



ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE EXPANSIÓN DE LA HARINA PRECOCIDA DE
MAÍZ UTILIZANDO VARIABLES INTRÍNSECAS DEL PROCESO DE
ELABORACIÓN.

ANALYSIS OF THE EXPANSION TEST OF PRECOOKED CORN FLOUR USING
INTRINSIC VARIABLES OF THE MANUFACTURING PROCESS.

Milton Moreno Guzmán

mmorenog01@libertadores.edu.co

Fundación Universtaria Los Libertadores

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluaron las correlaciones entre las variables; temperatura del secador (TS), espesor de hojuela (E1, E2), humedad de entrada a laminadores (HEL1, HEL2), humedad de hojuela seca (HHS), humedad de entrada al cocinador (HN) y humedad de hojuela premolida (HHP), contra los datos de expansión (EXPANS) de la harina precocida de maíz. Para lograr el objetivo del trabajo se usaron 30 datos promediados de 30 días de proceso, durante tres turnos con ocho observaciones cada uno, los datos se analizaron mediante el programa estadístico R-Studio versión 4.0.3. Se aplicó análisis de regresión múltiple para encontrar un modelo que explicara este comportamiento, según valores de significancia y R cuadrado ajustado se escogieron los dos mejores modelos de regresión múltiple, M1, con $R^2=87.2\%$ y M2, $R^2=87.08\%$ que al comparar con datos reales de proceso, se encontró que M2, presentó un menor error porcentual en comparación con M1, dando valores cercanos al 2,21%. En este modelo se resalta la alta correlación que existe entre las variables HEL1, HHS, HN y la variable EXPANS, lo cual tiene mucho sentido debido a que las tres encierran lo correspondiente al tratamiento térmico y humedad. En conclusión, las variables HEL1, HHS y HN, reflejan el efecto que tiene la adición de agua y temperatura sobre el valor de la expansión, siendo esta última un reflejo de la adsorción de agua de la masa. Las variables E2, Asi mismo se encontró una limitante de precisión, cuando se usa



análisis de regresión múltiple, debido a que las variables dentro del proceso se conjugan entre sí para afectar el resultado de la expansión, y estos modelos asumen que las variaciones de una variables es válida sobre la variable respuesta si las demás variables permanecen constantes, además, los valores de expansión que se tomaron para crear el modelo estaban entre 6.9 y 8,0cm datos que pueden considerarse una limitante para el rango de acción de los resultados debido a que en el proceso real podemos obtener valores de expansión por debajo de 6,5 cm y en la prueba de los modelos estos no arrojaron datos por debajo de 7,0 cm.

Palabras clave: expansión, humedad, temperatura, variables intrínsecas.

ABSTRACT

In the present research work, the correlations between the variables were evaluated; dryer temperature (TS), flake thickness (E1, E2), laminator inlet humidity (HEL1, HEL2), dry flake humidity (HHS), cooker inlet humidity (HN) and pre-ground flake humidity (HHP), against the expansion data (EXPANS) of the precooked corn flour. To achieve the objective of the work, 30 data averaged from 30 days of process were used, during three shifts with eight observations each, the data were analyzed using the statistical program R-Studio version 4.0.3. Multiple regression analysis was applied to find a model that explained this behavior, according to significance values and adjusted R squared, the two best multiple regression models were chosen, M1, with $R^2 = 87.2\%$ and M2, $R^2 = 87.08\%$ that when comparing With real process data, it was found that M2 presented a lower percentage error compared to M1, giving values close to 2.21%. In this model, the high correlation that exists between the variables HEL1, HHS, HN and the variable EXPANS is highlighted, which makes a lot of sense because all three contain what corresponds to heat treatment and humidity. In conclusion, the variables HEL1, HHS and HN reflect the effect that the addition of water and temperature has on the expansion value, the latter being a reflection of the water adsorption of the mass. Likewise, a limitation of precision was found, when multiple regression analysis is used, because the variables within the process are conjugated to each other to affect the result of the expansion, and these models assume that the variations of a variable is valid on the response variable if the other variables remain constant, in addition, the expansion values that were taken to create the model were between 6.9 and 8.0cm, data that can be considered



a limitation for the range of action of the results due to the fact that in the process In reality, we can obtain expansion values below 6.5 cm and in the test of the models, these did not yield data below 7.0 cm.

