

PRODUCCION DE BIOETANOL A PARTIR DEL RESIDUO DEL PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) Y ANALISIS DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES

INTEGRANTES

William Andrés Agudelo López

Nicholas Serrano Cabeza



unab

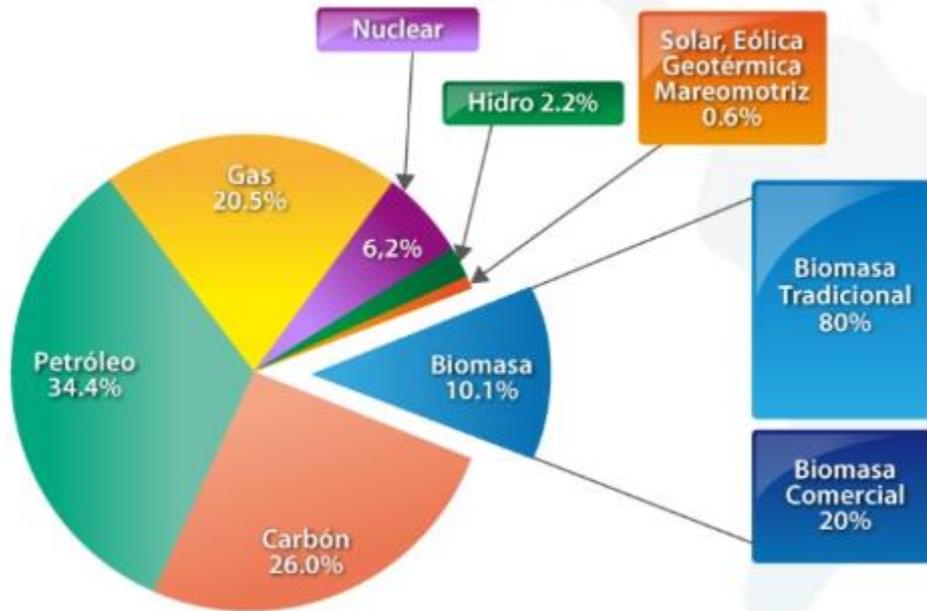
Universidad Autónoma de Bucaramanga

de puertas abiertas

VIGILADA MINECUCIÓN

Introducción

Los recursos fósiles han sido la fuente principal de la energía usada en el mundo a través de los años debido a su alto impacto comercial tanto en el ámbito nacional como internacional. El continuo uso de estos recursos ha generado una escasez en la obtención de los mismos, lo cual ha llevado a la humanidad buscar nuevas alternativas para suplir la demanda energética mundial.



Fuente: International energy agency, 2008.

Objetivo general

Producir bioetanol a partir del residuo del proceso de extracción de aceite de higuera (*Ricinus communis*) y analizar sus impactos ambientales.

Objetivos específicos

- Emplear una metodología que permita la obtención de los azúcares fermentables mediante la hidrólisis enzimática generada por *Trichoderma* spp, *Aspergillus niger* y *Rhizopus* spp.
- Producir bioetanol a nivel de laboratorio, analizando sus características físico químicas con el fin de cumplir los índices de calidad establecidos en normas internacionales ASTM D4814 (pH, %etanol, %metanol, etc.).
- Realizar la simulación de la línea de producción a escala menor de biorrefinería en el software aspen Plus.
- Analizar el perfil de impactos ambientales asociados a la cadena productiva del bioetanol, a pequeña escala, por medio del software Sima Pro.

Higuerilla (*Ricinus communis*)

La higuerilla es una planta tipo arbusto con una altura de 1 a 5 metros, con los tallos presentando una coloración verde o rojiza. Las hojas tienen de 5 a 8 segmentos, en forma de estrella. Sus frutos son pequeñas capsulas espinosas de forma ovalada que contienen entre 1 a 3 semillas.



Fuente: Campos seeds.

Demanda anual de higuera

(*Ricinus communis*)

País	Demanda anual de semillas de higuera [Ton]	%
India	1549000	86,30
Mozambique	69000	3,84
China	67000	3,73
Brasil	37000	2,06
Etiopia	12000	0,67
Birmania	10000	0,56
Paraguay	9000	0,50
Vietnam	7000	0,39
Sudáfrica	7000	0,39
Angola	4000	0,22
Colombia	3500	0,19
Otros	20500	1,14
Total	1795000	100,00

Fuente: Prime global capital group.

Aplicaciones de la torta de higuera

Fertilizante

**Alimento
animal**

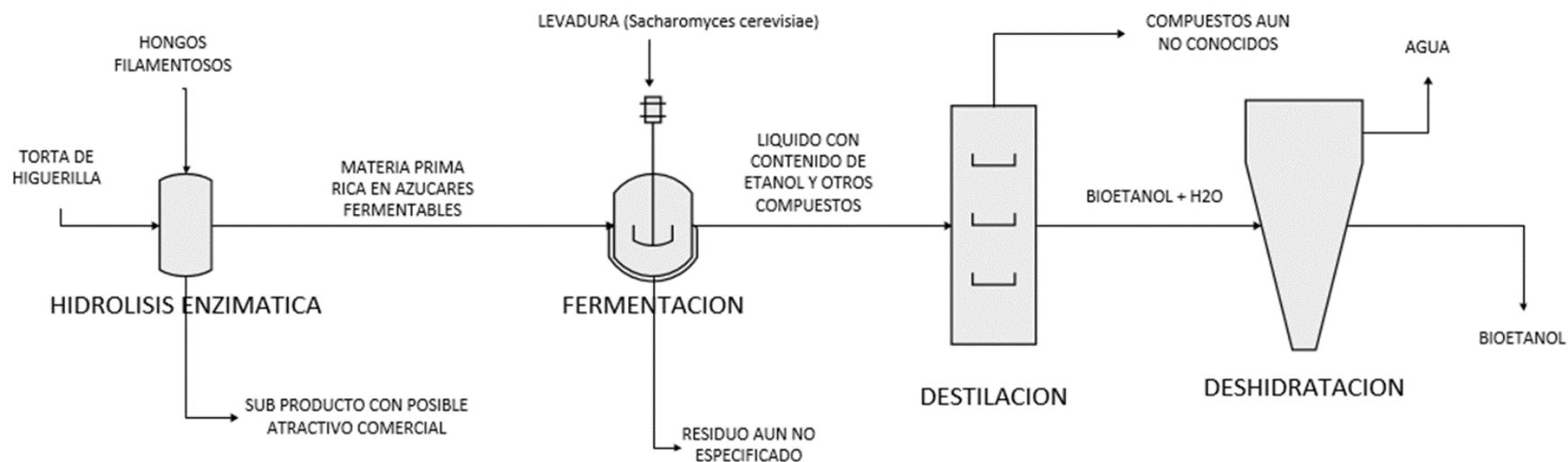
**Producción de
herbicidas e
insecticidas**

Composición de la torta de higuera

Composición torta de higuera	
Composición elemental	
Elemento	%
C	43,2
H	6,1
O	44,7
N	1,6
Cenizas	4,4
Al	0,0112
Ca	0,896
Cu	0,001
Fe	0,006
Na	0,039
Mg	0,131
Mn	0,001
K	0,624
P	0,221
Zn	0,002
Componentes de biomasa	
Componente	%
Extractivos	18,6
Hemicelulosa	13,6
Celulosa	33,4
Lignina acida insoluble	17,6
Lignina acida soluble	2,5
Proteínas	4,9

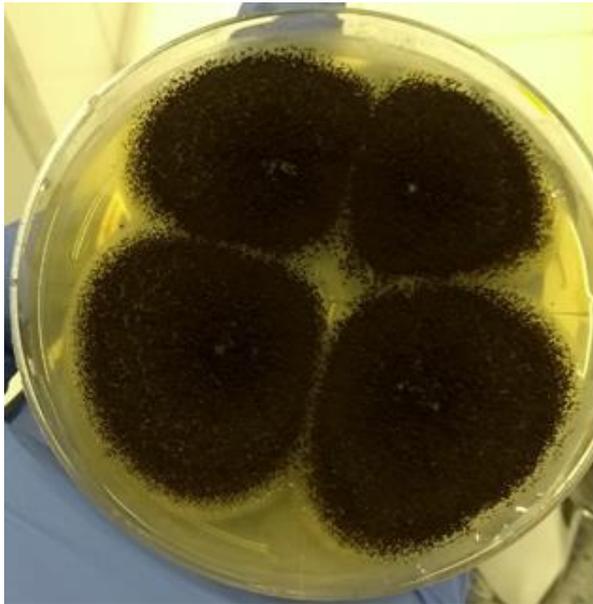
Fuente: K.G. Kalogiannis.

Producción de bioetanol a partir de torta de higuera



Fuente: Autores.

Aspergillus niger.



Fuente: Autores.

Rhizopus spp.



Fuente: Atlas de identificación micológica, 2016.

Trichoderma spp.



Fuente: Autores.

Adaptación de los hongos a medio con torta de *Ricinus communis*

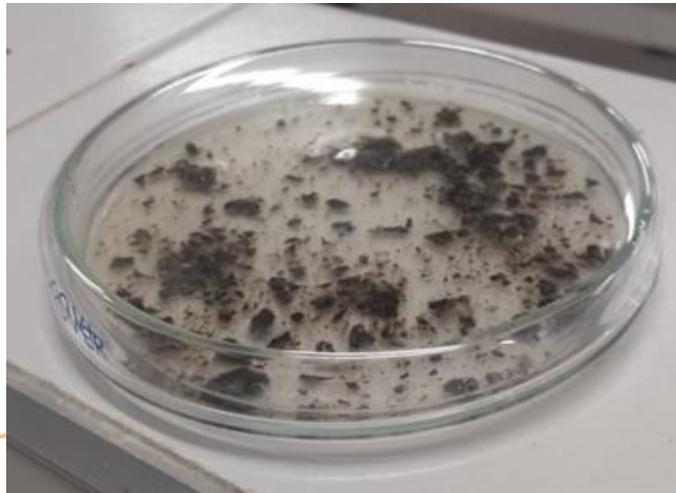
PRUEBA	Volumen final [mL]	Volumen de torta [mL]
1	6,7	1,7
2	6,7	1,7
3	6,8	1,8

$$v_{torta} = v_{final} - v_{inicial}$$

$$d_{torta} = \frac{m_{muestra}}{v_{torta}}$$

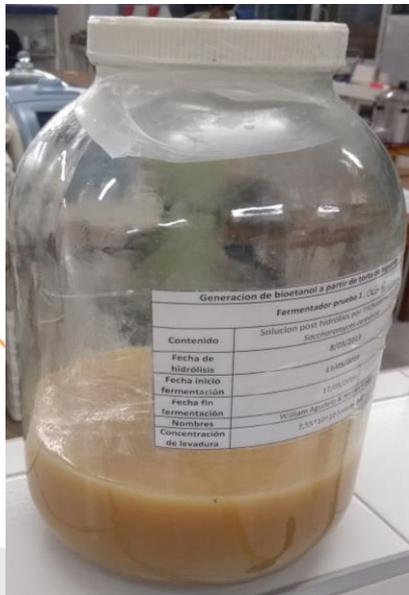
$$m_{tcp} = v_{cp} * [C_{tcp}] * d_{torta}$$

$$m_{tcp} = 25 [ml] * 0,025 * 1,1538 \left[\frac{g}{ml} \right] = 0,721125 [g]$$



Fuente: Autores.

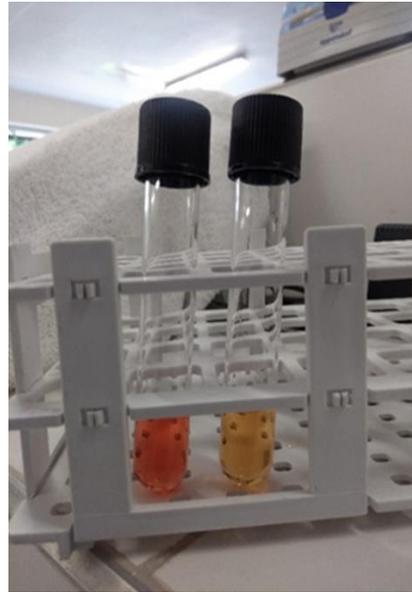
Proceso de hidrólisis enzimática de torta ¹² de *Ricinus communis*



Control del proceso de hidrólisis enzimática, mediciones de pH, celulosa y glucosa



Fuente: Autores.



Fuente: Autores.

Variables	Método
Celulosa	Kushner y Hoffer
Glucosa	Colorimétrico por kit de medición de glucosa.
pH	Kit tiras de pH

Proceso de destilación



Fuente: Autores.

La temperatura manejada de los vapores debía rondar los 80°C esto debido a que esta es la temperatura de evaporación del etanol, y teniendo en cuenta que el objetivo era obtener bioetanol y no agua u otros productos que se obtienen a temperaturas mayores.

