La fibra es usada como un agente que proporciona atributos nutricionales y además modifica la textura de algunos productos extruidos. El uso es limitado en la formulación (10% a 20%) debido al efecto detrimental en la expansión cuando contiene 3% de fibra o más durante la extrusión (Lusas y Rooney, 2001).

Cuadro 1. Factores que aumentan la expansión de los materiales almidonosos.

Factores de la extrusión	Factores de la alimentación
Temperatura del cilindro (↑)	Contenido de humedad(↓)
Configuración del tornillo	Contenido de amilosa (↑)
Relación longitud/diámetro	Contenido de fibra dietética (↓)

Fuente: Extrusores en las Aplicaciones de Alimentos (Riaz, 2000).

2.4 MATERIA PRIMA Y FUNCIONES EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

La transformación de las materias primas durante el procesado es uno de los factores más importantes que distingue un proceso alimentario y un tipo de alimento de otro (Cuadro 2). Los ingredientes contienen materiales con papeles funcionales diferentes en la formación y estabilización de los productos extruidos y proporcionan color, aromas y cualidades nutricionales (Guy, 2001).

Cuadro 2. Porcentajes permitidos de materias primas en la elaboración de alimentos extruidos

Ingrediente	% Permitido	Fuente
Arroz (almidón)	40-70	Riaz (2000)
Agua	10 a 22	Riaz (2000)
Azúcar	<10	Guy (2001)
Sal	<5	Guy (2001)
Aceite	1 a 4	Guy (2001)
Fibra dietética	10 a 20	Rooney (2001)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El estudio se realizó en la Planta de Procesamiento de Granos, Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ), Planta de Investigación y Desarrollo (PAID), de la Carrera de Agroindustria Alimentaria ubicada en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, departamento de Francisco Morazán, a 30 Km. de Tegucigalpa, Honduras.

3.2 MATERIALES Y EQUIPO

3.2.1 Equipos de la línea de proceso utilizados en la extrusión de muestras

Los equipos utilizados para la operación de extrusión instalados en la Unidad Productiva de Procesamiento de Granos de la Escuela Agrícola Panamericana, fueron los siguientes:

- Extrusor de tornillo simple INSTA-PRO 600 JR (Anexo 1).

El extrusor INSTA-PRO modelo 600 JR es de tornillo simple segmentado, de 5 roscas móviles que se ensamblan en la sección del tornillo. Clasificado termodinámicamente y según su intensidad de fuerza como un extrusor adiabático de cocción de cizallamiento medio, debido a que genera su propio calor por convección de energía mecánica y opera en condiciones específicas de extrusión (Cuadro 3).

Cuadro 3. Condiciones de procesamiento y operación del extrusor adiabático de cocción de cizallamiento medio.

Detalles	Extrusor Modelo 600 JR
Anillos de fricción (mm)	82
Capacidad de Producción (kg/hrs)	272-365
Densidad del producto (g/l)	160-510
Diámetro del tornillo (mm)	93.66
Humedad del producto (%)	15-30
Potencia del motor (hp)	50
Roscas segmentadas del tornillo	5
Segmentos del Cilindro	3
Tapa con troquel (cm)	0.6
Temperatura máxima del cilindro (°C)	55-160
Velocidad del tornillo (rpm)	550
Productos típicos	Alimentos expandidos Soya texturizada Alimentos semi-húmedos

- Molino SeedBuro, operado a 3400 rpm y con una malla No12/64.
- Mezcladora Davis Precisión Horizontal Batch Mixer con una capacidad de 150 kg.
- Secadora B.N.W. Industries Modelo 022E, con una velocidad de corriente de aire de 70m/min.

La formulación de los tratamientos para la elaboración de un churro de arroz extruido con un alto contenido de fibra dietética se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Formulación utilizada para la elaboración del alimento extruido fortificado con fibra dietética.

Ingredientes	Porcentajes		
Arroz Jasmine	70	60	50
Agua	10	11	12
Azúcar	8	8	8
Sal	2	2	2
Aceite Vegetal	1.5	2	2.5
Fibra Dietética (Salvado de avena)	0	8	16

El experimento se llevó a cabo con tres tandas de 8 Kg por cada una de las tres repeticiones de los tres tratamientos, obteniendo nueve unidades experimentales.

3.2.2 Análisis de compresión simple (ASTM, D5587-05)

- Instron 4444.
- Accesorios acoplables (guillotina).
- Recipientes para contener las muestras.

