

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0088>

## COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DEL GRANO Y LA CASCARILLA DE ARROZ UTILIZANDO LEVADURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* COMO AGENTE BIOLÓGICO

### COMPARISON OF ETHYL ALCOHOL PRODUCTION FROM RICE GRAIN AND RICE HUSK USING *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* YEAST AS BIOLOGICAL AGENT

Macías-Pico Cristhian Ariel<sup>1\*</sup>; Prado-Suárez Javier Eduardo<sup>1</sup>; Cevallos-Cedeño Ramón Eudoro<sup>1</sup>; Latorre-Castro Gisela Beatríz<sup>1</sup>; García-Muentes Segundo Alcides<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

\*Correo: cristhianmacias18@gmail.com

#### Resumen

En el presente artículo, se comparó el aprovechamiento del grano y cascarilla de arroz como materia prima para la producción de alcohol etílico, exponiendo un uso alternativo para la cascarilla de arroz, considerada desperdicio. Se realizó un proceso de hidrólisis ácida con soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, para la materia prima que contiene material lignocelulósicos, también llamado almidón, con el fin de convertirlo en glucosa que fue consumida por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para producir el etanol. Se verificó que por este medio el mejor rendimiento, se obtuvo con una concentración de 4% p/p con el HCl, para ambas materias primas, aplicando una temperatura de 85 °C en un tiempo de 80 min, obteniendo así un 22% de alcohol en el grano y un 15% de alcohol en la cascarilla de arroz por cada 100 mL de sustancia destilada. Además, se obtuvieron porcentajes de rendimiento con los gramos producidos de alcohol respecto a los gramos del grano y la cascarilla de arroz, siendo estos 64.92 y 18.30%, respectivamente, teniendo la posibilidad de producir alcohol en cantidades considerables, como también producir vinagre, sino es controlado correctamente el tiempo de fermentación.

**Palabras clave:** Etanol, hidrólisis ácida, fermentación, *Saccharomyces cerevisiae*.

#### Abstract

In this article, the use of rice grain and rice husks as raw material for the production of ethyl alcohol was compared, exposing an alternative use for rice husks, considered waste. An acid hydrolysis process was carried out with HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions for the raw material containing lignocellulosic material, also called starch, in order to convert it into glucose, which was consumed by *Saccharomyces cerevisiae* yeast to produce ethanol. It was verified that by this means the best yield was obtained with a concentration of 4% w/w with HCl, for both raw materials, applying a temperature of 85 °C in a time of 80 min, thus obtaining 22% alcohol in the grain and 15% alcohol in the rice husk for each 100 mL of distilled substance. In addition, yield percentages were obtained with the grams of alcohol produced with respect to the grams of grain and rice husk, being these 64.92 and 18.30%, respectively, having the possibility of producing alcohol in considerable quantities, as well as vinegar, if the fermentation time is not correctly controlled.

**Keywords:** Ethanol, acid hydrolysis, fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*.

#### Información del manuscrito:

**Fecha de recepción:** 02 de febrero de 2022.

**Fecha de aceptación:** 07 de marzo de 2022.

**Fecha de publicación:** 10 de enero de 2023.

## 1. Introducción

Uno de los cereales más consumidos mundialmente es el arroz (*Oryza sativa*), el cual suministra una gran parte de la nutrición diaria para la población en todo el mundo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el año 2016 el 94% del arroz que se consumía en el mundo se produjo en Asia, considerándose mínima la producción de arroz en Ecuador en comparación al resto del mundo. Por otra parte, el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), llevó a cabo una encuesta donde comenta que Ecuador en el año 2017 tuvo una producción promedio de 1066566 toneladas métricas de arroz, y sus cultivos se localizan en su gran mayoría en la región costera, resaltando a Manabí con un 3.09% de la producción total (INEC, 2017).

La agroindustria arrocera ecuatoriana empieza en la cosecha y la deshidratación del arroz en cáscara, posteriormente es enviado a las plantas de procesamientos llamadas molinos. En dicho lugar se limpia y selecciona el producto. Luego, pasa por una serie de

equipos que se encargan; primero, en retirar la cascarilla para después raspar y cepillar el grano (Bautista et al., 2005). Es aquí donde la cáscara se convierte en un residuo por parte de las industrias procesadoras de arroz, siendo desperdiciada en gran parte.

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), de los residuos agroindustriales vegetales más producidos en Ecuador, se encuentra la cascarilla de arroz, donde un informe realizado por dicha entidad muestra que el residuo del arroz pertenece al 22% del total de producción, tomando en cuenta que una pequeña cantidad es reutilizada como fertilizante y el resto es quemado (Tipanluisa et al., 2015). Sin embargo, se piensa que la cascarilla puede dar paso a algún tipo de producto y pasar de ser un desperdicio a ser considerada materia prima, siendo la producción de alcohol etílico por fermentación de levadura una de las alternativas para el aprovechamiento de dicho desperdicio, ya que dicho proceso es muy importante dentro de la industria alimenticia y biotecnológica. Como resultado, la levadura

*Saccharomyces Cerevisiae*, es el microorganismo que predomina en la industria, siendo responsable no solo de la elaboración de bebidas alcohólicas, sino que también de grandes cantidades de bioetanol por año para usarlo como energía renovable (Walker & Walker, 2018).

El objetivo de este trabajo fue, comparar la producción alternativa de alcohol etílico a partir de dos subproductos de la materia prima proveniente del arroz: el grano y la cascarilla, utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae* como agente biológico; de esta manera, se evaluó que parte de la materia prima obtuvo un óptimo porcentaje de alcohol producido. La fermentación fue llevada a cabo en biorreactores diseñados a escala laboratorio, sellados y a una temperatura ambiente, de tal manera que permita al proceso tener un mejor rendimiento y, por consiguiente, una mayor cantidad durante la fermentación.

## **2. Metodología**

### **2.1. Preparación del grano y cascarilla de arroz**

Se procedió a clasificar el grano y la cascarilla de arroz con el fin de

separar las materias primas dañadas e impurezas encontradas; luego se lavaron con agua destilada, eliminando la suciedad que pudieran tener. Posteriormente, se pasó por un proceso de secado en una estufa de marca Thermo Scientific por un periodo de tiempo de 30 min a una temperatura de 70 °C. Finalmente, se dejó enfriar y se procedió a triturar la materia prima empleando un molino pulverizador – High – Speed Multi-function Comminutor 1000A.

### **2.2. Método de hidrólisis ácida**

En el proceso de hidrólisis ácida para ambas materias primas, se utilizó el método propuesto por Torres (2012), realizando una mezcla con la cantidad de materia prima triturada, la cual fue pesada en una balanza analítica de marca ADAM, así como el volumen de la solución ácida con una relación de 1:3, respectivamente. Para los experimentos se usaron 350, 150 y 50 g del grano y cascarilla de arroz triturada, luego se vertieron en soluciones de ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de 1050, 450 y 150 mL respectivamente, a concentraciones de 2 y 4% p/p. Luego se usaron placas calefactoras de marca Thermo Scientific para

elegir la temperatura de las mezclas a 70 °C y 85 °C, manteniéndolas constantes hasta finalizar el proceso de hidrólisis ácida en un tiempo de 80 min. Seguidamente, se dejó enfriar la mezcla para proceder a regular el pH a 4.5 usando una disolución de hidróxido de sodio (NaOH) con concentración de 10 M. Finalmente, se determinaron los °Brix con un refractómetro de mano digital Brix 0-60°. Las concentraciones de azúcares reductores y carbohidratos totales, se determinaron en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys de marca Thermo Scientific con el fin de tener una referencia antes de la fermentación.