Medición de concentración de etanol en producto destilado

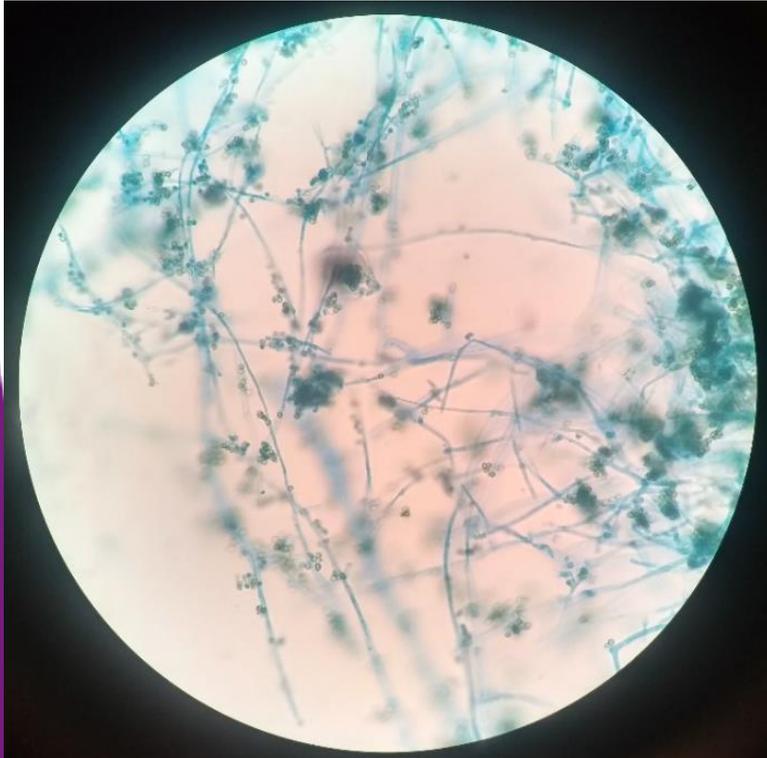
CONCENTRACION EN FUNCION DE LA DENSIDAD

La concentración se midió bajo lineamientos de la norma NTC 336 y NTC 3942. Se calibra el picnómetro, se mide la densidad y se compara el valor en función de la concentración.

CROMATOGRAFIA

Este análisis fue patrocinado por el CINBBYA y se realizó en el centro integrado de laboratorios de ingeniería química de la UIS (CILIQ).

Resultados de la adaptación de *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp. y *Rhizopus* spp.



HONGO	TIEMPO DE ADAPTACIÓN [DÍAS]	PROCESO DE ADAPTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Trichoderma spp.	11	Micelio blanco en sus primeros días: color verde, original de su especie. A nivel microscópico se pueden observar sus hifas.

Imagen microscópica de *Trichoderma* spp. *Fuente: Autores*

Resultados de la adaptación de *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp. y *Rhizopus* spp.



Imagen microscópica de *Rhizopus* spp. Fuente: Autores

HONGO	TIEMPO DE ADAPTACIÓN [DÍAS]	PROCESO DE ADAPTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
<i>Rhizopus</i> spp.	10	Cepa similar a la cepa original. Mostró gran adaptabilidad, siendo el hongo con menor tiempo requerido para su maduro crecimiento. A nivel microscópico se observan las esporas y la forma característica de este hongo.

Resultados de la adaptación de *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp. y *Rhizopus* spp.

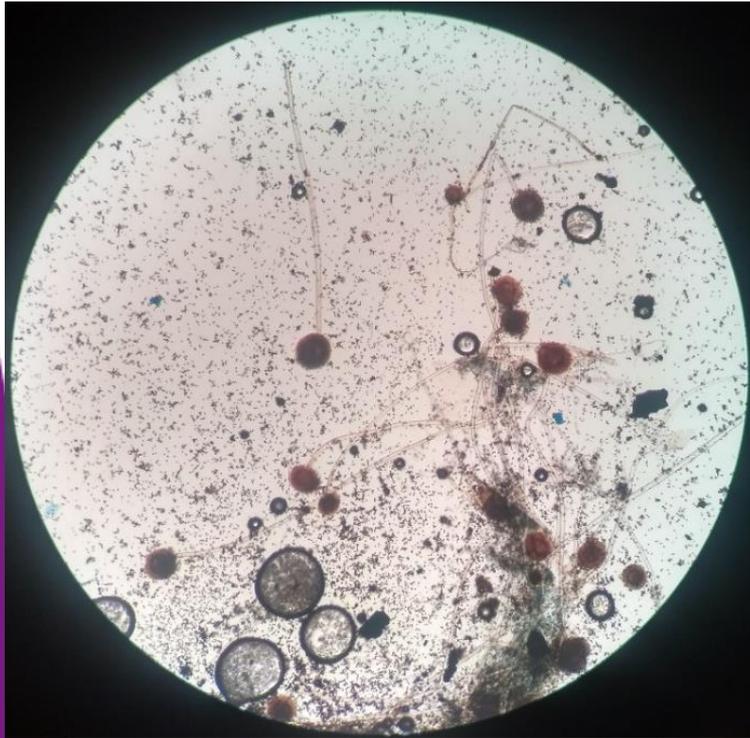
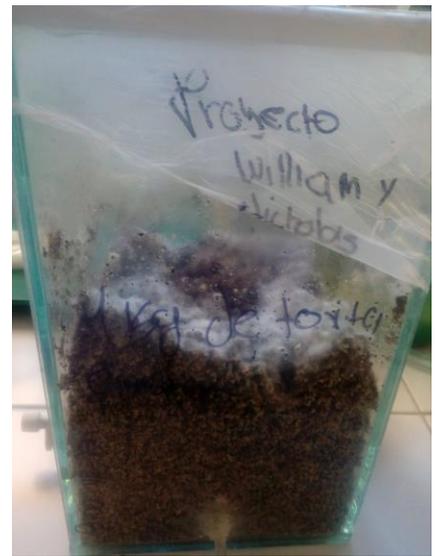


Imagen microscópica de *Aspergillus niger*. Fuente: Autores

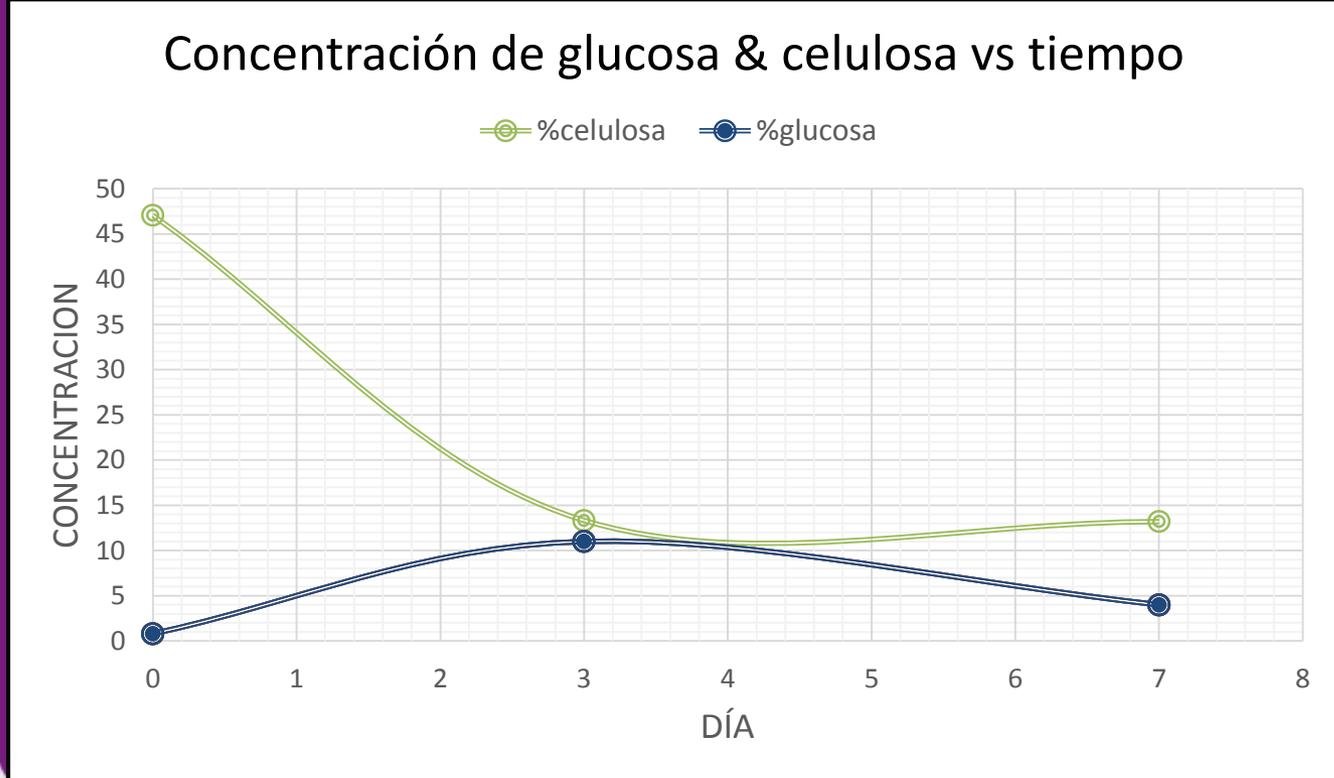
HONGO	TIEMPO DE ADAPTACIÓN [DÍAS]	PROCESO DE ADAPTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
<i>Aspergillus niger</i>	15	Fue el hongo que mayor tiempo tomó en crecer. En sus primeros días, mostró una capa blanca particulares de su periodo de crecimiento. Posteriormente, adquirió su color negro y su reverso en forma de color gris amarillento. A nivel microscópico se observan esporas de <i>Aspergillus niger</i> .

Hidrólisis enzimática por acción de *Trichoderma* spp.

Día	pH	% de Glucosa	% de Celulosa
0	7	0,8	47,08
3	6	11	13,34
7	6,5	4	13,21



Biorreactor de hidrólisis enzimática por *Trichoderma* spp.
Fuente: Autores



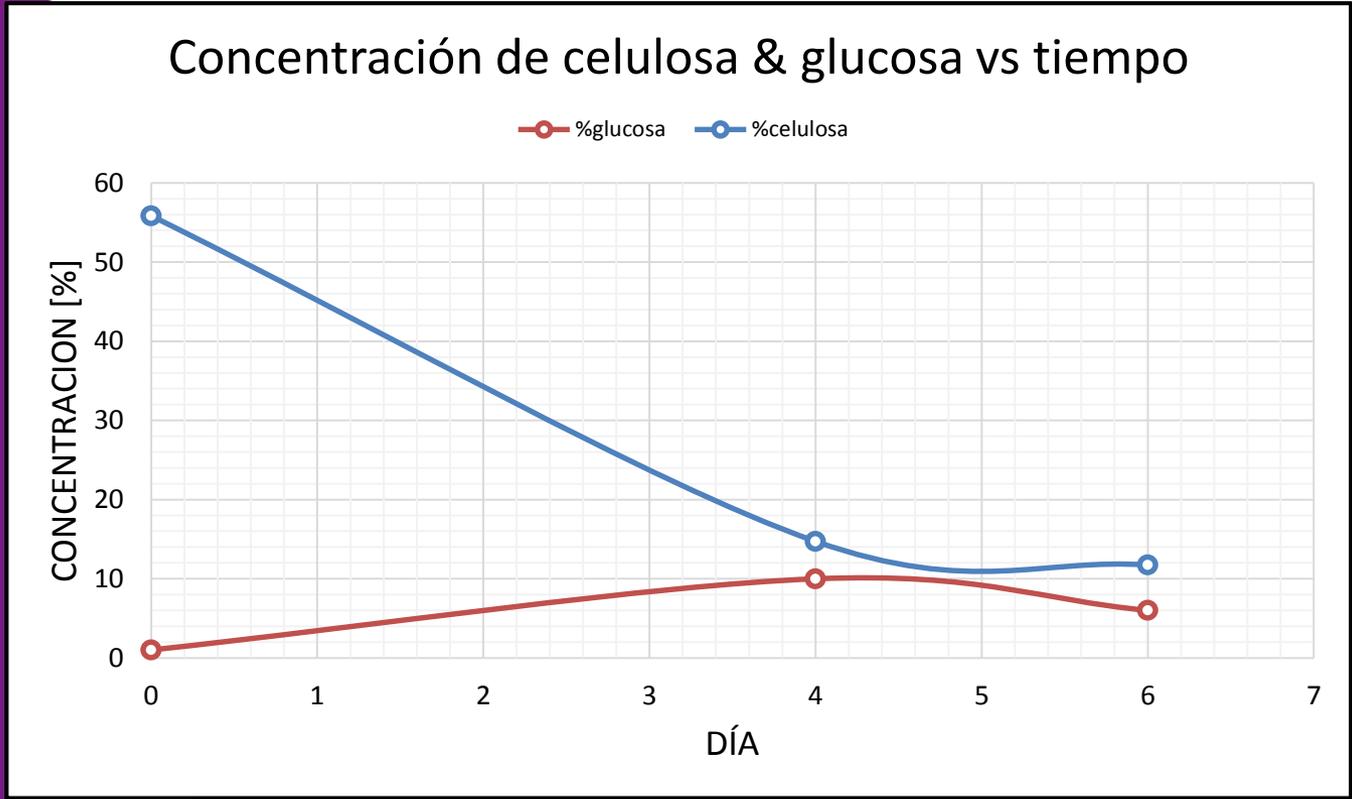
Resultados de producción de bioetanol

Hidrólisis enzimática por acción de *Rhizopus* spp.