3.2.3 Análisis de fibra dietética total (AOAC 985.29)

- Calentador CORNING PC-620D.
- Bomba de vacío GASTHAB-25-M100X.
- Incinerador SYBRON TERMOLYNE (500°C).
- Balanza analítica OHANS CORP.AR2140 (0.1mg).
- Medidor de pH portátil OAKTON Phtestr 10BNC.
- Enzima alfa amilasa termoestable.
- Enzimas proteasas.
- Enzimas amiloglucosidasa.
- Etanol 78-95%.
- Hidróxido de sodio.
- Acido clorhídrico.
- Solución limpiadora tipo surfactante para laboratorio (liquida de Micro International Products corp o equivalente) al 2%.
- Tierra diatomácea lavada con acido (Celite 545 AW Sigma).
- Fosfato di-sódico.
- Guantes aislantes.

3.2.4 Materiales para evaluación sensorial

- Neutralizadores (galletas soda, agua).
- Platos.
- Servilletas.
- Vasos.

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos (Cuadro 5) y tres repeticiones, donde los porcentajes de fibra dietética fueron los tratamientos y cada tanda del extrusor fue una repetición, con un análisis total de 9 unidades.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos del alimento extruido.

Tratamientos	% Fibra Dietética
TRT 1	0
TRT 2	8
TRT 3	16

3.3.2 Extrusión

Se prepararon tres tratamientos con sus tres repeticiones, con el fin de reproducir el experimento bajo condiciones similares y a la vez aumentar la confiabilidad de los resultados de las pruebas sensoriales. Se partió de una mezcla de todos los ingredientes, agregando el agua necesaria para alcanzar los porcentajes de humedad de cada tratamiento y se mezcló por un tiempo aproximado de 8 minutos. En la etapa de cocción de los ingredientes se tomaron las temperaturas registradas en los termómetros colocados en las tres secciones del extrusor, con rangos de temperatura de 160 a 200 grados centígrados. A la salida del alimento extruido se colocó un dado, con un molde 6 mm de diámetro. Una vez culmina el proceso, el alimento extruido es secado aproximadamente por 30 minutos.

La zona de alimentación o entrada se encarga del transporte de los ingredientes, en la zona de compresión ocurre el amasado y la temperatura de la zona final de cocción del barril, define el nivel de generación de calor del proceso de extrusión y la plastificación del alimento.

3.3.2.1 Proceso para la elaboración de los churros o snacks: Según los autores Ascheri y Carvalho (2008), se debe tener las siguientes secuencias en el proceso de extrusión, que ayuda a estabilizar y asegurar la calidad del proceso: la formulación, pre-acondicionamiento y mezcla de materias primas, configuración y comprobación pre-arranque y arranque del extrusor, la operación de línea de extrusión y limpieza del extrusor y tornillo.

3.3.2.2 Formulación del producto, pre-acondicionamiento y mezcla de los ingredientes

- Se recibe la materia prima y se almacena en condiciones de baja humedad y temperaturas adecuadas.
- Se realizó un pre-acondicionamiento que es la reducción del tamaño de los ingredientes, a través de un molino equipado con una criba para clasificar las partículas menores a 1/3 del diámetro de los orificios del troquel.
- Durante la mezcla, los ingredientes son pesados según la formulación y mezclados durante 5 a 10 minutos hasta conseguir una combinación homogénea.

3.3.2.3 Comprobación pre-arranque y arranque del extrusor: Antes de que se arranque la alimentación de los ingredientes al extrusor, se llevó al sistema a condiciones estables de operación. La siguiente secuencia de pre-arranque ayudó a un arranque correcto, rápido y seguro del equipo:

- Realizar el ensamblaje del tornillo en secuencia y en comprobación visual.
- Fijar las temperaturas de la zona de control y arrancar las unidades de calentamiento.
- Configuración del programa y verificación del suministro de electricidad, agua y dispositivo de alimentación.

Los siguientes puntos se deben seguir y verificar al momento de realizar la secuencia de arranque del equipo:

- Arrancar el alimentador y fijarlo a un caudal bajo.
- Ajustar el flujo de alimentación de la mezcla y del agua a una velocidad que permita alcanzar la temperatura de extrusión deseada (mayor a 100°C).
- Arrancar el extrusor y poner lentamente las rpm.
- Comprobar la consistencia del producto al final de la boquilla.
- Llevar el extrusor a una velocidad deseada muy lentamente.