### **2.3. Determinación de los azúcares reductores en la fermentación**

Para la determinación de la concentración de azúcares reductores, se procedió con la realización de una curva de calibración, aplicando el método de 3,5 – ácido dinitrosalicílico (DNS) de Miller, donde se procedió a pesar 0.5 g de DNS, 15 g de tartrato de Na-K y 0.8 g de NaOH; luego, se diluyó con 20 mL de agua destilada. Dicha solución fue llevada a un agitador de

pastilla a 100 rpm y se le añadió lentamente el tartrato de Na-K para después añadir el DNS y agregar agua destilada hasta llegar a un volumen de 50 mL, obteniendo una solución totalmente homogénea que fue colocada en un recipiente de vidrio color ámbar, y almacenada a 4 °C. Finalmente, para la construcción de la curva de calibración se prepararon cinco soluciones en tubos de ensayos con concentraciones de 0.4; 0.8; 1.2; 1.6 y 2 g/L, usando glucosa como estándar y se añadieron 0,5 mL de la solución de DNS preparada, posteriormente las soluciones en los tubos de ensayos fueron sometidas a baño maría durante 10 min a 90 °C con el fin de que los azúcares reductores contenidos en la glucosa reduzcan el DNS, y poder observar el cambio de color entre amarillo y marrón. Una vez frías se llevaron al espectrofotómetro UV-Vis, utilizando una longitud de onda de 540 nm (Vega, 2014).

Para cuantificar la concentración de azúcares reductores durante la fermentación, se tomó 1 mL de la muestra y se la vertió a un tubo de ensayo para añadir 0.5 mL de DNS; después se procedió a llevar la

muestra a baño maría al tiempo y temperatura mencionados anteriormente. Por último, se empleó la curva de calibración guardada en el espectrofotómetro UV-Vis para detectar las concentraciones.

#### **2.4. Determinación de carbohidratos totales en la fermentación**

Para la determinación de la concentración de carbohidratos totales se empleó el método de Fenol-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de DuBois y otros, donde se utilizó una solución preparada de fenol al 5% y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (DuBois et al., 1956). En primer lugar, se elaboró la curva de calibración, preparando en siete tubos de ensayo soluciones con concentraciones de 20, 40, 60, 70, 80, 90 y 100 µg/L, utilizando glucosa como estándar; luego se añadieron a cada una de las soluciones 0.5 mL de fenol al 5% para después añadir 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Posteriormente, los tubos de ensayo se agitaron durante 30 seg, y rápidamente se llevaron a enfriar por 10 min. Transcurrido dicho tiempo, se procedió a observar las lecturas en el espectrofotómetro UV-Vis, utilizando una longitud de onda de 490 nm (López et al., 2017).

En la cuantificación de los carbohidratos totales durante el proceso de fermentación, se tomó 1 mL de muestra y se la vertió en un tubo de ensayo; después fue añadido 0.5 mL de Fenol al 5% y 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Una vez añadidas las soluciones, se agitó el tubo de ensayo durante 30 seg, y luego se enfrió a temperatura ambiente durante 10 min. Finalmente, se obtuvieron las lecturas en el espectrofotómetro UV-Vis, utilizando la curva de calibración elaborada.

#### **2.5. Proceso de fermentación y destilación de alcohol**

Una vez finalizada la hidrólisis ácida y regulado el pH, se preparó la levadura *Saccharomyces cerevisiae* tomando en cuenta que el 15% en litros del mosto equivale a la cantidad de levadura utilizada en kilogramos (Bautista et al., 2005). Para la activación de la levadura, se pesó la cantidad según la relación mencionada anteriormente. Luego, se agregó a una solución de 20 g glucosa por cada 100 g de agua, colocándola en agitación a 100 rpm a 35 °C. Finalmente, la levadura activa es vertida al mosto y se produjo la fermentación según los

periodos de tiempo establecidos en cada experimento. Se realizaron lecturas de los °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales, tomando pequeñas muestras del mosto en cada periodo de tiempo establecido hasta finalizar la fermentación, con el fin de monitorear el comportamiento de dichos parámetros.

Terminada la fermentación, se procedió a filtrar el mosto utilizando papel filtro cualitativo de grado 1 y un embudo de vidrio; luego, el líquido filtrado se colocó en un matraz para ser llevado al equipo de destilación. De esta manera, se separó el alcohol

producido en la fermentación del mosto, finalmente con un alcoholímetro se determinó el porcentaje de alcohol (Collaguazo Simbaña, 2011).

## 2.6. Diseño experimental

Se realizaron siete ensayos con un total de 24 experimentos, y se usaron cantidades de 350, 150 y 50 g para ambas materias primas. En los dos primeros ensayos se tuvo una cantidad de 12 experimentos importantes para la determinación de la concentración y temperatura más óptima, evaluando los °Brix después del proceso de hidrólisis (tabla 1).

**Tabla 1.**

*Experimentos de los ensayos con ácido clorhídrico y sulfúrico a 2 y 4% p/p, con temperaturas de 70 y 85°C.*

Descripción		Ensayo #1			Ensayo #2	
		Temperatura (°C)	% p/p		Temperatura (°C)	% p/p
Grano	HCl	70	2	4	85	4
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		2	4		4
Cascarilla	HCl	70	2	4	85	4
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		2	4		4

Asimismo, los cinco últimos ensayos con 12 experimentos se utilizaron para la comparación de los rendimientos de producción de alcohol en diferentes tiempos de fermentación, tanto del grano y la

cascarilla en soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, utilizando los mejores valores de la concentración y temperatura de los ensayos anteriores (tabla 2).

**Tabla 2.**

Experimentos de los ensayos tratados con ácido clorhídrico y sulfúrico a 4% p/p y una temperatura de 85°C que tuvieron un proceso de fermentación a diferentes horas.

Materia Prima	Solución	Temperatura (°C)	% p/p	Número de ensayos y sus tiempos de fermentación (horas)					
				#3	#4	#5	#6	#7	
Grano	HCl	85	4	72	-	-	-	24	48
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			-	48	-	-	24	48
Cascarilla	HCl	85	4	72	-	24	6	-	-
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			-	48	24	6	-	-

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Curvas de calibración

La tabla 3 muestra las cinco soluciones de glucosa a diferentes concentraciones con la absorbancia dada por el espectrofotómetro ultravioleta visible para la determinación de los azúcares reductores.

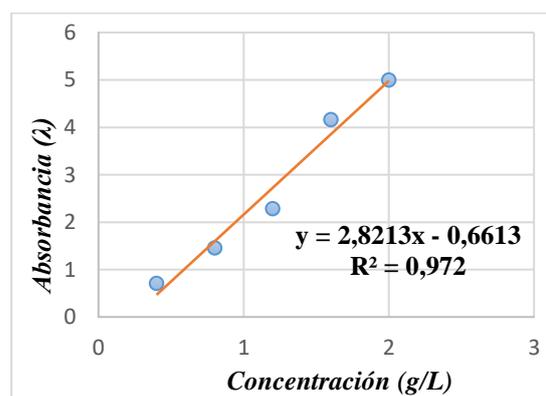
**Tabla 3.**

Concentraciones y absorbancias para la curva de calibración de los azúcares reductores.

	Concentración (g/L)	Absorbancia (λ)
1	0.400	0.711
2	0.800	1.458
3	1.200	2.287
4	1.600	4.165
5	2.000	5.000

La figura 1 muestra la curva de calibración utilizada para cuantificar concentraciones de azúcares reductores durante la fermentación, teniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.972$ , y el

coeficiente de correlación  $R=0.986$ , considerándolo un valor adecuado para poder utilizar la curva de calibración.