Día	pH	% de Glucosa	% de celulosa
0	7	1	55,83
4	6	10	14,73
6	6	6	11,74



Biorreactor de hidrólisis enzimática por *Rhizopus* spp.
Fuente: Autores



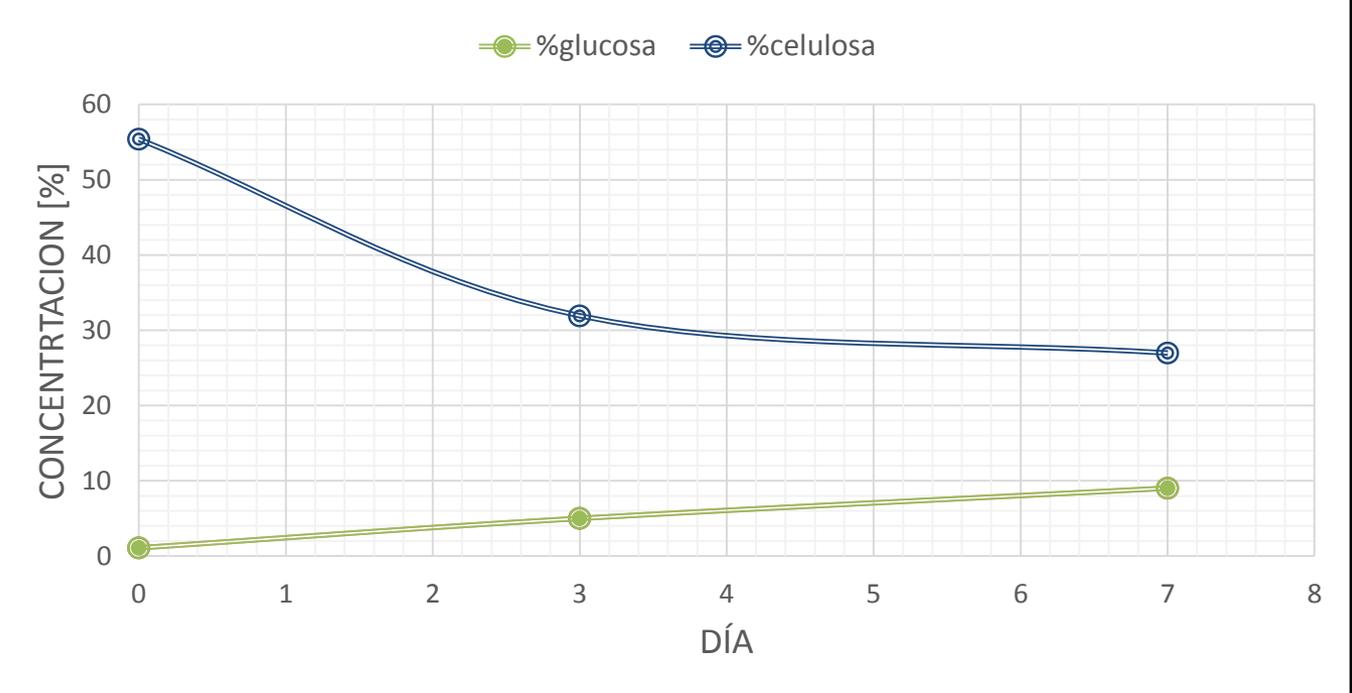
Hidrólisis enzimática por acción de *Aspergillus niger*

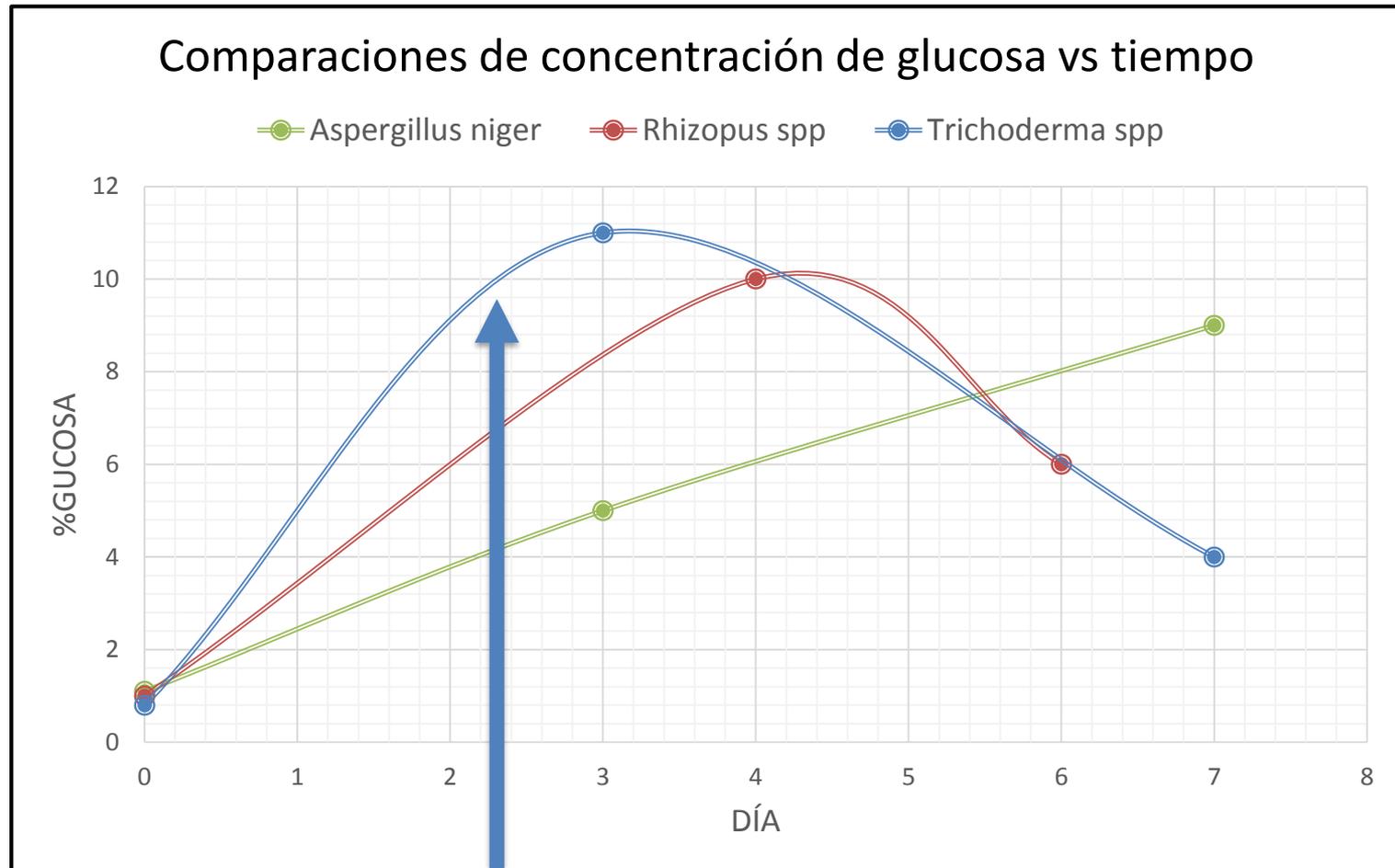
Día	pH	% de Glucosa	% de Celulosa
0	7	1,1	55,41
3	5	5	31,91
7	5	9	26,96



Biorreactor de hidrólisis enzimática por *Aspergillus niger*.
Fuente: Autores

Concentración de celulosa & glucosa vs tiempo

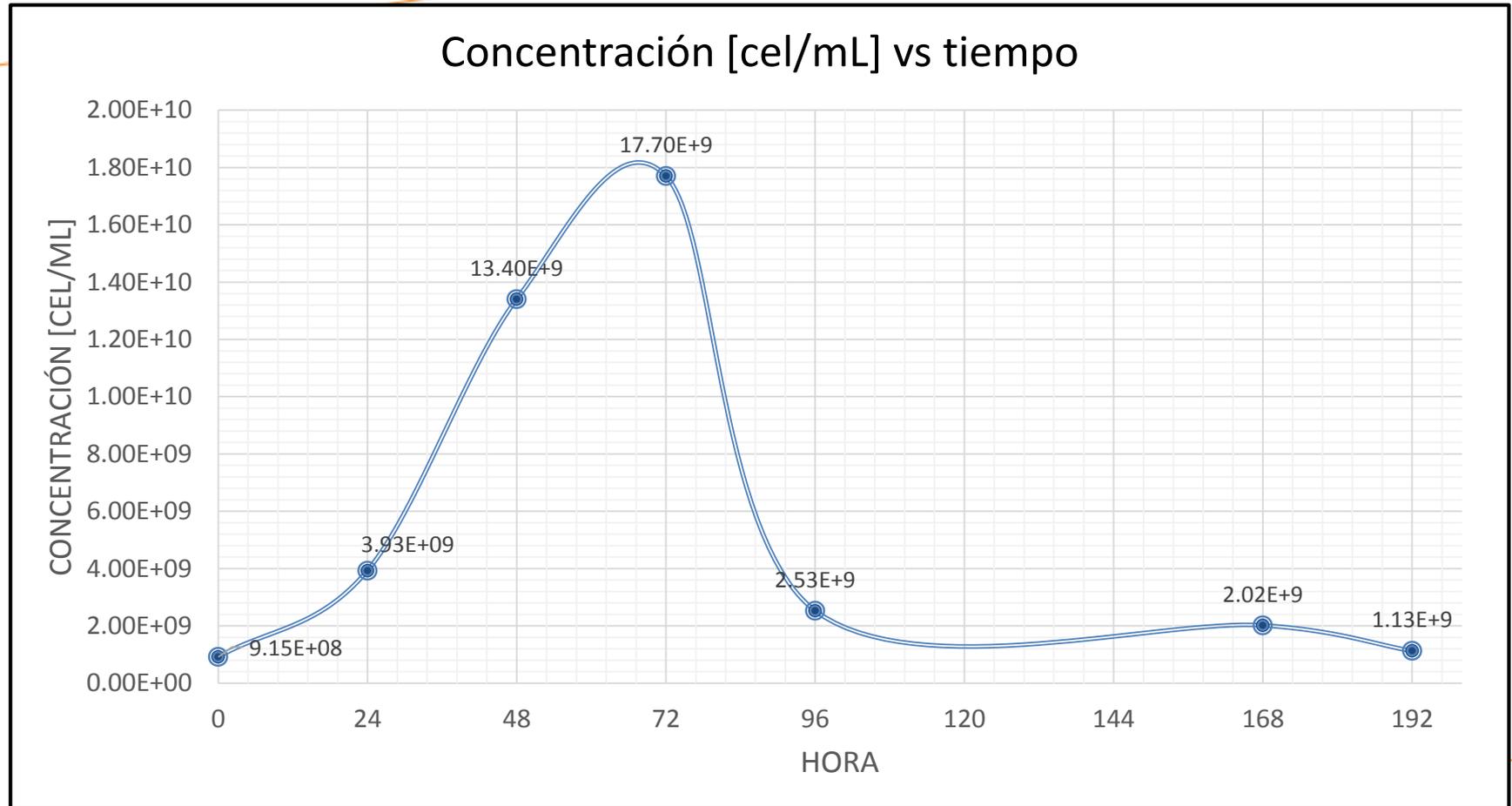




Fuente: Autores

Trichoderma spp. tuvo mayor concentración registrada con 11% y menor tiempo en alcanzar su máxima concentración

Resultados del proceso de fermentación



Recipientes fermentadores. *Fuente: Autores*

Resultados del proceso de destilación

Hidrólisis enzimática causada por:	Cantidad de destilado [mL]	Tiempo de destilación [minutos]
<i>Trichoderma spp.</i>	4,8	330
<i>Rhizopus spp.</i>	22,3	300
<i>Aspergillus niger</i>	96,9	240

Hidrólisis enzimática causada por:	Densidad [g/mL]	Concentración de etanol en volumen.
<i>Rhizopus spp.</i>	0,9678	0,2204
<i>Aspergillus niger</i>	0,9732	0,1792

Fuente: LD Didactic GmbH,

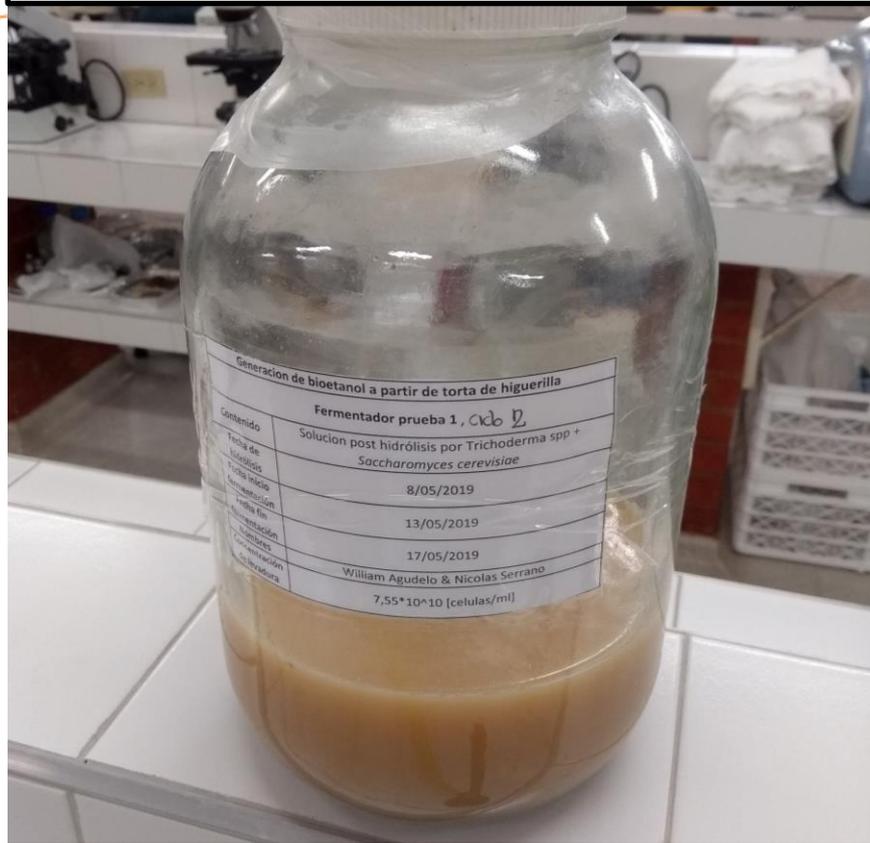
	Proceso anterior			réplica		
	<i>Aspergillus niger</i>	Trichoderma spp.	Rhizopus spp.	Trichoderma spp (I)	Trichoderma spp. (II)	<i>Aspergillus niger</i>
pH	5	6,5	6	6,5	6,5	7
%glucosa	9	11	10	16,8	15,4	9,8
%celulosa	26,96	13,21	11,74	16,94	25,72	29

