

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE HUMEDAD, PRESIÓN Y CANTIDAD DE
CARGA EN LA OBTENCIÓN DEL MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays L.*)
EXPANDIDO.**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

AUTOR : Br. OSCCO QUISPE, Kinder Raúl

ASESOR : Ing. TAIPE PARDO, Fredy

CO-ASESOR : MSc. CHOQUE QUISPE, David

ANDAHUAYLAS – PERÚ

2013

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada principalmente a nuestro Divino Creador por haberme dado una madre maravillosa, ejemplo de responsabilidad, su incansable lucha diaria, su empeño y su apoyo incondicional en mí formación profesional como ingeniero agroindustrial.

PRESENTACIÓN

Esta investigación se centra en un producto expandido del cereal de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), donde se sintetiza el procedimiento y las actividades que se realiza durante la expansión. Se utilizó un “expansor”, descubierto por el científico Alexander Anderson en el año de 1901. A partir de su descubrimiento muchos avances tecnológicos han sido realizados en el transcurso de los años buscando obtener mayores rendimientos durante el proceso, aumentar la capacidad de producción, etc. Sin embargo el principio de expansión de los granos sigue siendo el mismo hasta la actualidad. Cabe aclarar que a lo largo de la presente investigación se usó la denominación de cereales expandidos para el desayuno, el cual se identificó indistintamente a los tipos de productos expandidos. El cereal se expandió a una presión de 160 psig y 180 psig en el expansor, el cual se destinó a la alimentación humana, y se presentó libre de impurezas, materias extrañas, parásitos y en buen estado de conservación.

Los cereales representan una fuente de nutrientes, principalmente carbohidratos y proteínas. Durante el proceso de expansión se mejora la digestibilidad de estos granos, además se observó un incremento del porcentaje de proteínas por la pérdida de humedad. Por esta razón este tipo de productos tiene gran importancia en la alimentación humana, mayormente es consumida por la población en general. Sin embargo la investigación que se realizó para el desarrollo del producto expandido solo será posible con el conocimiento del proceso de expansión de cereal y del funcionamiento básico del equipo expansor que se utilizó para la expansión de granos. Este es justamente el aporte que se realiza con la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por haberme colocado en mi camino a personas sabias, personas colaboradoras, personas amables, que han participado en forma directa e indirecta en la realización de esta investigación.
- A la Universidad Nacional José María Arguedas por darme la oportunidad de formarme académicamente y crecer profesionalmente en esta profesión.
- A la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial que me albergó en sus aulas, a los docentes por trasmitirme conocimientos valiosos durante mi formación profesional.
- Al Ing. Fredy Taipe Pardo, asesor, por sus destacados consejos, orientaciones y colaboración en los diferentes momentos en la ejecución de la presente investigación.
- Al Ing. David Choque Quispe, co-asesor, por su valiosa participación, magníficos consejos y colaboración en los diferentes momentos del desarrollo y culminación de mi investigación.
- Al Ing. David Juan Ramos Huallpartupa. por encaminarme y transmitirme su sapiencia en el área de investigación.
- A los compañeros de estudio Manuel Huaraca, Carlos Ramos, Wilber Rojas, a quienes agradezco por su colaboración en la culminación de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
PRESENTACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	01
1.1 Antecedentes	02
1.2 Variables del expansor	06
1.3 Maíz	08
1.3.1 Definición del maíz amarillo duro	08
1.3.2 Clasificación del maíz amarillo duro para expandir	08
1.3.3 Calendario de siembra y cosecha del maíz amarillo duro	11
1.4 Justificación	12
1.5 Objetivo	13
1.6 Problema	13
1.7 Hipótesis	13
CAPÍTULO II	
MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1 Lugar de ejecución	14
2.2 Métodos	16

2.3	Análisis	25
2.4	Diseño experimental	28
CAPÍTULO III		
RESULTADOS		30
3.1	Rendimiento del expandido de maíz amarillo	30
3.2	Evaluación de la densidad aparente del maíz expandido para los diferentes tratamientos	33
3.3.	Evaluación del índice de expansión del maíz expandido para los diferentes tratamientos	36
3.4	Evaluación del índice de absorción de agua (IAA) del maíz expandido para los diferentes tratamientos	41
3.5	Evaluación del índice de solubilidad en agua (ISA) del maíz expandido para los diferentes tratamientos	45
3.6	Evaluación de la humedad, presión y cantidad de carga óptimas para el proceso de expansión del maíz amarillo	48
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		52
CONCLUSIONES		58
RECOMENDACIONES		60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		61
ANEXOS		67

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
01	Composición promedio de minerales del grano de maíz	05
02	La composición química del grano entero de maíz (% base seca)	10
03	Dimensiones características (mm) de diversos granos	10
04	Rangos característicos de densidad de cereales	10
05	Calendario agrícola en el centro poblado de Chanta del Distrito de Andarapa	11
06	Valores del rendimiento de peso del maíz expandido por tratamientos	30
07	ANOVA de los factores e interacciones para el rendimiento del maíz expandido	33
08	Valores de la densidad del maíz expandido por tratamientos	34
09	ANOVA de los factores e interacciones para la densidad del maíz expandido	36
10	Valores del índice de expansión del maíz expandido por tratamientos	37
11	ANOVA de los factores e interacciones para el índice de expansión del maíz expandido	39
12	Valores del índice de absorción de agua del maíz expandido por tratamientos	42
13	ANOVA de los factores e interacciones para el índice de absorción de agua del maíz expandido	45
14	Valores del índice de absorción de agua del maíz expandido por tratamientos	46

15	ANOVA de los factores e interacciones para el índice de absorción de agua del maíz expandido	48
16	Valores de los coeficientes de los modelos matemáticos para las variables dependientes	50
17	Valores óptimos de las variables de entrada y salida, en el proceso de expansión del maíz amarillo	51

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
01	Granos de maíz de diferentes colores	08
02	Flujo de operaciones para la obtención del maíz expandido	19
03	Balance de materia para la obtención del maíz expandido	20
04	Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el rendimiento del maíz amarillo expandido	31
05	Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el rendimiento del maíz amarillo expandido	32
06	Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en la densidad del maíz amarillo expandido	35
07	Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en la densidad del maíz amarillo expandido	36
08	Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el índice de expansión del maíz amarillo expandido	38
09	Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el índice de expansión del maíz amarillo expandido	39
10	Gráfica de contorno para el índice de expansión del maíz amarillo expandido en función de la carga y presión	40
11	Gráfica de contorno para el índice de expansión del maíz amarillo expandido en función de la carga y humedad de operación	41

12	Gráfica de contorno para el índice de expansión del maíz amarillo expandido en función de la humedad y presión de operación	42
13	Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el índice de absorción del maíz amarillo expandido	43
14	Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el índice de absorción de agua del maíz amarillo expandido	44
15	Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el índice de solubilidad en agua del maíz amarillo expandido	46
16	Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el índice de solubilidad en agua del maíz amarillo expandido	47

RESUMEN

El objetivo de ésta investigación fue determinar el efecto de la variación de 2 niveles de humedad, carga y presión de operación de un expansor en las características físicas del maíz amarillo duro expandido.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el expansor con la finalidad de trabajar a las condiciones del maíz amarillo duro en estudio. Los valores de humedad en el expansor fueron 25 % - 30 %; y 1300 g – 1500 g de carga de maíz; y 160 psig – 180 psig de presión al equipo, aplicándose el diseño factorial 2^3 con 02 niveles y 3 factores de humedad, carga y presión de operación obteniéndose 08 tratamientos con 3 repeticiones para cada tratamiento, dando como resultado un total de 24 unidades experimentales.

Se utilizó el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5 %, y se llevó a cabo las diferencias estadísticas entre tratamientos y sus interacciones, por el método de TUKEY.

Luego de haber efectuado la corrida experimental se eligió el tratamiento correspondiente a 30 % de humedad, 1500 g de carga y 160 psig de presión, bajo este criterio el rendimiento óptimo (máximo) es de 80.0 %, densidad 0.079 g/cm^3 , índice de expansión 7.02 %, índice de absorción de agua $14.9 \text{ g de gel/g s.s.e}$ índice de solubilidad en agua 0.375 %, presentando en mayor grado a las características físicas del maíz expandido.

Palabras claves: expansor, carga, presión, humedad, maíz amarillo.

ABSTRAC

The purpose of this study was to evaluate the effect of variation of 2 levels of humidity, pressure loading and operation of an expander in physical characteristics intermediate range expanded hard yellow corn.

To develop research expander was used in order to work corn conditions studied. Moisture values were in the expander 25 % - 30 % and 1300 g – 1500 g load corn and 160 psig - team 180 psig pressure, applying a 2³ factorial design with 02 levels and 3 factors moisture load and pressure obtaining operation 08 treatments with 3 replications for each treatment, resulting in a total of 24 experimental units.

We used analysis of variance with a significance level of 5%, and conducted statistical differences between treatments and their interactions, TUKEY method.

After having made the experimental run treatment was chosen corresponding to 30 % moisture, 1500 g load and 160 psig pressure, under this approach the optimal performance (maximum) is 80.0 %, density 0.079 g/cm³, expansion Index 7.02 %, water absorption rate 14.9 g gel / g s.s and water solubility index 0.375%, with a greater degree the physical characteristics of expanded corn.

Keywords: expander, load, pressure, moisture, yellow corn.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La expansión de granos es un proceso utilizado para la elaboración de cereales listos para comer (ready-to-eatcereals) los cuales pueden ser comercializados como cereales para el desayuno o como snacks. Este tipo de productos normalmente se elaboran a partir de maíz, trigo, avena y arroz, pudiendo ser o no saborizados y/o fortificados. Comúnmente los cereales para el desayuno y los snacks son clasificados de acuerdo al tipo de proceso utilizado para su transformación; cereales extruidos en hojuelas, granos enteros expandidos, cereales extruidos, cereales expandidos en horno, etc.

Dentro del marco teórico se abordó exclusivamente sobre el proceso de elaboración de granos enteros expandidos, por ser el producto que se obtiene con el expansor existente y utilizado en la presente investigación. Este tipo de expansor también suele ser denominado pistola para expandir granos. El producto se denomina generalmente, cereales inflados o expandidos por pistola. Para mantener una misma terminología, se usó la palabra “expandido” para designar al producto obtenido y tomando en cuenta que tanto la forma del equipo como el sonido en el momento de liberar el producto, hace recordar a un “cañón”, anteriormente se usaba esta palabra para denominar el equipo.

El maíz amarillo duro es considerado como la base de las grandes civilizaciones porque constituyeron una de las primeras actividades agrícolas humanas. Las culturas europeas se formaron en torno al trigo, las civilizaciones del extremo oriente alrededor del arroz y las de América cultivaron el maíz. La elaboración de los cereales de desayuno, surge a finales del siglo XIX cuando los hermanos Kellogg, descubren el proceso de atemperado en el trigo y posteriormente inventan un método de procesamiento de los cereales que incluye cocido, temperado, laminado y tostado del grano para obtener hojuelas tostadas.

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente en la ciudad de Andahuaylas se viene comercializando el maíz amarillo duro, trigo, arroz y otros como cereales expandidos de mediana calidad, por desconocimiento de los parámetros y el funcionamiento del expansor durante el proceso de expansión. Lo que se quiere es tener un producto bien expandido y sea blando que fácilmente se deshacen y no un producto duro, con características físicas y químicas que permitan obtener maíz expandido de calidad y perspectivas de desarrollo tecnológico.

Actualmente, las cantidades de cereales de desayuno consumidos en el mundo entero son de cerca de 3 millones de toneladas por su gran popularidad en su contenido nutritivo. Dichos productos pueden proporcionar simultáneamente energía (350–400 kcal/100g), nutrientes, vitaminas, minerales y componentes orientados a la salud.

En la actualidad el impacto de la nutrición sobre la salud y la enfermedad se están convirtiendo en el objetivo principal de los diseñadores, elaboradores y consumidores de alimentos, de este modo, la tendencia creciente por los alimentos saludables influye en la elección del alimento y los cereales de desayuno no escapan a este desarrollo, por supuesto, el tema de la salud conduce a la innovación cuando se están diseñando cereales saludables (Guy, 2001).

Paggi (2003) realizaron estudios de expandidos con tres diferentes tipos de cereales ;“adecuación de una maquina expansor de cereales de arroz, maíz y quinua” quien concluye que la expansión de cereales en un expansor, produce un incremento en el valor nutricional de los cereales, esto se debe a que durante el proceso de expansión ocurre por un lado, pérdida de humedad (aproximadamente 10% del peso de la muestra), y por otro lado, desprendimiento de gran parte del

pericarpio del grano, lo que reduce la cantidad de fibra y cenizas. La reducción de estos componentes del alimento hace que la proporción de los demás (proteína, grasa y carbohidratos) aumente, y son justamente estos nutrientes los que dictaminan el valor calórico de un alimento.

También menciona que la presión de liberación del producto debe ser de 140 psig para el arroz; 160 psig para el maíz; 170 psig para el trigo; y, 180 psig para la quinua. A presiones menores que las indicadas, la cantidad de granos sin expandir o con subexpansión aumenta. Mientras que al incrementar esta presión aumenta el número de granos sobre expandidos y de granos con coloración café, indicativo de un intenso tostado.

Acosta (2004) en su investigación “efecto de variación de la humedad y presión en cubitos de manzana en un cañón expansor” da a conocer que los cubitos de manzana expandida a partir de cubitos con 30% de humedad y con 30psig de presión de operación del expansor después del secado final permite obtener un producto bueno con una humedad no mayor del 5%, azúcares reductores de 5.2783 mg de glucosa/g de muestra y un coeficiente de rehidratación de 4.52 g de agua absorbida/g de sólidos secos.

Concluye que los tratamientos elegidos a 30 % de humedad y 30psig de presión se obtiene una humedad promedio de 21.2 4%, un índice de expansión promedio de 171.69 % y un grado de aceptabilidad general promedio de 6.0 puntos(me gusta ligeramente) según escala hedónica de 9.0 puntos los cuales estuvieron validados por el análisis estadístico, esto indicaría a las condiciones de presión que se operó, no altero la estructura del material alimenticio por fusión de azúcares o degradación de compuestos estructurales.

Tacora et al. (2010), El trabajo de investigación “Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua” afirma que en el proceso de expansión por explosión a diferentes presiones (120, 140 y 160 psig) en las variedades ILLPAINIA 406 y Cupi produce un efecto positivo en las características funcionales y fisicoquímicas de la cañihua a medida del incremento de las presiones. El proceso de tostado a diferentes temperaturas (130, 160 y 190 °C) incrementa las propiedades funcionales conforme aumenta la temperatura pero las mejores condiciones fisicoquímicas se presentan a una presión de 160 °C en ambas variedades. El proceso de expandido por explosión proporciona mejores propiedades funcionales, pero provee características fisicoquímicas similares al tostado.

Chávez (1990) en su trabajo de investigación “Planta de procesamiento de maíz, trigo y arroz por el método de expansión por explosión” indica que el almidón de los granos influye en el proceso de expansión por explosión y tras romper los puentes de hidrógeno, se aumenta la penetración de agua en los intersticios. Ello origina un aumento progresivo del volumen del grano de 8 a 16 veces con relación al trigo, unas 6 a 8 veces con relación al arroz y unas 10 veces del maíz amarillo duro de acuerdo a la presente tesis.

Según Clark (1986) la texturización de alimentos es un proceso combinado de efectos físicos, de presión, temperatura y humedad para generar diferentes texturas, deseables sabores y mejorar la digestibilidad.

El proceso para lograr muchas de estas deseables texturas tiene en común el cuidadoso uso controlado del calor para transformar y preservar la estructura. En cuanto a la producción de “snacks” expandidos, comúnmente se prefieren maíces

duros debidos tanto a sus propiedades durante la molienda seca, como por la mejor textura alcanzada, en comparación con el maíz dentado (de endospermo más blando) (González *et al.*, 2004; Robuttiet *al.*, 2002).

Tabla 01. Composición promedio de minerales del grano de maíz en general.

Minerales	Contenido en base seca
Calcio	0.03 %
Fosforo	0.29 %
Magnesio	0.14 %
Potasio	0.37 %
Sodio	0.03 %
Cobre	4.0 ppm
Magnesio	5.0 ppm
Zinc	14.0 ppm

Fuente: Watson ,1987.

Según Biliaderis (1983), la gelatinización del almidón es de primordial importancia en la industria de alimentos porque tiene un impacto fundamental sobre la textura de los productos con almidón y cuya evolución puede ser evaluada a través de la calorimetría diferencial de barrido.

AbdKarim *et al.*,(2000), menciona que el efecto de la retrogradación puede ser deseable o indeseable. Hay un consenso general que la retrogradación contribuye significativamente al “*staling*” o firmeza indeseable del pan o de otros alimentos que contienen almidón. Los cambios dependientes del tiempo (propiedades físicas y químicas) pueden directamente contribuir a un correlato con la percepción sensorial o digestibilidad de los alimentos con almidón. Aunque es importante enfatizar que en la mayoría de los casos, al seguir los cambios con un simple parámetro no provee una adecuada descripción de la retrogradación. La adopción de un procedimiento es crítico en asegurar la validez de los resultados.

Según Othón (1996), las condiciones necesarias para lograr la expansión de granos son el cocimiento o gelatinización del almidón y la aplicación de un fuerte tratamiento térmico o de presión con su posterior liberación. La humedad absorbida por el material durante el acondicionamiento es fundamental para la posterior formación de vapor de agua una vez que se libera la presión o se aplica el calor. El grano se expande debido a la rápida salida de vapor de agua que intenta equilibrarse con la presión atmosférica.

1.2. VARIABLES DEL EXPANSOR

Presión manométrica (160psig-180psig)

Permite que por efecto del calentamiento, la humedad residual del producto, alcance una temperatura por encima de su punto de ebullición atmosférico. Lo cual es, indispensable, para que se lleve a cabo el proceso de expansión. La presión, en combinación con la humedad del maíz amarillo duro posee incidencia directa sobre la estructura final del producto (Sullivan *et al.*, 1995).

Humedad del maíz amarillo duro (25% - 30%)

Contenidos bajos de agua en el material alimentado resultan en alta viscosidad, lo cual causa un mejor rendimiento, sin embargo, en la extrusión de almidones o materiales amiláceos, la gelatinización ocurre más fácilmente a altos contenidos de humedad. Además, con menos contenido de humedad, se reduce el grado de expansión obteniéndose productos de menor volumen y mayor densidad. (Zhang y Hosney, 1998). En el proceso de extrusión de alimentos, el almidón es el componente que juega el papel más importante, ya que los cambios que sufre el almidón afectan la expansión y textura final del producto extrudido (Lai y Kokini, 1991). De las distintas variables que afectan a la expansión, la humedad es la más significativa (González *et al.*, 2002).