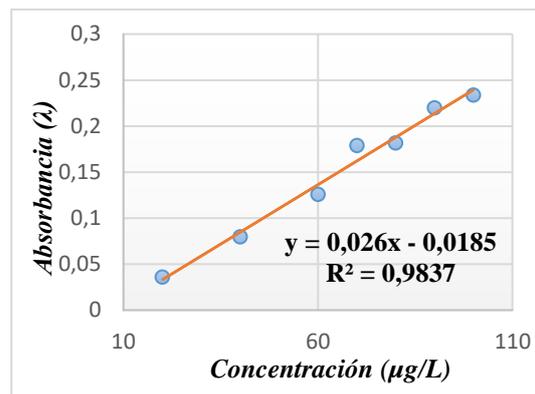
**Figura 1.** Absorbancia vs Concentración de azúcares reductores.

Para el análisis cuantitativo de los carbohidratos totales durante la fermentación, se realizó la curva de calibración. La tabla 4 muestra las soluciones empleadas a diferentes concentraciones con la absorbancia dada por el espectrofotómetro.

**Tabla 4.**

Concentraciones y absorbancias para la curva de calibración de los carbohidratos totales.

	Concentración (µg/L)	Absorbancia (λ)
1	20	0.036
2	40	0.080
3	60	0.126
4	70	0.179
5	80	0.182
6	90	0.220
7	100	0.234



**Figura 2.** Absorbancia vs Concentración de carbohidratos totales.

En la figura 2 se observa la curva de calibración utilizada para cuantificar concentraciones de carbohidratos totales durante la fermentación, teniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9867$ , y un coeficiente de correlación  $R=0.9933$ , considerándolo un valor aceptable para la utilización de la curva de calibración.

### 3.2. Ensayo #1

En la tabla 5 se observan resultados de los °Brix, obtenidos del primer ensayo tanto del grano como los de la cascarilla de arroz que fueron sometidos a hidrólisis ácida durante 80 min en soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en concentraciones de 2 y 4% p/p a 70 °C.

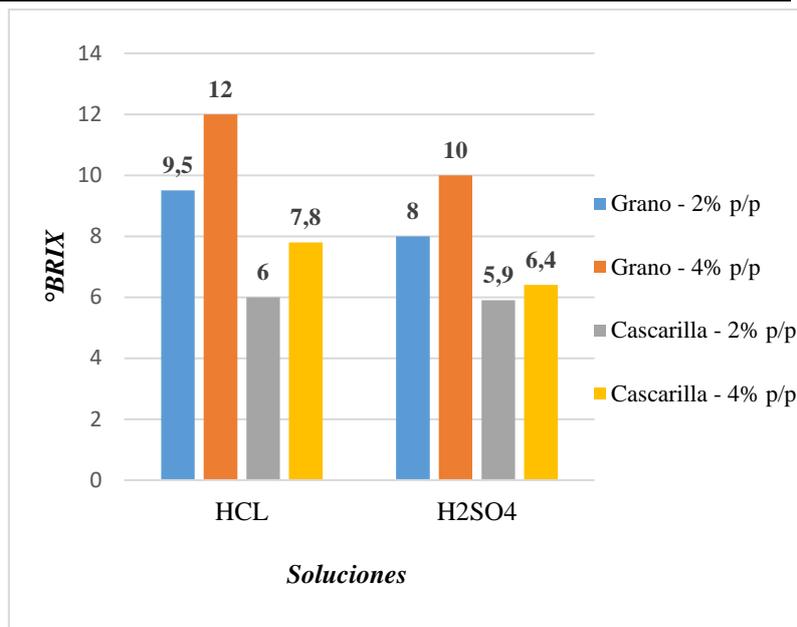
**Tabla 5.**

°Brix del grano y cascarilla en diferentes concentraciones de ácido clorhídrico y sulfúrico.

Materia Prima	Solución	% (p/p)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	°Brix
Grano	HCl	2	70	80	9.5
		4			12
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2			8
		4			10
Cascarilla	HCl	2	70	80	6
		4			7.8
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2			5.9
		4			6.4

La figura 3 muestra los valores de °Brix en cada uno de los experimentos, observando que los mejores resultados de °Brix tanto en

el grano como para la cascarilla fueron en las soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con una concentración de 2 y 4% p/p.



**Figura 3.** °Brix vs solución de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico en una concentración de 2 y 4% p/p.

### 3.3. Ensayo #2

Los resultados de los °Brix que se encuentra en la tabla 6, se obtuvieron del segundo ensayo para el grano y la cascarilla de arroz después de pasar por un proceso de hidrólisis ácida durante 80 min en

soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, con una concentración de 4% p/p, ya que dicha concentración fue la más óptima. De igual manera, se estudió a 85 °C durante este proceso, con el fin de mejorar los resultados de °Brix en las dos materias primas.

**Tabla 6.**

°Brix del grano y cascarilla en concentraciones de ácido clorhídrico y sulfúrico al 4% p/p.

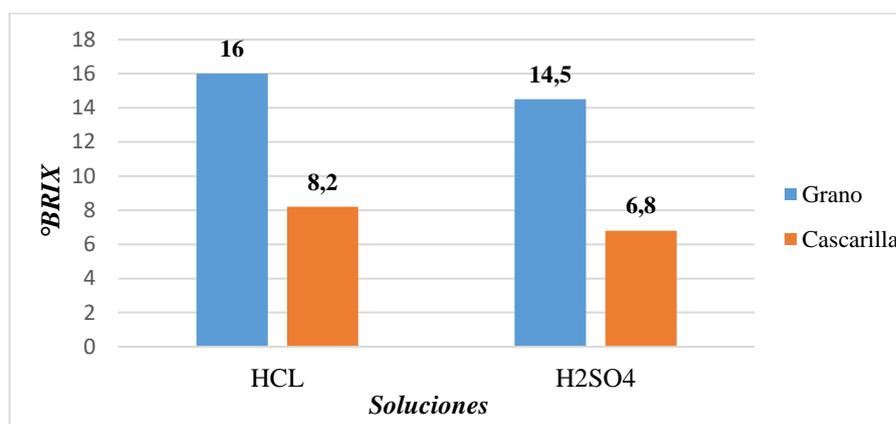
Materia Prima	Solución	% (p/p)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	°Brix
Grano	HCl	4	85	80	16
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				1.5
Cascarilla	HCl	4	85	80	8.2
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				6.8

La figura 4 muestra los resultados de los °Brix con cada una de las materias primas empleando una solución de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en

concentración de 4% p/p, observando que los valores más altos se dieron usando HCl tanto para el grano como para la

cascarilla. De igual manera, se pudo observar que los °Brix se obtuvieron a 85 °C en comparación con los 70 °C dispuestos en el primer ensayo,

utilizando de esta manera la temperatura de 85 °C para los demás ensayos.



**Figura 4.** °Brix vs las soluciones de ácido clorhídrico y sulfúrico con una concentración de 4% p/p.

### 3.4. Ensayo #3

Los valores de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales obtenidas del tercer ensayo se muestran en la tabla 7, del cual se fueron tomando muestras durante la

fermentación del grano y la cascarilla en un periodo de 3 días para sus lecturas. El ensayo tuvo un total de 2 experimentos y se usaron 350 g de cada materia prima que pasó por el método de hidrólisis ácida con una solución de HCl al 4% p/p.