3.3.2.4 Operación de la línea de extrusión: Se deben seguir los parámetros de operación de cada tratamiento, según las comprobaciones del equipo y del programa:

- Alimentación del extrusor: la mezcla de ingredientes secos se introduce directamente dentro del extrusor, el agua del proceso se introduce al cilindro del extrusor mediante medidores manuales de flujo.
- Cocción del producto: esto ocurre en la sección de cocción donde el producto es calentado, cizallado y texturizado, luego sale por el dado del troquel listo para el secado y enfriamiento.
- Secado y enfriamiento: la humedad es reducida mediante la evaporación del flujo de aire del secador, hasta alcanzar una reducción aproximada de 4-7% de humedad.

3.3.2.5 Limpieza del extrusor y del tornillo: Se debe quitar los cerrojos de las secciones del cilindro, luego sacar las piezas del barril y del tornillo para realizar una limpieza a fondo del extrusor.

3.3.3 Análisis de compresión simple (ASTM, D5587-05)

Para determinar la dureza del alimento extruido se utilizó el método de compresión simple (kilonewton), utilizando el Instron 4444, con tres repeticiones por unidad experimental para el mejor tratamiento.

3.3.4 Análisis de fibra dietética total (AOAC, 985.29)

Para determinar el contenido de fibra dietética total se utilizó el método AOAC 985.29, por medio de un incinerador 500°C, calentador y desecadores.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.4.1 Análisis físicos y químicos

Se utilizó el programa “Statistical Analysis System “(SAS versión 9.1), para analizar los datos obtenidos en la compresión simple y actividad de agua.

3.4.2 Análisis de fibra dietética total (AOAC, 985.29)

Los resultados fueron evaluados en el programa SAS® con un análisis de varianza (ANDEVA).

3.4.3 Análisis sensorial

Se realizó una prueba cuantitativa afectiva de aceptación, con escalas hedónicas de cinco puntos (Cuadro 6) y codificaciones diferentes para cada muestra (Cuadro 7), analizadas estadísticamente con un análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias con Tukey en el programa SAS®, para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tres tratamientos en términos de sabor, dureza, textura, crocancia y aceptación general.

Cuadro 6. Escala hedónica utilizada para el análisis sensorial.

Descripción	Escala
Me disgusta mucho	1
Me disgusta poco	2
Ni me gusta ni me disgusta	3
Me gusta poco	4
Me gusta Mucho	5

La evaluación sensorial fue realizada con 10 panelistas no entrenados bajo condiciones de luz, aire e higiene, adecuados para realizar el análisis y lo más aproximado a la realidad. Los tratamientos evaluados fueron tres, previamente establecidos en el diseño experimental (Cuadro 5).

Cuadro 7. Codificación de tratamientos utilizados para el análisis sensorial.

Tratamientos % Fibra dietética	Repetición	Muestras
0	1	326
	2	292
	3	225
8	1	191
	2	932
	3	431
16	1	752
	2	561
	3	92

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS SENSORIAL

En los Cuadros 8, 9, 10, 11 y 12, se presentan los resultados de los análisis de los atributos sensoriales evaluados en el churro de arroz fortificado con fibra dietética de avena.

Cuadro 8. Efecto de la fibra dietética de avena en la textura del churro determinada sensorialmente.

% Fibra dietética	Media ± DE	Agrupación Tukey**
16	3.13±1.01*	A
8	2.67±1.18	AB
0	2.43±1.17	B

*Parámetros: El número 5 representa el mayor grado de aceptación y 1 el menor grado de aceptación.

**Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

Los tratamientos con 8% y 16% de fibra dietética fueron estadísticamente iguales para el atributo de textura, pero diferentes al tratamiento con 0% de fibra dietética, que fue el menos aceptado por los panelistas. El contenido de fibra dietética mejoró la textura debido a que aumentó la crocancia al utilizar 16% de fibra dietética.

Cuadro 9. Efecto de la fibra dietética de avena en la crocancia del churro determinada sensorialmente.

% Fibra dietética	Media ± DE	Agrupación Tukey**
16	3.23±1.22*	A
8	2.30±1.32	B
0	2.23±1.10	B

*Parámetros: El número 5 representa el mayor grado de aceptación y 1 el menor grado de aceptación.

**Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

Los tratamientos con 8% y 0% de fibra dietética son estadísticamente iguales, pero muestran diferencias significativas al ser comparados con el tratamiento de 16% de fibra

dietética, mostrándonos que a media que aumentamos el contenido de fibra dietética mejora la crocancia del alimento fue más aceptada por los panelistas.

Cuadro 10. Efecto de la fibra dietética de avena en la apariencia del churro determinada sensorialmente.

% Fibra dietética	Media \pm DE	Agrupación Tukey**
0	2.77 \pm 1.22*	A
8	2.57 \pm 1.14	A
16	2.77 \pm 1.13	A

*Parámetros: El número 5 representa el mayor grado de aceptación y 1 el menor grado de aceptación.

**Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales ($P>0.05$).

Los panelistas no detectaron diferencias significativas en la apariencia de los churros, encontrándose dentro de los rangos de “Me disgusta poco” y “Ni me gusta ni me disgusta”. Esto nos indica que la apariencia del producto no fue afectada al aumentar el contenido de fibra dietética.

Cuadro 11. Efecto de la fibra dietética de avena en el sabor del churro determinada sensorialmente.

Tratamientos	Media \pm DE	Agrupación Tukey**
0	2.63 \pm 0.93*	A
8	3.17 \pm 1.21	A
16	3.17 \pm 1.09	A

*Parámetros: El número 5 representa el mayor grado de aceptación y 1 el menor grado de aceptación.

**Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales ($P>0.05$).

Los tratamientos no mostraron diferencias significativas en el atributo sensorial de sabor al ser medidos por panelistas no capacitados, debido a que todos los tratamientos contienen igual proporciones de azúcar y sal, siendo estos los ingredientes que proporcionan sabor al producto, mostrando a la vez que no existió un efecto directo del contenido de fibra dietética, humedad y aceite vegetal sobre el sabor del alimento.

Cuadro 12. Efecto de la fibra dietética de avena en la aceptación general del churro determinada sensorialmente.

Tratamientos	Media \pm DE	Agrupación Tukey**
0	3.03 \pm 1.03*	A
8	2.77 \pm 1.01	A
16	3.30 \pm 0.84	A

*Parámetros: El número 5 representa el mayor grado de aceptación y 1 el menor grado de aceptación.

**Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales ($P > 0.05$).

Dentro de los tratamientos no existen diferencias significativas al ser evaluado el atributo sensorial de aceptación general, mostrando que no existe una influencia directa del contenido de fibra dietética en la aceptación general del alimento. Los tratamientos solo mostraron diferencias significativas en los atributos de textura y crocancia, siendo estos los atributos tomados para medir la relación entre el análisis sensorial y los análisis físicos del producto.

4.1.1 Fuentes de variación para el análisis sensorial cuantitativo de aceptación

Se obtuvo un ajuste del modelo bajo y un coeficiente de variación alto (Cuadro 13), debido a que se trabajó con panelistas no entrenados y el equipo de extrusión utilizado no se encuentra en las condiciones adecuadas, el CV se encuentra fuera de los límites pues por no ser una prueba de laboratorio se permite un máximo de 30% de variación.

Algunas de las variables que afectaron que el diseño experimental tuviera una variación alta son: tipo de materia prima, velocidad de alimentación, humedad en el cañón, velocidad del tornillo, temperatura del cañón, características de la boquilla o dado y diseño del tornillo.

Cuadro 13. Fuentes de variación en el ANDEVA y CV de textura, crocancia, sabor, apariencia y aceptación general de los tres tratamientos.

Fuente de variación	Textura	Crocancia	Sabor	Apariencia	Aceptación General
Modelo ¹	0.0535	0.0027	0.0928	0.7455	0.1061
R-cuadrado ²	0.07	0.13	0.05	0.007	0.05
CV ³	40.88	47.04	36.10	43.15	31.74

¹ Significancia de ajuste del modelo.

² Coeficiente de ajuste de la muestra.

³ Coeficiente de variación.

4.2 ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

4.2.1 Análisis de compresión simple (ASTM, D5587-05) y actividad de agua (AOAC, 978.18)

Se utilizó el Instron para medir la compresión del tratamiento con 16% de fibra dietética del alimento extruido con una media de 1.499 KN (kilo newton), relacionando los atributos sensoriales de textura y crocancia que se midieron con anterioridad en el análisis sensorial. De igual forma se obtuvo la actividad de agua del alimento extruido, debido a que esta, es la que determina su vida de anaquel.