Una de las propiedades más importantes de los productos extrudidos tipo “snack” es la textura, la cual estará muy relacionada a la expansión. Al respecto, cabe mencionar que si bien se ha demostrado que la expansión del producto ocurre en las direcciones longitudinal y radial, la expansión radial es la más simple de determinar y refleja la expansión global (Maroulis *et al.*, 2004).

Temperatura del entorno del proceso de expansión (150°C- 180°C)

Permite el manejo del producto dentro de la cámara, evitándose que el producto se queme o carbonice. En la expansión en “batch”, la temperatura guarda relación directa con la presión dentro del expansor. Entonces al controlar la presión del equipo, tendremos controlado la temperatura (Sullivan *et al.*, 1995).

La cocción normalmente causa la gelatinización del almidón o disrupción de los gránulos, dependiendo de la severidad de los tratamientos aplicados. El comportamiento de los almidones gelatinizados durante el enfriamiento y almacenamiento, generalmente se denomina retrogradación y es de gran interés ya que su profundidad afecta la calidad, aceptabilidad y vida de estantería, “*shelf-life*”, de los alimentos que contienen almidón. En el envejecimiento, las moléculas se reasocian, resultando efectos tales como precipitación, cambios en la consistencia y opacidad. Se empiezan a formar los cristales y se acompaña del aumento de rigidez y separación de fases entre el polímero y el solvente (sinéresis). La gelatinización del almidón es de primordial importancia en la industria de alimentos porque tiene un impacto fundamental sobre la textura de los productos con almidón y cuya evolución puede ser evaluada a través de la calorimetría diferencial de barrido (Biliaderis, 1983). El efecto de la retrogradación puede ser deseable o indeseable. Hay un consenso general que la retrogradación contribuye significativamente al “*staling*” o firmeza indeseable del pan o de otros alimentos que contienen almidón. Los cambios dependientes del tiempo (Abd Karim *et al.*, 2000).

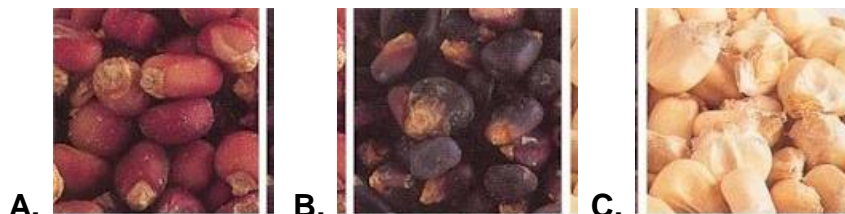
1.3. MAIZ

El maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas. La palabra maíz (de origen indio caribeño) significa literalmente “lo que sustenta la vida”. Juntamente con el trigo y el arroz, el maíz es uno de los cereales más importantes del mundo.

1.3.1 DEFINICION DEL MAIZ AMARILLO DURO

El Maíz Amarillo Duro, es el grano que pertenece a los maíces cristalinos duros o semiduros, comprendidos en la especie *Zea Mays* L. variedad *indurata*. Su coloración varía de blanca a amarilla, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado (ver figura 01). Se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él.

Figura 01. Granos de maíz de diferentes colores.



A. Maíz tipo Flint rojo, B. Maíz tipo Flint negro, C. Maíz tipo Dent amarillo. Fuente: <http://gourmetsleuth.com/masanixtamal.htm>

1.3.2 CLASIFICACION DEL MAÍZ AMARILLO DURO PARA EXPANDIDOS

- **Maíz Blanco Gigante Cusco.** Es un maíz amiláceo que pertenece a la familia Poaceae, especie *Zea mays*. En la Región Cusco, tiene como variedad representativa al maíz denominado “Blanco Urubamba” ó “Maíz Blanco Gigante Cusco”, cuyo hábitat es el Valle Sagrado de los Incas. El nombre de maíz

blanco corresponde al color del grano y se le denomina gigante por el excepcional tamaño de sus granos. (Boletín N° 11-12, 2012)

- **Maíz duro.** Los locales originales de maíz fueron en general tipos de maíz duro. Los granos de este tipo de maíz son redondos, duros y suaves al tacto. El endospermo está constituido sobre todo de almidón duro córneo con una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano. El maíz duro germina mejor que otros tipos de maíz, particularmente en suelos húmedos y fríos. Por lo general es de madurez temprana y se seca más rápidamente una vez que alcanzó la madurez. Está menos sujeto a daño de insectos y mohos en el campo y en el almacenamiento. Sin embargo, los maíces duros rinden por lo general menos que los maíces dentados. Los maíces duros son preferidos para alimento humano y para hacer fécula de maíz ("maicena"). Una parte importante del área sembrada con maíces duros es cosechada para ser consumida como mazorcas verdes o como alimento animal, si bien datos concretos al respecto no están aún disponibles. Muchos de los maíces duros cultivados comercialmente tienen granos anaranjado-amarillentos o blanco-cremosos, aunque existen una amplia gama de colores, por ejemplo, amarillos, anaranjados, blancos, crema, verde, púrpura, rojo, azul y negro.

- **Maíz amarillo.** Otro tipo de maíz que se está difundiendo en la zona andina es el *Morocho* o también conocido maíz amarillo duro que se utiliza en la presente tesis; ha sido desarrollado cruzando tipos de maíces harinosos con maíces duros de zonas altas. Los granos tienen almidón blando en el centro con una capa periférica de almidón duro que lo rodea. Los maíces de tipo *Morocho* son más tolerantes a los problemas que afectan a los maíces harinosos (Saldívar, 1994).

Tabla 02. La composición química del grano entero de maíz amarillo duro.

Composición química	Porcentaje (%)
Humedad (%)	12.6%
Fibra	3.9%
Lípidos	3.5%
Almidón	69.4%
Proteínas	9.3%
Cenizas	1.3%

Fuente: Paggi, 2003.

Tabla 03. Dimensiones características (mm) de diversos granos.

Tipo de cereal	Longitud	Ancho	Grosor
Trigo	5.0 – 8.5	1.6 – 4.7	2.0 – 3.4
Durum	6.0 – 8.5	2.8 – 4.0	2.4 – 3.2
Cebada	7.5 – 9.7	3.5 – 3.8	2.4 – 2.9
Centeno	5.0 – 10.0	1.5 – 3.5	1.5 – 3.0
Avena	9.5 – 11.0	2.5 – 3.1	1.8 – 2.3
Maíz	8.5 – 10.6	7.5 – 10.0	4.3 – 6.5
Soya	4.7 – 5.6	4.0 – 4.6	2.0 – 2.6

Fuente: David y Bogdan, 2004.

Tabla 04. Rangos característicos de densidad de cereales

Tipo de cereal	Densidad (g/cm ³)
Trigo	1.280 – 1.478
Duro	1.360 – 1.478
Blando	1.280 – 1.430
Durum	1.450 – 1.480
Avena	1.100 – 1.200
Cebada	1.28(medio)
Centeno	1.34(medio)
Arroz (descascarillado)	1.350 – 1.390
Sorgo	1.230 – 1.330
Maíz	0.80 - 1.25(medio)

Fuente: David y Bogdan, 2004.

1.3.3 CALENDARIO DE SIEMBRAS Y COSECHAS DEL MAÍZ AMARILLO DURO

El maíz amarillo duro se siembra casi todo el año en el Perú, especialmente en la costa peruana.

El maíz amarillo duro, es un cultivo transitorio cuyo periodo vegetativo es de 4.5 a 5.5 meses dependiendo de la variedad y de la fecha de siembra, su siembra y cosecha es durante todo el año, siendo sus picos de siembra en los meses de setiembre y febrero y sus cosechas en junio y diciembre.

En la Costa Norte, en las regiones de Piura, Lambayeque y La Libertad se concentra la siembra del maíz en los meses de diciembre hasta abril, variando en función a la disponibilidad del agua de regadío, presentándose las cosechas a partir de mayo hasta setiembre.

<<http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/ma%C3%ADz/ma%C3%ADz31?start=2>>

El calendario agrícola constituye uno de los más importantes indicadores de los periodos de mayor demanda de mano de obra en el campo. En los terrenos en seco sólo se realiza una campaña agrícola, coincidiendo con el tiempo de lluvias Octubre – Diciembre, cosechándose entre Abril y Junio.

Tabla 05. Calendario agrícola en el centro poblado de Chanta Distrito Andarapa.

ACTIVIDADES	MAÍZ AMARILLO DURO
Preparación De Terreno	Setiembre
	Octubre
Siembra	Noviembre
Deshierbe	Diciembre
1er.Cultivo	Enero
2do.Cultivo	Mayo
Cosecha	Junio – agosto

Fuente: Ministerio de agricultura Andahuaylas, 2012.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La inquietud por efectuar la presente investigación de tesis de esta naturaleza, es debido a que el maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), es un alimento que contiene elementos nutritivos valiosos el cual es un cereal peruano y de amplio consumo popular especialmente por la población en general.

Por lo cual la presente investigación de tesis propone un cereal natural y bien expandido que fácilmente se deshacen al comer y sea consumida por los niños, jóvenes, adultos y ancianos y no un producto duro. Por lo tanto no se trata de alimentos chatarras industrializadas, sino un cereal de maíz amarillo duro expandido natural sin insumos químicos para el producto final.

Dentro de este contexto el maíz amarillo duro es un cereal expandido que representa una gran opción de alimento, principalmente para los niños, jóvenes y adultos. Sin embargo las investigaciones que se deben realizar para el desarrollo de productos expandidos solo serán posibles con el conocimiento del proceso de expansión del maíz amarillo duro y del funcionamiento básico del expansor el cual se obtuvo un buen índice expansión del maíz amarillo duro. Este es justamente el aporte que se realiza con la presente investigación de tesis.

La finalidad fundamental del trabajo es dar a conocer las variables de humedad, presión y cantidad de carga en la expansión de maíz amarillo duro para que obtener una buena expansión y facilite el consumo y no haya demasiada pérdida y mantener los elementos nutritivos del maíz amarillo duro con el expansor en Andahuaylas – Apurímac – Perú.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Determinar el efecto de variación de la humedad, presión y cantidad de carga en la obtención del maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) expandido, utilizando un expansor tipo batch tradicional.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar la humedad de la materia prima para que permita un mejor expandido del maíz amarillo duro.
- Determinar la presión para el proceso de expansión para que permita un mejor expandido del maíz amarillo duro.
- Determinar la cantidad exacta de carga del maíz para el proceso de expansión.
- Determinar la densidad aparente del producto expandido.
- Determinar el índice de expansión del producto expandido.
- Determinar el índice de absorción de agua (IAA) después del expandido.
- Determinar el índice de solubilidad de agua (ISA) del producto expandido.

1.6 PROBLEMA

¿Cuál es el efecto de variación de humedad, presión y cantidad de carga en la obtención de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) expandido?

1.7 HIPÓTESIS

La variación de humedad, presión y cantidad de carga influye significativamente en la características del maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) expandido.

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se desarrolló en dos etapas: primero se realizó en la pequeña procesadora de cereales alimenticios expandidos que está ubicada en la Av. Choccepuquio, margen izquierda del río Chumbao en el distrito de Andahuaylas; y la segunda etapa, en los laboratorios de Procesos Agroindustriales y Química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas, sede Santa Rosa, distrito de Talavera y provincia de Andahuaylas.

➤ **Materia prima**

Se utilizó el maíz amarillo duro (*Zea maysL.*), proveniente de los sembríos realizados en la campaña 2012 del Centro Poblado de Chanta, Distrito de Andarapa, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac, a una altitud de 2944 m.s.n.m y cosechados a los 09 meses aproximadamente después del sembrío y luego expandido después de 01 mes de secado con una humedad aproximadamente de 13% a 19%.

➤ **Equipos y materiales**

Equipos

- ✓ Expansor de alimento de fabricación japonesa
- ✓ Balanza digital de precisión marca ACCURA de Cap.100 g y sensibilidad 0.01 g
- ✓ Selladora manual de bolsas Machintek Modelo KF - 300H

- ✓ Centrifuga LW - SCIENTIFIQUE de 3300 rpm
- ✓ Determinador de humedad ADAM. MB 50
- ✓ Estufa de circulación de aire forzada; serie ODHG – 9070B
- ✓ Balanza analítica de 5 kilogramos, rango 0 a 30
- ✓ Vernier

Materiales

▪ **Materiales de vidrio**

- ✓ Tubos de ensayo de 10ml
- ✓ Gradilla para tubos de ensayo
- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- ✓ Pipetas 10 ml
- ✓ Probetas 100 ml y 250 ml
- ✓ Buretas chilerz de 25 ml
- ✓ Lentes de lupa
- ✓ Vaso de precipitación de 100 y 50 ml
- ✓ Pipeteador peleaus cuello largo

▪ **Otros materiales**

- ✓ Jarras mediadoras de plástico cap. 1 L
- ✓ Tazones rey
- ✓ Bolsas de polietileno de alta densidad
- ✓ Papel filtro
- ✓ Balde transparente de 5 litros
- ✓ Cajas pequeñas de poliestereno
- ✓ Sernidor
- ✓ Tapador de oídos

2.2. MÉTODOS

Determinación del porcentaje de humedad: Deseccación en estufa hasta peso constante (Hart, 1991)

- Se pesó la muestra de 2 a 5 g en una placa petri previamente seca y tarada.
- Luego se llevó la muestra a la estufa a una temperatura de 90°C a 100°C por espacio de 30 a 60 minutos.
- La muestra estuvo en la estufa hasta obtener un peso constante.
- Luego se retiró la muestra de la estufa y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Esta operación se repitió hasta terminar todos los tratamientos.
- El porcentaje de humedad se calculó de la siguiente manera:

$$\%H = \frac{(W1+W2)-W3}{W1} \times 100 \text{ Donde}$$

W1= peso de la muestra

W2= peso de la placa petri

W3= peso de la placa petri con la muestra deshidratada

Determinación de la humidificación del maíz amarillo duro: según Paggi (2003)

- Se pesó el maíz amarillo duro de 1300 en un recipiente de plástico tipo tazón.
- Luego se determina la humedad inicial con el humidímetro.

- Luego al maíz se agregó agua de 32 ml a 1300 g y se dejó remojando durante 1 hora.
- Luego se determinó el peso final y la humedad final con el humidímetro.
- Esta operación se repitió para todo los tratamientos.
- Para calcular la cantidad de humedad absorbida por los granos, durante el remojado, se realizó el siguiente balance de masas:

Ecuación I: $A + B = C$

Dónde:

A = Peso inicial de la muestra = g

B = Peso del agua absorbida = g

C = Peso final de la muestra = g

Balance en función al porcentaje de agua:

Ecuación II: $A(Xa) + B(Xb) = C (Xc)$

Dónde:

Xa = humedad inicial de la muestra = %

Xb = humedad del agua absorbida = 100 %

Xc = humedad final de la muestra = %

Determinación de la presión: Según Paggi (2003)

- Los granos de maíz se introdujo por la boca del expansor.
- Luego la tapa del expansor se cerró y selló mediante un sistema de agarradera y ajuste.
- Luego se empezó a girar el expansor junto con el manómetro, suministrando calor por uno de los lados del cuerpo del equipo.

- La presión interna de la cámara del expansor se visualizó por el manómetro.
- Una vez que se alcanzó la presión que se adquirió la tapa del expansor se abrió.
- Por último todas las presiones se adquirió por el manómetro y se anotó en un registro de dato.

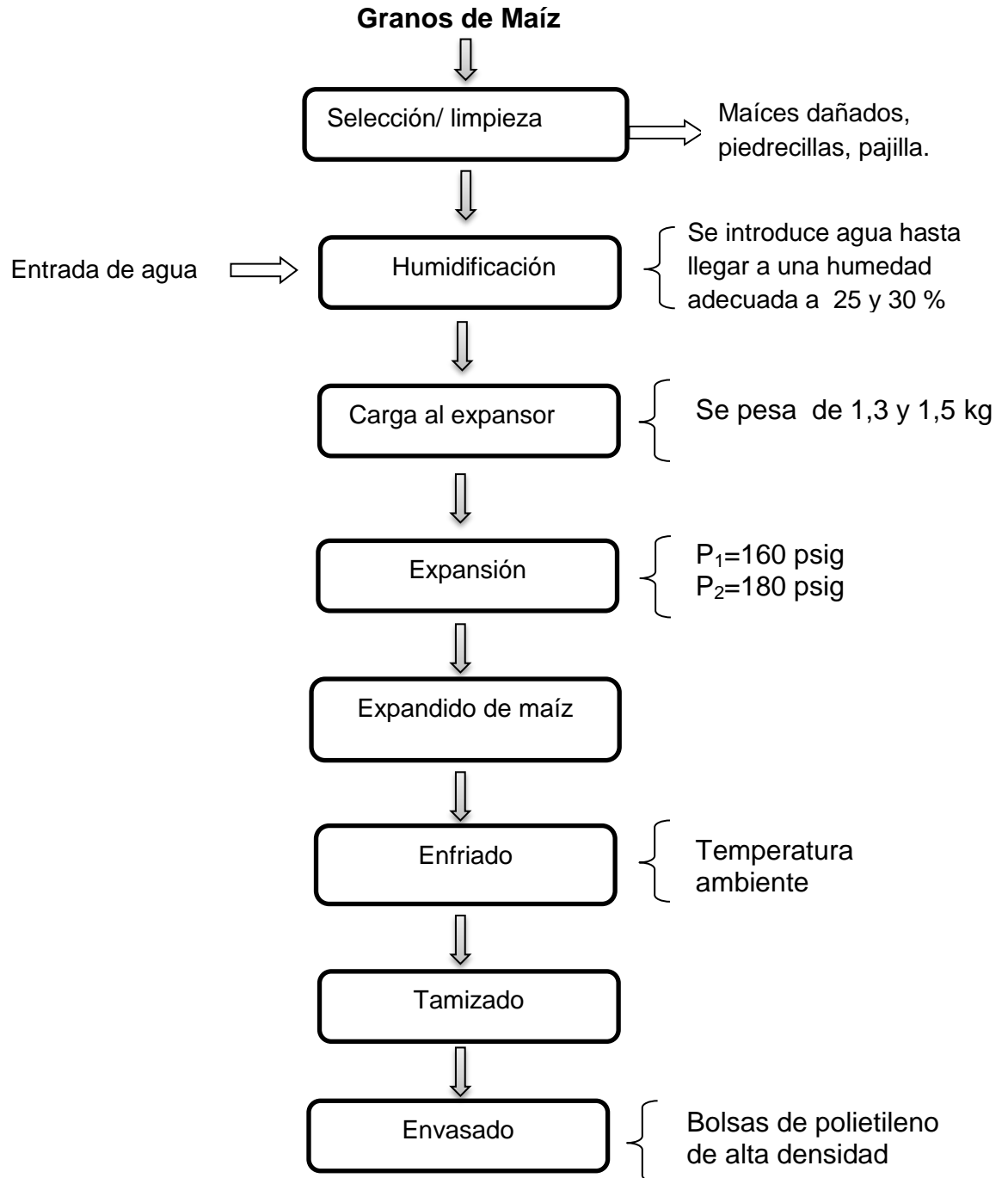
Determinación de la cantidad de carga: Según Paggi (2003)

- Primeramente el equipo se precalentó durante 20 minutos.
- Luego los granos de maíz se introdujo con una pala tipo embudo (acero inoxidable) por la boca del expansor.
- La carga por batch del maíz se introdujo de acuerdo a la capacidad del equipo.
- La cantidad de carga del maíz se anotó directamente al introducir la materia prima al expansor.
- La cantidad de veces que se introdujo al expansor se anotó en un registro de dato.
- Los resultados de la cantidad de carga se expresó en gramos.