Biorreactores de réplica. Fuente: Autores



Resultados del proceso de fermentación

Recipiente fermentador de réplica (I). Fuente: Autores



Recipiente fermentador de réplica (III). Fuente: Autores

HONGO	Concentración de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> [Cell/ml]
<i>Aspergillus niger</i>	7,5500E+10
<i>Trichoderma</i> spp.	16,3500E+10

Resultados del proceso de destilación

Hidrólisis enzimática causada por:	Cantidad de destilado [mL]	Tiempo de destilación [minutos]
Trichoderma spp.	32.1	240
Trichoderma spp.*	8	240

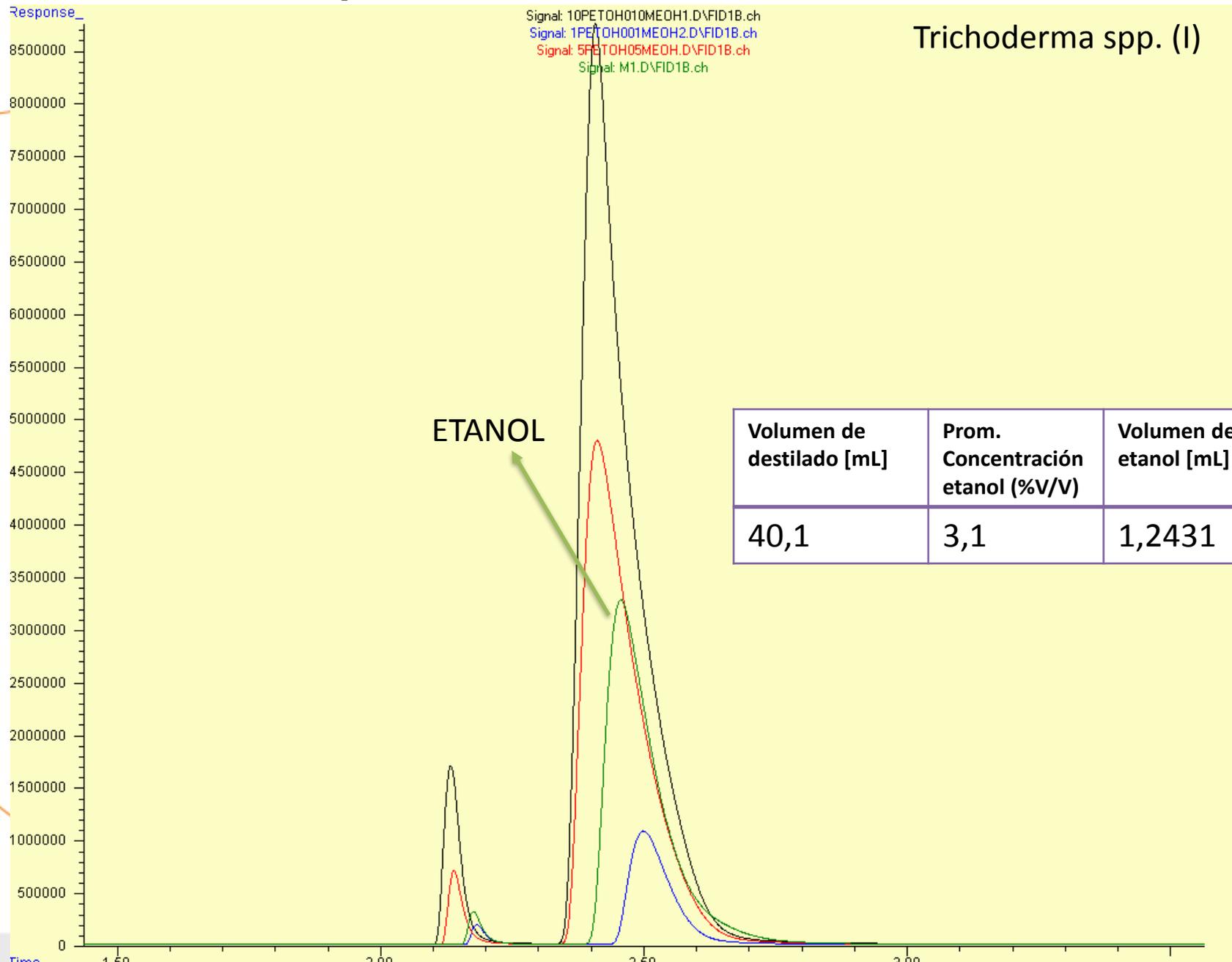
*Este resultado es de la destilación que se realizó con 3 días de fermentación.



Solución producto de proceso de destilación réplica (I). Fuente: Autores

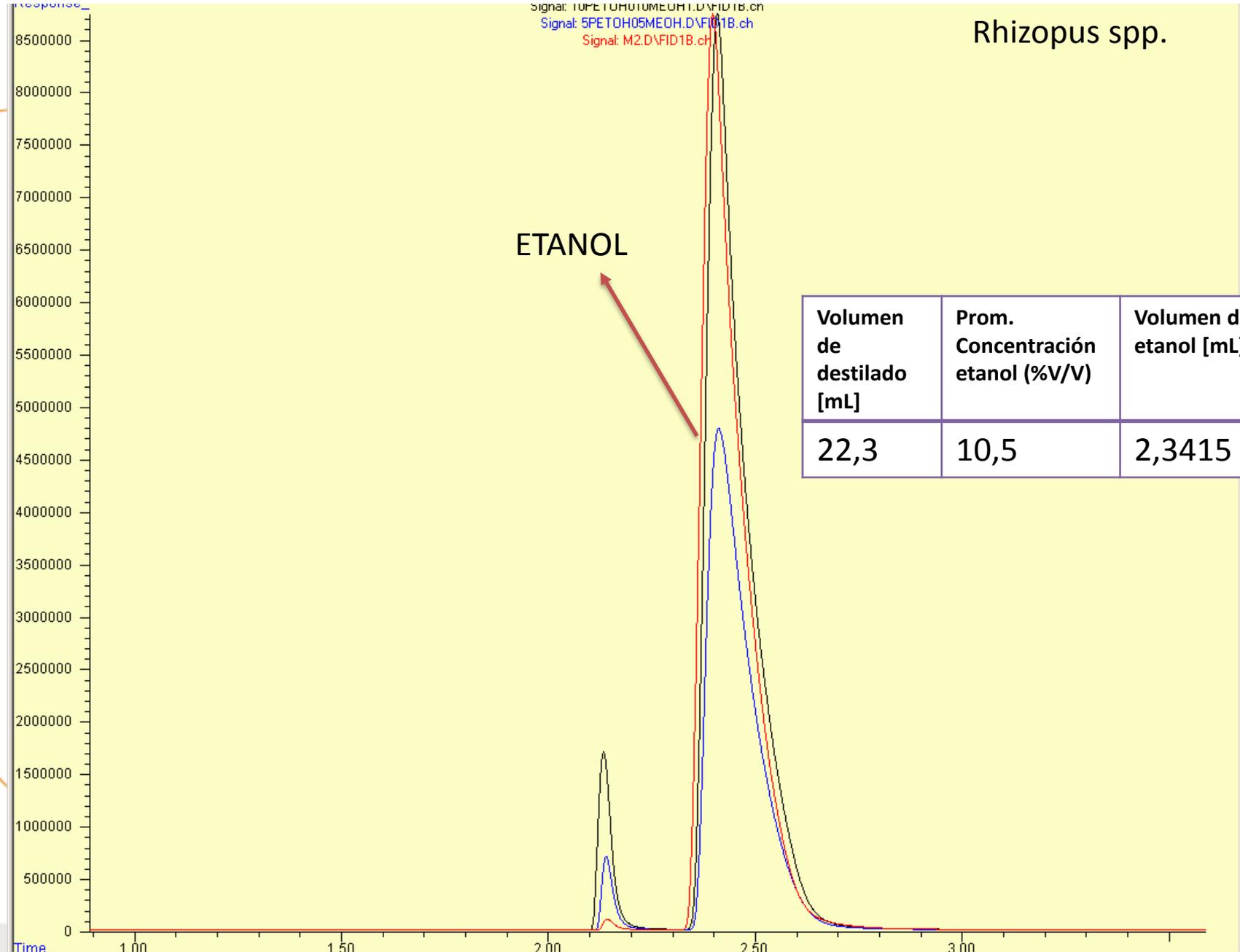
Resultados de producción de bioetanol

Trichoderma spp. (I)



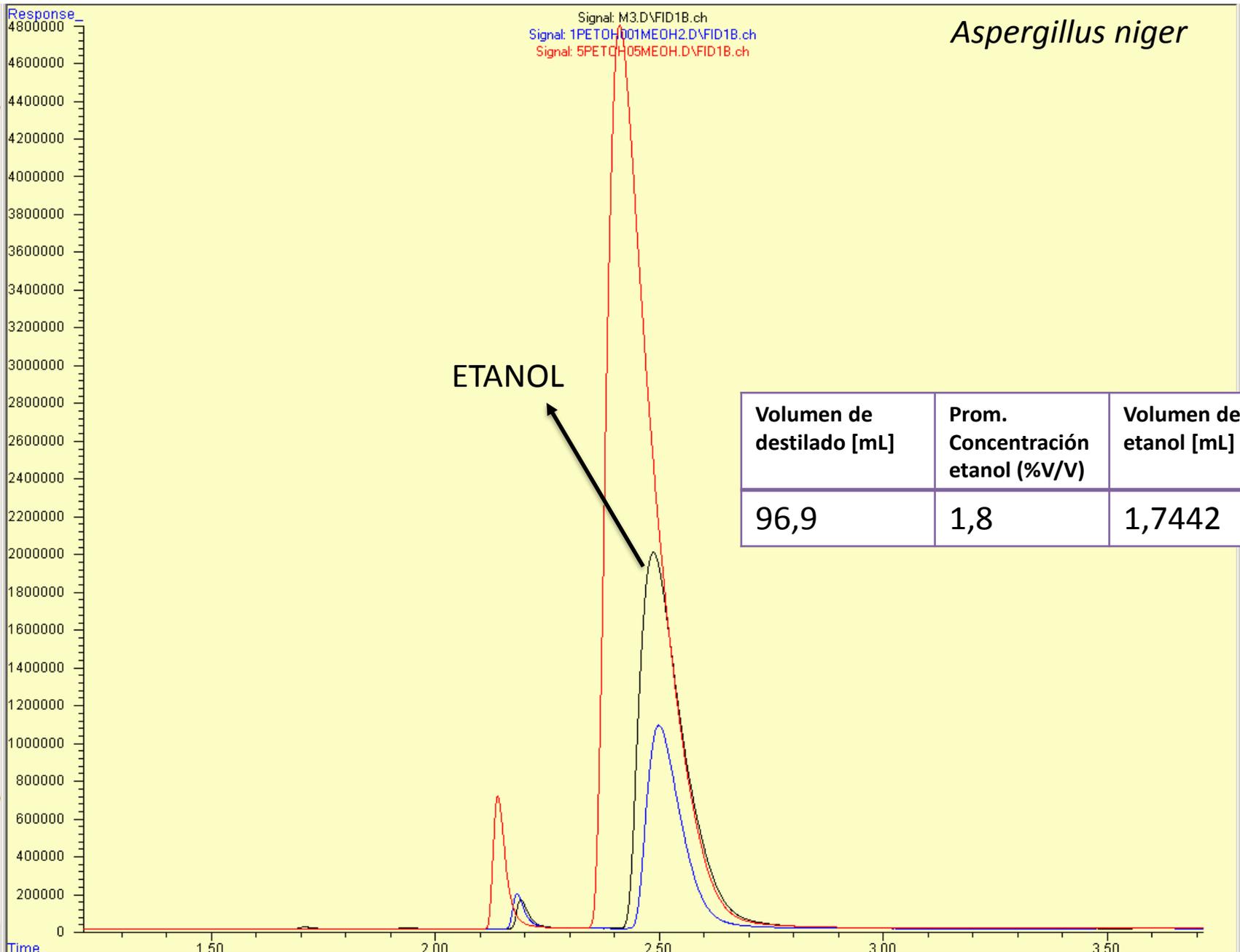
Volumen de destilado [mL]	Prom. Concentración etanol (%V/V)	Volumen de etanol [mL]
40,1	3,1	1,2431

Resultados de producción de bioetanol



Volumen de destilado [mL]	Prom. Concentración etanol (%V/V)	Volumen de etanol [mL]
22,3	10,5	2,3415