La desviación estándar (Cuadro 14) para la actividad de agua es baja, indicándonos que el análisis se llevo a cabo en el laboratorio, al igual que la desviación estándar para la textura.

Cuadro 14. Resultados del análisis estadístico para actividad de agua y textura del tratamiento con 16% de fibra dietética.

Variable	Media	Desv. Estándar
aw ¹	0.602	0.034
Textura ²	1.499	0.326

¹ Actividad de agua.

² kilo newton.

Los churros extruidos presentan una actividad de agua de 0.6 (25° Celsius) encontrándose así los tratamientos elaborados bajo los límites de crecimiento de hongos tóxicos y bacterias patógenas (Peterson y Dwyer, 1998).

4.2.2 Análisis de fibra dietética total (AOAC 985.29)

Cuadro 15. Resultados del análisis de fibra dietética total (AOAC 985.29).

%Fibra antes de extrusión	%Proteína cruda de fibra dietética	%Fibra Dietética después de extrusión
16	3.91	13.7

Se puede observar una reducción de un 2.3% de fibra dietética por el efecto de extrusión (Cuadro 15), según Riaz (2000), también puede existir una reducción del contenido de fibra dietética total, debido a que las moléculas más pequeñas son más solubles en agua y también pueden ser solubles en etanol acuoso, que se utiliza para la extracción en los métodos enzimático-gravimétrico y enzimático-químico de análisis de fibra dietética. Según Rooney (2001), existen reducciones en el contenido de fibra dietética total de hasta un 3% por efecto del cizallamiento en el proceso de extrusión. Se encontró que el churro proporciona 4.11 gramos de fibra dietética por cada porción de 30 gramos.

4.2.3 Análisis de correlación de los atributos sensoriales y análisis físicos para el tratamiento con 16% de fibra dietética

En Figura 1, podemos observar una correlación de asociación inversa alta entre el atributo sensorial de textura y la textura medida en laboratorio por medio de un instron, con un coeficiente de pearson de -0.9867 y una probabilidad menor a 0.05, a medida que aumenta la fuerza en kilonewton la aceptación por los panelistas disminuye.