➤ **Metodología experimental**

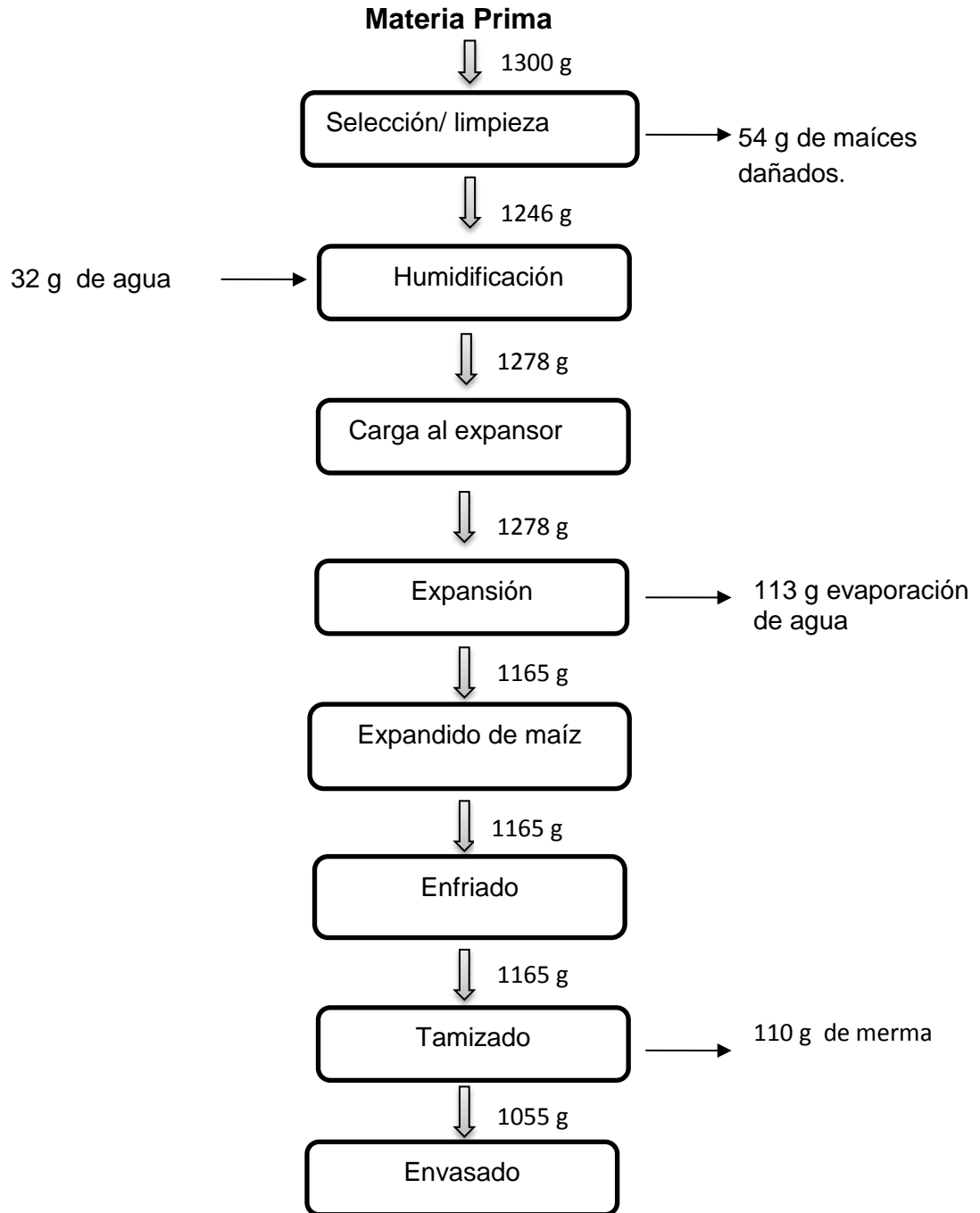
Para la obtención del expandido del maíz variedad amarillo duro, se llevaron a cabo las operaciones registrados en el diagrama de flujo de la figura 2.

Figura 02. Flujo de operaciones para la obtención del maíz expandido.



Fuente: elaboración propia.

Figura 03. Balance de materia para la obtención del maíz expandido.



Fuente: elaboración propia.

BALANCE DE ENERGIA DEL MAIZ AMARILLO DURO ENPANDIDO

Datos durante el expandido en el expansor:

- Temperatura máxima del calentamiento de la mezcla : $T_m=193^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de entrada del maíz amarillo duro : $T_i=20^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de salida del expandido : $T_f=50^{\circ}\text{C}$
- Calor específico del agua : $C_p=1\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$
- Calor específico del maíz amarillo duro a 30% de humedad : $C_p=0.3298\text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$
- Calor de vaporización del agua : $A_v=469.9235\text{kcal/kg}$
- Temperatura de ebullición del agua : $T=87^{\circ}\text{C}$

Composición de la mezcla de maíz amarillo duro:

Mezcla total : 100% (1.3 kg) por minuto
Solidos : 70% (0.91 kg)
Agua : 30% (0.39kg)

Desarrollo:

Calor sensible para elevar la temperatura de maíz amarillo duro a la temperatura máxima de calentamiento:

$$Q_1 = m \cdot C_p \cdot (T_m - T_i)$$

$$Q_1 = 0.13\text{kg/min} \cdot 0.3298\text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C} (193 - 20)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = 7.417\text{ kcal/min.}$$

Calor necesario para elevarla temperatura del agua a su temperatura de ebullición.

$$Q_2 = m \cdot C_p \cdot (T_m - T_i)$$

$$Q_2 = 0.039\text{kg/min} \cdot 1\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C} (87 - 20)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_2 = 2.613\text{ kcal/min.}$$

Calor latente de vaporización del agua su temperatura de ebullición.

$$Q_3 = m \cdot \lambda_v$$

$$Q_3 = 0.039 \text{ kg/min} \cdot 469.9235 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_3 = 18.327 \text{ Kcal/min.}$$

Calor total requerido

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Dónde:

Q_1 = Calor sensible para elevar la temperatura de maíz amarillo duro a la temperatura máxima de calentamiento.

Q_2 = Calor necesario para elevar la temperatura del agua a su temperatura de ebullición.

Q_3 = Calor latente de vaporización del agua su temperatura de ebullición.

$$Q_T = (7.417 + 2.613 + 18.327) \text{ Kcal/min.}$$

$$Q_T = 28.357 \text{ Kcal/min.}$$

Considerando la pérdida de calor durante la expansión del 5% (1.418 kcal/min), la cantidad de calor transferida será:

$$Q_{\text{TOTAL}} = 29.775 \text{ Kcal/min.}$$

Calculo del gasto de combustible

Densidad del combustible (gasolina) = 680 gr/m^3

$V = \text{masa (kg)} / \text{densidad (kg/ m}^3)$

$$V = \frac{0.13 \text{ kg/min}}{680 \text{ kg/ m}^3}$$

$$V = 0.00019 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Descripción de las operaciones para la obtención del grano expandido del maíz amarillo duro

1) Recepción de la materia prima

Se realizó a través de una inspección visual para separar los granos en buen estado para su expansión como: no muy húmedos, ni demasiados secos, de preferencia de tamaño uniforme para evitar pérdidas.

2) Humidificación

Se remojo con agua el maíz amarillo duro y se dejó por 1 hora en un tazón de plástico durante 1 hora y luego se determinó con el humidímetro la humedad absorbida por el maíz.

3) Selección y limpieza

También se realizó a través de una inspección visual más detallada de los granos enteros, sanos y podridos.

También se realizó una limpieza de las impurezas como grano menudo, pajilla, piedrecilla, etc. Para luego tener un grano limpio y de tamaño uniforme.

4) Acondicionamiento del equipo

Primero se comenzó con el calentamiento del equipo por 20 minutos aproximadamente sin carga, es decir sin poner el grano con un giró lento y constante.

5) Carga del grano al expansor

La carga al expansor se realizó de forma manual con una pala tipo embudo (de material acero inoxidable) por la boca del expansor.

El maíz se introdujo de 1300 g – 1500 g por tanda o tratamiento. Esta operación se realizó quitando el seguro e inclinando el equipo hacia atrás, luego

se cerró herméticamente la tapa del expansor. Si esta operación no se realiza correctamente, escapa el vapor durante la cocción y el grano de maíz no se expandirá.

6) Descarga y expansión del maíz

La descarga del maíz se realizó manualmente con una palanca de fierro de 2 pulgadas de grosor con los parámetros de 160 psig y 180 psig de acuerdo al número de tratamientos.

7) Enfriado

El maíz expandido se dejó en plástico polietileno por 10 minutos aproximadamente para su enfriado a una temperatura ambiente.

8) Tamizado del grano expandido

Una vez que se expandió el grano se llevó al tamiz para eliminar las cáscaras, granos expandidos rotos, quemados o pequeño. Para luego tener granos expandidos de uniforme tamaño y seleccionados.

9) Envasado

Por último el envasado se realizó en plásticos polietileno de alta densidad con boca ancha y capacidad de 2 litros y luego se selló manualmente con una selladora de 30 cm de longitud a una temperatura ambiente para sus respectivas determinaciones y análisis.

El maíz expandido se transportó al laboratorio de procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial -UNAJMA.

Una vez ya envasado se realizó las siguientes determinaciones:

- 1) Determinación del % de rendimiento
- 2) Determinación del % de índice de expansión

- 3) Determinación de la densidad aparente
- 4) Determinación del Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad de Agua (ISA)

2.3. ANÁLISIS

A todos los tratamientos del maíz amarillo duro expandidos, se le realizaron los siguientes análisis:

Determinación del rendimiento: Según (Sullivan et al. 1995)

- Se pesó el maíz sin expandir como peso inicial (Pi).
- La cantidad de veces que se introdujo al expansor se anotó en un registro de datos.
- Luego se realizó la descarga y expansión del maíz.
- Enseguida se dejó enfriar el maíz ya expandido a una temperatura ambiente.
- Inmediatamente se descascaró el maíz expandido (separación de la cascara y maíz expandido) y se llevó al tamiz para su respectiva selección.
- Finalmente se obtuvo el maíz expandido sin merma y se pasó a su respectivo pesaje final (Pf) y se registró los datos.
- El rendimiento se determinó de la siguiente manera:

$$Rendimiento = \frac{P_f}{P_i} \times 100 \dots \dots \dots ec. (01)$$

- Pf= peso final (maíz sin expandir)
- Pi= peso inicial (maíz expandido)

Determinación del Índice de Expansión (IE): Según (Sullivan *et al.* 1995)

- Se depositó bolitas de kiwicha, en una probeta graduada de 500 mL ocupando el volumen mencionado.
- Luego se pesó éste volumen, con la finalidad de determinar una relación peso volumen, y se vació la probeta para luego depositar aquí el maíz amarillo duro.
- Enseguida, se cubrió el maíz expandido con las bolitas de kiwicha, hasta enrasar la probeta.
- Finalmente, se pesó la kiwicha excedente, cuyo volumen fue igual, al ocupando por el cereal de maíz.
- Se realizó tanto para el maíz si expandir como para el maíz expandido.

$$I.E = \frac{Volumen\ Final}{Volumen\ Inicial} \times 100$$

Determinación de la densidad aparente de acuerdo a la técnica reportada por Wang y col., 1993.

- A diez muestras de maíz expandido de aproximadamente 2 cm de diámetro se seleccionó al azar.
- Se le midió el diámetro (D) y luego su longitud (L).
- A cada muestra se le tomó tres mediciones del diámetro y se calculó el valor promedio.
- Posteriormente se pesó cada maíz expandido (Pm).
- Finalmente se determinó la densidad y se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad} = \frac{Pm(g)}{\pi(D(cm)/2)^2 \times L(cm)}$$

Determinación del Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad en Agua (ISA) según método modificado de Anderson, 1992.

- Se tomó 1 g de muestra del maíz expandido.
- Se disolvió en 10 ml de agua destilada en un tubo de centrifugación.
- Se colocó en un baño maría con agitación a 30 °C durante 20 min.
- Luego se centrifugó a 200 rpm durante 5 min.
- Se desechó el sobrenadante y se utilizó el gel.
- El sobrenadante se evaporó en una estufa a 110 °C durante 1 h.
- El IAA se determinó a partir del peso precipitado y se expresó como g gel/g solido (m.s.).
- El ISA se determinó a partir del peso de los sólidos secos recobrados al evaporador el sobrenadante a 110°C durante 12 h.
- El IAA e ISA se determinó de la siguiente manera:

$$Peso\ muestra(g) = \frac{peso\ seco\ muestra(g)}{peso\ seco\ muestra(g) + agua(g)} \times alícuota\ (g) \dots\dots\dots 1$$

$$I.A.A = \frac{Pesodelgel(g)}{Pesomuestra(g)} \dots\dots\dots 2$$

$$ISA(\%) = \frac{Peso\ sobrenadante(g) - Peso\ seco\ sobrenadante\ (g)}{Wpeso\ muestra(g)} \times 100 \dots\dots\dots 3$$

Evaluación de la optimización de las variables de entrada según Gutiérrez y vara, 2008

- Primeramente se realizó las corridas experimentales en el laboratorio cuidadosamente para cada tratamiento.
- Luego se pasó a realizar un análisis de dato con los programas de Statgraphics plus y MINITAB V5.
- Determinamos los efectos activos.

- Luego estimamos el modelo y probar la falta de ajuste.
- Luego de obtener el Modelo de Superficie de Respuesta (MSP); se observó que la superficie no era lineal entonces se pasó a formular el modelo matemático de segundo orden.
- Una vez encontrada el modelo se determinó el mejor modelo jerárquico con sus respectivos ajustes matemáticos.
- Luego se pasó a encontrar el punto estacionario (candidato a óptimo); y caracteriza la superficie.
- Por último, una vez que se obtuvo el modelo debidamente ajustado y validado se procede a explorar la superficie descrita por el modelo para encontrar la combinación de niveles en los factores que dan por resultado un valor óptimo de la respuesta.

2.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

- **Diseño experimental:** Para el análisis del producto, los datos se organizaron en un arreglo factorial 2^3 teniendo 02 niveles y 3 factores de estudio, obteniéndose 08 tratamientos con tres replicas para los diferentes tratamientos, siendo los factores la humedad (25 % y 30 %), la carga del grano (1300 g y 1500 g), la presión (160 psig y 180 psig).
- **Análisis estadístico de los datos:** Los resultados se procesaron estadísticamente mediante un análisis de varianza al 5% de significancia estadística tanto para las variables independientes como dependientes para cada uno de los tratamientos. Para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos y sus interacciones, se empleó la prueba de TUKEY al 5 % de significancia estadística.
El análisis estadístico que se realizó fue del tipo experimental 2^3 y el

modelo matemático a evaluar se muestra en la ecuación 4.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \varepsilon \dots \dots \dots 4$$

Donde:

Y: Expandido (densidad, índice de expansión, índice de absorción y solubilidad de agua)

X₁: Variable humedad

X₂: Variable cantidad de carga

X₃: Variable presión

β_i: Coeficientes de las variables

β₀: intercepto

ε: Error

➤ Hipótesis estadística

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con la ayuda del paquete estadístico Statgraphics. La tabla de ANOVA, permite aceptar (no se encuentra diferencias significativas) o rechazar (se encuentran diferencias significativas), las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula - Ho: Las variable de entrada o factores Presión, Humedad y Carga, así como sus interacciones Presión-Humedad, Presión-Carga y Carga-Humedad, no muestran efecto sobre el rendimiento.

Hipótesis alterna – Ha: Las variable de entrada o factores Presión, Humedad y Carga, así como sus interacciones Presión-Humedad, Presión-Carga y Carga-Humedad, muestran efecto sobre el rendimiento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1. DEL RENDIMIENTO DEL EXPANDIDO DE MAÍZ AMARILLO

En la tabla (06), se observa los valores medios del rendimiento del expandido del maíz amarillo para los diferentes tratamientos propuestos, en ella se aprecia que el tratamiento T2, T5, T7 y T3 presentan los más altos rendimientos, aunque de estos el tratamiento T2 muestra una alta desviación estándar (6.88%) en comparación a las otras, mientras que el tratamiento T1 muestra el menor rendimiento (68.46%) así como una alta desviación estándar (12.33%). Por otra parte se evaluó la diferencia significativa entre tratamientos a través del estadístico Tukey (anexo 01), y se concluye que todos los tratamientos no difieren en el rendimiento ($p\text{-value}>0.05$) (letras iguales en la tabla 06), es decir estadísticamente cualesquiera de los tratamientos reporta un rendimiento similar.

Tabla 06. Valores del rendimiento de peso del maíz expandido por tratamientos.