Resultados de producción de bioetanol

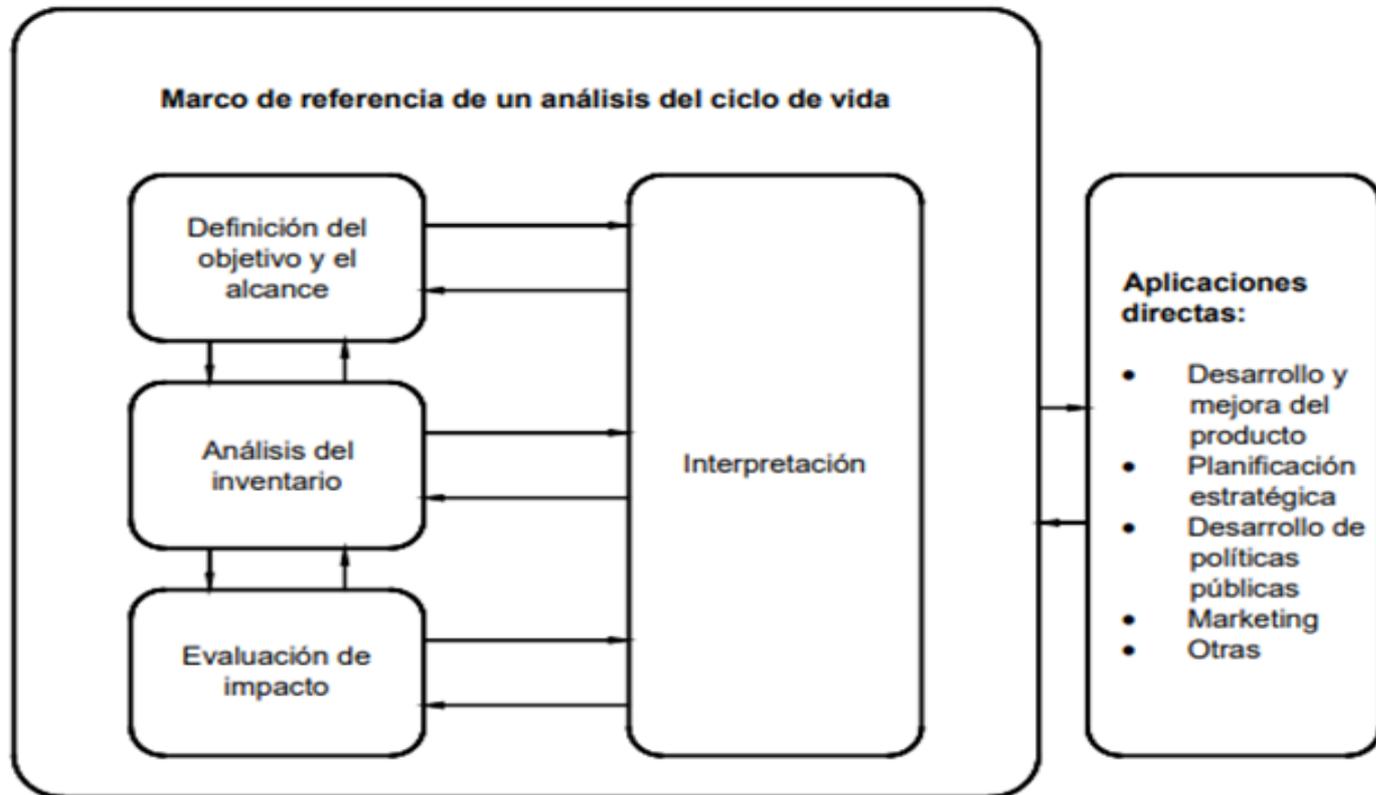


Volumen de destilado [mL]	Prom. Concentración etanol (%V/V)	Volumen de etanol [mL]
96,9	1,8	1,7442

Resultado del análisis químico de residuo sólido post hidrólisis

Parámetro	Concentración [mg/L]	Absorbancia	% [mg/mg]
Carbono orgánico total	2415.2740	0.472	48.30
Fosforo total	5.4	0.690	-
Potasio total	300	2.971	-
Nitrógeno total	94	0.659	-

Análisis de impactos ambientales



Fuente: ISO 14044:2006.

Unidad funcional: 100 ml de bioetanol

Definición del objetivo y alcance

Objetivo

El enfoque de este proyecto es el de realizar un análisis y perfil de impactos ambientales de la cadena de producción de bioetanol a partir de *Ricinus Communis* (semilla de higuera) a escala de laboratorio desde el proceso de extracción de torta de higuera hasta la obtención del producto final, comparando la significancia de cada etapa de producción respecto a la generación de emisiones.

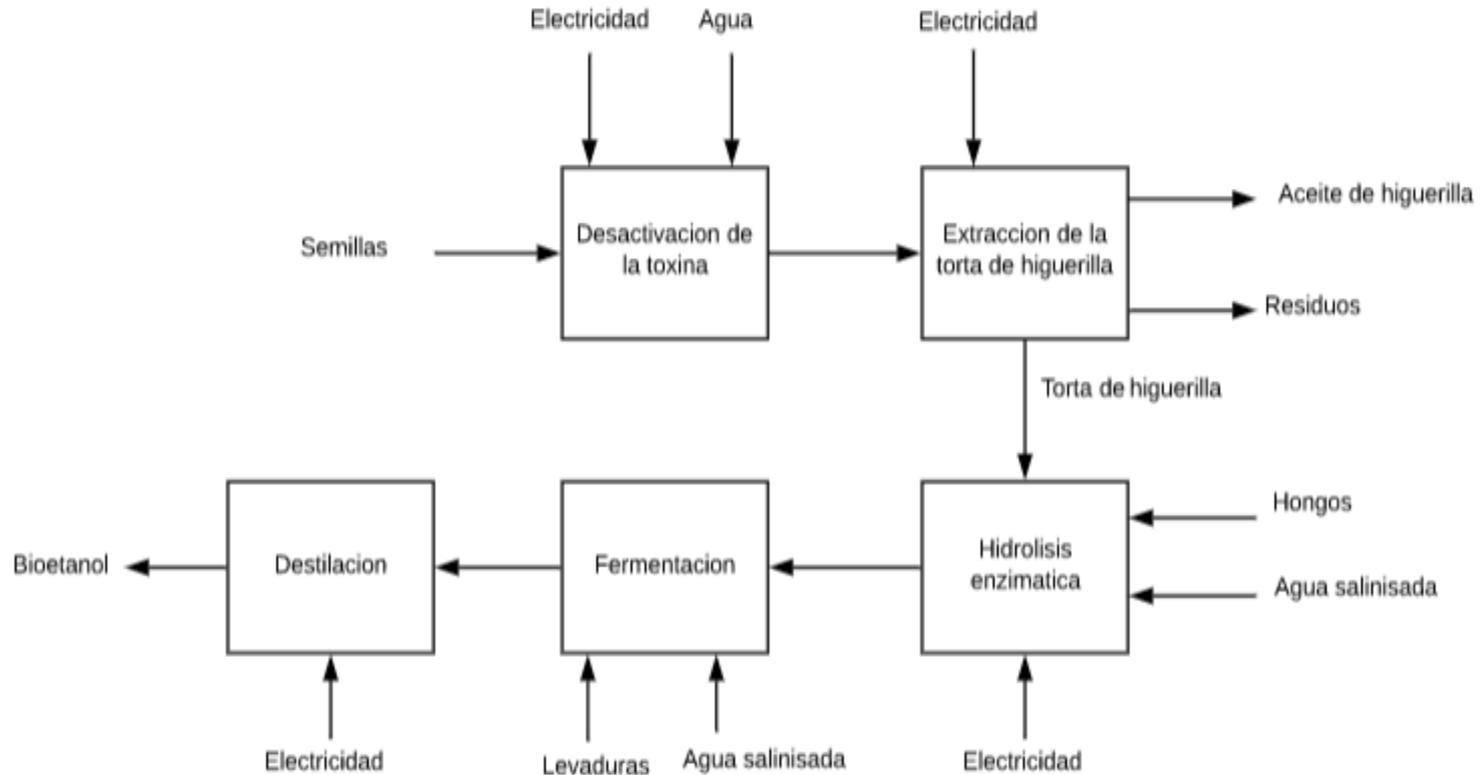
Alcance

Se estableció en la producción de bioetanol a escala del laboratorio del centro de investigación de biotecnología, bioética y ambiente (CINBBYA) de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) localizada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

Tiempo de la cadena productiva de bioetanol a partir de torta de higuera, desde la fase de extracción hasta la obtención del producto final, despreciando la fase agrícola, los procesos de medición de variables y la disposición final de los residuos.

Fuente: Autores.

Sistema bajo estudio



Fuente: Autores.

Inventario

Etapa de desactivación de la toxina			
Entradas	Materia	Valor	Unidad
	Semilla de higuierilla	1	kg
	Agua	2	L
	Energía		
	Horno	0,8	kWh
	Estufa eléctrica	0,275	kWh
Salida	Materia		
	Semilla sin toxina	1	kg

Extracción del aceite de higuierilla			
Entradas	Materia	Valor	Unidad
	Semilla sin toxina	1	kg
	Energía		
	Prensa	0,166	kWh
Salida	Materia		
	Aceite de higuierilla	0,3434	kg
	Torta de higuierilla	0,52	kg
	Residuo	0,338	kg

Fuente: Autores.

Inventario

Hidrolisis enzimática			
Entradas	Materia	Valor	Unidad
	Cloruro sódico	8,5	g
	Agua destilada	1	L
	Enzimas	0,168	kg
	Torta de higuierilla	1	kg
	Energía		
Bomba	0,42	kWh	
Materia			
Salidas	Solución post hidrolisis	0,7	L
	Residuo torta	0,6	kg

Fermentación			
Entradas	Materia	Valor	Unidad
	Levadura	0,0034	kg
	Agua destilada	1	L
	Solución post hidrolisis	1	kg
	Energía		
Bomba	0,252	kWh	
Materia			
Salidas	Solución post fermentación	0,25	L
	Gases		
CO2	3,6	g	

Destilación			
Entradas	Materia	Valor	Unidad
	Solución post fermentación	0,25	L
	Energía		
Agitadora de platos calientes	1,32	kWh	
Salidas	Materia		
	Bioetanol	0,001	L

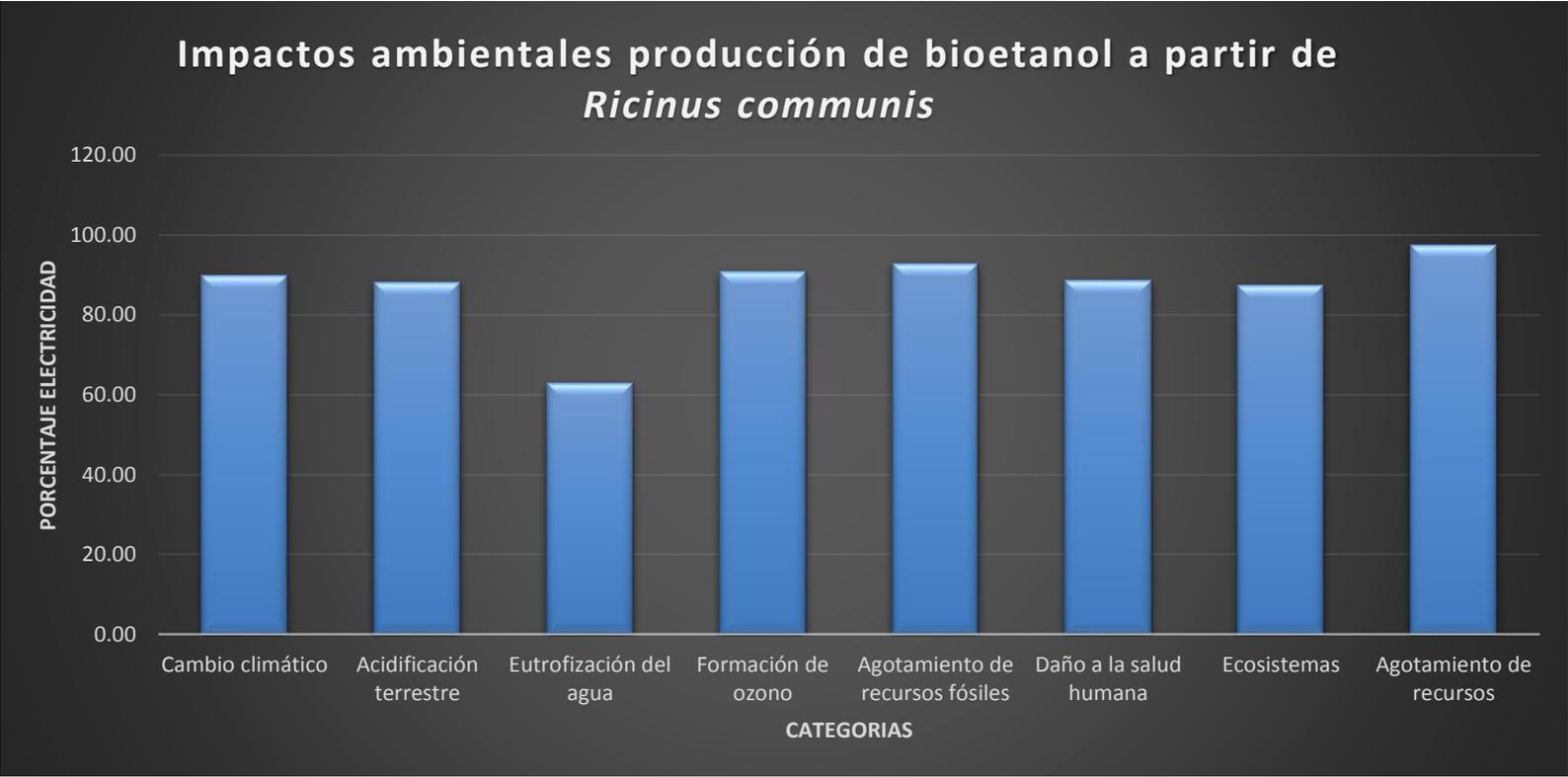
Fuente: Autores.