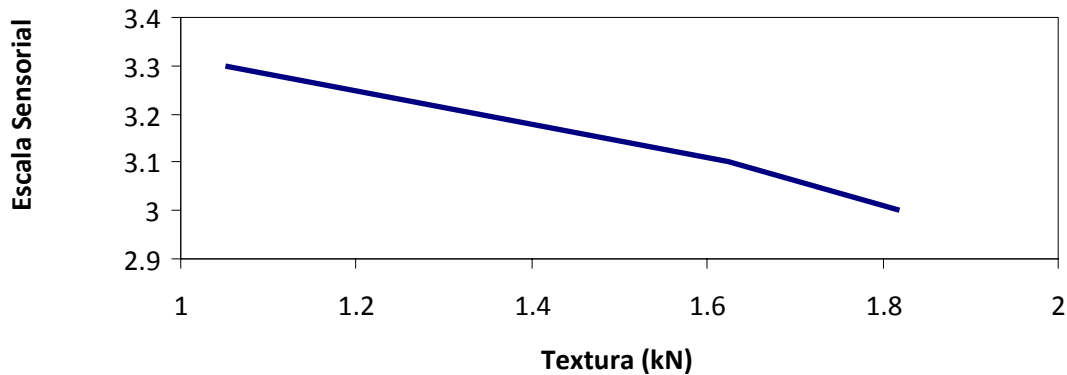


Figura 1. Análisis de correlación entre compresión simple Vs. textura sensorial

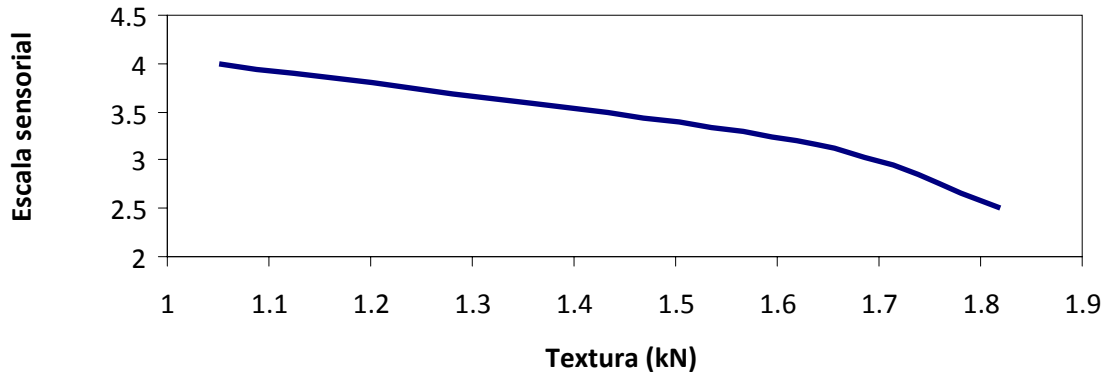


Figura 2. Análisis de correlación entre compresión simple Vs. crocancia sensorial

Podemos observar en la Figura 2, que a medida que aumentó la textura (kilonewton) en el Instron, la aceptación en el atributo de crocancia disminuye, indicando que es una correlación de asociación inversa alta según su coeficiente de pearson de -0.9717 y una probabilidad menor a 0.05 , esto se debe a que entre más duro se encuentra el alimento más difícil es de consumir por los panelistas.

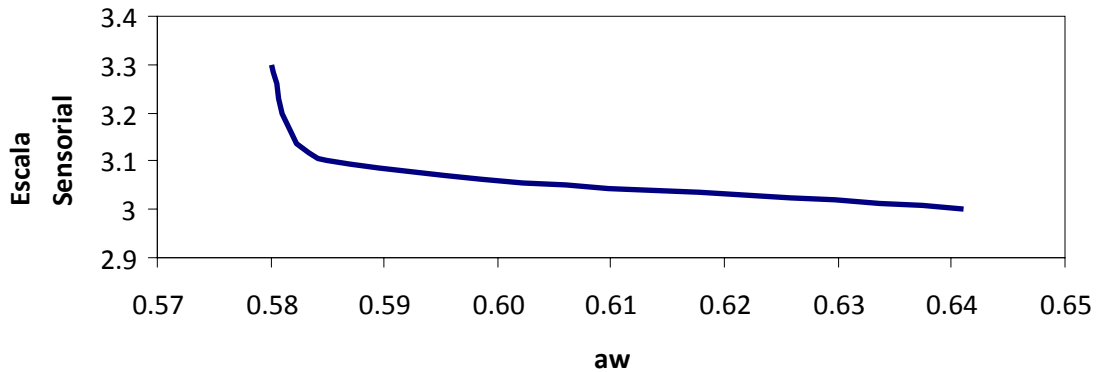


Figura 3. Análisis de correlación entre actividad de agua (aw) Vs. textura sensorial

Se determinó una correlación inversa de asociación media (Figura 3), entre la actividad de agua obtenida en laboratorio y la textura medida sensorialmente, debido a su coeficiente de pearson de -0.8486 y una probabilidad menor a 0.05 , indicando que a medida que aumenta la actividad de agua, la aceptación del atributo de textura por los panelista será menor.

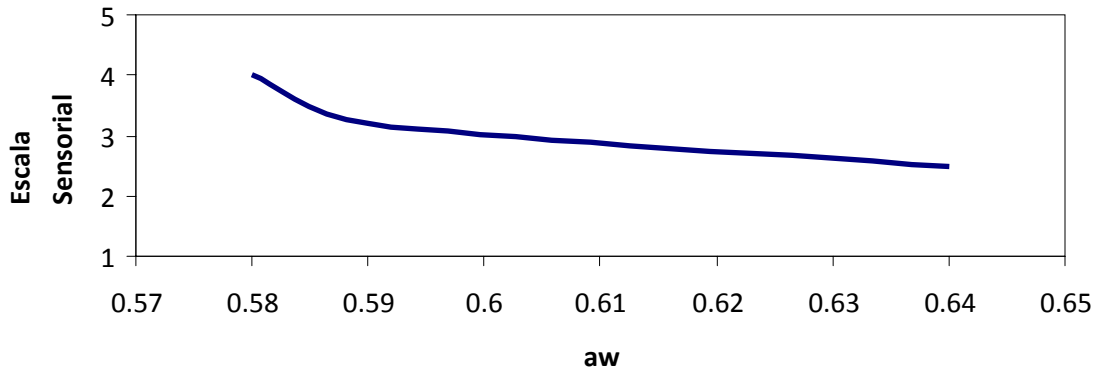


Figura 4. Análisis de correlación entre actividad de agua (aw) Vs. crocancia sensorial

Se observó que existe una correlación inversa de asociación alta, determinada por su coeficiente de pearson de -0.9188 y una probabilidad menor a 0.05 , mostrando que a medida que aumenta la actividad de agua, disminuye la aceptación del alimento para el atributo de crocancia. Esto se puede notar en el alimento, ya que es más huloso a mayor actividad de agua.