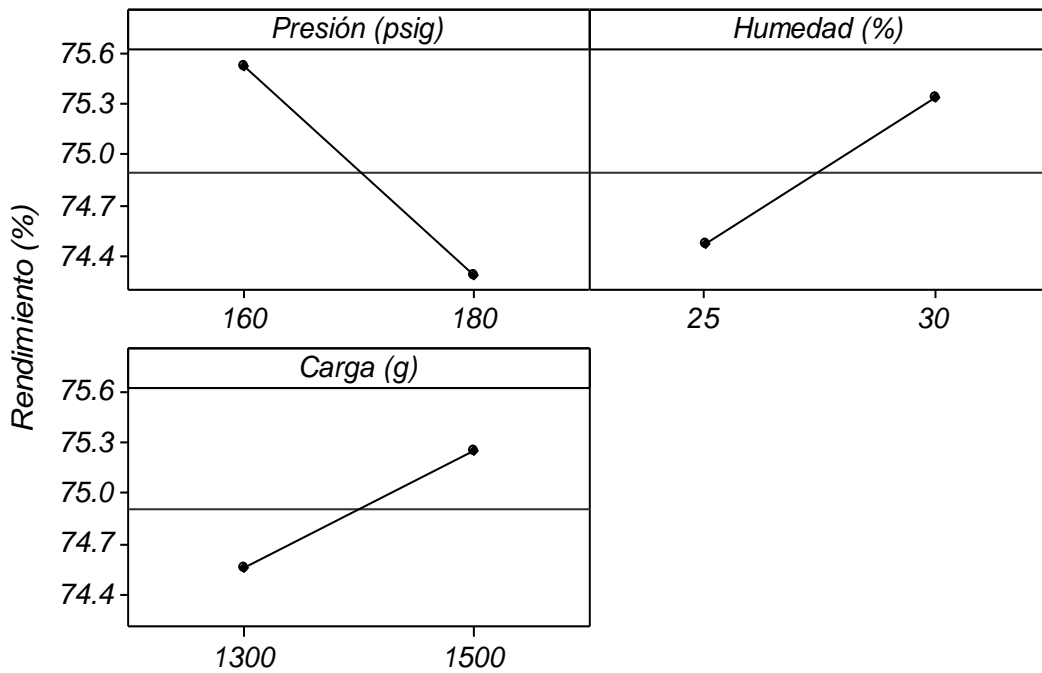
Tratamiento	Presión (psi)	Humedad (%)	Carga (g)	Rendimiento promedio (%)
T1	160	25	1300	68.46 ± 12.33 ^a
T2	180	25	1300	79.74 ± 6.88 ^a
T3	160	30	1300	77.44 ± 3.32 ^a
T4	180	30	1300	72.56 ± 1.97 ^a
T5	160	25	1500	78.67 ± 1.00 ^a
T6	180	25	1500	70.98 ± 2.37 ^a
T7	160	30	1500	77.51 ± 0.50 ^a
T8	180	30	1500	73.84 ± 1.50 ^a

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos ($p\text{ value}> 0.05$), evaluada con el estadígrafo Tukey.

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

En la figura (04), se observa el efecto individual de las variables de entrada o factores sobre el rendimiento, el incremento de la variable presión disminuye el rendimiento, mientras que el aumento de la humedad y cantidad de carga favorece el rendimiento, es así que conviene trabajar a bajas presiones y altas humedades a fin de obtener mejores rendimientos de peso.

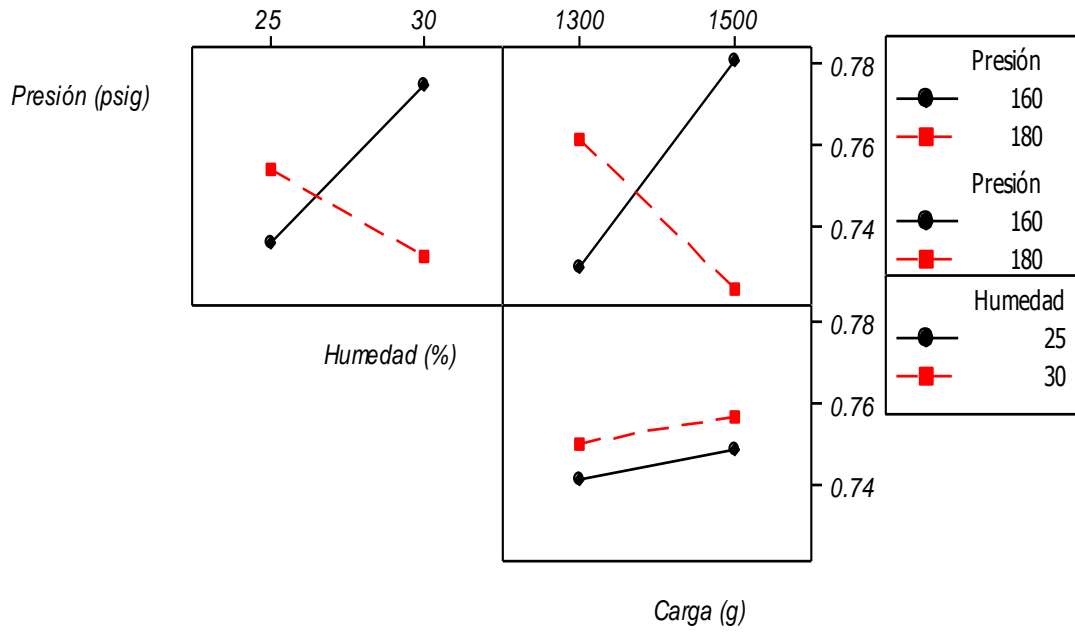
Figura 04. Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el rendimiento del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Por otra parte se evaluó el efecto de la interacción de las variables de entrada sobre el rendimiento, tal como se muestra en la figura (05), en ella se aprecia que la interacción Humedad-Carga, incrementa siempre el rendimiento, sin embargo las interacciones Presión-Humedad y Presión-Carga disminuyen el rendimiento cuando se incrementa la presión de 160 *psig* a 180 *psig*.

Figura 05. Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el rendimiento del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

El planteamiento de una hipótesis nula (H_0) estadística, tal como: Las variable de entrada o factores Presión, Humedad y Carga, así como sus interacciones Presión-Humedad, Presión-Carga y Carga-Humedad, no muestran efecto sobre el rendimiento; se comprobó a través de un ANOVA, tal como se muestra en la tabla (07), en ella se aprecia que la variación de los valores de la Presión, Humedad y Carga y sus interacciones no presentan efecto alguno sobre el rendimiento, es decir, el rendimiento del maíz expandido será el mismo estadísticamente ($p\text{-value} > 0.05$), ya sea que se trabaje con valores bajos o altos de las variables de entrada.

Tabla 07. ANOVA de los factores e interacciones para el rendimiento del maíz expandido.

Fuente	F_{cal}	p -value
Factores		
P: Presión	0.04	0.874
H: Humedad	0.04	0.874
C: Carga	0.04	0.874
Interacciones		
PH	0.36	0.656
PC	1.00	0.500
CH	0.00	1.000

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

Paggi (2003), realizó la expansión de cereales como: Arroz, Maíz de las variedades (Morochó y Morochillo), Trigo y Quinoa a las presiones de 100 *psig*, 120 *psig*, 130 *psig* y 140 *psig* respectivamente, encontrando un rendimiento promedio del peso del 66.5%, para una carga de 1000 g de maíz sin humedecer, en un extrusor tipo “cañón” a nivel de planta piloto, en referencia al rendimiento obtenido en la presente investigación, esta es mayor, este hecho se puede deber al humedecimiento preliminar del maíz hasta valores del 30% en peso, así como al tipo de expansor.

3.2. EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL MAÍZ EXPANDIDO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

La densidad del maíz amarillo duro es en promedio 0.66 g/cm³, después de la expansión este valor disminuye hasta valores de 0.033 g/cm³, tal como se muestra en la tabla (08), en ella se aprecia que la densidad del maíz expandido disminuye con el incremento de la presión, es así que a presiones de 180 *psig*, en todos los casos la densidad es menor en comparación a los otros tratamientos, por ejemplo en el tratamiento T1 y T2, difieren únicamente en el valor de la presión, mostrando menor densidad el tratamiento T2.

Lo contrario sucede con la carga, en la tabla (08), se observa que a mayor carga la densidad es ampliamente mayor, el mismo hecho sucede para valores de humedad mayores.

Tabla 08. Valores de la densidad del maíz expandido por tratamientos.

Tratamiento	Presión (psig)	Humedad (%)	Carga (g)	Densidad promedio (g/cm ³)
T1	160	25	1300	0.048 ± 0.004 ^a
T2	180	25	1300	0.033 ± 0.007 ^a
T3	160	30	1300	0.048 ± 0.005 ^a
T4	180	30	1300	0.037 ± 0.006 ^a
T5	160	25	1500	0.067 ± 0.006 ^b
T6	180	25	1500	0.049 ± 0.009 ^a
T7	160	30	1500	0.081 ± 0.003 ^b
T8	180	30	1500	0.049 ± 0.005 ^a

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos (p value > 0.05), evaluada con el estadígrafo Tukey.

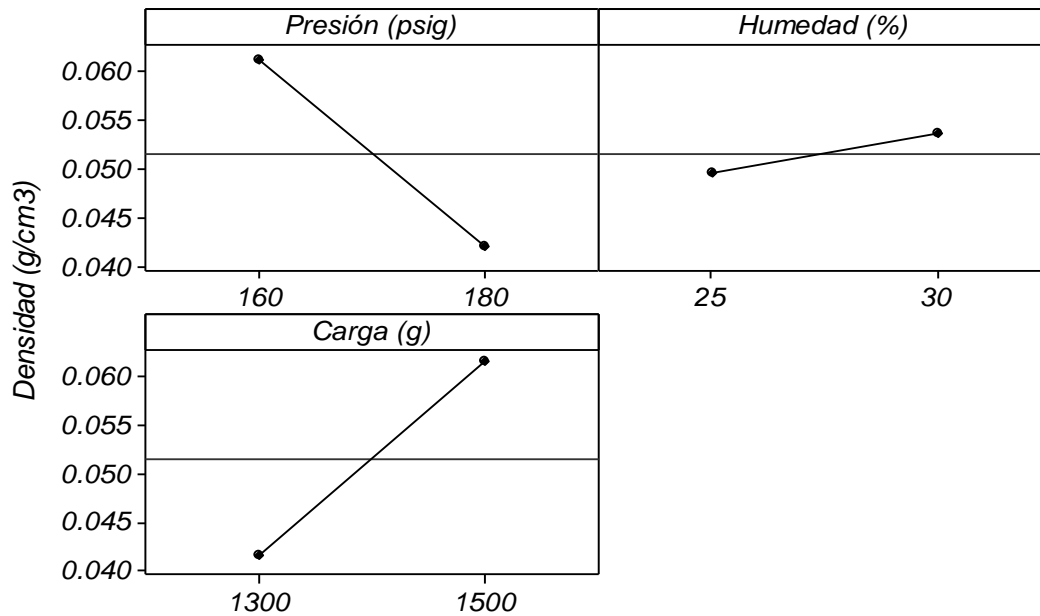
Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

Por otro lado, en la tabla (08), se aprecia que existe diferencia significativa en la densidad para los tratamientos T5 y T7 (p -value < 0.05), en comparación a los demás, es decir las densidades son diferentes entre estos. En la figura (06), se aprecia que el efecto individual del incremento de la carga, hace que aumente rápidamente la densidad (pendiente más pronunciada), mientras que incremento de la presión de operación lo disminuye drásticamente hasta valores de 0.040 g/cm³, de hecho conviene tener una baja densidad, esto es tener un mayor volumen del grano expandido, por otro lado la variación de los niveles de humedad como efecto individual hace que la densidad varíe mínimamente con un incremento ligero. Asimismo en la figura (07), se observa que la interacción de las variables independientes esto es: Presión, Humedad y Carga, tiene un efecto positivo sobre la densidad, incrementándola para todos los casos,

aunque en menor cuantía la relación Presión 180 psig con la humedad mantiene casi una densidad invariable.

De hecho operar con presiones elevadas, disminuye la densidad aparente del maíz expandido, y esto está relacionado con un mayor volumen, que por lo general es conveniente para el productor de este tipo de alimentos transformados.

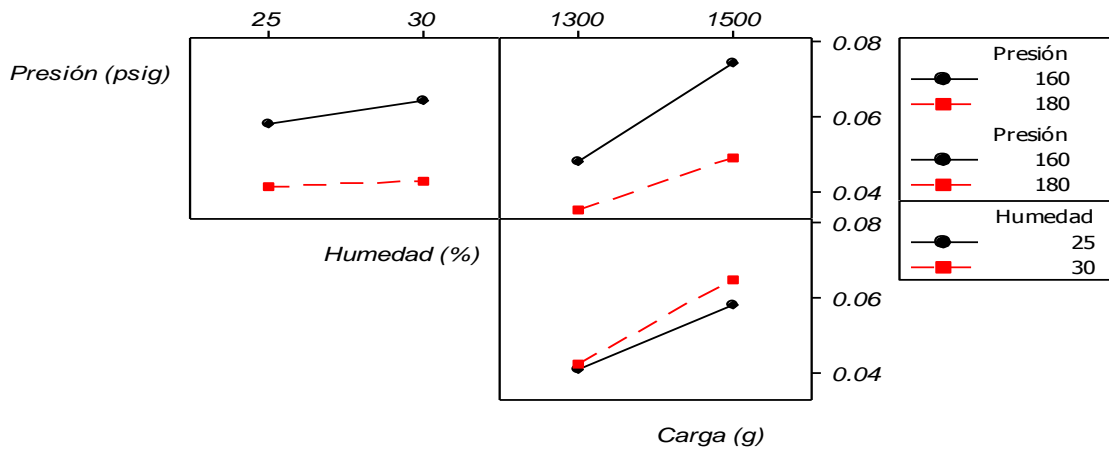
Figura 06. Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en la densidad del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

También se desarrolló el ANOVA para los factores o variables independientes del proceso de expansión, en referencia al efecto que tiene sobre la densidad, la cual se muestra en la tabla (09), en ella se aprecia que tienen efecto únicamente la presión de operación y la cantidad de carga ($p\text{-value} < 0.05$), mientras que las interacciones no muestran un efecto significativo en la densidad ($p\text{-value} > 0.05$), por lo que se sugiere verificar el efecto individual de las variables de operación a fin de establecer una densidad adecuada.

Figura 07. Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en la densidad del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Tabla 09. ANOVA de los factores e interacciones para densidad del maíz expandido.

Fuente	F_{cal}	p -value
Factores		
P: Presión	21.00	0.0102
H: Humedad	1.18	0.3388
C: Carga	23.27	0.0085
Interacciones		
PH	1.00	0.5
PC	1.78	0.4097
CH	0.31	0.6772

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

3.3. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE EXPANSIÓN DEL MAÍZ AMARILLO DURO EXPANDIDO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

En la Tabla (10), se observa que el índice de expansión se incrementó a 6.65 ± 1.19 para el tratamiento T5, mientras que para T2 fue de 15.62 ± 2.59 , así se observa que existe un mayor índice de expansión para la presión de operación mayor para todos los casos.

El índice de expansión, es una muestra del incremento del volumen del maíz amarillo, luego del proceso de expansión, esto quiere decir que, aumenta el volumen del grano en aproximadamente 10 veces en promedio su volumen inicial; al hacer una comparación entre tratamientos se observa que no presentan diferencia significativa los tratamientos T1, T3, T5, T7 y T8, esto es, el índice de expansión es similares estadísticamente para estos tratamientos, lo que se traduce como lo no implicancia de los factores sobre el índice de expansión, mientras que el tratamiento T2 presenta diferencia significativa con todos los tratamientos.

Tabla 10. Valores del índice de expansión maíz expandido por tratamientos.

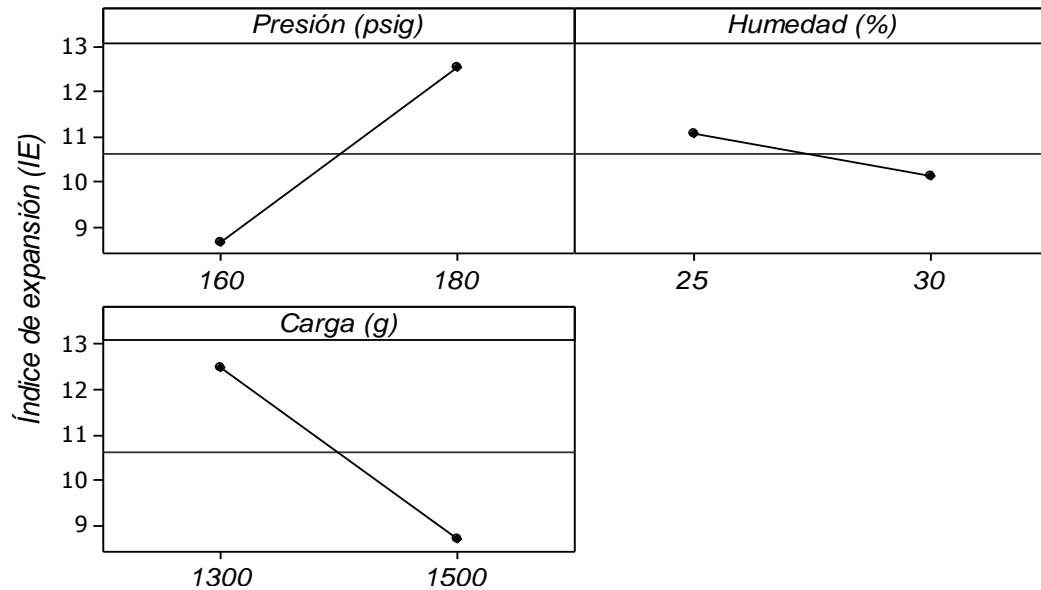
Tratamiento	Presión (psig)	Humedad (%)	Carga (g)	Índice de expansión
T1	160	25	1300	10.907 ± 1.391 ^{a,b,c}
T2	180	25	1300	15.624 ± 2.594 ^d
T3	160	30	1300	10.053 ± 1.168 ^{a,b,c}
T4	180	30	1300	13.442 ± 1.769 ^{c,d}
T5	160	25	1500	6.657 ± 1.195 ^a
T6	180	25	1500	11.087 ± 1.355 ^{b,c}
T7	160	30	1500	7.026 ± 0.492 ^{a,b}
T8	180	30	1500	10.058 ± 1.440 ^{a,b,c}

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos (p value > 0.05), evaluada con el estadígrafo Tukey.

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

Por otro lado en la figura (08), se muestra el efecto de los factores o variables independientes sobre el índice de expansión, en ella se aprecia que el incremento de la presión de operación aumenta el índice de expansión en el maíz amarillo expandido, en contraste con la cantidad de carga, mientras que el efecto del incremento de la humedad lo disminuye ligeramente.

Figura 08. Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el índice de expansión del maíz amarillo expandido.