Keywords: expansion, humidity, temperature, intrinsic variables, maices

INTRODUCCIÓN

Dentro de los componentes o partes más importantes del maíz se encuentran: **Endospermo:** conformado por almidón y gluten. Es el tejido que rodea el embrión y proporciona alimento para el crecimiento de la semilla (Dickerson, 2003). Está compuesto por dos regiones bien definidas: el endospermo harinoso, de consistencia suave y apariencia opaca; representa el 34% del peso del endospermo y el endospermo córneo, de consistencia dura y de apariencia translúcida; representa el 66 % del peso del endospermo (González, 2009) y está formado por células alargadas y de forma irregular (Ospina, 2001). **Almidón:** es una de las sustancias químicas de mayor valor comercial. Se ubica en el área lateral y superior de grano y conforma aproximadamente del 70 % al 75 % del grano (Troyer & Mascia, 1999).

El procesamiento del maíz, para la obtención de harina precocida, consiste básicamente de tres etapas: desgerminación, laminación y molienda del endospermo. El producto resultante es la harina de maíz, la cual pasa por inspección de calidad, donde un analista de calidad u operador de molienda evalúa su aspecto mediante un análisis sensorial y cuantitativo (Martha, et al, 2009), entre sus variables a medir y cuidar es la correspondiente a su capacidad de adsorber el agua o leche en la masa durante su preparación. final, una de las variables en el proceso de producción que pueden incidir sobre esta variable es el espesor de las hojuelas (los límites de especificación inferior y superior del espesor de las hojuelas están fijados en LEI = 0,35 mm y LES = 0,50 mm, respectivamente). Si dicho espesor está por encima del LES, se produce una disminución de la capacidad de formación de masa y una alteración de su suavidad, características diferenciadoras de la calidad de los productos. Mientras que valores de espesor por debajo del LEI dan como resultado una absorción muy rápida del agua durante el proceso de amasado, lo cual se traduce en masas duras y difíciles de moldear para hacer arepas. (Jose et al., 2009).



El presente trabajo propone analizar la variable expansión usando algunas variables intrínsecas del proceso de producción de harina precocida de maíz para determinar qué relación conservan entre ellas, así de esta forma, si existe correlación poder interpretarla a través de un modelo de regresión múltiple.

REFERENTES TEORICOS

La Harina de Maíz Precocida es el producto obtenido a partir del endospermo de granos de maíz (*Zea Mays L*) clasificados para consumo humano, que han sido sometidos a un proceso denominado **MOLIENDA SECA** cuyo producto final es la harina de maíz precocida, El objetivo principal de la molienda seca es la separación del germen del resto del grano, bien sea para extraer el aceite del mismo; o bien, para eliminarlo de la harina ya que es el principal factor de enranciamiento. La molienda seca está enfocada a la obtención de harinas, sémolas (grits), afrecho, germen y otros. Las harinas obtenidas por medio de la molienda seca pueden ser harinas crudas (harina obtenida por tratamientos físicos y mecánicos del grano de maíz que permiten el desprendimiento, separación y recuperación del endospermo) y harinas cocidas o pregelatinizadas (harina obtenida por la gelatinización del almidón de maíz, con la completa ruptura de sus gránulos por medio de una combinación controlada de humedad calor y presión, y en algunos casos de presiones mecánicas) (González.,et al, 2016)

En el proceso de fabricación de la Harina de Maíz Precocida **NO** existe reacciones químicas ya que en la transformación que se da del maíz desde la desgerminación donde se separa el endospermo y el pericarpio se realiza por medios mecánicos y no actúa ningún factor químico.

Acidez de la Harina: Con una muestra de 10g de Harina y 100ml de agua destilada tenemos: Acidez: 0.055% (Las normas de control de calidad establecen un rango máximo de 0.1% de acidez para las harinas por lo cual hace indicar que la harina de la cual procede la muestra analizada es apta para el consumo humano.) La harina de maíz contiene ácidos grasos



poliinsaturados (ácido linoleico) y ácidos grasos mono insaturados (ácido oleico), los cuales contribuyen a disminuir el colesterol.