Análisis de resultados de impactos ambientales

Impactos				
Categoría	Unidad	Total	Electricidad	%Electricidad
Cambio climático	kg CO2 eq	2,83	2,54	89,75
Acidificación terrestre	kg SO2 eq	0,0144	0,0127	88,19
Eutrofización del agua	kg P eq	0,000229	0,000144	62,88
Formación de ozono	kg Nox eq	0,00656	0,00596	90,85
Agotamiento de recursos fósiles	kg oil eq	0,906	0,841	92,83
Daño a la salud humana	Daly	4,91*10 ⁻⁵	4,35*10 ⁻⁵	88,59
Ecosistemas	Species-yr	8,17*10 ⁻⁸	7,15*10 ⁻⁸	87,51
Agotamiento de recursos	USD	0,278	0,271	97,48

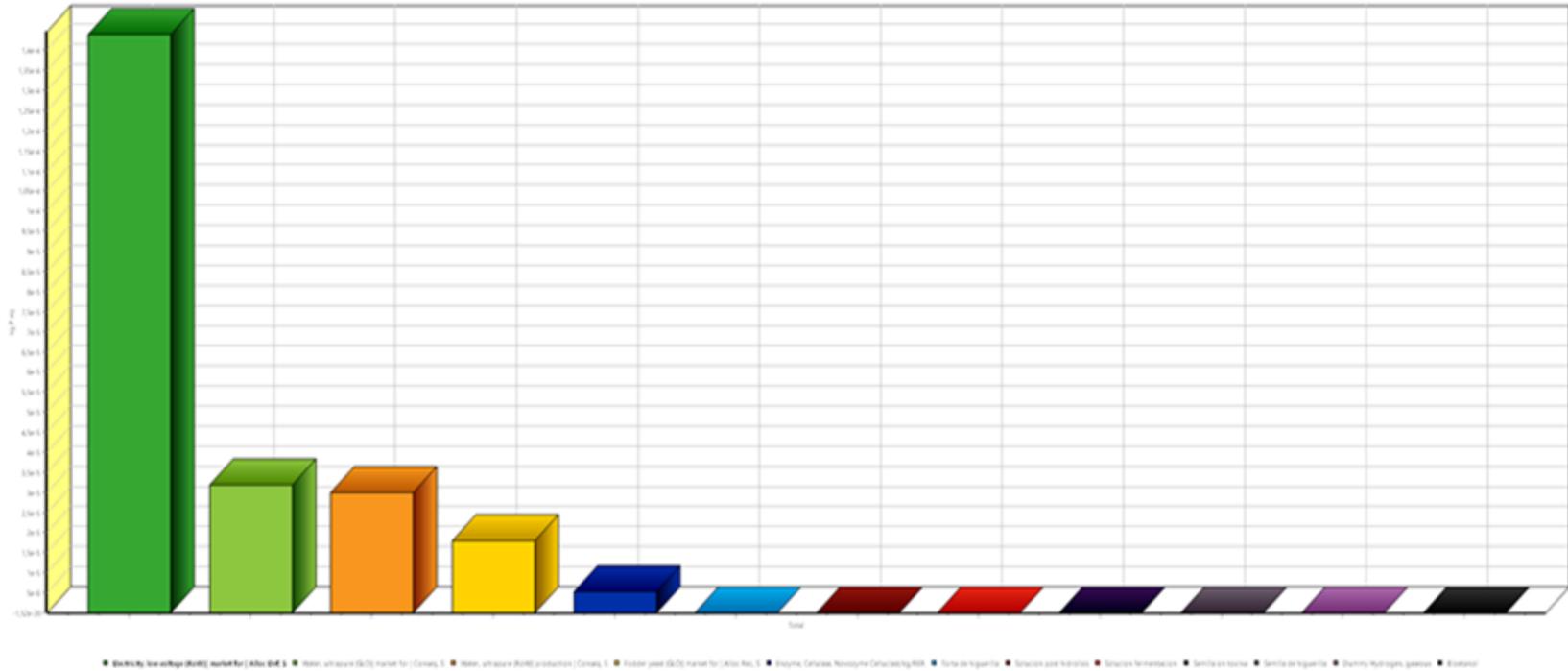
Fuente: Autores.

Análisis de resultados de impactos ambientales



Fuente: Autores.

Análisis de resultados de impactos ambientales



Fuente: Autores.

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

Las etapas para implementar la simulación fueron las siguientes:

- Definición de los componentes
- Implementación de diagrama de bloques
- Definición de corrientes y condiciones de operación
- Análisis de resultados.



Fuente: Fiverr

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

CONtextoganadero

UNA LECTURA RURAL DE LA REALIDAD COLOMBIANA

En cuanto al ciclo del cultivo de Nila Bicentenaria, la investigación arroja que la primera cosecha se da a los 180 días (6 meses), después de la siembra; de allí, cada mes y medio se hace una cosecha hasta acumular 5, para un rendimiento total entre 3 y 4 toneladas por hectárea a los 12-14 meses.

Tomado de: Corpoica, 2011

Actualmente, el aceite de
se podría abastecer con u

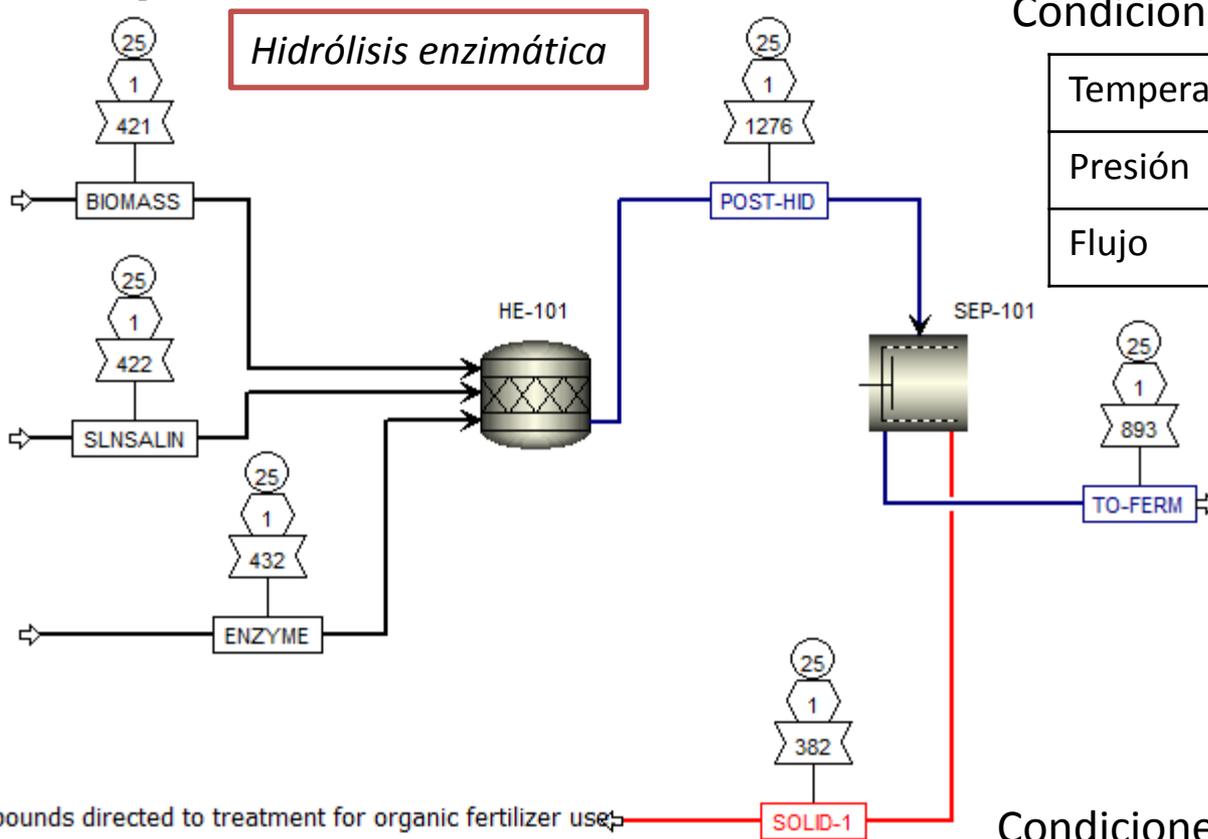
Tomado de: Contexto

Hectáreas propuestas de cultivo	2000
Rendimiento por hectárea	3,5 toneladas de semilla por hectárea
Producción anual de semilla	7000 toneladas de semilla
Torta de higerilla producida*	3640 toneladas de torta de higerilla
Capacidad diaria de plata	10,11 toneladas diarias de torta de higerilla

Fuente: Autores

"Nila Bicentenaria" es el resultado de un trabajo interinstitucional, liderado por CORPOICA durante casi 6 años. - La higerilla viene ganando terreno en Colombia y en el mundo, como una alternativa económica para la producción de aceites vegetales de uso industrial. - Capacidad teniendo en cuenta rendimiento de proceso de extracción de 52% de obtención de torta de higerilla, por 100% de semilla. Colombia es un importador neto de este tipo aceite.

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®



Condiciones de entrada de Biomasa

Temperatura	25	°C
Presión	1	Bar
Flujo	10,11	Tonne/dia

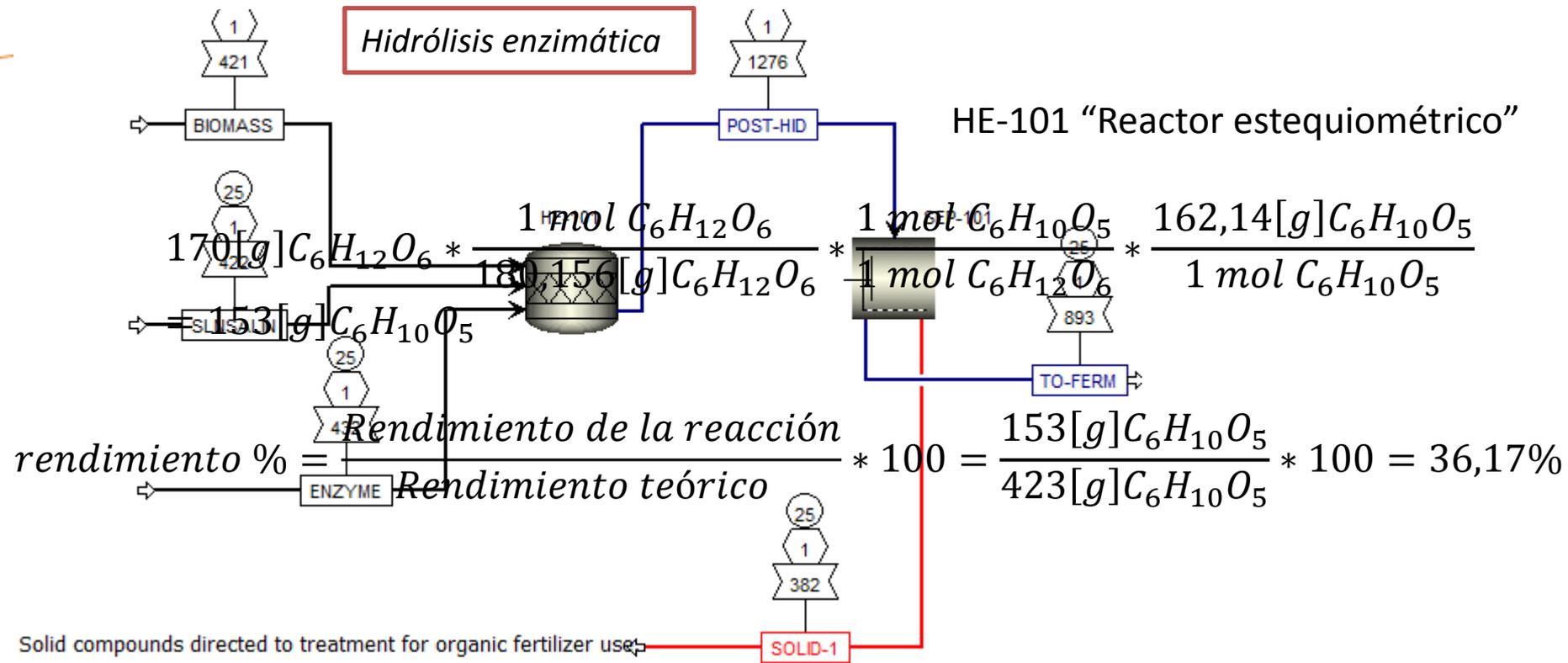
Condiciones de entrada de "Enzyme"

Temperatura	25	°C
Presión	1	Bar
Flujo	10,37	Tonne/dia

Condiciones de entrada de Solución salina

Temperatura	25	°C
Presión	1	Bar
Flujo	10,13	Tonne/dia

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®



Main Flowsheet HE-101 (RStoic)

Specifications Reactions Combustion Heat of Reaction Selectivity PSD Component Attr. Utility Comments

Reactions

Rxn No.	Specification type	Molar extent	Units	Fractional conversion	Fractional Conversion of Component	Stoichiometry
3	Frac. conversion		kmol/hr	0,36	CELLULOS	CELLULOS(CISOLID) + H2O --> GLUCOSE(MIXED)
7	Frac. conversion		kmol/hr	0	XYLAN	XYLAN(MIXED) + H2O --> XYLOSE(MIXED)

New Edit Delete Copy Paste

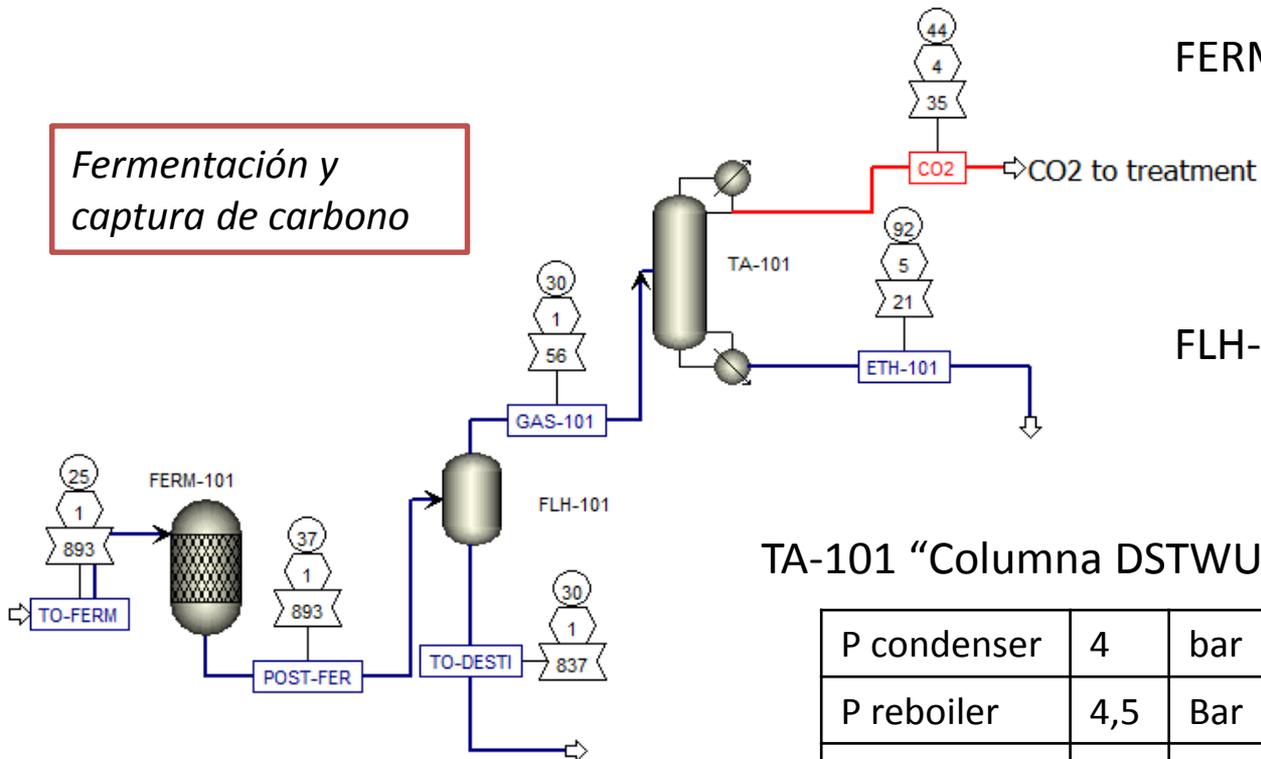
Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