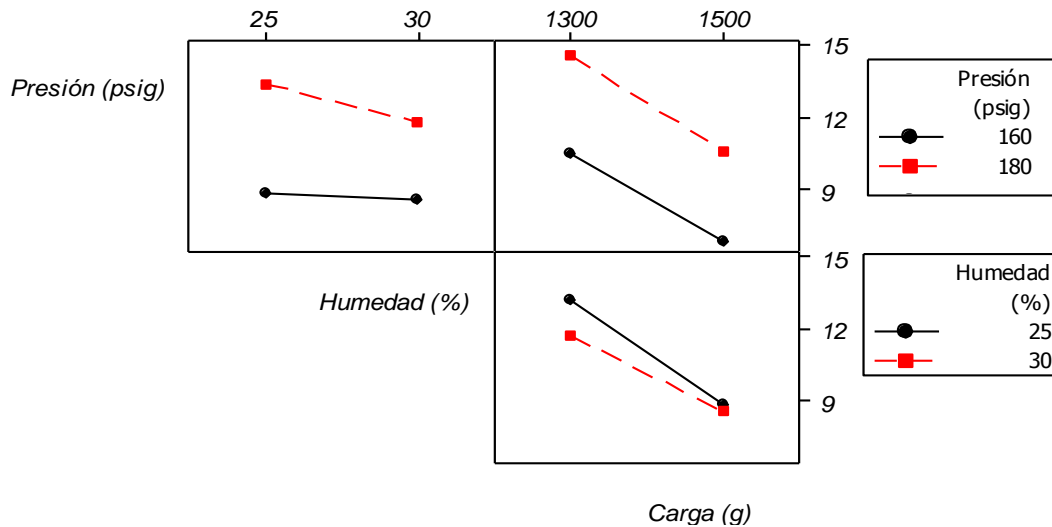
Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Por otro lado al evaluar el efecto de las interacciones de las variables independientes para el índice de expansión (figura 09), se observa que el efecto combinado de pares de variables, afectan inversamente al índice de expansión del maíz amarillo, por ejemplo para una presión de 180 *psig* el incremento de la humedad disminuye ligeramente el índice de expansión, mientras que a la misma presión y un incremento de carga hace que disminuya más rápidamente el índice de expansión, en tanto en la figura (09), también se observa que la relación humedad-carga disminuyen de manera casi similar el índice de expansión.

Si bien en cierto, se presentan efectos en el índice de expansión cuando se manipulan las variables, no todas estas no son estadísticamente significativas, esto se puede verificar a través de un ANOVA, cuyos resultados se muestran en la Tabla (11) (la descripción de los cálculos se muestran en el anexo 06), en ella se concluye que tanto la presión y la cantidad de carga afectan significativamente el índice de expansión ($p\text{-value} < 0.05$), mientras que las interacciones Presión-Humedad y Carga-

Humedad lo afectan significativamente ($p\text{-value} < 0.05$), esto se puede verificar en la figura (09).

Figura 09. Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el índice de expansión del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Tabla 11. ANOVA de los factores e interacciones para el índice de expansión del maíz expandido.

Fuente	F_{cal}	$p\text{-value}$
Factores		
P: Presión	71.83	0.0011
H: Humedad	4.05	0.1145
C: Carga	68.46	0.0012
Interacciones		
PH	1516.55	0.0163
PC	84.64	0.0689
CH	1152.12	0.0188

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

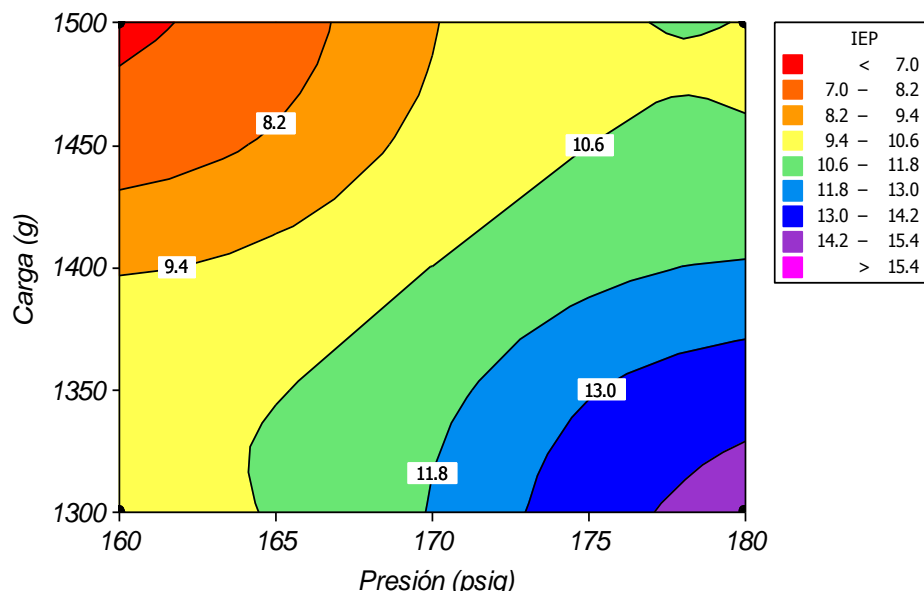
Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

EL índice de expansión es un factor dependiente muy importante en la expansión de productos agrícolas, es así que, se realizó un análisis de

superficie de respuesta de pares de factores de entrada, tal como se muestran en las figuras (10), (11) y (12).

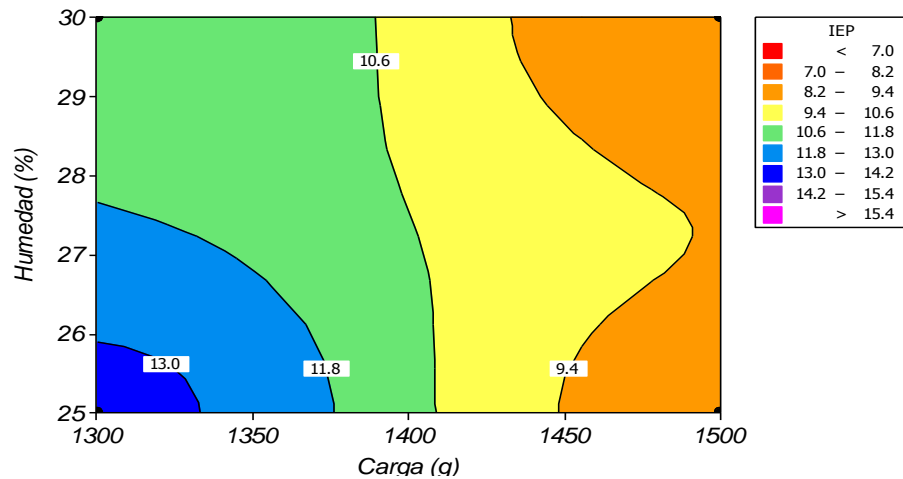
En la figura (10), se observa los niveles del índice de expansión, este tiende a aumentar con el incremento de la presión y la disminución de la cantidad de carga, por ejemplo a presiones superiores de 170 *psig* y cargas cercanas a 1300 g, los valores del índice de expansión supera tranquilamente el valor de 13.0, por otro lado en la figura (11), se parecía que cantidades cercanas de carga a 1300g y humedades situadas entre 25 y 26%, lograrán obtener índices de expansión superiores a 13.0, por otro lado para el mismo intervalo de humedad y presiones de operación por encima de 175 *psig*, se obtendrá valores del índice de expansión superiores a 13.0 tal como se ve en la figura (13). En general operar a presiones cercanas a 180 *psig*, cargas bajas (menores a 1350 g) y humedades entre 25 y 26%, resultaran el altos índices de expansión del maíz amarillo.

Figura 10. Gráfica de contorno para el índice de expansión del maíz amarillo expandido en función de la carga y presión de operación.



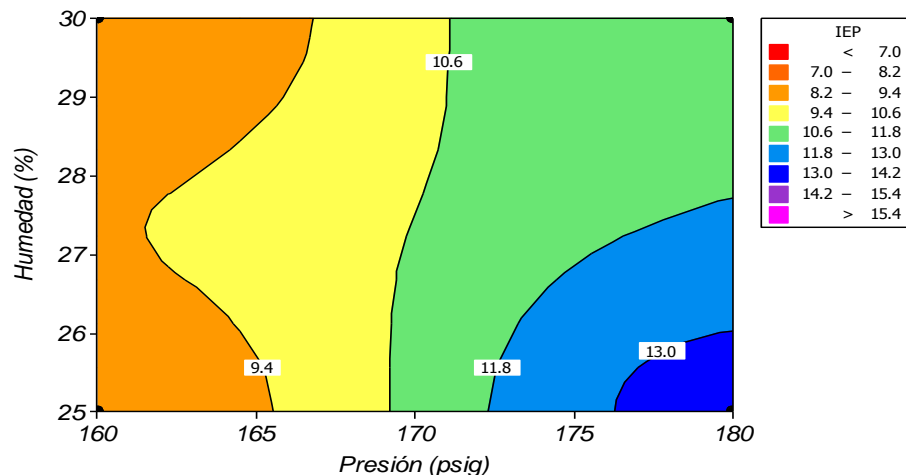
Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Figura 11. Gráfica de contorno para el índice de expansión del maíz amarillo expandido en función de la carga y humedad de operación.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Figura 12. Gráfica de contorno para el índice de expansión del maíz amarillo expandido en función de la humedad y presión de operación.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

3.4. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA) DEL MAÍZ EXPANDIDO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

El tratamiento que muestra mayor índice de absorción es T4 83.945 ± 7.781 g de gel/g de s.s. (180 *psig*, 30% humedad y 1300 g de carga), mientras

que el tratamiento T5 obtiene el menor índice de absorción 12.768 ± 0.898 g de gel/g de s.s. (160 *psig*, 25% humedad y 1500 g de carga), tal como se presenta en la tabla (12).

Asimismo en la tabla (12), se observa que el índice de absorción del maíz expandido, disminuye con el incremento de carga en el equipo expensor, por ejemplo, el tratamiento T1 y T5, presentan diferentes cargas 1300 g y 1500 g respectivamente, y presentan valores del índice de absorción de 35.498 ± 9.531 y 12.768 ± 0.898 g de gel/g de s.s., idénticamente T2 (41.464 ± 4.785 g de gel/g de s.s.) y T6 (21.449 ± 5.783 g de gel/g de s.s.), este hecho se presenta para todas la combinaciones , así pues se concluye que el índice de absorción disminuye con la cantidad de carga.

Asimismo se evaluó la diferencia significativa de los tratamientos sobre el índice de absorción del agua, en la tabla (12), se observa que T1, T2 y T3 no presentan diferencias significativas, así como T6, T7 y T8, y también el grupo T1 y T6, siendo que el tratamiento T4 presenta diferencia significativa con los otros tratamientos, también se puede observar que el tratamiento T1 muestra más desviación estándar y T3 menor.

Tabla 12. Valores del índice de absorción de agua del maíz expandido por tratamientos.

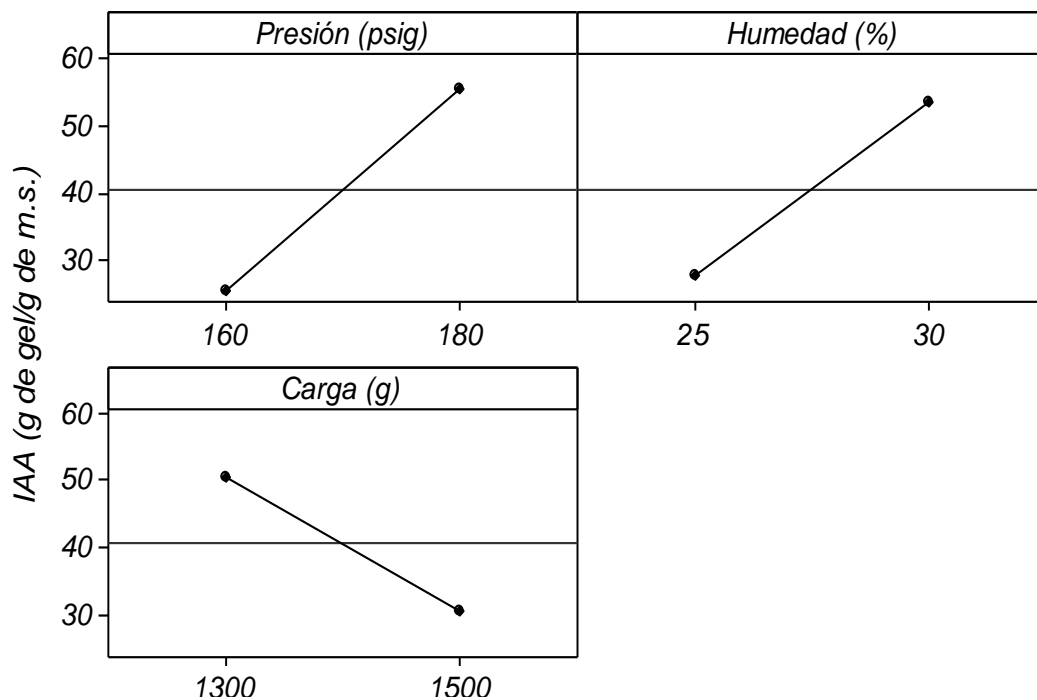
Tratamiento	Presión (<i>psig</i>)	Humedad (%)	Carga (g)	Índice de absorción de agua (g gel/g s.s.)
T1	160	25	1300	$35.498 \pm 9.531^{b,c}$
T2	180	25	1300	41.464 ± 4.785^c
T3	160	30	1300	41.781 ± 0.963^c
T4	180	30	1300	83.945 ± 7.781^d
T5	160	25	1500	12.768 ± 0.898^a
T6	180	25	1500	$21.449 \pm 5.783^{a,b}$
T7	160	30	1500	12.651 ± 3.637^a
T8	180	30	1500	75.511 ± 1.421^d

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos (p value > 0.05), evaluada con el estadígrafo Tukey.

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

Por otra parte el análisis de los efectos individuales de las variables de entrada, muestra claramente que el incremento de presión y humedad, incrementan grandemente el índice de absorción de 20 a valores cercanos a 60 *g de gel/g de s.s.*, tal como se muestra en la figura (13), mientras que el incremento de la cantidad de carga lo disminuye rápidamente aunque no en la misma magnitud.

Figura 13. Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el índice de absorción del maíz amarillo expandido.

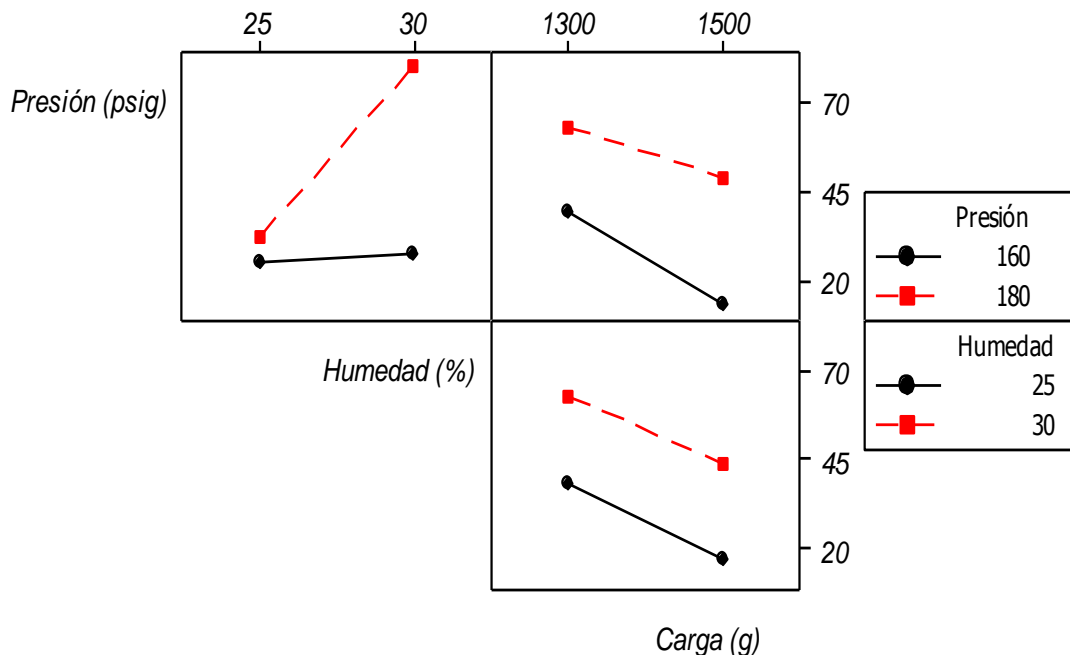


Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

Por otro lado en la figura (14), se presenta el efecto binario de las interacciones de las variables de entrada sobre el índice de absorción de agua del maíz amarillo expandido, el efecto Presión-Humedad, hace que a presiones de 180 *psig* para todo el intervalo de humedad, el índice de absorción aumenta rápidamente, este hecho no sucede a la presión de 160 *psig*, donde el índice se mantiene relativamente constante; asimismo los efectos combinados Presión-Carga y Humedad-Carga disminuyen el índice

de absorción de agua, aunque a bajas presiones y bajas cargas se obtendrá valores menores, nótese que con el incremento de la carga disminuye el índice de absorción de agua.

Figura 14. Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el índice de absorción de agua del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

A fin de evaluar el efecto significativo de los factores o variables independientes y sus interacciones en el índice de absorción, se realizó un ANOVA de tres factores, mostrados en la Tabla (13), en ella se aprecia que la presión muestra efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$), este hecho se puede contrastar con la figura (14), donde a diferentes presiones el índice de absorción muestra diferentes tendencias.

Por otro lado las interacciones de las variables no muestran efecto significativo ($p\text{-value} > 0.05$) en el índice de absorción de agua del maíz expandido.

Tabla 13. ANOVA de los factores e interacciones para el índice de absorción de agua del maíz expandido.

Fuente	F_{cal}	p -value
Factores		
P: Presión	6.32	0.0658
H: Humedad	4.65	0.0972
C: Carga	2.85	0.1669
Interacciones		
PH	25.26	0.125
PC	1.7	0.417
CH	0.08	0.8214

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

3.5. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) DEL MAÍZ EXPANDIDO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Los resultados del índice de solubilidad en agua (ISA), mostrados en la tabla (14), presentan valores de ISA en un intervalo de 0.13 a 2.36%, además se observa que existe una relación inversa con las variables de entradas, es decir, el incremento de estas disminuye el ISA, asimismo se observa que el tratamiento T1 muestra mayor ISA y T6 el menor valor, por otra parte la evaluación de comparación múltiple entre los tratamientos indica que los tratamientos T1, T2 y T5 no muestran diferencias significativas entre ellos (letras iguales) (p -value > 0.05), este mismo hecho ocurre con los tratamientos restantes, asimismo se observa que T5 presenta la mayor desviación estándar y T2 la menor.

Tabla 14. Valores del índice de absorción de agua del maíz expandido por tratamientos.