El acondicionamiento o atemperado: Es el tratamiento para distribuir uniformemente humedad al grano y para que éste alcance un estado físico que permita una molienda de resultados óptimos, es decir, lograr una separación, lo más completa posible entre el endospermo y las envolturas del cereal. Para conseguirlo, es necesario que la cáscara de los granos sea lo bastante desmenuzable como para experimentar su completa pulverización y poder ser cribado enteramente y con facilidad, esto se consigue con un buen acondicionamiento. Por lo anterior, la humedad se añade al grano en cantidades controladas de agua fría, caliente o vapor en 1,2 o 3 etapas manteniendo tiempos apropiados por cada etapa. El periodo de reposo puede variar entre 15 minutos a 6 horas y la temperatura del maíz puede variar por debajo de la temperatura del lugar donde se encuentra el grano, alrededor de 120°F (48°C). Si se agrega vapor, el tiempo de acondicionamiento se reduce considerablemente, pero la operación se debe controlar cuidadosamente, porque el vapor puede endurecer el grano y se hace difícil la remoción de la cascara, y adversamente puede afectar ciertas características del producto principal, tal como la viscosidad de la pasta de harina. Las condiciones del acondicionamiento varían considerablemente dependiendo de las características del maíz a moler, la producción, las características del producto solicitado y el equipo disponible.

El contenido de humedad final del maíz acondicionado puede estar en el rango de un 18 a un 27%. La humedad añadida la absorbe primero la cascara, luego el germen y finalmente el endospermo. Durante el acondicionamiento el germen absorbe humedad rápidamente y alcanza unos niveles de humedad más altos que el endospermo. La humedad con un buen tiempo de acondicionamiento, causa principalmente la dilatación del germen, llegando a ser duro y resistente, más resistente a la abrasión y al impacto facilitándose así la desgerminación del maíz.

La precocción: Se realiza con el fin de gelatinizar los almidones del maíz, los grits* provenientes de la etapa de separación y enfriamiento se llevan a una columna de inyección



de vapor a 75-60 Psi. La gelatinización aumenta la capacidad para absorber agua, y también la velocidad a la cual las enzimas pueden descomponer los almidones en carbohidratos más simples y solubles. *Grit (que se remonta al idioma anglosajón grytt, es una palabra casi extinta para salvado, molino de polvo también para la avena que se descascara.

El laminado: El grits precocido sale de la columna de vapor con una humedad del 22% y se lleva a laminadores de rodillos, con el propósito de obtener hojuelas para su posterior molienda.

El secado: Las hojuelas con un contenido de humedad del 22% se secan en un secador rotatorio de tubo vapor. El secado se efectúa con vapor sobre calentado a 140°C y las hojuelas se llevan a un 13,5% de humedad. (González.,et al, 2016).

Que es la gelatinización y sus características

Es quizá la transición más importante del almidón. Es una transición de orden– desorden que sufren los polímeros de almidón sometidos a procesos de calentamiento lo cual tiene gran impacto en el procesamiento, calidad y estabilidad de los productos basados en almidón. Durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y disrupción del gránulo con una consecuente pérdida de cristalinidad. Los cambios que ocurren en la transición están influenciados por factores intrínsecos como tipo de almidón, tamaño de los gránulos, etcétera, y por factores extrínsecos, como la velocidad de calentamiento, el contenido de humedad, el daño mecánico de los gránulos, la historia térmica de la muestra y las condiciones de extracción del almidón, entre otras.(P. Pineda et al.,2010)

METODOLOGÍA

Método

Este estudio se enmarca dentro del tipo de investigación descriptiva donde se busca describir unas variables del proceso productivo de la harina precocida de maíz de las cuales varias de



ellas afectan de manera directa una variable que se considera dependiente de estas, lo cual el enfoque será describir de manera cuantitativa el comportamiento de la variable Expans sobre proceso a través del diseño de modelos de regresión múltiple.