Hidrólisis enzimática

Stream Name	Units	POST-HID		SOLID-1		TO-FERM	
From		HE-101		SEP-101		SEP-101	
To		SEP-101				FERM-101	
Stream Class		MIXCISLD		MIXCISLD		MIXCISLD	
Temperature	C	25		25		25	
Pressure	bar	1		1		1	
		Mass Flows	Mass Fractions	Mass Flows	Mass Fractions	Mass Flows	Mass Fractions
CELLULOS	kg/hr	114,838	0,0900333	114,838	0,300583	0	0
GLUCOSE	kg/hr	71,7735	0,0562706	1,43231	0,00374902	70,3412	0,0787294
XYLOSE	kg/hr	0	0	0	0	0	0
XYLAN	kg/hr	53,6515	0,0420629	53,6515	0,14043	0	0
ETHANOL	kg/hr	0	0	0	0	0	0
H2O	kg/hr	832,736	0,652867	16,6181	0,0434971	816,118	0,913439
NACL	kg/hr	7,13926	0,0055972	0,142471	0,000372912	6,99679	0,00783115
CO2	kg/hr	0	0	0	0	0	0
CELLULAS	kg/hr	7,16196	0,00561499	7,16196	0,0187461	0	0
LIGNIN	kg/hr	74,9717	0,0587545	74,8717	0,196157	0	0
PROTEIN	kg/hr	98,361	0,0771153	98,361	0,257456	0	0
EXTRACTI	kg/hr	14,9032	0,0116841	14,9032	0,0390084	0	0
Molar Vapor Fraction		0		0		0	
Molar Liquid Fraction		0,886069		0,134351		1	
Molar Solid Fraction		0,113931		0,865649		0	
Mass Liquid Fraction		0,714735		0,047619		1	
Mass Vapor Fraction		0		0		0	
Mass Solid Fraction		0,285265		0,952381		0	
Mass Flows	kg/hr	1275,51		382,05		893,456	
Volume Flow	l/min	18,9492		4,52834		14,4208	

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

*Fermentación y
captura de carbono*



FERM-101 “Reactor estequiométrico”

Temperatura	37	°C
Presión	1	Bar

FLH-101 “Separador flash”

Temperatura	30	°C
Presión	1	Bar

TA-101 “Columna DSTWU”

P condenser	4	bar
P reboiler	4,5	Bar
# de platos	10	

No Content x Main Flowsheet x FERM-101 (RSStoic) x +

Specifications Reactions Combustion Heat of Reaction Selectivity PSD Component Attr. Utility Comments

Reactions

Rxn No.	Specification type	Molar extent	Units	Fractional conversion	Fractional Conversion of Component	Stoichiometry
1	Frac. conversion		kmol/hr	0,95	GLUCOSE	GLUCOSE --> 2 ETHANOL(MIXED) + 2 CO2(MIXED)

New

Edit

Delete

Copy

Paste

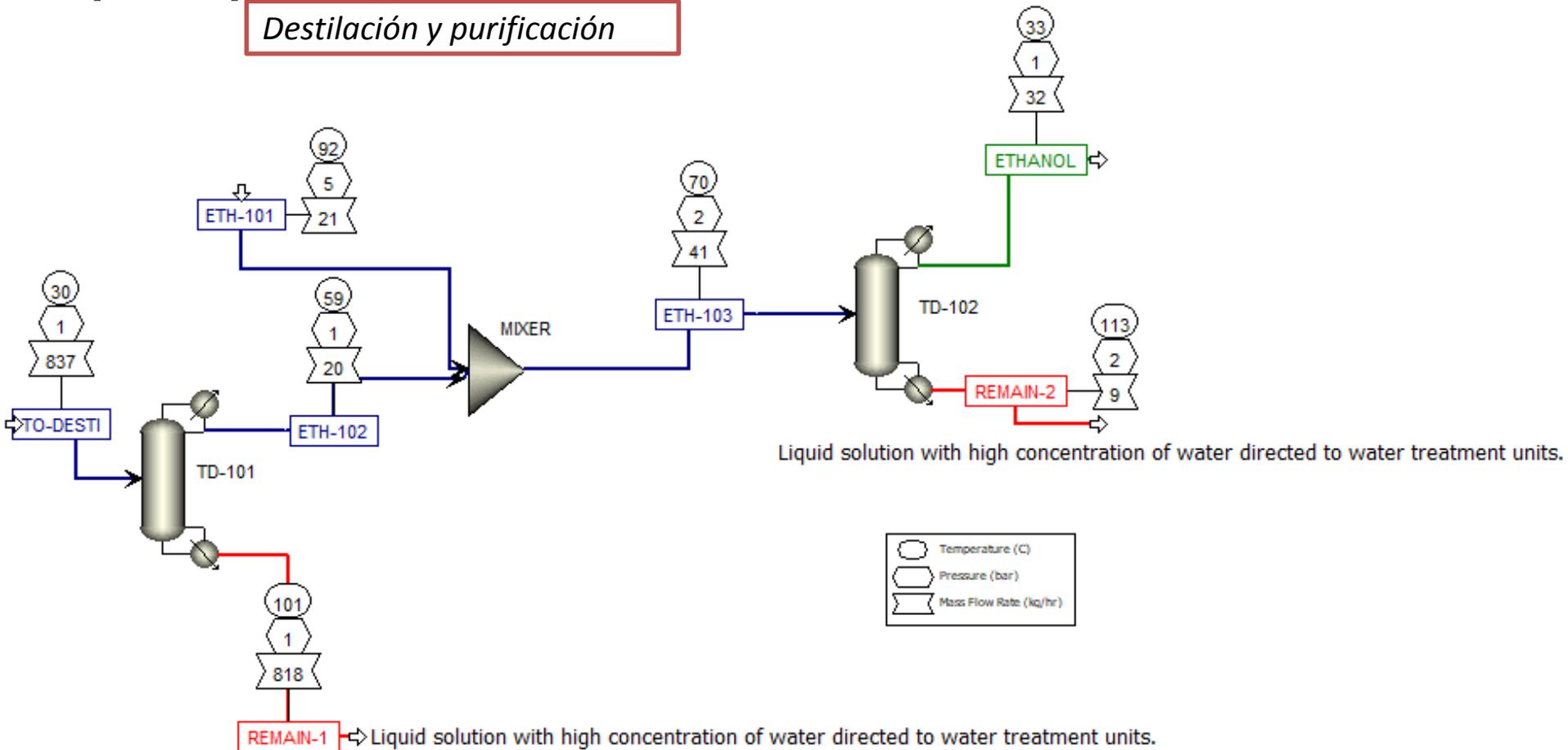
Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

Fermentación y captura de carbono

Stream Name	Stream Name	Units	ETH-101		CO2		TI
From	From		TA-101		TA-101		1
To	To		MIXER				1
Stream Class	Stream Class		MIXCISLD		MIXCISLD		LD
Temperature	Temperature	C	91,6855		44,4895		
Pressure	Pressure	bar	4,5		4		
			Mass Flows	Mass Fractions	Mass Flows	Mass Fractions	Mass Fractions
CELLULOS	CELLULOS	kg/hr	0	0	0	0	0
GLUCOSE	GLUCOSE	kg/hr	0	0	0	0	00419975
XYLOSE	XYLOSE	kg/hr	0	0	0	0	0
XYLAN	XYLAN	kg/hr	0	0	0	0	0
ETHANOL	ETHANOL	kg/hr	20,3111	0,949624	2,25679	0,0652974	0,0138613
H2O	H2O	kg/hr	0,812154	0,0378635	0	0	0,973564
NACL	NACL	kg/hr	0	0	0	0	00835493
CO2	CO2	kg/hr	0,326311	0,015213	32,3048	0,934703	2,04E+00
CELLULAS	CELLULAS	kg/hr	0	0	0	0	0
LIGNIN	LIGNIN	kg/hr	0	0	0	0	0
PROTEIN	PROTEIN	kg/hr	0	0	0	0	0
EXTRACTI	EXTRACTI	kg/hr	0	0	0	0	0
Molar Vapor	Molar Vapor Fraction		0		1		
Molar Liquid	Molar Liquid Fraction		1		0		
Mass Vapor	Molar Solid Fraction		0		0		
Mass Solid	Mass Liquid Fraction		1		0		
Mass Flows	Mass Vapor Fraction		0		1		5
Volume Flow	Mass Solid Fraction		0		0		9
	Mass Flows	kg/hr	21,4495		34,5616		
	Volume Flow	l/min	0,493897		84,274		

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

Destilación y purificación



TD-101 "Columna DSTWU"

P condenser	0,9	bar
P reboiler	1	Bar
# de platos	9	

TD-102 "Columna DSTWU"

P condenser	1	bar
P reboiler	1,5	Bar
# de platos	10	

Simulación de la línea de producción en Aspen plus®

Destilación y purificación

$$V_{diario} = 32,1551 \left[\frac{kg}{hora} \right] * 24 \left[\frac{hora}{día} \right] * 0,001 \left[\frac{g}{kg} \right] * \frac{1}{0,198} \left[\frac{g}{ml} \right] * 1000 \left[\frac{ml}{l} \right] = 978,102 \left[\frac{l}{día} \right]$$

Stream Name	Stream Name	Units	ETHANOL		REMAIN-2		I-103
From	From		TD-102		TD-102		IXER
To	To						I-102
Stream Class	Stream Class		MIXCISLD		MIXCISLD		CISLD
Temperature	Temperature	[g]	32,8419		112,98		,561
Pressure	Pressure	[kg]	1		1,5		2
			Mass Flows	Mass Fractions	Mass Flows	Mass Fractions	Mass Fractions
CELLULOS	CELLULOS	kg/hr	0	0	0	0	0
GLUCOSE	GLUCOSE	kg/hr	5,22902E-12	1,62569E-13	2,25607E-6	2,51802E-7	5,48594E-8
XYLOSE	XYLOSE	kg/hr	0	0	0	0	0
XYLAN	XYLAN	kg/hr	0	0	0	0	0
ETHANOL	ETHANOL	kg/hr	31,8027	0,989041	0,00031803	3,55066E-5	0,77357
H2O	H2O	kg/hr	0,00896521	0,000278812	8,95625	0,999923	0,218068
NACL	NACL	kg/hr	8,54008E-10	2,6559E-11	0,000368463	4,11372E-5	8,96245E-6
CO2	CO2	kg/hr	0,343423	0,0106802	2,44387E-11	2,72847E-12	0,00835334
CELLULAS	CELLULAS	kg/hr	0	0	0	0	0
LIGNIN	LIGNIN	kg/hr	0	0	0	0	0
PROTEIN	PROTEIN	kg/hr	0	0	0	0	0
EXTRACTI	EXTRACTI	kg/hr	0	0	0	0	0
Molar Vapor Fr	Molar Vapor Fraction		0		0		042997
			1		1		9957
			0		0		0
			1		1		95029
			0		0		497079
			0		0		0
			32,1551		8,95693		,112
			857	0,677668	14,5628	0,165052	2,0691

A partir de 10 toneladas diarias de torta de ricino, es posible obtener 978,10 litros por día de etanol.



Conclusiones

Se aislaron los microorganismos *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp. y *Rhizopus* spp. En medio de cultivo Malta agar con torta de higuera, teniendo un periodo de adaptación de 15, 11 y 10 días respectivamente.

En el proceso de la hidrólisis enzimática las concentraciones medidas de celulosa variaron según el microorganismo, de la siguiente manera: *Aspergillus niger* de 55,41% [m/m] a 26,96% [m/m], *Trichoderma* spp. de 47,8% [m/m] a 13,21% [m/m] y *Rhizopus* spp. De 55,83% [m/m] a 11,74% [m/m].

En cuanto a la glucosa se registraron concentraciones de 11% [m/m] para *Trichoderma* spp., 10% [m/m] para *Rhizopus* spp. Y 9% [m/m] para *Aspergillus niger*, mediante el método colorimétrico de glucosa oxidasa/peroxidasa.

Se replicó el proceso de hidrólisis enzimática por *Trichoderma* spp. y *Aspergillus niger*. Para *Trichoderma* spp se obtuvieron concentraciones de glucosa de 16.8% [m/m] y 15.4% [m/m] y, para *Aspergillus niger* 16.4% [m/m].

El pH registrado en los biorreactores disminuyó ligeramente con el tiempo, iniciando con un pH de 7 y finalizando con un pH promedio de 5.5.