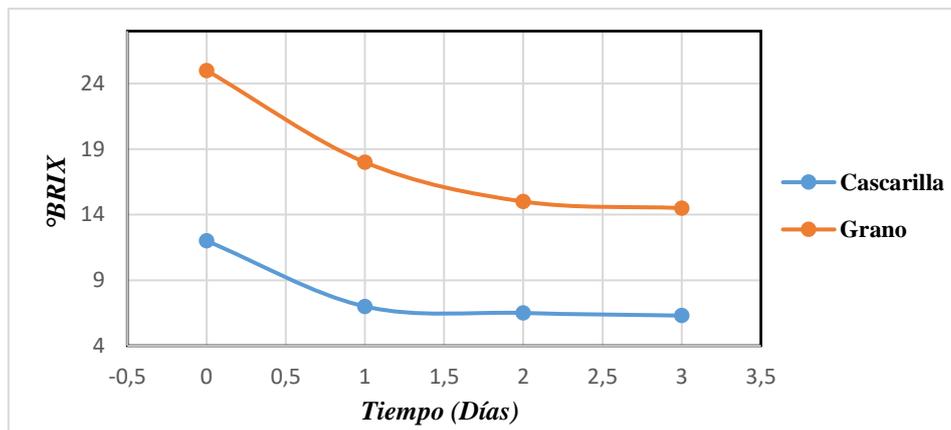
**Tabla 7.**

*Lectura de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales de las materias primas en una solución de ácido clorhídrico al 4% p/p a los tres días aplicando hidrólisis ácida.*

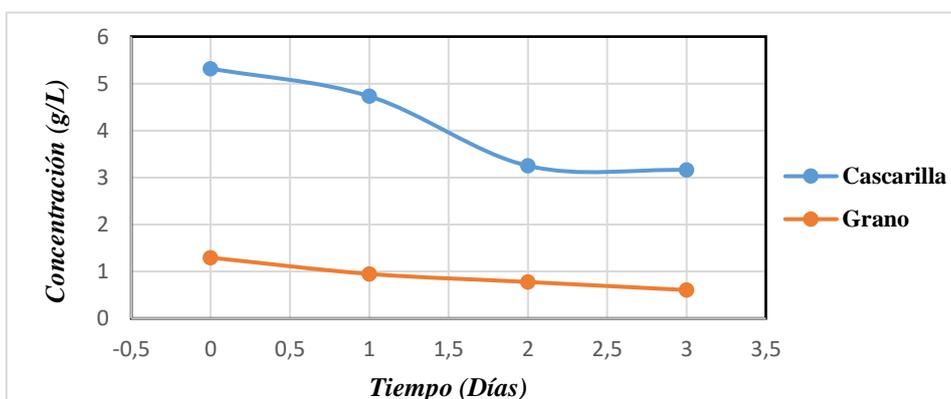
Parámetros	°Brix		Azúcares Reductores (g/L)		Carbohidratos Totales (g/L)	
	Grano	Cascarilla	Grano	Cascarilla	Grano	Cascarilla
Tiempo (días)						
0	25	12	1.294	5.23	0.00056	0.00043
1	18	7	0.948	4.73	0.00046	0.00042
2	15	6.5	0.776	3.25	0.00041	0.00036
3	14.5	6.3	0.604	3.16	0.00032	0.00033

Se pueden observar que, los valores de los °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales encontrados en las gráficas 5, 6 y 7, descienden conforme pasa el tiempo, ya que estos son consumidos por los microorganismos presentes en el medio y son utilizados para la producción de alcohol. Asimismo, se puede notar que los parámetros mencionados anteriormente, fueron

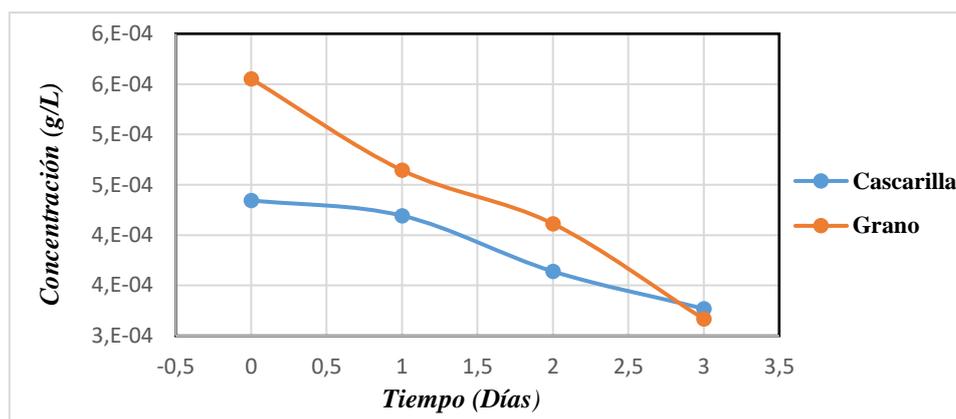
mayores en el grano, con excepción de los azúcares reductores que tuvieron mayores valores en la cascarilla. Cabe mencionar que la fermentación se detuvo a los 3 días debido a que la cascarilla y grano comenzaron a tener un olor característico a vinagre y, se notó que la disminución en la cantidad de °Brix y azúcares reductores se detuvo progresivamente.



**Figura 5.** °Brix vs tiempo de la fermentación (días).



**Figura 6.** Concentración de Azúcares Reductores (g/L) vs tiempo (Días).



**Figura 7.** Concentración de Carbohidratos Totales (g/L) vs tiempo (Días).

### 3.5. Ensayo #4

Los resultados de la tabla 8 fueron obtenidos del cuarto ensayo, los cuales representan las lecturas de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales durante las

fermentaciones del grano y la cascarilla en un periodo de 2 días, sometidas a hidrólisis ácida usando una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con concentración de 4% p/p. El ensayo consistió en 2 experimentos y se usaron 150 g de materia prima.

**Tabla 8.**

Lectura de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales de las materias primas con una solución de ácido sulfúrico al 4% p/p a los dos días aplicando hidrólisis ácida.

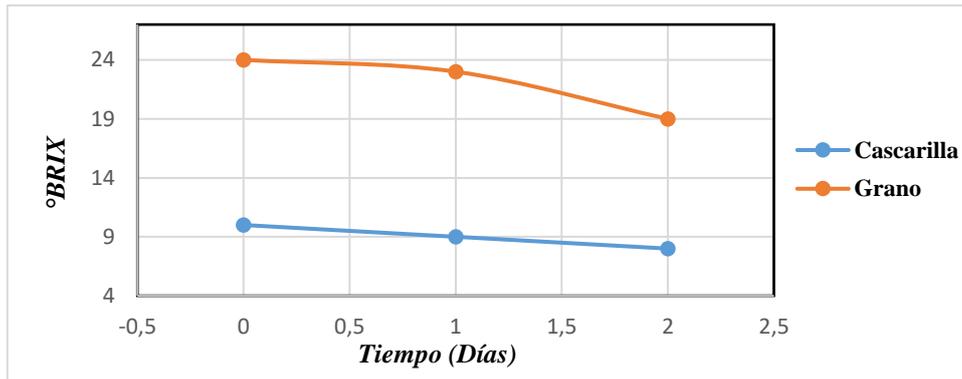
Parámetros	°Brix		Azúcares Reductores (g/L)		Carbohidratos Totales (g/L)	
	Grano	Cascarilla	Grano	Cascarilla	Grano	Cascarilla
Tiempo (días)						
0	24	10	4.5	4.7	0.00554	0.00045
1	23	9	3.9	4.3	0.00349	0.00032
2	19	8	2.97	3.04	0.00091	0.00027

Los valores de los °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales encontrados en las figuras 8, 9 y 10, demuestran que estos indicadores descienden conforme pasa el tiempo, debido a que estos son consumidos por los