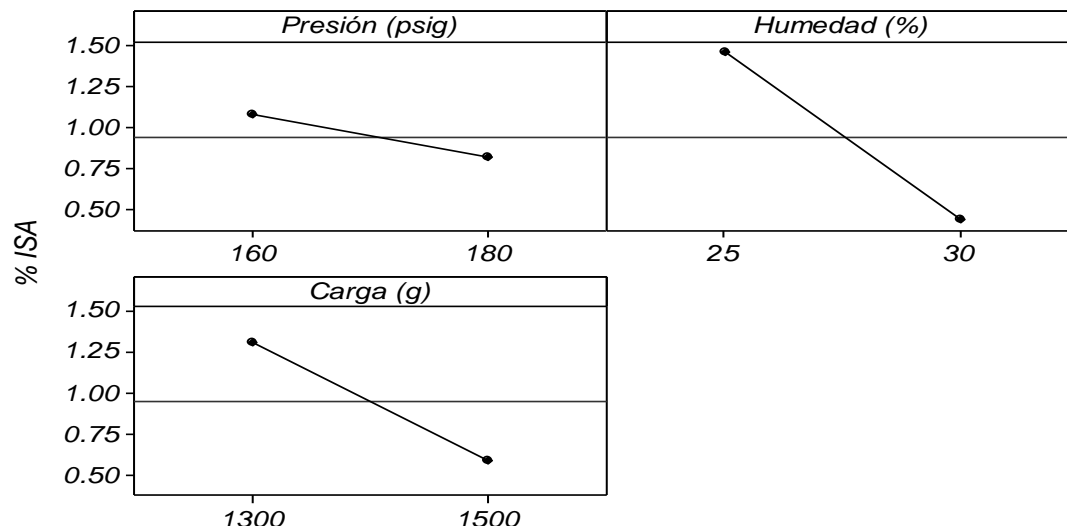
Tratamiento	Presión (psig)	Humedad (%)	Carga (g)	Índice de solubilidad en agua (%)
T1	160	25	1300	2.36 ± 0.46 ^a
T2	180	25	1300	2.01 ± 0.09 ^a
T3	160	30	1300	0.41 ± 0.34 ^b
T4	180	30	1300	0.45 ± 0.29 ^b
T5	160	25	1500	1.32 ± 1.07 ^{a,b}
T6	180	25	1500	0.13 ± 0.03 ^b
T7	160	30	1500	0.22 ± 0.07 ^b
T8	180	30	1500	0.66 ± 0.46 ^b

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos (p value > 0.05), evaluada con el estadígrafo Tukey.

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

Por otro lado la figura (15), muestra que los efectos individuales de las variables de entrada, disminuyen el ISA, de estos tres, la humedad y la cantidad de carga presentan una pendiente negativa más amplia, en comparación con el comportamiento del factor presión.

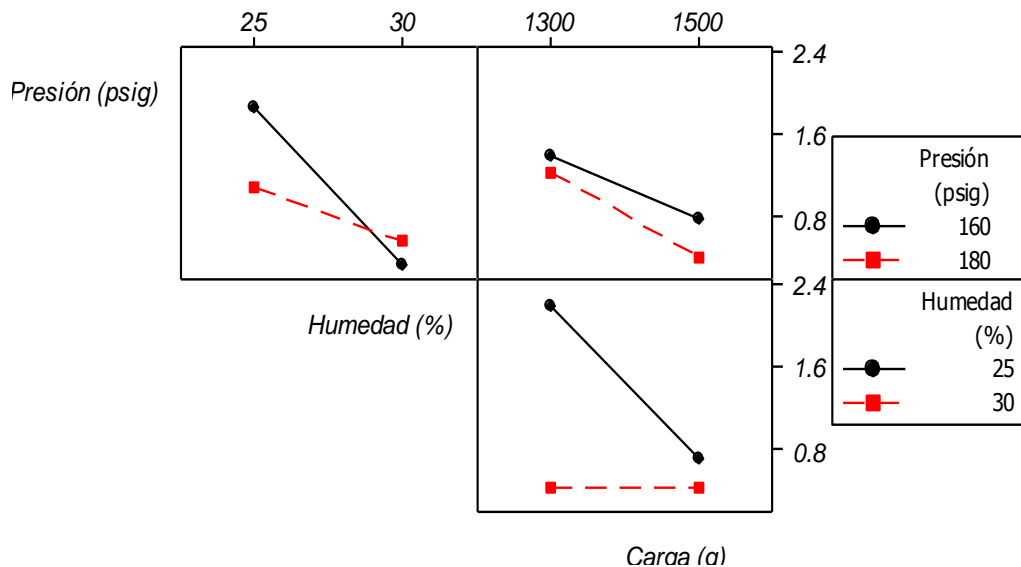
Figura 15. Gráfica de los efectos principales de las variables independientes en el índice de solubilidad en agua del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

De la misma manera se ha analizado el efecto de la interacción de las variables sobre el ISA, la cual se muestra en la figura (16), de la figura se concluye que el efecto combinado de pares de las variables de entrada disminuyen el ISA, aunque la interacción carga humedad al 30% mantiene constante el ISA, esto es a menor humedad y menor carga, mayor será el ISA.

Figura 16. Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes en el índice de solubilidad en agua del maíz amarillo expandido.



Fuente: Elaboración propia, MINITAB V5.

El análisis de varianza ANOVA, reportado en la tabla (15), indica que aunque el ISA toma diferentes valores cuando se modifica las variables de entrada, no existe efecto significativo de estas, así como en sus interacciones ($p\text{-value} > 0.05$), no obstante la humedad reporta ligera influencia en comparación a las otras dos, no así sus efectos combinados.

Tabla 15. ANOVA de los factores e interacciones para el índice de absorción de agua del maíz expandido.

Fuente	F_{cal}	p -value
Factores		
P: Presión	0.32	0.6045
H: Humedad	4.6	0.0985
C: Carga	2.33	0.2014
Interacciones		
PH	2.64	0.3513
PC	0.12	0.7884
CH	5.62	0.2541

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

3.6. EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD, PRESIÓN Y CANTIDAD DE CARGA OPTIMAS PARA EL PROCESO DE EXPANSIÓN DEL MAÍZ AMARILLO

Para la determinación de los parámetros óptimos de operación como Presión, Humedad y Carga, se han evaluado modelos matemáticos de 1er orden y de interacción, las cuales se muestran en la tabla (16), para las variables dependiente o de salida, esto es: Rendimiento (R), Densidad (D), Índice de expansión (IE), Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de solubilidad en agua (ISA).

En la tabla (16), se presenta los coeficientes de los modelos matemáticos, así como el coeficiente de correlación múltiple R^2 , se observa que el modelo de interacción presenta mejores valores de R^2 , que el de primer orden.

Por otra parte a fin de determinar los valores óptimos de los parámetros de operación Presión, Humedad y Carga, se han simulado las ecuaciones con interacciones por presentar mejores valores de R^2 , tomando como función objetivo al rendimiento, los resultados se muestran en la tabla (17), obtenidos a través del Software Statgraphics plus, en ella se reportan datos

de: Presión de operación óptima, 160 *psig*; Humedad del grano de maíz amarillo inicial, 30%; Cantidad de carga de maíz amarillo al expansor, 1500 *g*, bajo este criterio el Rendimiento óptimo (máximo) es de 80.0%, Densidad 0.079 *g/cm³*, Índice de expansión 7.02%, Índice de absorción de agua 14.9 *g de gel/g s.s.e* Índice de solubilidad en agua 0.375%.

Tabla 16. Valores de los coeficientes de los modelos matemáticos para las variables dependientes.

Modelo	Rendimiento (%)		Densidad (g/cm ³)		Índice de expansión (%)		Índice de absorción de agua		Índice de solubilidad (%)		
	Coeficiente	R ²	Coeficiente	R ²	Coeficiente	R ²	Coeficiente	R ²	Coeficiente	R ²	
$Y = i + aP + bH + cC$	Intercepto	75.698	0.052		9.204		-214.356		13.887		
	a (P)	-0.062	0.05	-0.001	0.92	0.195	0.97	1.496	0.78	-0.013	0.64
	b (H)	0.175		0.001		-0.185		5.135		-0.204	
	c (C)	0.003		1.0E-04		-0.019		-0.100		-0.004	
$Y = i + aP + bH + cC + dPH + ePC + fHC$	Intercepto	-738.024		-0.673		-27.953		2694.406		104.850	
	a (P)	4.715		0.005		0.682		-15.028		-0.216	
	b (H)	10.546	0.55	9.4E-04	0.98	0.471	1.00	-75.312	0.99	-3.973	0.96
	c (C)	0.382		4.6E-04		-0.038		-0.669		-0.035	
	d (PH)	-0.061		-4.6E-05		-0.014		0.452		1.0E-02	
	e (PC)	-0.002		-3.0E-06		-8.0E-05		0.003		-5.3E-05	
	f (HC)	-4.2E-05		5.6E-06		0.001		0.003		1.5E-03	

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

El resumen de evaluación se muestra en el anexo (11) al (15)

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

Tabla 17. Valores óptimos de las variables de entrada y salida, en el proceso de expansión del maíz amarillo duro.

valores óptimos					
Variables	Rendimiento (%)	Densidad (g/cm ³)	IE (%)	IAA (g de gel/g s.s.)	ISA (%)
	80.0	0.079	7.017	14.90	0.375
P (<i>psig</i>)	160.0				
H (%)	30.0				
C (<i>g</i>)	1500.0				
Restricciones: 160 <P<180, 25<H<30, 1300<C<1500					

Evaluado para un $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics plus.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- DEL RENDIMIENTO DE EXPANSIÓN DEL MAÍZ AMARILLO

En las figuras (04) y (05), claramente se observa que cualquier incremento de la presión de operación en el expansor afecta el rendimiento del maíz expandido de manera negativa, pero en cambio en el índice de expansión a mayor presión mayor es la expansión del maíz amarillo duro.

No obstante el análisis individual de las variables de entrada realizadas a través de las figuras (04) y (05), muestra que presentan un efecto en el rendimiento del maíz expandido, sin embargo este efecto no es significativo cuando se considera un ANOVA (tabla 07).

Paggi V. (2003). Adecuación de una maquina expansora de cereales tipo Cañón para prácticas de laboratorio en la universidad Tecnológica equinoccial. Estudio de caso: Arroz (*Oryza sativa L.*), Maíz (*Zea mays L.*), Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) y Trigo (*Triticum vulgare L.*). Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Industrialización de Alimentos. Quito – Ecuador.

- DE LA DENSIDAD DE MAÍZ EXPANDIDO

El hecho de aplicar presión en el equipo de expansión durante el proceso de cocción, hace que el agua contenida en el grano de maíz ejerza una presión interna en el grano de este, cuando se descompresiona o se descarga, esta hace que el agua escape bruscamente, produciendo la expansión del grano de maíz, y esta expansión será mayor a mayor presión, resultando por ende un mayor volumen de grano, y así una menor densidad, para Paggi (2003), el incremento de la presión de expansión en el maíz de la variedad morocho y morochillo, aumenta el grado de expansión, por ejemplo a presiones mayores a 140 psig, el volumen se triplica, esto es la densidad disminuye, el mismo hecho sucede para los otros cereales

expandidos; asimismo Limón *et al.*, (2011), encontró que la densidad disminuye en un 30% cuando expande en microondas una mezcla de maíz con concentrado proteico de leche. Por otra parte Dario (2007), concluye que contenidos bajos de agua en el material alimentado resultan en alta viscosidad, lo cual causa un mejor rendimiento, sin embargo, en la extrusión de almidones o materiales amiláceos, la gelatinización ocurre más fácilmente a altos contenidos de humedad. Además, con menos contenido de humedad, se reduce el grado de expansión obteniéndose productos de menor volumen y mayor densidad.

Leal-Díaz *et al.*, (2005), reportan en maíz QPM, densidades que oscilan de 0.066 a 0.138 g/cm³ y en maíz comercial de grado alimentario, 0.0034 a 0.0055 g/cm³ según sea el acondicionamiento de la harina. Las densidades reportadas por Gujska y Khan (1990) son de 0.480, 0.580 y 0.660 g/cm³ para el maíz, asimismo Rocha-Guzmán *et al.*, (2006), sugieren que la densidad es un buen índice de los cambios estructurales que ocurren en el material que gobierna la expansión, es decir que la relación amilosa/amilopectina del almidón presente en la materia prima, gobernarán el empaque del gránulo a nivel ultramolecular.

En otro trabajo Gujska y Khan (1991) midieron la densidad a productos extrudidos a partir de maíz obteniendo un valor de 0.470 g/cm³, que es mucho mayor al obtenido en este estudio, lo cual pudiera ser explicado por la diferencia en presiones empleadas, ya que a mayor presión de proceso se espera menor densidad de acuerdo a Rocha-Guzmán *et al.*, (2006). De igual forma, midieron la densidad en mezclas con diferentes proporciones de proteína de frijol navy, obteniendo que una cantidad del 20 % resultó en un aumento significativo de la densidad. Esto se le atribuyó probablemente a la concentración y tipo de proteína empleada. En este sentido, Martín-Cabrejas *et al.*, (1999) afirman que con extrudidos elaborados con harina de frijol, maíz y proteína de soya en la mayoría de los casos esto ocurre.

- DEL ÍNDICE DE EXPANSIÓN

En el proceso de extrusión de alimentos el almidón es el componente que juega el papel más importante, ya que los cambios que sufre afectan la expansión y la textura final del producto extruido (Lai y Kokini, 1991). Durante la extrusión la gelatinización del almidón puede ocurrir uniformemente a niveles del 20 % de humedad. Sin embargo, también se ha indicado que a bajos contenidos de agua se acentúa la gelatinización por los altos esfuerzos de corte del tornillo debido a la generación de calor como por la ruptura mecánica de los gránulos (Vasanthan *et al.*, 2001).

Por otro lado, Faubion y Hoseney (1982), indican que el aumento de proteína y grasa en la mezcla provoca la caída de la expansión debido a interacciones que se producen entre estos componentes y el almidón. Así, se puede deducir que la disminución de la expansión al aumentar el contenido de frijol en las mezclas fue por el contenido y composición de las harinas y además por el menor grado de cocción del almidón, lo cual impidió que se alcanzara la temperatura de gelatinización.

Operar a presiones elevadas implica la utilización de más energía en el equipo expensor, aunque esté justificada debido a un alto índice de expansión aumenta en volumen en maíz expandido, y esto beneficia al productor debido a que altos volúmenes generan mayores ingresos por rendimiento, este hecho se justifica por Delgado *et al.*, (2011), quien encontró que a mayor índice de expansión mejora la aceptabilidad organoléptica del producto.

Por otra parte el índice de expansión está relacionado directamente con la densidad del producto, y esta presenta resultados inversos a los obtenidos para este caso, este hecho se manifiesta en el trabajo de investigación elaborado por Delgado *et al.*, (2011), asimismo para Limón *et al.*, (2011), el índice de expansión aumenta con la disminución de la humedad del

producto en la extrusión de maíz enriquecido con concentrado proteico de leche, obteniendo valores en el intervalo de 2.5 a 5.0. Asimismo Pérez *et al.*, (2006), encontraron valores del índice de expansión de 1.6 para un producto extruido de harina de maíz y frijol Lima, según Chávez (1990) el almidón de los granos influye en el proceso de expansión por explosión y tras romper los puentes de hidrógeno, se aumenta la penetración de agua en los intersticios. Ello origina un aumento progresivo del volumen del grano de 8 a 16 veces con relación al trigo y unas 6 a 8 veces con relación al arroz (Castro, 1986), Acosta (2004), encontró una relación del incremento del índice de expansión de cubos de manzana expandidos cuando incrementa la presión de operación de 20 *psig* a 40 *psig* y disminuye la humedad de 20% a 30%, logrando índices de alrededor de 1.50.

Tacora *et al.* (2010), evaluó el efecto de la presión de operación (120 a 160 *psig*) en una cañón expansor experimental tipo batch con tapa de teflón, en las características funcionales y fisicoquímicas de la cañihua expandida, encontrado que el índice de expansión aumenta en un 30% en promedio, con el incremento de la presión de operación para una humedad comercial.

- **DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA**

Para Delgado *et al.*, (2011), en la investigación elaboración y caracterización de alimentos botana de tercera generación expandidos por microondas enriquecidos con harinas de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata D*) y maíz amarillo (*Zea mays L.*), los factores temperatura de extrusión y contenido de humedad fueron los que presentaron mayor efecto significativo sobre el índice de absorción de agua, los menores valores de adsorción de agua se presentaron a bajas temperaturas de extrusión y bajos contenidos de humedad, lo cual podría deberse a que bajas temperaturas de extrusión y baja humedad podrían haber causado un menor efecto sobre el almidón y por consiguiente una menor adsorción de agua de este compuesto, asimismo se puede apreciar que el índice de

adsorción de agua se incrementó al aumentar el contenido de humedad, esta misma tendencia encontró Darío (2007), Contenidos bajos de agua en el material alimentado resultan en alta viscosidad, lo cual causa un mejor rendimiento, sin embargo, en la extrusión de almidones o materiales amiláceos, la gelatinización ocurre más fácilmente a altos contenidos de humedad. Además, con menos contenido de humedad, se reduce el grado de expansión obteniéndose productos de menor volumen y mayor densidad.

Para Tacora *et al.*, (2010), Los resultados del índice de absorción de agua de la cañihua expandida de dos variedades Illpa y Cupi, perciben un incremento a medida que la presión de operación aumenta con un similar comportamiento al grado de gelatinización, al respecto Paton y Spratt, (1981), propone al índice de absorción de agua como un método válido para medir la conversión de almidón, ya que afirma que una verdadera conversión se logra cuando se tiene un hinchamiento irreversible de este, lo cual es cuantificado por el índice de absorción. El mismo hecho encontró Camacho *et al.*, (2010) a humedades elevadas y temperaturas elevadas el índice de absorción de agua tiende a aumentar, este efecto es debido a un reordenamiento en la estructura del almidón, facilitando posteriormente la absorción de agua, resultados similares fueron encontrados por Singh y Smith (1998), para productos extrudidos de almidón de trigo, pasta de trigo y harina de avena.