Diseño Metodológico

Etapa 1. Para esta fase se organizan los datos de la siguiente manera, las fuentes de los datos provienen de tablas de control por turnos de proceso diario, que consta de ocho observaciones durante un turno de 8 horas, en total son tres turnos diarios, durante treinta días, en este estudio se utilizó los datos del mes de octubre del año en curso. Se aplicó un promedio aritmético sobre los 24 valores de cada variable, para obtener un valor resultante promedio que quedó tabulado en una tabla de Excel, para luego ser analizado a través del Software R-Studio Cloud versión 4.0.3. Se abrevió la nomenclatura de las variables que se estimaron guardan correlación con la variable en estudio (Expans) de la siguiente manera:

E1: Espesor de hojuela del laminador 1, E2: Espesor de hojuela del laminador 2, HEL1: porcentaje de humedad entrada al laminador 1, HEL2: Porcentaje de humedad entrada al laminador 2, HHS: Porcentaje de humedad de hojuela seca, Expans: valor de expansión del sistema, HN: Porcentaje de humedad cocinador) TS: Temperatura sistema del secador en grados celcius, HHP: Porcentaje de humedad de premolida.

Etapa 2. Los datos son alimentados al programa R Studio Cloud versión 4.0.3, en donde se realizó todo el análisis estadístico, desde diagrama de correlación, ejecución de modelos lineales de regresión múltiple, prueba de normalidad, y significancia de la regresión.

Etapa 3. Evaluación de los modelos encontrados con los datos reales del proceso productivo de producción de harina precocida, en esta fase se construye una tabla donde se consigna la información pertinente y el error porcentual entre modelos y entre los datos de procesos reales.

RESULTADOS

La figura 1 muestra el Boxplot de la variable EXPANS del estudio, en ella se observa que el 50% de los datos estuvieron en promedio con valores de 7,5 cm, que el 75% de los datos en 7,7 cm y 25% de los datos en 7,2 cm, estos valores reflejan que el proceso se encuentra bajo norma, debido a que el valor máximo según la NTC 3594 es del 8,5cm, el valor mínimo no está establecido debido a que depende del criterio del productor, valores por debajo de 4 cm, se considera que la harina no tiene fluidez, se consideraría muy dura. Se aplicó a los datos de EXPANS el test de Shapiro Will para evaluar normalidad encontrando un p-valor de 0,727 lo que evidencia una normalidad en los datos.

Variable Expans

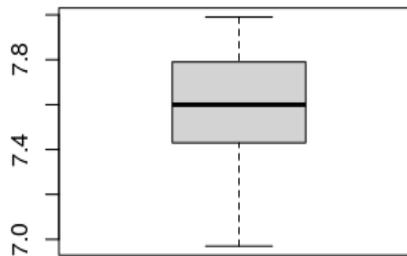


Figura 1. Fuente: propia

En la figura 2, se expone los resultados del estudio de correlaciones entre las variables y la variable EXPANS, en ella se puede observar que las variables con mayor correlación fueron las variables, HEL1, HN, HHS, sin embargo, las variables que mostraron menor correlación para este estudio fue la TS, y E1. Esto puede ser evidente debido a que son estas variables que enmarcan los procesos de calor-humedad que se ha hablado guardan relación directa con la gelatinización o de otro modo, de la capacidad de retención de agua de la masa de harina, aunque se debe verificar en estudios posteriores con pruebas de calorimetría diferencial de barrido (DSC).

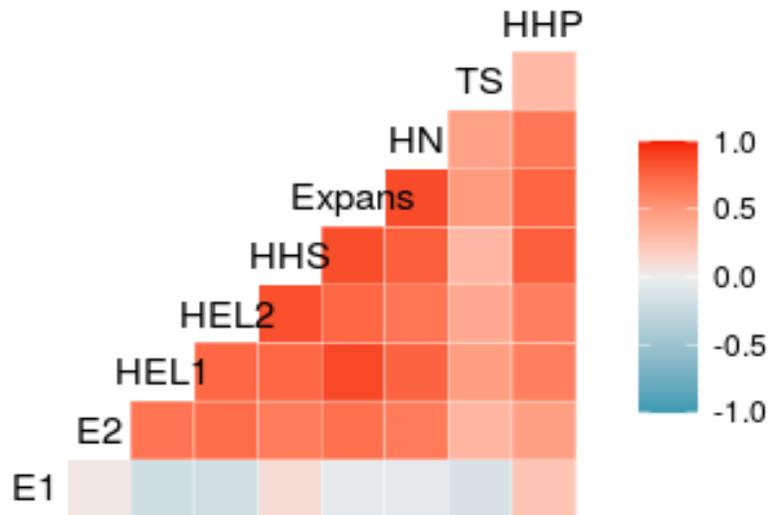


Figura 2. Gráfico de correlaciones

Tabla 1. Comparativo de los modelos regresión múltiple

Coeficientes, P-valores y significancia				
	M1	M2	M3	M4
HEL1	0,0045**	0,00133**	0,00191**	0,000116***
HHS	0,1888	0,01454*	0,13051	
HN	0,0197*	0,00862**	0,01516*	0,000203***
HHP	0,1747		0,24174	
E2	0,4477			
HEL2			0,60388	
R ² Ajustado	87,20%	87,08%	87,03%	84,28%
Fuente: Propia				