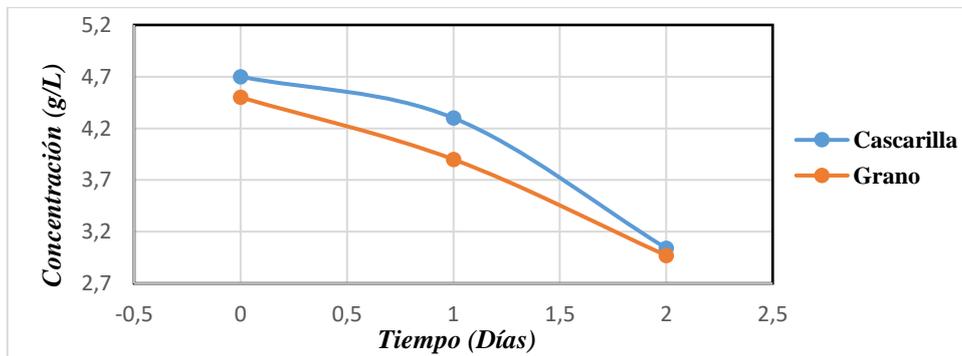
microorganismos presentes en el medio y por ende son utilizados para la producción de alcohol. De igual manera, se puede notar que las lecturas en los parámetros ya mencionados, fueron mayores en el grano, con excepción de los

azúcares reductores donde fueron ligeramente mayores en la cascarilla y, que la fermentación se detuvo a los 2 días con el fin de evitar que el producto se convierta en vinagre, siendo el caso de la cascarilla ya que

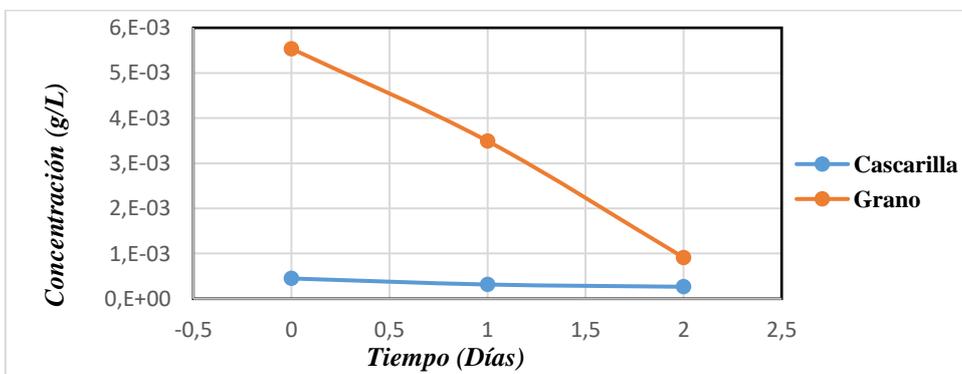
tenía un olor característico a vinagre; sin embargo, el arroz ya no presentaba dicho olor, considerando que el grano tuvo una producción óptima de alcohol a los 2 días.



**Figura 8.** °Brix vs tiempo de fermentación (Días).



**Figura 9.** Concentración de Azúcares Reductores (g/L) vs tiempo (Días).



**Figura 10.** Concentración de Carbohidratos Totales (g/L) vs tiempo (Días).

### 3.6. Ensayo #5

Los valores de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales obtenidos del quinto ensayo se visualizan en la tabla 9, la cual detalla la fermentación de la

cascarilla en 1 día, sometida a hidrólisis ácida con soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con concentración del 4% p/p; el ensayo tuvo un total de 2 experimentos y se utilizaron 150 g de materia prima.

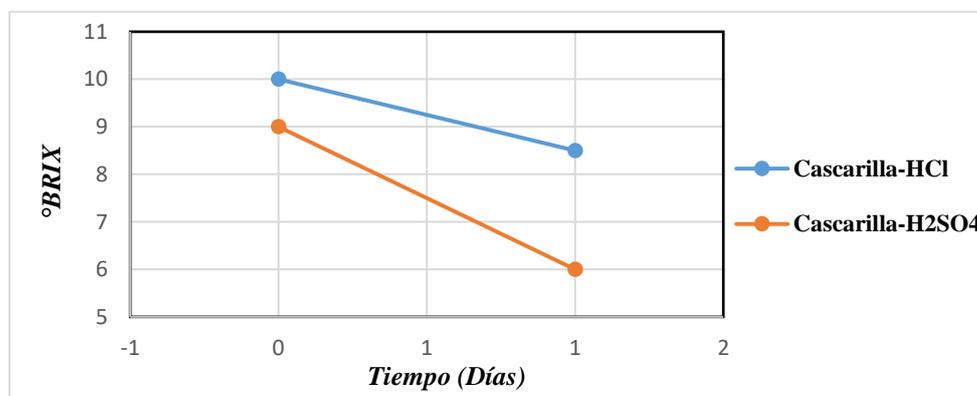
**Tabla 9.**

*Lectura de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales de la cascarilla con soluciones de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico al 4% p/p en un día aplicando hidrólisis ácida.*

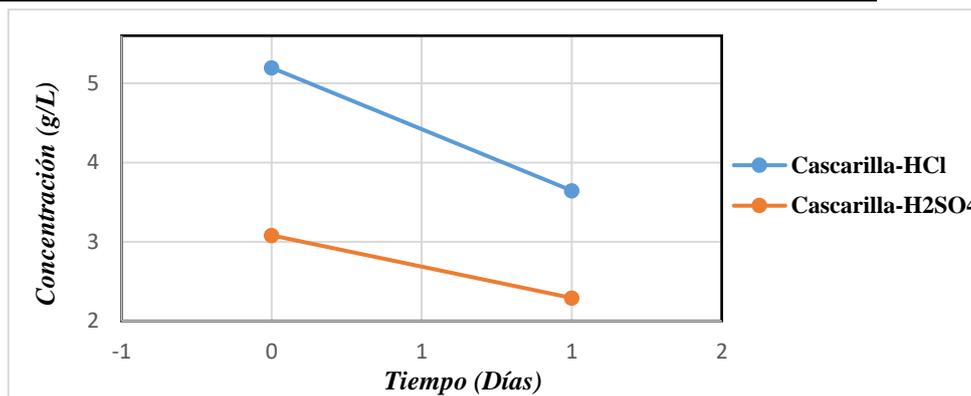
Parámetros	°Brix		Azúcares Reductores (g/L)		Carbohidratos Totales (g/L)	
	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Tiempo (días)						
0	10	9	5.395	3.280	0.00044	0.00034
1	8.5	6	3.845	2.490	0.00028	0.00032

Las figuras 11, 12 y 13 describen un descenso en los valores mencionados en la tabla 9 conforme pasa el tiempo, ya que estos son consumidos por los microorganismos presentes en el medio y, por ende empleados para la producción de alcohol. Además, se puede visualizar que las lecturas de

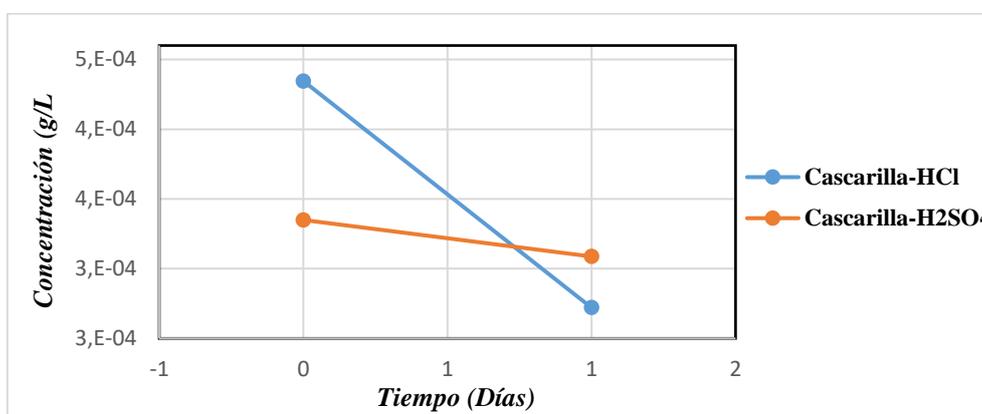
los parámetros mencionados fueron mayores con una solución de HCl, y que la fermentación se realizó en 1 día con el fin de mejorar el rendimiento ya que la cascarilla producía alcohol en muy poco tiempo y por consiguiente se producía vinagre.