- **DEL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA**

Darío (2007), reporta valores de ISA de 20.5%, para harina de maíz extruido, observando que la tendencia de la solubilidad, que aumenta tanto con el aumento de T como con la disminución de H, hecho similar que se encontró en la presente investigación, esto es, el grado de cocción de la fracción amilácea estaría controlado fundamentalmente por las variables humedad y temperatura o presión a través de un proceso hidrotérmico,

más que al termomecánico (que es el que predomina a bajos niveles de humedad tal como 15%, que es el que corresponde a las condiciones de alto grado de cocción para productos expandidos),

Camacho *et al.*, (2010), se presenta un gráfico para ISA en el cual se aprecia un aumento en ISA conforme se aumenta la temperatura, Se ha reportado que procesamientos a altos contenidos de humedad tienen la ventaja de obtener extrudidos de almidón con baja solubilidad (Seker, 2005), es decir, el índice de solubilidad pueden ser considerados indicadores validos de grados de cocción en productos extrudidos de cereal (Paton y Spratt, 1981). De todas estas respuestas, la solubilidad es la que permite interpretar con mayor claridad los cambios producidos en la expansión.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos anotar los siguientes:

- La densidad aparente del maíz amarillo duro sin expandir es en promedio 0.66 g/cm^3 , después de la expansión este valor disminuye hasta valores de 0.033 g/cm^3 con el incremento de la presión, el cual se obtuvo un mayor volumen del grano expandido. Este resultado conviene tener una baja densidad.
- Se concluye que al operar a presiones cercanas a 180 psig , cargas bajas (menores a 1350 g) y humedades entre 25 y 26% , resultaran el alto índices de expansión del maíz amarillo. esto se puede verificar a través de un ANOVA, cuyos resultados se muestran en la tabla (11) (la descripción de los cálculos se muestran en el anexo 06), en ella se concluye que tanto la presión y la cantidad de carga afectan significativamente el índice de expansión ($p\text{-value} < 0.05$), mientras que las interacciones Presión-Humedad y Carga-Humedad lo afectan significativamente ($p\text{-value} < 0.05$).
- Se concluye que el índice de absorción disminuye con la cantidad de carga; este hecho se presenta para todas la combinaciones. Esto se puede verificar en la tabla (12). El tratamiento que muestra mayor índice de absorción es $t4 \ 83.945 \pm 7.781 \text{ g de gel/g de s.s.}$ (180 psig , 30% humedad y 1300 g de carga), mientras que el tratamiento T5 obtiene el menor índice de absorción $12.768 \pm 0.898 \text{ g de gel/g de s.s.}$ (160 psig , 25% humedad y 1500 g de carga), tal como se presenta en la tabla (12). Asimismo en la tabla (12), se observa que el índice de absorción del maíz expandido, disminuye con el incremento de carga en el equipo expensor.
- Se concluye que el efecto combinado de pares de las variables de entrada disminuyen el ISA (Índice de Solubilidad de Agua), aunque la interacción

carga humedad al 30% mantiene constante el ISA, esto es a menor humedad y menor carga, mayor será el ISA.

- Los valores óptimos de los parámetros de operación Presión, Humedad y Carga, se han simulado las ecuaciones con interacciones por presentar mejores valores de R^2 , tomando como función objetivo al rendimiento, obtenidos a través del Software Statgraphics plus, en ella se reportan datos de: Presión de operación óptima, 160 *psig*; Humedad del grano de maíz amarillo inicial, 30%; Cantidad de carga de maíz amarillo al expansor, 1500 *g*, bajo este criterio el Rendimiento óptimo (máximo) es de 80.0%, Densidad 0.079 *g/cm³*, Índice de expansión 7.02%, Índice de absorción de agua 14.9 *g de gel/g s.s.e* Índice de solubilidad en agua 0.375%.

RECOMENDACIÓN

- Realizar una caracterización fisicoquímica del maíz expandido en: grasa, proteína, cenizas totales, calorías carbohidratos, kcal proveniente de proteínas, kcal proveniente de carbohidratos, fibra cruda. También en contenido de minerales Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Ni.
- Ejecutar investigaciones para la aplicación de la pérdida del expandido de maíz amarillo duro (cáscara, maíces partidos, maíces podridos, etc.) en la industria alimentaria para animales como alimento balaceado seco o húmedo.
- Ampliar estudios para frutas y tubérculos que contengan un alto contenido de almidón porque cumple un importante papel en la producción de expandidos en los diferentes cereales que se investigaron.
- Realizar una investigación detallada del almidón del maíz amarillo expandido con respecto a la mejoría de la salud humana.
- Desarrollar una línea de expandidos de maíz amarillo con diferentes tipos de mieles especiales de edulcorado dirigido especialmente a niños con problemas de caries y dientes sensibles.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acosta R. (2004). Efecto de la variación de la humedad y presión de operación de un cañón expansor, en las características físicas intermedias y el grado de aceptabilidad general de cúbitos de manzana (*Malus domestica*) expandida variedad San Antonio. Tesis de pregrado. Escuela académico profesional de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo – Perú.
- Abd Karim, A; Norziah, M. y Seow, C.(2000). Química de los alimentos: Métodos para el estudio de retrogradación almidón. 71 p.
- Anderson, R.A., Conway, V.F., Pfeifer, V.F. y Griffin, E.L.(1969). Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. Cereal Science Today. 1969, Vol.14, p 4-12.
- Biliaderis, C. (1983). Química de alimentos: Calorimetría Diferencial de barrido en la investigación alimentaria, p. 239 - 265.
- Boletín N° 11-12: Maíz Blanco Gigante Del Cuzco- Ministerio de Agricultura, 2012
- Castro, N. R. (1986). Procesamiento de la cebada por el método de expansión por explosión. Tesis, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Clark, J. (1986). Texturización proceso en la industria alimentaria de cereales tecnología de los alimentos. 2da., ed. Lima, Perú, Aquarios Gráfica Editorial,91P.
- Camacho M.; Hernández L.; Navarro Q.; Aguilar E.; Zazueta J.; Gómez C.; Gallegos J.; Rocha N.; González R.(2010). Caracterización Físicoquímica de una Botana de Tercera Generación Elaborada por el Proceso de Extrusión a Partir de Harina de Maíz Azul y Almidón de Maíz. VII Congreso del Noroeste y III Nacional de

Ciencias Alimentarias y Biotecnología Centro de las Artes,
Universidad de Sonora.

- Chávez, R. N. (1990). Planta de procesamiento de maíz, trigo y arroz por el método de expansión por explosión. Proyecto de pre factibilidad. Tesis, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Darío A. (2007). Determinación de las condiciones de extrusión adecuadas para elaborar harina de maíz con características similares a las de una harina nixtamalizada. Tesis de posgrado para obtener el grado de Magister en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional del Litoral Facultad de Ingeniería Química. Instituto de Tecnología de Alimentos.
- David y Bogdan J.(2004). Cereales y productos derivados .1a., ed. Zaragoza, España, Editorial Acribia S.A. 132 – 138 p.
- Delgado C.; Zazueta J.J.; Gallegos J.A.; Aguilar E.; Camacho L.; Rocha N.E.; González R. (2011). Elaboración y Caracterización de Alimentos Botana de Tercera Generación Expandidos por Microondas Enriquecidos con Harinas de Calabaza Cehualca (*Cucurbitamoschata D*) y Maíz Amarillo (*Zea mays L.*). Memorias del Simposium Internacional sobre Tecnologías Convencionales y Alternativas en el Procesamiento de Maíz Chihuahua, Chihuahua. México.
- Faubion, J. M. y Hosney, R. C. (1982).High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. II. Effect of protein and lipid on extrudate properties. *Cereal Chemistry* 74, 533-537.
- González, R. J; Torres, R. L y Greef, D. M. (2002) " Extrusión-Cocción de Cereales". *Dar continuidade da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 36 (2): 104-115.

- Gujska, E. y Khan, K. (1990). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science*.
- Gutiérrez, H. y Vara, R.(2008). *Análisis y diseño de experimentos*. 2a., ed. México, editorial programas educativos S.A.
- Guy, R. (2001) "Materias bioactivas primas para la cocción por extrusión". En *Extrusión de los alimentos*, Cap 2, Editor Guy, R, Acribia S.A, Zaragoza.
- Hart, L, H. Fiser. (1991) *análisis moderno de los alimentos*. Editorial acribia. Zaragoza. España.
- Leal-Diaz, A., Rooney, L.W., Waniska, R.D. Barron, M., Riaz, M. (2005). Evaluation of extrusion properties of quality protein maize and food grade maize. *AACC Annual meeting: Program book Pub. By The American Association of Cereal Chemist*.St Paul MN. P.132.
- Limón V.; Zazueta J.J.; Martínez F.; Aguilar E.; Camacho L.; Jacobo N. (2011). *Propiedades Fisicoquímicas y Microestructurales de Pellets elaborados con Maíz de Calidad Proteínica Enriquecidos con Concentrado Proteínico de Leche por Extrusión*. Tesis de posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
- Lai, L. y Kokini, J. (1991). Physicochemical and rheological properties of starch during extrusion (a review). *Biotechnology Progress* 7, 251-266.
- Paton D.; Spratt W. A.(1981). "Simulated approach to the estimation of degree of cooking of an extruded cereal product".*Cereal Chemistry*.

- Paggi, v.(2003).“Adecuación de una maquina expansora de cereales tipo cañón para prácticas de laboratorio en la universidad tecnológica equinoccial. Estudio de caso: arroz (*oryzasativa l.*), maíz (*zeamays l.*), quinua (*chenopodium quinoa willd*) y trigo (*triticum vulgare l.*)”.Quito.Tesis Br. Escuela de Ingeniería en Industrialización de Alimentos, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Pérez C.; Cruz R.; Chel L.; BetancurD. (2006). Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea mays L.*) y frijol Lima (*Phaseolus lunatus L.*). Revista Mexicana de Ingeniería Química, , año/vol. 5, número 002. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa Distrito Federal, México.
- Martín-Cabrejas, M.A., Jaime, L., Naranja, C., Downie, A.J., Parker, M.L., Lopez-Andreu, F.J., Maina, G., Esteban, R.M., Smith, A.C. y Waldron, K.W. (1999). Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris L.*) by extrusion cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 11741182.
- Maroulis, Z; Thymi, S; Krokida, M. ; Pappa, A. (2004). "Propiedades estructurales de almidón de maíz". *Revista de Ingeniería de Alimentos*.
- Tacora R.; Luna G.; Bravo R.; Mayta J.; Choque M.; Ibañez V. (2010).Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua(*Chenopodium pallidicaule Aellen*). *CienciaAgro. Journal de Ciencia y Tecnología agraria*. Vol 2, N° 01.

- Othón, R. S.(1996). Química: almacenamiento e industrialización de los cereales. 1ra, ed.AGT, México, editorial S.A., 275- 284p.
- Rocha-Guzmán, N.E., Gallegos-Infante, J.A., González-Laredo, R.F., Castillo-Antonio, P.A., Delgado-Lincoln, E., Ibarra-Pérez, F. (2006). Functional properties of three common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars stored under accelerated conditions followed by extrusion. *LebensmittelWissenschaftundTechnologie* 39, 6–10.
- Seker M., (2005). Residence time distributions of starch with high moisture content in a single-screw extruder *J of Food Eng* .67
- Singh N.; Smith AC.; Frame ND. (1998).Effects of process variables and monoglicerides on extrusion maize grits using two sizes of extruders.*J of Food Eng* 35.
- Sullivan, J; Craig, J. y Konstance. (1995). Continuous explosion puffing of apples. 1a., ed. Lima, Perú, Editorial Pearson Education.
- Vasanthan, T., Yeung, J. y Hoover, R. (2001).Dextrinization of starch in barley flourswiththermostable alpha-amylase byextrusion cooking. *Starch/Stärke* 53, 616622.
- Watson, S. A. (1987). "Medición y mantenimiento de la calidad". En: Maíz: química y tecnología.
- Wang, w; Klopfenstein, C. F. y Ponte, J.(1993). effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat bran and on the baking quatity of the wheat bran. *Química de cereales*.
- Zhang, W. y Hosney, R.(1998). Química de cereales: Factores que afectan a expansión de harina de maíz con una mala y una buena expansión propiedades.

Sitios web visitados

- <http://gourmetsleuth.com/masanixtamal.htm>
- <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S03.htm>
- http://www.imsa.com.mx/historia_maiz2.htm
- <http://www.usda.gov/gipsa/tech-servsup/visualref/ofactors.htm>
- <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/ma%C3%ADz/ma%C3%ADz31?start=2>

ANEXOS

ANEXO 01. Contraste Múltiple de Rango para el Rendimiento.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Frec. Media Grupos homogéneos

T1	3	0.686667	X
T6	3	0.71	X
T4	3	0.723333	X
T8	3	0.736667	X
T3	3	0.773333	X
T7	3	0.776667	X
T5	3	0.79	X
T2	3	0.796667	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
T1 - T2	-0.11	0.14503
T1 - T3	-0.0866667	0.14503
T1 - T4	-0.0366667	0.14503
T1 - T5	-0.103333	0.14503
T1 - T6	-0.0233333	0.14503
T1 - T7	-0.09	0.14503
T1 - T8	-0.05	0.14503
T2 - T3	0.0233333	0.14503
T2 - T4	0.0733333	0.14503
T2 - T5	0.00666667	0.14503
T2 - T6	0.0866667	0.14503
T2 - T7	0.02	0.14503
T2 - T8	0.06	0.14503
T3 - T4	0.05	0.14503
T3 - T5	-0.0166667	0.14503
T3 - T6	0.0633333	0.14503
T3 - T7	-0.00333333	0.14503
T3 - T8	0.0366667	0.14503
T4 - T5	-0.0666667	0.14503
T4 - T6	0.0133333	0.14503
T4 - T7	-0.0533333	0.14503
T4 - T8	-0.0133333	0.14503
T5 - T6	0.08	0.14503
T5 - T7	0.0133333	0.14503
T5 - T8	0.0533333	0.14503
T6 - T7	-0.0666667	0.14503
T6 - T8	-0.0266667	0.14503
T7 - T8	0.04	0.14503

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 02. Análisis de la Varianza para Rendimiento - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Análisis de la Varianza para RP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Fcal	p-value
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	0.0002	1	0.0002	0.07	0.8074
B:HUMEDAD _%_	0.0002	1	0.0002	0.07	0.8074
C:CARGA _g_	0.0002	1	0.0002	0.07	0.8074
RESIDUOS	0.0118	4	0.00295		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0124	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Fcal	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	0.0002	1	0.0002	0.04	0.8743
B:HUMEDAD _%_	0.0002	1	0.0002	0.04	0.8743
C:CARGA _g_	0.0002	1	0.0002	0.04	0.8743
INTERACCIONES					
AB	0.0018	1	0.0018	0.36	0.6560
AC	0.005	1	0.005	1.00	0.5000
BC	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
RESIDUOS	0.005	1	0.005		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0124	7			

ANEXO 03. Contraste Múltiple de Rango para la densidad.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Frec. Media Grupos homogéneos

T2	3	0.0333333	X
T4	3	0.0363333	X
T3	3	0.0476667	X
T1	3	0.0486667	X
T6	3	0.049	X
T8	3	0.0493333	X
T5	3	0.0676667	X
T7	3	0.081	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
T1 - T2	0.0153333	0.0169251
T1 - T3	0.001	0.0169251
T1 - T4	0.0123333	0.0169251
T1 - T5	*-0.019	0.0169251
T1 - T6	-0.000333333	0.0169251
T1 - T7	*-0.0323333	0.0169251
T1 - T8	-0.000666667	0.0169251
T2 - T3	-0.0143333	0.0169251
T2 - T4	-0.003	0.0169251
T2 - T5	*-0.0343333	0.0169251
T2 - T6	-0.0156667	0.0169251
T2 - T7	*-0.0476667	0.0169251
T2 - T8	-0.016	0.0169251
T3 - T4	0.0113333	0.0169251
T3 - T5	*-0.02	0.0169251
T3 - T6	-0.00133333	0.0169251
T3 - T7	*-0.0333333	0.0169251
T3 - T8	-0.00166667	0.0169251
T4 - T5	*-0.0313333	0.0169251
T4 - T6	-0.0126667	0.0169251
T4 - T7	*-0.0446667	0.0169251
T4 - T8	-0.013	0.0169251
T5 - T6	*0.0186667	0.0169251
T5 - T7	-0.0133333	0.0169251
T5 - T8	*0.0183333	0.0169251
T6 - T7	*-0.032	0.0169251
T6 - T8	-0.000333333	0.0169251
T7 - T8	*0.0316667	0.0169251

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 04. Análisis de la Varianza para la Densidad - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Análisis de la Varianza para DP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Fcal	p-value
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	0.000722	1	0.000722	21.00	0.0102
B:HUMEDAD _%_	0.0000405	1	0.0000405	1.18	0.3388
C:CARGA _g_	0.0008	1	0.0008	23.27	0.0085
RESIDUOS	0.0001375	4	0.000034375		
TOTAL (CORREGIDO)					
	0.0017	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Fcal	p-value
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	0.000722	1	0.000722	17.83(0)	0.1481
B:HUMEDAD _%_	0.0000405	1	0.0000405	1.00(0)	0.5000
C:CARGA _g_	0.0008	1	0.0008	19.75(0)	0.1409
INTERACCIONES					
AB	0.0000125	1	0.0000125	1.00(1)	0.5000
AC	0.000072	1	0.000072	1.78(0)	0.4097
BC	0.0000125	1	0.0000125	0.31(0)	0.6772
RESIDUOS	0.0000405	1	0.0000405		
TOTAL (CORREGIDO)					
	0.0017	7			

ANEXO 05. Contraste Múltiple de Rango para el índice de expansión.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Frec. Media Grupos homogéneos

T5	3	6.65714	X
T7	3	7.0256	X X
T3	3	10.0533	X XX
T8	3	10.0578	XXX
T1	3	10.9068	XXX
T6	3	11.0873	XX
T4	3	13.4417	X X
T2	3	15.6239	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
T1 - T2	*-4.71711	4.33188
T1 - T3	0.853498	4.33188
T1 - T4	-2.53487	4.33188
T1 - T5	4.24965	4.33188
T1 - T6	-0.180472	4.33188
T1 - T7	3.8812	4.33188
T1 - T8	0.849012	4.33188
T2 - T3	*5.57061	4.33188
T2 - T4	2.18223	4.33188
T2 - T5	*8.96676	4.33188
T2 - T6	*4.53664	4.33188
T2 - T7	*8.5983	4.33188
T2 - T8	*5.56612	4.33188
T3 - T4	-3.38837	4.33188
T3 - T5	3.39616	4.33188
T3 - T6	-1.03397	4.33188
T3 - T7	3.0277	4.33188
T3 - T8	-0.00448633	4.33188
T4 - T5	*6.78453	4.33188
T4 - T6	2.3544	4.33188
T4 - T7	*6.41607	4.33188
T4 - T8	3.38389	4.33188
T5 - T6	*-4.43013	4.33188
T5 - T7	-0.368458	4.33188
T5 - T8	-3.40064	4.33188
T6 - T7	4.06167	4.33188
T6 - T8	1.02948	4.33188
T7 - T8	-3.03218	4.33188

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 06: Análisis de la Varianza para el índice de expansión- Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Análisis de la Varianza para IEP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	30.2953	1	30.2953	71.83	0.0011
B:HUMEDAD _%_	1.70755	1	1.70755	4.05	0.1145
C:CARGA _g_	28.8724	1	28.8724	68.46	0.0012
RESIDUOS	1.68701	4	0.421753		
TOTAL (CORREGIDO)	62.5623	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Análisis de la Varianza para IEP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	30.2953	1	30.2953	49461.76	0.0029
B:HUMEDAD _%_	1.70755	1	1.70755	2787.84	0.0121
C:CARGA _g_	28.8724	1	28.8724	47138.61	0.0029
INTERACCIONES					
AB	0.928885	1	0.928885	1516.55	0.0163
AC	0.051842	1	0.051842	84.64	0.0689
BC	0.705672	1	0.705672	1152.12	0.0188
RESIDUOS	0.0006125	1	0.0006125		
TOTAL (CORREGIDO)	62.5623	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