En la Tabla 1, se resumen los resultados del R² ajustado de los distintos modelos escogidos, y puede notarse que los modelos M1 y M2 fueron los que mejores resultados mostraron, desde el punto de vista de significancia al 5%, el M2 presenta mejores valores, de hecho, fue el que menor error porcentual mostró durante la prueba de comparación con los datos reales del proceso que se muestran en la tabla 2. A continuación los modelos escogidos para el análisis de la variable expansión.



- $M1 = -7.7146 + 0.6246E2 + 0.3495HEL1 - 0.1197HEL2 + 0.3318HHS + 0.1901HN + 0.008TS + 0.1437HHP$
- $M2 = -10.1148 + 0.3809 HEL1 + 0.3186 HHS + 0.2552 HN$

Para el M2, se tiene que la variable Expans se incrementará en 0,3809 unidades si el porcentaje de HEL1 se incrementa en una unidad siempre y cuando se mantenga constante las variables HHS y HN, de igual manera la variable EXPANS se incrementará en 0,3186 unidades si el porcentaje de HHS se incrementa en una unidad, siempre y cuando las variables HEL1 y HN se mantengan constantes, y se incrementa en 0,2552 unidades si se incrementa en una unidad la variable HN, siempre y cuando se mantenga constante las variables HEL1 y HHS.

Tabla 2. Cuadro comparativo datos arrojados por los modelos vs datos proceso real

Variables	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Expans	7,602	7,165	8,180	7,944	7,274	7,212	7,277	7,147	7,896	7,827	7,955	7,935	8,058	7,924	7,342	7,228	7,350	7,185	7,334	7,134	7,463	7,220	8,464	8,379
HEL1	23,56	23,56	23,56	23,56	21,96	21,96	22,37	22,37	22,17	22,17	22,33	22,33	23,21	23,21	22,38	22,38	21,9	21,9	21,71	21,71	21,84	21,84	23,47	23,47
HEL2	21,95	0	23,95	0	23,42	0	22,23	0	22,29	0	22,55	0	22,37	0	22,63	0	22,45	0	21,63	0	21,97	0	22,82	0
HHS	10,45	10,45	12,4	12,4	11,43	11,43	10,87	10,87	11,66	11,66	11,91	11,91	11,12	11,12	10,45	10,45	10,63	10,63	11,02	11,02	11,11	11,11	11,5	11,5
E2	0,4	0	0,4	0	0,48	0	0,486	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,51	0	0,51	0	0,52	0	0,48	0	0,47	0
HN	19,5	19,5	20,12	20,12	20,85	20,85	20,68	20,68	22,66	22,66	22,53	22,53	22,16	22,16	21,51	21,51	21,83	21,83	21,43	21,43	21,46	21,46	23,08	23,08
TS	84	0	82	0	72	0	72	0	72	0	73	0	74	0	73	0	74	0	72	0	73	0	74	0
HHP	10,97	0	11,45	0	10,11	0	9,63	0	9,97	0	9,75	0	10,43	0	10,1	0	10,28	0	9,65	0	10,38	0	11,03	0
Expans P	7,34	7,34	7,82	7,82	7,43	7,43	7,39	7,39	6,78	6,78	7,2	7,2	7,94	7,94	7,15	7,15	7,37	7,37	6,55	6,55	7,5	7,5	8,03	8,03
Desviación	3,58%	-2,38%	4,60%	1,59%	-2,10%	-2,93%	-1,54%	-3,29%	16,45%	15,45%	10,49%	10,21%	1,49%	-0,20%	2,68%	1,10%	-0,27%	-2,52%	11,97%	8,92%	-0,50%	-3,73%	5,40%	4,34%
Desv.Mod2		5,75%		2,88%		0,85%		1,78%		0,86%		0,26%		1,67%		1,54%		2,25%		2,72%		3,25%		1,00%
Desv.Mod1	6,11%		2,97%		0,86%		1,82%		0,87%		0,26%		1,69%		1,56%		2,30%		2,80%		3,36%		1,01%	

La variación de M1 versus los datos reales encontrados fue del 4,36%, la de M2 fue del 2,21% y el error porcentual entre los modelos 1 y 2 no superaron el 2,1%. M2 logra conservar menos variación en comparación con los datos reales.