**Figura 11.** °Brix vs tiempo de fermentación (Días).



**Figura 12.** Concentración de Azúcares Reductores (g/L) vs tiempo (Días).



**Figura 13.** Concentración de Carbohidratos Totales (g/L) vs tiempo (Días).

### 3.7. Ensayo #6

La tabla 10 indica las lecturas de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales durante las fermentaciones de la cascarilla en un periodo de 6 horas que fueron

obtenidas del sexto ensayo, las cuales pasaron por un método de hidrólisis ácida con disoluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a concentración del 4% p/p; el ensayo tuvo un total de 2 experimentos y se utilizó 50 g de materia prima.

**Tabla 10.**

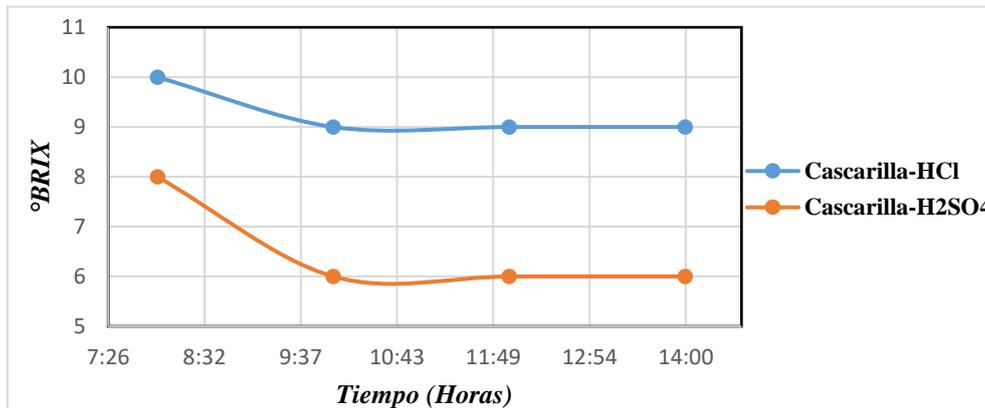
Lectura de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales de la cascarilla con soluciones de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico al 4% p/p durante 6 horas aplicando hidrólisis ácida.

Parámetros	°Brix		Azúcares Reductores (g/L)		Carbohidratos Totales (g/L)	
	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
8:00	10	8	6.015	7.130	0.00099	0.00179
10:00	9	6	4.990	5.080	0.00077	0.00123
12:00	9	6	4.475	4.965	0.00028	0.00094

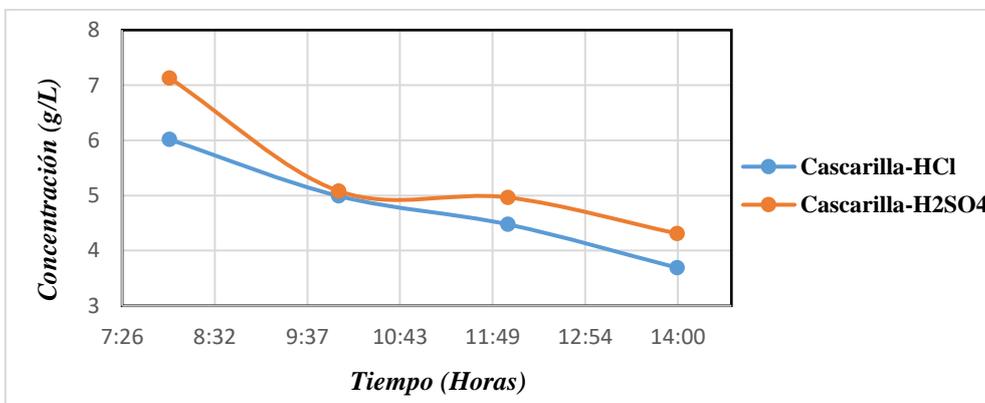
14:00	9	6	3.690	4.310	0.00021	0.00039
-------	---	---	-------	-------	---------	---------

Tal como se observa en la tabla 10, las lecturas de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales encontrados en las gráficas 14, 15 y 16, presentaron un descenso conforme transcurriría el tiempo, ya que estos son consumidos por los microorganismos presentes en el medio y como en los casos anteriores, son empleados para producir alcohol. Por otro lado, se puede observar que, de los tres

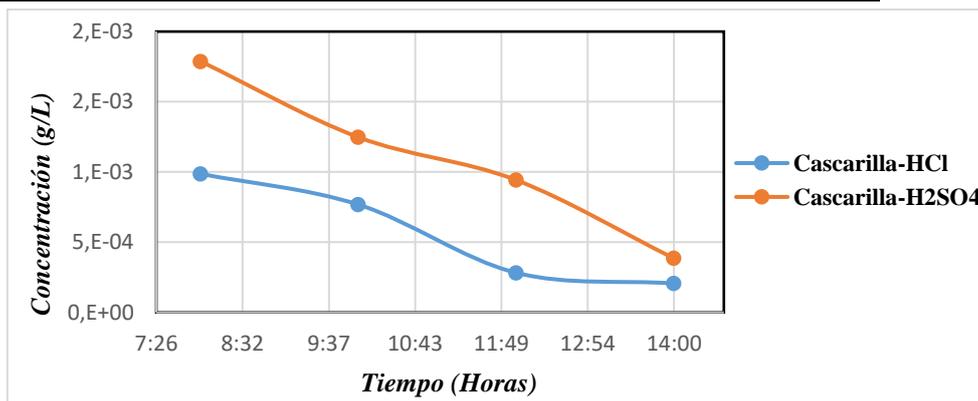
parámetros mencionados anteriormente, fueron mayores con una solución de HCl, y la fermentación tuvo lugar en un periodo de 6 horas con el fin de evitar que se produzca vinagre y mejorar aún más el rendimiento de producción de alcohol, considerando de esta manera que dicho periodo es el más óptimo, tal como se puede observar más adelante sobre los rendimientos.



**Figura 14.** °Brix vs tiempo de fermentación (Horas).



**Figura 15.** Concentración de Azúcares Reductores (g/L) vs tiempo (Horas).



**Figura 16.** Concentración de Carbohidratos Totales (g/L) vs tiempo (Horas).

### 3.8. Ensayo #7

En la tabla 11 se observa el séptimo ensayo del cual se realizaron 4 experimentos y se obtuvieron lecturas de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales durante las fermentaciones del grano. Los 2 primeros experimentos tuvieron lugar en un periodo de 1 día y se utilizaron 50 g de materia prima, con el fin de conocer si el grano tiene

un rendimiento más óptimo en comparación al periodo de 2 días realizado en el cuarto ensayo. Para los 2 últimos experimentos, se realizó una repetición del periodo de 2 días del cuarto ensayo, pero con la misma cantidad de materia prima de los 2 primeros experimentos. Cabe mencionar que, los experimentos fueron sometidos a hidrólisis ácida usando soluciones de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con concentración del 4% p/p.