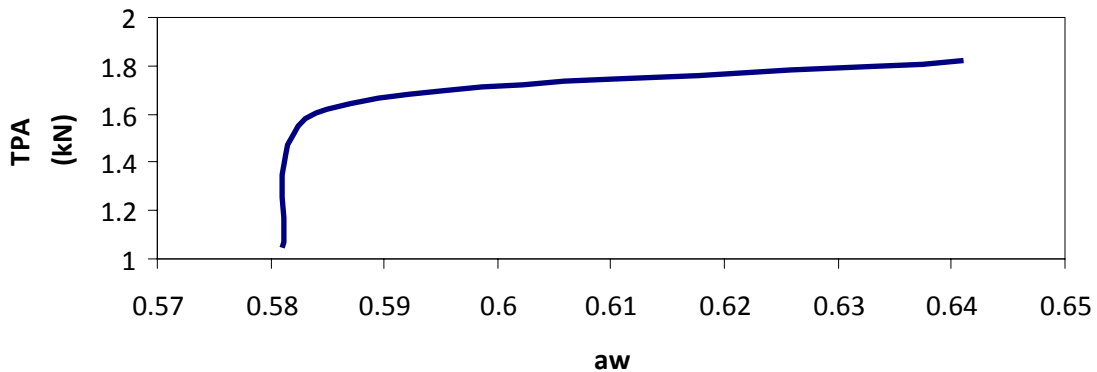


Figura 5. Análisis de correlación entre compresión simple Vs. actividad de agua (aw)

Se observo que existe una relación directa de asociación media, debido a su coeficiente de pearson de 0.8033 y una probabilidad menor a 0.005, cuando aumenta la actividad de agua también lo hace la textura medida con el Instron, eso se puede observar en el producto, ya que a mayores rangos de actividad de agua es mas huloso y duro.

4.3 COSTOS VARIABLES

Cuadro 16. Costos variables para una tanda de 8.00 Kg de producto para el tratamiento con 16% de fibra dietética

Descripción	Cantidad (Kg)	Costo Variable (L.)	Costo Variable Unitario (L)/Kg
Arroz Jasmine	4.00	176.00	20.00
Salvado de Avena	2.77	127.28	20.90
Azúcar	0.58	9.47	7.40
Aceite	0.18	5.03	12.58
Sal	0.15	1.60	5.00
Total	8.00	319.39	144.92

Tasa de cambio actual, 1\$=18.6 L

Podemos observar que existe un alto costo al producir una libra de producto (Cuadro 16), sin tomar en cuenta los costos indirectos, esto se debe al alto costo de la materia prima, sobre todo el arroz jasmine y el salvado de avena.

5. CONCLUSIONES

- El nivel óptimo de fibra dietética para la elaboración de churros de arroz fue 16%, tomando en cuenta la textura y crocancia.
- Se encontró que la fibra dietética no afectó directamente el grado de aceptación en los atributos sensoriales de sabor, apariencia y aceptación general, dando como resultado que no existan diferencias significativas en los tratamientos.
- Se determinó las correlaciones entre los análisis de actividad de agua y compresión simple, con los atributos sensoriales de textura y crocancia para el tratamiento fortificado con 16% de fibra dietética.
- Se determinó que el chorro de arroz es una buena fuente de fibra dietética según lo establecido por la norma del FDA.
- Se observó que el contenido de fibra dietética total se redujo, por efecto del proceso de extrusión para el tratamiento con 16% de fibra dietética.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre el efecto de la humedad, presión, temperatura y tipo de boquilla o dado en la expansión del churro, bajo las condiciones del extrusor de zamorano.
- Repetir el estudio incorporar diferentes sabores al churro de arroz, con el fin de medir si existe o no, un aumento en el grado de aceptación del mismo.
- Realizar un estudio con panelistas entrenados, para reducir el grado de variación del experimento.
- Realizar en futuros estudios análisis microbiológicos y de vida de anaquel para medir el efecto que ejerce fibra dietética sobre el churro de arroz.