CONCLUSIONES

- El modelo que suministra información relevante del comportamiento de la variable Expans es el M1, donde las variables que resultaron tener alta correlación fueron las HEL1, HHS, HN.
- Los modelos en general, presentan una limitante porque la variable Expans no arroja datos por debajo de 7 cm, aun cuando el proceso si presentaba dicho valor, esto se atribuye a dos posibles causas, los modelos se construyeron en una base de datos donde no se encontraban valores de Expans por debajo de 7 y este tipo de modelos pueden tener esa desventaja, es posible que el aplicar promedio sobre promedio afectara representatividad en los análisis de los datos, para ello se propone aumentar el número de datos que logren abarcar mayor rango de datos, lo otro que pudo ocurrir es que dentro del proceso estarían otras variables que no se contemplaron y que pueden influir en el resultado del valor de la variable Expans. Así mismo se tiene contra parte el error dentro del laboratorio de proceso, que está sujeto al error humano, al error al momento de ver los valores en el consistómetro.
- La variable Expans es una variable que definitivamente se nota influenciada por las variables que guardan relación con la humedad del proceso dentro de la precocción, condiciones del secado de hojuela, representado en la humedad final de la hojuela seca (HHS) y sobre la humedad de premojo antes de ingresar a las cocinas, representado en la variable HN. Todo esto guarda relación con los estudios realizados sobre el almidón y el efecto de la humedad y calor sobre su capacidad de retención de agua.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cruz Hurtado, E. J., & Romero, M. F. (2020). Propuesta de un modelo logístico para la probabilidad de instalación de datáfonos en una empresa ubicada en Bogotá. *Noria Investigación Educativa*, 1(5), 41-53. <https://doi.org/10.14483/25905791.16452>
- Dickerson, George (2003). "Specialty Corns". *College of Agriculture and Home Economics*. Las Cruces: New Mexico State University
- Fermín, J. S., Valdivieso, M., Merli, G. O., & Barreto, S. (2009). Control estadístico de procesos multivariantes en la industria alimentaria: implementación a través del estadístico T2-Hotelling. *Revista agroalimentaria*, 15(28), 91-105.
- Gamboa Jiménez, A. S., Martínez Tinjacá, J. P., & González Veloza, J. (2020). Revisión del desempeño del proceso de llenado de una emulsión. Estudio de Caso: Envasadora Perry. *Noria Investigación Educativa*, 2(6), 129-146. <https://doi.org/10.14483/25905791.16684>
- González, F. C., Avila, M., Gil, Y., & Velasco, D. (2016). Proceso de fabricación de la harina precocida de maíz. *Fac Ing*, 609028418, 16.
- González, U. (2009). El maíz y los productos de su industrialización. *México DF: Trillas*.
- Lis-Gutiérrez JP., Lis-Gutiérrez M., Gallego-Torres AP, Ballesteros Ballesteros VA, Romero Ospina MF (2020) Uso del sistema de propiedad industrial en Colombia (2018): una aplicación de aprendizaje supervisado. En: Tan Y., Shi Y., Tuba M. (eds) *Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12145. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53956-6_46
- Machado, J. E. O. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Univ. Nacional de Colombia.
- Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rivera, A. R., & García, M. R. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, 6(11), 129-141.
- Troyer, A. F., & Mascia, P. N. (1999). Key technologies impacting corn genetic improvement—past, present and future. *Maydica*, 44(1), 55-68.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Valdiviezo, M., Sinha, S. P., & Barreto, S. (2009). Modelación de la Apariencia de la Harina de Maíz Usando Regresión Logística. *Saber. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 21(2), 165-171. Ospina, Julio (2001).