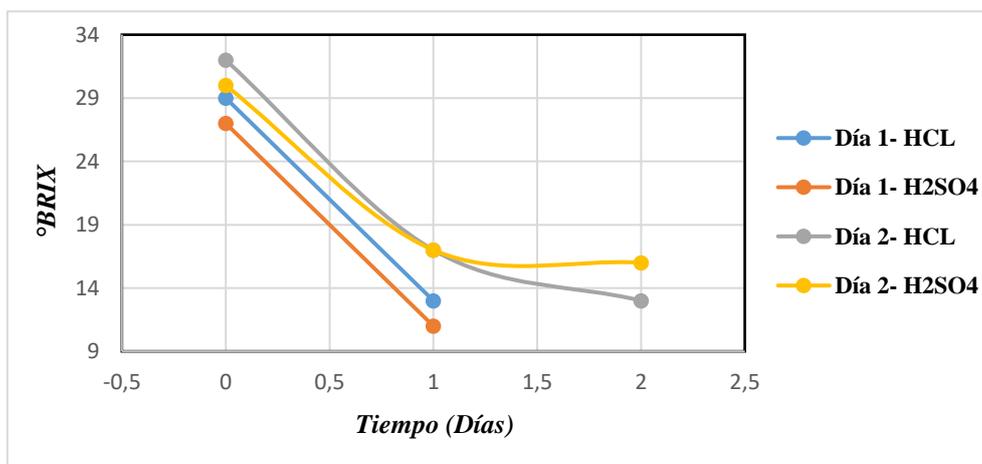
**Tabla 11.**

*Lectura de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales del grano con soluciones de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico al 4% p/p a uno y dos días aplicando hidrólisis ácida.*

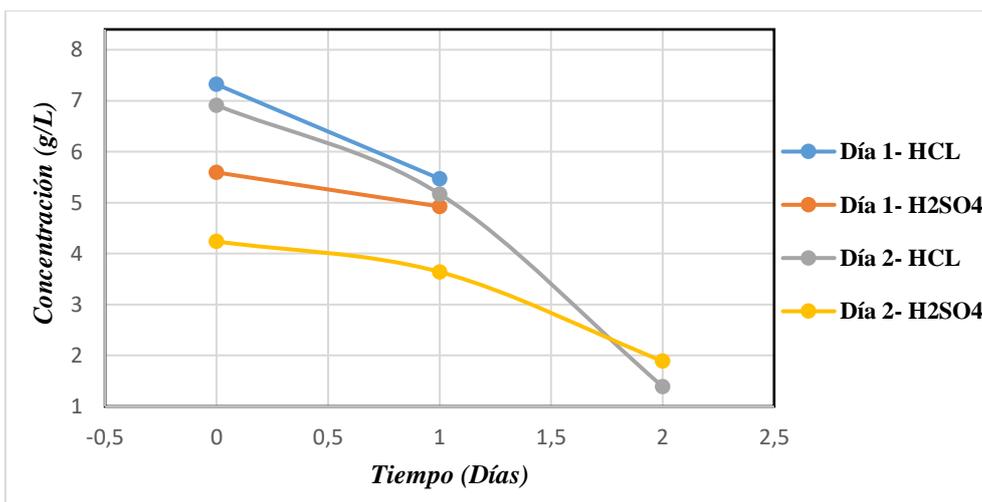
Parámetros	°Brix		Azúcares Reductores (g/L)		Carbohidratos Totales (g/L)	
	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
#Días						
0	29	27	6.920	5.192	0.00194	0.00043
1	13	11	5.070	4.525	0.00162	0.00027
Parámetros	°Brix		Azúcares Reductores (g/L)		Carbohidratos Totales (g/L)	
#Días	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	(HCl)	(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
0	32	30	6.511	3.838	0.00093	0.00072
1	17	17	4.770	3.240	0.00077	0.00045
2	13	16	0.990	1.489	0.00059	0.00036

Se visualiza que los valores de °Brix, azúcares reductores y carbohidratos totales encontrados en las gráficas 17, 18 y 19, presentaron un descenso conforme transcurriría el tiempo, ya que estos se consumen por los microorganismos que se encuentran en el medio, utilizándolos

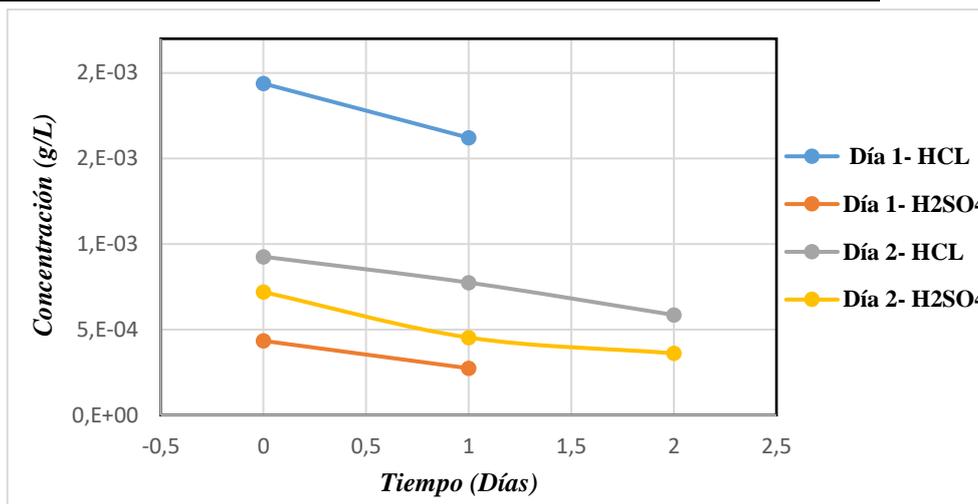
para la producción de alcohol. Asimismo, se observó que los valores de los parámetros fueron mayores con las soluciones de HCl, y que para ambos periodos los experimentos no presentaron olor a vinagre; sin embargo, el periodo de 2 días con HCl fue el más óptimo.



**Figura 17.** °Brix vs tiempo de fermentación (Días).



**Figura 18.** Concentración de Azúcares Reductores (g/L) en el grano vs tiempo (Días).



**Figura 19.** Concentración de Carbohidratos Totales (g/L) en el grano vs tiempo (Días).

La tabla 12 muestra los resultados obtenidos del alcohol destilado y porcentajes de rendimientos respecto a la cantidad de materia prima utilizada desde el tercer hasta el séptimo ensayo, ya que estos fueron los que pasaron por un proceso de fermentación con levadura *Saccharomyces Cerevisiae*.