ANEXO 07. Contraste Múltiple de Rango para el índice de absorción del agua.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Frec. Media Grupos homogéneos

T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
T7	3	12.6513	X
T5	3	12.7673	X
T6	3	21.4487	XX
T1	3	35.4977	XX
T2	3	41.464	X
T3	3	41.781	X
T8	3	75.511	X
T4	3	83.9443	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
T1 - T2	-5.96633	15.0025
T1 - T3	-6.28333	15.0025
T1 - T4	*-48.4467	15.0025
T1 - T5	*22.7303	15.0025
T1 - T6	14.049	15.0025
T1 - T7	*22.8463	15.0025
T1 - T8	*-40.0133	15.0025
T2 - T3	-0.317	15.0025
T2 - T4	*-42.4803	15.0025
T2 - T5	*28.6967	15.0025
T2 - T6	*20.0153	15.0025
T2 - T7	*28.8127	15.0025
T2 - T8	*-34.047	15.0025
T3 - T4	*-42.1633	15.0025
T3 - T5	*29.0137	15.0025
T3 - T6	*20.3323	15.0025
T3 - T7	*29.1297	15.0025
T3 - T8	*-33.73	15.0025
T4 - T5	*71.177	15.0025
T4 - T6	*62.4957	15.0025
T4 - T7	*71.293	15.0025
T4 - T8	8.43333	15.0025
T5 - T6	-8.68133	15.0025
T5 - T7	0.116	15.0025
T5 - T8	*-62.7437	15.0025
T6 - T7	8.79733	15.0025
T6 - T8	*-54.0623	15.0025
T7 - T8	*-62.8597	15.0025

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 08. Análisis de la Varianza para el índice de absorción del agua - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Análisis de la Varianza para IAAP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	1790.14	1	1790.14	6.32	0.0658
B:HUMEDAD _%_	1318.64	1	1318.64	4.65	0.0972
C:CARGA _g_	806.192	1	806.192	2.85	0.1669
RESIDUOS	1133.28	4	283.32		
TOTAL (CORREGIDO)	5048.26	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Análisis de la Varianza para IAAP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	1790.14	1	1790.14	44.29	0.0949
B:HUMEDAD _%_	1318.64	1	1318.64	32.63	0.1103
C:CARGA _g_	806.192	1	806.192	19.95	0.1402
INTERACCIONES					
AB	1021.0	1	1021.0	25.26	0.1250
AC	68.5094	1	68.5094	1.70	0.4170
BC	3.35535	1	3.35535	0.08	0.8214
RESIDUOS	40.4145	1	40.4145		
TOTAL (CORREGIDO)	5048.26	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

ANEXO 09. Análisis de la Varianza para el índice de solubilidad en agua - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Frec. Media Grupos homogéneos

T6	3	0.13	X
T7	3	0.22	X
T3	3	0.413333	X
T4	3	0.446667	X
T8	3	0.66	X
T5	3	1.31667	X X
T2	3	2.00667	X
T1	3	2.36	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
T1 - T2	0.353333	1.33604
T1 - T3	*1.94667	1.33604
T1 - T4	*1.91333	1.33604
T1 - T5	1.04333	1.33604
T1 - T6	*2.23	1.33604
T1 - T7	*2.14	1.33604
T1 - T8	*1.7	1.33604
T2 - T3	*1.59333	1.33604
T2 - T4	*1.56	1.33604
T2 - T5	0.69	1.33604
T2 - T6	*1.87667	1.33604
T2 - T7	*1.78667	1.33604
T2 - T8	*1.34667	1.33604
T3 - T4	-0.0333333	1.33604
T3 - T5	-0.903333	1.33604
T3 - T6	0.283333	1.33604
T3 - T7	0.193333	1.33604
T3 - T8	-0.246667	1.33604
T4 - T5	-0.87	1.33604
T4 - T6	0.316667	1.33604
T4 - T7	0.226667	1.33604
T4 - T8	-0.213333	1.33604
T5 - T6	1.18667	1.33604
T5 - T7	1.09667	1.33604
T5 - T8	0.656667	1.33604
T6 - T7	-0.09	1.33604
T6 - T8	-0.53	1.33604
T7 - T8	-0.44	1.33604

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 10. Análisis de la Varianza para el índice de absorción del agua - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Análisis de la Varianza para ISAP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Fcal	p-value
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	0.142044	1	0.142044	0.32	0.6045
B:HUMEDAD _%_	2.07468	1	2.07468	4.60	0.0985
C:CARGA _g_	1.05125	1	1.05125	2.33	0.2014
RESIDUOS	1.80257	4	0.450643		
TOTAL (CORREGIDO)	5.07055	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Análisis de la Varianza para ISAP - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Fcal	p-value
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PRESIÓN _psig_	0.142044	1	0.142044	0.74	0.5479
B:HUMEDAD _%_	2.07468	1	2.07468	10.79	0.1881
C:CARGA _g_	1.05125	1	1.05125	5.47	0.2572
INTERACCIONES					
AB	0.507024	1	0.507024	2.64	0.3513
AC	0.022898	1	0.022898	0.12	0.7884
BC	1.08045	1	1.08045	5.62	0.2541
RESIDUOS	0.1922	1	0.1922		
TOTAL (CORREGIDO)	5.07055	7			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

ANEXO 11. Resumen de la regresión de los modelos para el rendimiento.

Resumen		ANÁLISIS DE VARIANZA					
			<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Fcal</i>
<u>Estadísticas de la regresión</u>		Regresión	3	5.5699	1.8566	0.07	0.974
Coeficiente de correlación múltiple	0.221	Residuos	4	108.74	27.184		
Coeficiente de determinación R ²	0.049	Total	7	114.31			
R ² ajustado	-0.665	Análisis de los residuales					
Error típico	5.214						
Observaciones	8						
		<i>Pronóstico</i>					
		<i>Observación</i>	<i>RP</i>	<i>Residuos</i>			
	<i>Coef</i>	1	74.731	-6.27			
Intercepción	75.698	2	73.495	6.2487			
P	-0.062	3	75.608	1.8282			
H	0.175	4	74.371	-1.807			
C	0.003	5	75.43	3.2368			
		6	74.194	-3.216			
		7	76.306	1.2047			
		8	75.07	-1.226			

Resumen		ANÁLISIS DE VARIANZA					
			<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Fcal</i>
<u>Estadísticas de la regresión</u>		Regresión	6	63.421	10.57	0.21	0.929
Coeficiente de correlación múltiple	0.745	Residuos	1	50.884	50.884		
Coeficiente de determinación R ²	0.555	Total	7	114.31			
R ² ajustado	-2.116	Análisis de los residuales					
Error típico	7.133						
Observaciones	8						
		<i>Pronóstico</i>					
		<i>Observación</i>	<i>RP</i>	<i>Residuos</i>			
	<i>Coef</i>	1	70.984	-2.522			
	-	2	77.222	2.522			
Intercepción	738.024	3	74.914	2.522			
P	4.715	4	75.086	-2.522			
H	10.546	5	76.145	2.522			
C	0.382	6	73.5	-2.522			
PH	-0.061	7	80.033	-2.522			
PC	-0.002	8	71.322	2.522			
HC	0.000						

ANEXO 12. Resumen de la regresión de los modelos para la densidad.

Resumen		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	
<i>Estadísticas de la regresión</i>		Regresión	3	0.00157185	0.00052395	15.365
Coeficiente de correlación múltiple	0.959	Residuos	4	0.0001364	3.4101E-05	
Coeficiente de determinación R ²	0.920	Total	7	0.00170825		
R ² ajustado	0.860	Análisis de los residuales				
Error típico	0.006					
Observaciones	8					
		<i>Pronóstico</i>				
		<i>Observación</i>	<i>DP</i>	<i>Residuos</i>		
	<i>Coef</i>	1	0.04904124	-0.00066305		
Intercepción	0.0515	2	0.02988255	0.00343825		
P	-0.0010	3	0.05313324	-0.0054001		
H	0.0008	4	0.03397455	0.00262489		
C	0.0001	5	0.06909428	-0.0016586		
		6	0.04993559	-0.0011166		
		7	0.07318628	0.00772175		
		8	0.05402759	-0.00494654		

Resumen		ANÁLISIS DE VARIANZA					
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Fcal	
<i>Estadísticas de la regresión</i>		Regresión	6	0.00167156	0.00027859	7.592	0.271
Coeficiente de correlación múltiple	0.989	Residuos	1	3.6697E-05	3.6697E-05		
Coeficiente de determinación R ²	0.979	Total	7	0.00170825			
R ² ajustado	0.850	Análisis de los residuales					
Error típico	0.006						
Observaciones	8						
		<i>Pronóstico</i>					
		<i>Observación</i>	<i>DP</i>	<i>Residuos</i>			
	<i>Coef</i>	1	0.046	0.00214175			
Intercepción	-0.673	2	0.035	-0.00214175			
P	0.005	3	0.050	-0.00214175			
H	0.001	4	0.034	0.00214175			
C	4.6E-04	5	0.070	-0.00214175			
PH	-4.6E-05	6	0.047	0.00214175			
PC	-3.0E-06	7	0.079	0.00214175			
HC	5.6E-06	8	0.051	-0.00214175			

13. Resumen de la regresión de los modelos para el IE.

<i>Estadísticas de la regresión</i>		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Fcal
Regresión		3	60.875	20.291613	48.125	0.001
Residuos		4	1.687	0.42163938		
Total		7	62.561			
Análisis de los residuales						
Coeficiente de correlación múltiple	0.986					
Coeficiente de determinación R ²	0.973					
R ² ajustado	0.953					
Error típico	0.649					
Observaciones	8					

		<i>Pronóstico</i>		
		Observación	IEP	Residuos
	<i>Coef</i>	1	11.023	-0.116
Intercepción	9.204	2	14.914	0.709
P	0.195	3	10.098	-0.045
H	-0.185	4	13.990	-0.549
C	-0.019	5	7.223	-0.566
		6	11.115	-0.028
		7	6.299	0.727
		8	10.191	-0.133

Resumen

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Estadísticas de la regresión</i>		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Fcal
Regresión		6	62.561	10.4267738	17416	0.01
Residuos		1	0.001	0.00059869		
Total		7	62.561			
Análisis de los residuales						
Coeficiente de correlación múltiple	1.000					
Coeficiente de determinación R ²	1.000					
R ² ajustado	1.000					
Error típico	0.024					
Observaciones	8					

		<i>Pronóstico</i>		
		Observación	IEP	Residuos
	<i>Coef</i>	1	10.898	0.009
	-			
Intercepción	27.953	2	15.633	-0.009
P	0.682	3	10.062	-0.009
H	0.471	4	13.433	0.009
C	-0.038	5	6.666	-0.009
PH	-0.014	6	11.079	0.009
PC	-8E-05	7	7.017	0.009
HC	0.001	8	10.066	-0.009

ANEXO 14. Resumen de la regresión de los modelos para el IAA.

Resumen

ANÁLISIS DE VARIANZA

			<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Fcal</i>
<i>Estadísticas de la regresión</i>		Regresión	3	3914.98	1304.99	4.61	0.09
Coefficiente de correlación múltiple	0.881	Residuos	4	1133.25	283.31		
Coefficiente de determinación R ²	0.776	Total	7	5048.23			
R ² ajustado	0.607	<i>Análisis de los residuales</i>					
Error típico	16.832						
Observaciones	8						
		<i>Pronóstico</i>					
		<i>Observación</i>	<i>IAAP</i>	<i>Residuos</i>			
	<i>Coef</i>	1	22.874	12.623			
Intercepción	-214.356	2	52.792	-11.328			
P	1.496	3	48.551	-6.771			
H	5.135	4	78.469	5.475			
C	-0.100	5	2.797	9.970			
		6	32.715	-11.266			
		7	28.474	-15.823			
		8	58.392	17.119			

Resumen

ANÁLISIS DE VARIANZA

			<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Fcal</i>
<i>Estadísticas de la regresión</i>		Regresión	6	5007.82	834.64	20.65	0.17
Coefficiente de correlación múltiple	0.996	Residuos	1	40.41	40.41		
Coefficiente de determinación R ²	0.992	Total	7	5048.23			
R ² ajustado	0.944	<i>Análisis de los residuales</i>					
Error típico	6.357						
Observaciones	8						
		<i>Observación</i>	<i>IAAP</i>	<i>Residuos</i>			
	<i>Coef</i>	1	37.745	-2.248			
Intercepción	2694.406	2	39.216	2.248			
P	-15.028	3	39.533	2.248			
H	-75.312	4	86.192	-2.248			
C	-0.669	5	10.520	2.248			
PH	0.452	6	23.697	-2.248			
PC	0.003	7	14.899	-2.248			
HC	0.003	8	73.263	2.248			

ANEXO 15. Resumen de la regresión de los modelos para el ISA.

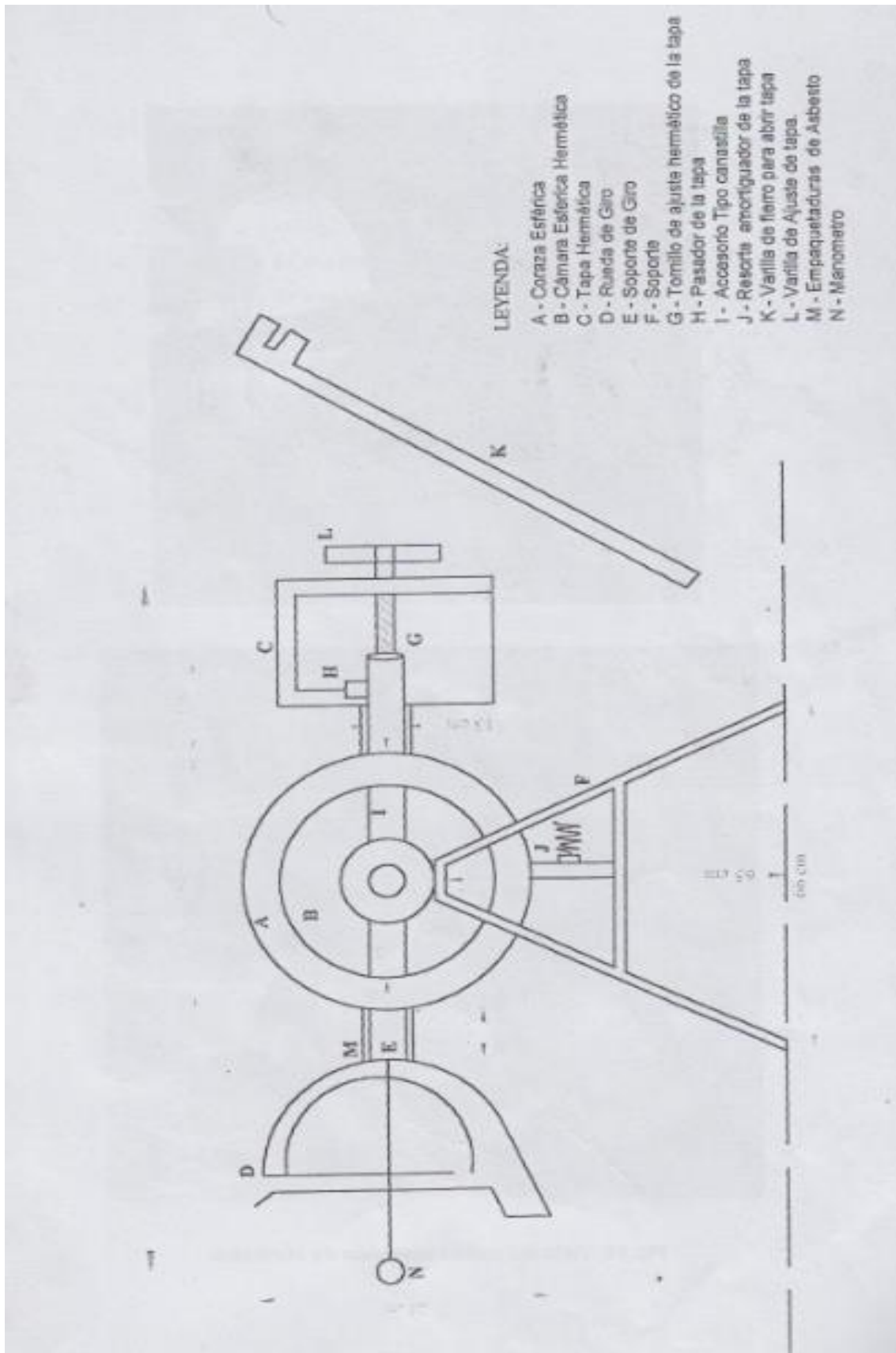
Resumen

		ANÁLISIS DE VARIANZA					
			Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Fcal
<i>Estadísticas de la regresión</i>		Regresión	3	3.267	1.089	2.418	0.207
Coefficiente de correlación múltiple	0.803	Residuos	4	1.802	0.451		
Coefficiente de determinación R ²	0.645	Total	7	5.070			
R ² ajustado	0.378	Análisis de los residuales					
Error típico	0.671						
Observaciones	8						
		Pronóstico					
		Observación	ISAP	Residuos			
	Coef	1	1.949	0.411			
Intercepción	13.887	2	1.683	0.324			
P	-0.013	3	0.931	-0.517			
H	-0.204	4	0.664	-0.218			
C	-0.004	5	1.224	0.093			
		6	0.958	-0.828			
		7	0.206	0.014			
		8	-0.061	0.721			

Resumen

		ANÁLISIS DE VARIANZA					
			Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Fcal
<i>Estadísticas de la regresión</i>		Regresión	6	4.877	0.813	4.229	0.356
Coefficiente de correlación múltiple	0.981	Residuos	1	0.192	0.192		
Coefficiente de determinación R ²	0.962	Total	7	5.070			
R ² ajustado	0.735	Análisis de los residuales					
Error típico	0.438						
Observaciones	8						
		Pronóstico					
		Observación	ISAP	Residuos			
	Coef	1	2.51	-0.155			
Intercepción	104.850	2	1.85	0.155			
P	-0.216	3	0.26	0.155			
H	-3.973	4	0.60	-0.155			
C	-0.035	5	1.16	0.155			
PH	0.010	6	0.28	-0.155			
PC	-5.3E-05	7	0.37	-0.155			
HC	0.001	8	0.50	0.155			

ANEXO 16. Partes del expansor de alimentos.



ANEXO 17. Vista del expansor de alimentos.