.

7. BIBLIOGRAFÍA

Anderson, R.A.; Conway, H.F.; Pfeifer, V.F. and Griffin, E.L. (1990). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, v.14, n.1, 4-11, 1969.

Ascheri, R., Carvalho, W. 2008. Curso de extrusión de alimentos: Aspectos tecnológicos para el desenvolvimiento y producción de alimentos para consumo humano. EMBRAPA. 82 p.

CFR, 2008. Code of Federal Regulations. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>. Consultado el 1 de Agosto de 2008.

CYTED. 2002. Temas en la tecnología de alimentos, fibra dietética. México Alfaomega. 337 p.

Guy, R. 2001. Extrusión de los alimentos tecnología y aplicaciones: extrusión y calidad nutritiva. Trad. AI Ribas. Acribia. 228 p.

Harper, J. 1979. Extrusion of foods. Marcel Dekker, New York. CRC Press, Inc. 212 p.

Lusas Edmund, W., Rooney Lloyd, W. 2001. Snack Foods Processing. Technomic Publishing Company, Inc. 631 p.

Matz, S. 1992. Snack food technology. TEXAS, U.S.A.: PAN-TECH INTERNATIONAL, INC. 450 p.

Midland, D.A. 2007. Alimentos Snack. Disponible en: <http://www.admworld.com/nasp/food/snack.asp> . Consultado el 2 de Agosto de 2008.

Ralet, J., Clark, R. 1991. Texturization process in the cereal foods industry. Food Technology. TEXAS, U.S.A.: PAN-TECH INTERNATIONAL, INC. 436P.

Riaz, N. 2000. Extrusores en las aplicaciones de alimentos. Texas University. Trad. AI Ribas. Acribia. 227 p.

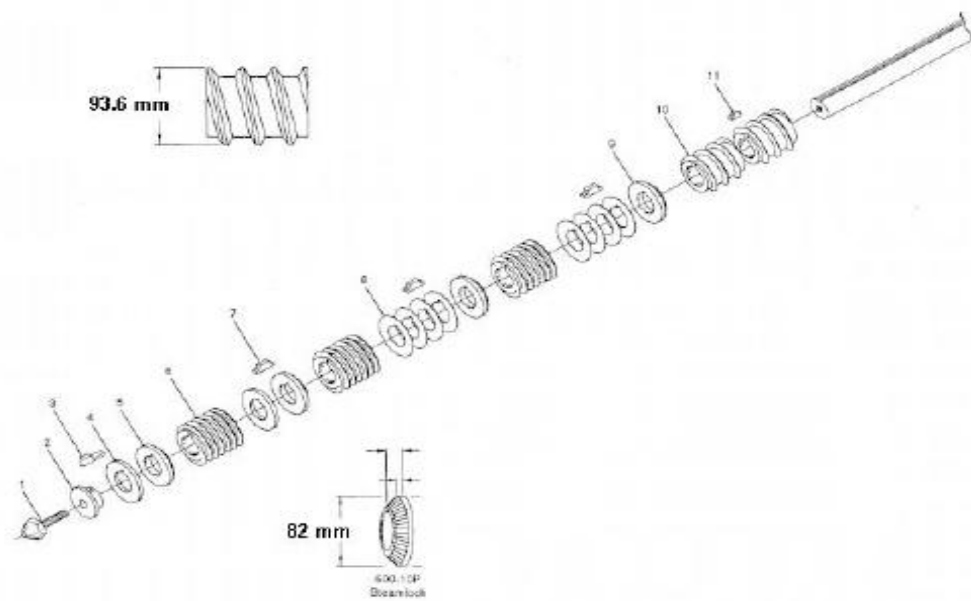
Rossen, J.; Millar, A.L. 1973. Studies on the gelatinization rates of rice and potato starches. *J. Food Science.*, v.44, p.1394.

Reverte, A. 2004. A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science Today*, 14, 4-12.

Roney, W. 2001. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking fo cereal products. *Cereal Chem.*, v.52, n.3, p. 283.

8. ANEXOS

Anexo 1. Ensamblaje del tornillo (Model 600JR Manual Pages, 2000).



Ensamblaje del barril