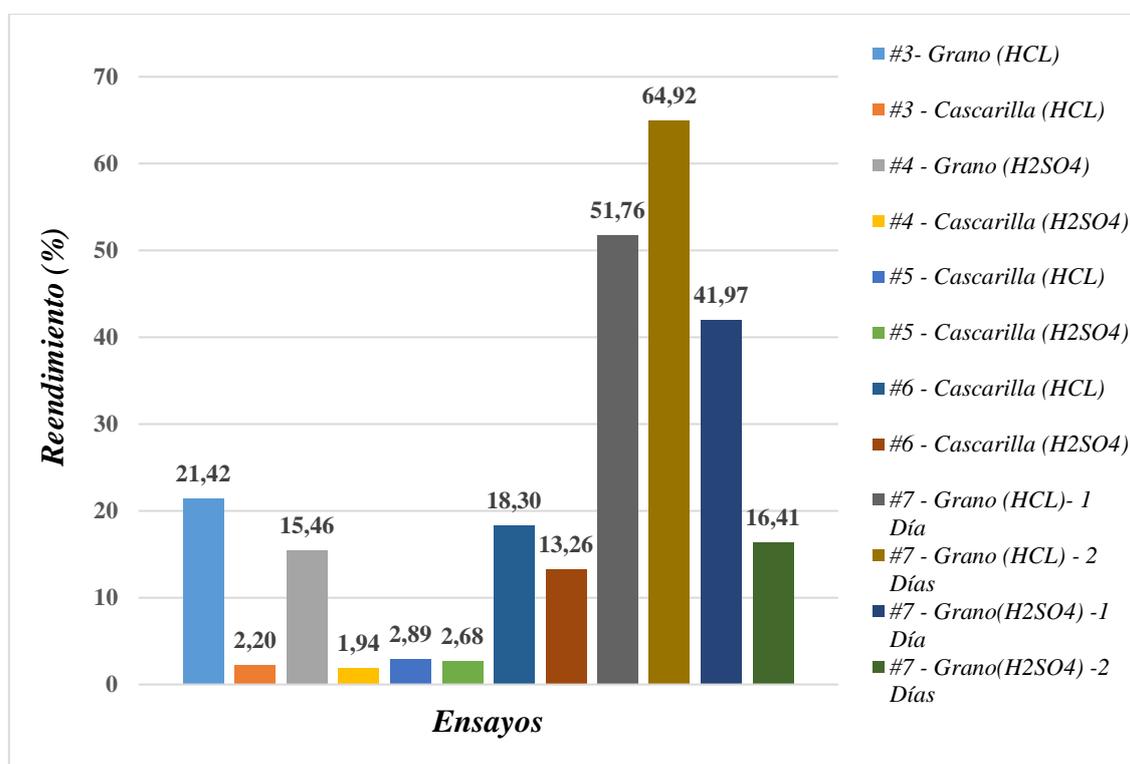
Se puede observar en la figura 20 que, los mejores rendimientos se dieron en las soluciones con HCl, siendo 64.92% para el grano de arroz en un periodo de 2 días, y en la cascarilla se obtuvo un 18.30% a las 6 horas, considerando que, al superar estos periodos de tiempo, la producción de alcohol será menor. Por otra parte, para las soluciones de

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el grano de arroz se obtuvo un 41.97% en el periodo de 1 día, superando el porcentaje de 16.41% y 15.46% obtenido en 2 días; sin embargo, en la cascarilla se obtuvo el 13.26% en 6 horas, siendo este el valor más alto en comparación con los periodos de 1 y 2 días con 2.68% y 1.94% de rendimiento, respectivamente. Los porcentajes del HCl respecto al H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> son mejores debido a las interferencias que tiene el ácido. Asimismo, el grano tuvo un mejor rendimiento en la producción de alcohol, ya que contiene una mayor concentración de carbohidratos totales en comparación a la cascarilla.

**Tabla 12.**

Rendimientos de producción de alcohol con respecto a la materia prima usada para todos los ensayos que tuvieron un proceso de fermentación.

# Ensayos	Descripción	Solución	Periodos	Materia Prima (g)	Destilado (ml)	Alcohol (%)	Alcohol (g)	Rendimiento (%)
3	Grano	HCl	3 días	350	380	25	74.96	21.42
	Cascarilla				325	3	7.69	2.20
4	Grano	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2 días	150	196	15	23.20	15.46
	Cascarilla				92	4	2.90	1.94
5	Cascarilla	HCl	1 día	150	110	5	4.34	2.89
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			102	5	4.02	2.68
6	Cascarilla	HCl	6 horas	50	116	10	9.15	18.30
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			105	8	6.63	13.26
7	Grano	HCl	1 día	50	164	20	25.88	51.76
			2 días		187	22	32.46	64.92
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 día	50	133	20	20.99	41.97
			2 días		130	8	8.21	16.41



**Figura 20.** Porcentajes de los rendimientos de producción de alcohol para los ensayos que pasaron por un proceso de fermentación.

#### 4. Conclusión

Se pudo obtener el mejor rendimiento para la cascarilla cuando estuvo en un periodo de

fermentación de 6 horas con HCl, siendo este 18.30%, ya que la fermentación con este tipo de sustrato por medio de hidrólisis ácida fue muy rápida, provocando que el

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tenga un menor rendimiento en comparación con el HCl. Dicha situación es posible debido a la disponibilidad del sustrato que tiene una gran afinidad para convertirse en ácido acético (vinagre) después de transcurrir 24 horas, siendo de esta manera un problema si se desea obtener alcohol a partir de dicho residuo.

En el grano de arroz, el rendimiento óptimo fue de 64.92% en el periodo de 2 días de fermentación con HCl, ya que existe una mejor interacción con el sustrato que se encuentra en el medio, permitiendo así que las fuentes de carbono estén libres para que el microorganismo tenga una mayor cantidad de nutrientes necesarios y producir alcohol; situación contraria con el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, debido a que éste interaccionaba de forma más violenta con el medio haciendo que los microorganismos no proliferen en igual medida que cuando fueron tratados con HCl.

### Bibliografía

- Bautista , M., Cornejo , Ó., & Reyna, L. (2005). Obtención del alcohol a partir de polvillo de arroz. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.*, VIII(1), 64-67.
- Bello Gil, D., Carrera Bocourt, E., & Díaz Maqueira, Y. (2006).

Determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico. *ICIDCA*, 46-47.

- Binder, J. B., & Raines, R. T. (2010). Azúcares fermentables por hidrólisis química de la biomasa. *PNAS*.
- Collaguazo Simbaña, P. E. (2011). Estudio de la tecnología para la obtención de una bebida alcohólica carbonatada a partir de la degradación de la cascarilla de arroz tratada enzimáticamente con hemicelulosa. Trabajo de titulación, 1-77. Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3104/1/PAL253.pdf>
- Cuervo, L., Folch, J. L., & Quiroz, R. E. (2009). Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol.
- FAO. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2017). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2017. Ecuador: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuaria](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuaria)

- [as/espac/espac\\_2017/Informe Ejecutivo ESPAC 2017.pdf](#)
- Islas, J., Corona, A., López, V., & Rodríguez, G. (2011). Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de Beta vulgaris L. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 151-158.
- L., M. X., G., A. T., Ph.D. Carolina Arboleda E., P. F., & B., E. L. (2017). Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Revista cubana de química*, 183-185.
- Lozano Rojas, C. L. (2020). Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria. Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD.
- M., D., A., G. K., Hamilton, J. K., Rebers, P., & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Sociedad Química Americana*, 350-356.
- Mejía, L. F., Albán, D., Murcia, N., Cuervo, R., & Durán, J. (2009). Hidrólisis y fermentación alcohólica simultánea (HFS) del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L) utilizando levaduras *Saccharomyces cerevisiae* spp y cepa recombinante RH 218. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 51-64. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1053/105312927004.pdf>
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem*, 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Shirai Matsumoto, K., & Malpica Sánchez, F. P. (2013). Manual de prácticas de laboratorio. Tecnología de Fermentaciones Alimentarias. México.
- Sigüencia, J., Soler, J., & Menéndez, M. (2018). Hidrólisis ácida de cascarilla de arroz para la generación de azúcares reductores. Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A, VI, 50-62.
- Tipanluisa, L., Moreno, G., Guasumba, J., Celi, S., & Molina, J. (2015). Estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz en una cámara de lecho fijo. Universidad Internacional SEK, 37-43. Obtenido de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/337/284>
- Torres, M. J. (12 de Julio de 2012). Hidrólisis ácida del bagazo de

- caña de azúcar y paja de trigo con una posterior fermentación alcohólica para obtención de etanol. Trabajo de Graduación. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Valverde G., A., Sarria L., B., & Monteagudo Y., J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. Scientia et Technica.
- Vega, J. A. (25 de Octubre de 2014). slideshare.net. Obtenido de <https://es.slideshare.net/vegabner/determinacin-de-azcares-reductores-por-espectrofotometra-mtodo-dns>
- Vives De Andrés, J. B. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. Cargraphics.
- Walker, G., & Walker, R. (2018). Enhancing Yeast Alcoholic Fermentations. Advances in Applied Microbiology. Elsevier Ltd, 105, 191-226. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.05.003>