Conclusiones

Se realizó la activación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* durante 8 días en medio de cultivo líquido Malta con un flujo de aire de 1.5 L/min. Entre el segundo y tercer día, se registraron las mayores concentraciones, siendo estas de 13.4×10^9 [Cell/ml] y $17,7 \times 10^9$ [Cell/ml] respectivamente.

La fermentación alcohólica se llevó a cabo durante 4 días, después de la extracción de la glucosa en medio acuoso, en donde se adicionaron 250 ml de solución con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* a una concentración de 2.2×10^9 [Cell/ml].

De 1 kg de torta de higuera se obtuvieron 96,9 [mL], 22,3 [mL] y 4,8 [mL] de solución de destilado producto de la acción enzimática por *Aspergillus niger*, *Trichoderma* spp. y *Rhizopus* spp., respectivamente, registrando densidades entre 0,96 y 0,97 [g/mL], no encontrándose diferencia significativa.

El destilado por la ruta de *Rhizopus* spp. presentó la mayor concentración de etanol con 10,1% [v/v], mientras por *Trichoderma* spp. y *Aspergillus niger*, presentaron concentraciones de 3,1% y 1,9% [v/v] respectivamente.

Conclusiones

Se reporta en esta investigación un nuevo hallazgo de la capacidad de hidrólisis enzimática con las cepas de *Rhizopus* spp. aislado a partir del proceso de descomposición de fresas realizadas en el CINBBYA.

Se evaluó la producción en el software Aspen plus® teniendo como capacidad 10 toneladas diarias generando aproximadamente 978,2 litros diarios de bioetanol con una pureza del 98,9%. Se obtuvo un rendimiento de 0,0771 toneladas de etanol por tonelada de biomasa, y comparándolo con el rendimiento a partir del uso de biomasa como cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar, dan rendimientos de 0,2930 y 0,1342 toneladas de etanol por tonelada de biomasa respectivamente. Es decir, en este estudio se presenta menor rendimiento en comparación con otras tecnologías.

El uso de energía eléctrica es la entrada que más impacta el medio ambiente en todas las categorías analizadas. Esta entrada representa 2,54 kg de CO₂ equivalente de los 2,83 kg de CO₂ equivalente totales de la producción de bioetanol, correspondiendo a un 89,7% del impacto ambiental.

Realizar más réplicas del proceso evaluando la cantidad de enzima liberada por los hongos, con el fin de establecer un rendimiento del proceso de hidrólisis.

Realizar la simulación de la cadena completa de producción de bioetanol, teniendo en cuenta los procesos de purificación de agua y de tratamiento del residuo post hidrólisis.

Realizar un análisis económico y energético usando el software Aspen Plus, teniendo en cuenta las entradas y salidas de los procesos descritos previamente.

Realizar un tratamiento al residuo post hidrólisis para su implementación como abono orgánico, dado a que presenta una concentración de 48,30% de carbono orgánico, mayor al exigido por la norma NTC 5167 (15%).

Incluir las fases de transporte y cultivo en el perfil de impactos ambientales.

- [1] L. C. Fernández-Linares, J. Montiel-Montoya, A. Millán-Oropeza, and J. A. Badillo-Corona, "Production of Biofuels Obtained From Microalgae," *Ra Ximhai*, septiembre - diciembre, ., vol. año/Vol. 8, no. Número 3 Sinaloa., p. 101, 2012.
- [2] R. Isaías et al., "ECOINGENIO," 2012.
- [3] H. Rico et al., Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán., no. November. 2004.
- [4] "Higuierilla, planta convertida en aceite | Fideicomiso de Riesgo Compartido | Gobierno | gob.mx." .
- [5] E. Explained, "Dr . Faebian Bastiman Epitaxy Explained Category Archives : MBE Operator : A case study A week in the life of an MBE operator : A case study : Analysis," pp. 1–12, 2013.
- [6] R. A. Cabrales, J. L. Marrugo N., and J. L. Abril Castro, "Rendimientos en Semilla y Calidad de los Aceites del Cultivo de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el Valle del Sinú, Departamento de Córdoba," p. 109, 2014.
- [7] "Semillas de higuierilla, oportunidad para expandir el mercado agrícola – Info Rural." [Online]. Available: <http://www.inforural.com.mx/semillas-de-higuierilla-oportunidad-para-expandir-el-mercado-agricola/>. [Accessed: 31-May-2019]..
- [8] "Higuierilla | Semillas CampoSeeds - Venta de semillas en Colombia." [Online]. Available: <http://www.semillascamposeeds.com/productos/higuierilla/>. [Accessed: 28-May-2019]..
- [9] R. Nativos, *Arboles Nativos y Ciudad - Libro* . .
- [10] "Castor Bean (*Ricinus communis*)." [Online]. Available: http://bioweb.uwlax.edu/bio203/2011/beaudrie_nich/classification.htm. [Accessed: 31-May-2019]..
- [11] "Prime Global Capital Group Inc. - PGCG." [Online]. Available: http://www.pgcg.cc/castor_market.php. [Accessed: 29-May-2019].
- [12] M. M. M. Vieira et al., "Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com rações contendo quatro níveis de inclusão do farelo de mamona," *Rev. Ceres*, vol. 58, no. 4, pp. 444–451, 2011.
- [13] B. Lear, Application of castor pomace and cropping of castor beans to soil to reduce nematode populations, vol. 43. 1959.

- [14] L. E. M. Pastejo and D. D. D. E. Souza, “Farelo de mamona em dietas de vacas leiteiras em pastejo,” 2015.
- [15] L. G. Pivetta, C. de A. Tomaz, S. L. Fioreze, A. C. da C. Lara-Fioreze, L. A. Pivetta, and M. D. Zanotto, “Growth performance of castor bean hybrids under different plant densities,” *Rev. Ceres*, vol. 64, no. 4, pp. 399–412, 2017.
- [16] “¿Qué es la biomasa? – Arobi-CV.” [Online]. Available: <http://aprobicv.com/wp/que-es-la-biomasa/>. [Accessed: 28-May-2019].
- [17] O. Ho, O. Ho, O. Ho, O. Ho, and O. Ho, “Etanol a partir de Biomasa Lignocelulósica,” pp. 1–101, 2010.
- [18] C. E. Wyman, “BIOMASS ETHANOL: Technical Progress, Opportunities, and Commercial Challenges,” *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 24, no. 1, pp. 189–226, Nov. 1999.
- [19] S. Morales De La Rosa, “hidrólisis acida de celulosa y biomasa lignocelulosica asistida con liquidos ionicos,” 2015.
- [20] K. G. Kalogiannis, S. D. Stefanidis, C. M. Michailof, and A. A. Lappas, “Castor bean cake residues upgrading towards high added value products via fast catalytic pyrolysis,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 95, pp. 405–415, 2016.
- [21] M. Gmelina and D. E. U. N. A. Plantación, “MADERA OBTENIDA DEL PRIMER CLAREO EN ÁRBOLES DE Francisco José Paz Fong,” 2008.
- [22] C. Arellano Perales, E. Houbron, and D. Elena Rustrían Portilla ORIZABA, “T E S I S Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a hidrólisis enzimática " PRESENTA: CO-DIRECTOR,” 2015.
- [23] “Bioetanol - Bio4.” [Online]. Available: <http://www.bio4.com.ar/productos/bioetanol/>. [Accessed: 29-May-2019].
- [24] “Definición de bioetanol - Qué es, Significado y Concepto.” [Online]. Available: <https://definicion.de/bioetanol/>. [Accessed: 29-May-2019].
- [25] G. Weiss, *Hazardous chemicals data book*. Second edition. 1986.
- [26] B. H. Jaime, “Biocombustibles_Colombia.”

- [27] “Bioetanol - Plantas de Biomasa.” [Online]. Available: <http://www.plantasdebiomasa.net/bioetan.html>. [Accessed: 21-May-2019].
- [28] R. Abascal Fernández and A. Garea Vázquez, “Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización,” p. 74, 2017.
- [29] A. de J. Herrera Escobar and C. R. Meers Días, “Diseño De Las Etapas De Hidrólisis De Almidón Y Fermentación Para Producir Bioetanol Basado En La Respuesta Dinámica Del Sistema,” pp. 1–119, 2013.
- [30] H. Javier Vázquez and O. Dacosta, “Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 8, no. 4, pp. 249–259, 2018.
- [31] J. Suarez, “Fermentacion Alcoholic.” No J. or J. Lost, p. 5, 1994.
- [32] “Quimica Organica Yessi: PRÁCTICA 2 DESTILACIÓN SIMPLE Y DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN.”
- [33] I. N. D. S. E. Higiene, “Fichas de agentes biológicos: *Aspergillus* spp,” *Databio*, p. 5, 2012.
- [34] A. K. Gautam, S. Sharma, S. Avasthi, and R. Bhadauria, “Diversity, Pathogenicity and Toxicology of *A. niger*: An Important Spoilage Fungi,” *Res. J. Microbiol.*, vol. 6, no. 3, pp. 270–280, Mar. 2011.
- [35] “*Rhizopus*.” [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/299484744/Rhizopus>. [Accessed: 22-May-2019].
- [36] “*Rhizopus* | fungus genus | Britannica.com.” [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/Rhizopus>. [Accessed: 29-May-2019].
- [37] “*Rhizopus* spp. | Atlas de Identificación micológica.” [Online]. Available: <https://atlasdemicologia.wordpress.com/2016/03/18/rhizopus-spp/>. [Accessed: 22-May-2019].
- [38] “*Trichoderma* spp - EcuRed.” [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Trichoderma_spp. [Accessed: 22-May-2019].
- [39] O. Bastidas, “Neubauer Chamber Cell Counting,” *celeromics*, pp. 1–6, 2016.
- [40] V. Cárdenas, M. Gómez, and L. Padilla, “DEGRADACIÓN DE CELULOSA Y PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DEL ASERRÍN DE GUADUA UTILIZANDO EL SISTEMA BIOLÓGICO (*Aspergillus niger* - *Saccharomyces cerevisiae*) Degradación,” *Siquia*, pp. 1–9, 2009.

- [42] J. P. i Casanellas, Técnicas y experimentos en edafología. Col·legi oficial d'enginyers agrònoms de catalunya, 1986.
- [43] Icontec, "NTC 336 grasas y aceites animales y vegetales. método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional)," 2002.
- [44] LD Didactic GmbH, "Determinación de la densidad de líquidos con el picnómetro de Gay-Lussac," pp. 2–4.
- [45] V. QUINTERO DALLOS, "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE ETANOL COMBUSTIBLE A PARTIR DE BIOMASA SECUNDARIA DISPONIBLE EN LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA COLOMBIANA," UINVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2009.
- [46] ICONTEC, "NTC-5167 PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA. PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE SUELO," Icontec, p. 5, 2004.
- [47] Icontec, "NTC-5403 CALIDAD DE SUELO. DETERMINACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO," ICONTEC, 2006.
- [48] M. Chemicals, "Phosphate Cell Test," vol. 49, no. October, p. 64271, 2011.
- [49] "Potassium Cell Test 1.14562.0001 7.," Notes, vol. 49, no. April, p. 64271, 2019.
- [50] Spectroquant, "Test en cubetas Nitrógeno total," EMD Milipore Corp., vol. 49, 2018.
- [51] S. Jáuregui, C. Esteban, ; Rosales Medina, M. Fernanda, ; Bustamante Gavilánez, and A. Cristina, "Modelo de hidrólisis de lactosa para fermentación láctica en una base probiótica y simbiótica," Rev. Tecnológica ESPOL-RTE, vol. 28, no. 3, pp. 53–68, 2015.
- [52] R. González C, Principios básicos de escalado. Editorial Universal, 2007.
- [53] Contexto Ganadero, "Higuerilla, alternativa de rentabilidad para los productores del país," 2016. [Online]. Available: <https://www.contextoganadero.com/regiones/higuerilla-alternativa-de-rentabilidad-para-los-productores-del-pais>. [Accessed: 05-Feb-2019].

- [54] Fedebiocombustibles, “CORPOICA lanza primera variedad colombiana de higuierilla para clima frío moderado,” 2011. [Online]. Available: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-679.htm>. [Accessed: 05-Feb-2019].
- [55] La republica, “SACHA INCHI E HIGUERILLA SEDUCEN COMO NUEVA ALTERNATIVA DE CULTIVOS,” 2015. [Online]. Available: <https://www.agronegocios.co/agricultura/sacha-inchi-e-higuerilla-seducen-como-nueva-alternativa-de-cultivos-2620646>. [Accessed: 05-Feb-2019].
- [56] El Tiempo, “Ahora los campesinos de Boyacá le apuntarían a la Higuierilla,” 2007. [Online]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3804035>. [Accessed: 05-Feb-2019].
- [57] Universidad de Valladolid, “Ecuaciones de estado,” in Termodinámica aplicada, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2006, pp. 1–20.
- [58] C. Raymond, Química, 10th ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2010.
- [59] A. Technology, “Aspen Plus Aspen Plus Bioethanol from Corn Stover Model,” p. 30, 2008.
- [60] V. Capdevila, V. Kafarov, C. Gely, and A. Pagano, “A PARTIR DE RESIDUOS DE ARROZ SIMULATION OF THE FERMENTATION PROCESS TO OBTAIN BIOETHANOL FROM,” vol. 6, no. 2, pp. 11–21, 2015.
- [61] M. Ruhul Amin, M., Saquib Hossain, M. & Sarker, “Simulation of ethanol production by fermentation of molasses,” J. Eng., vol. 1, no. 4, pp. 69–73, 2013.
- [62] Fedebiocombustibles, “Preguntas Frecuentes de los Biocombustibles,” 2013. [Online]. Available: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>.
- [63] E. Haya, “Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental,” p. 43, 2016.
- [64] L. C. Castañeda M, “SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE BIODIESEL PRODUCIDO A PARTIR DE MICROALGAS,” Universidad autónoma de Bucaramanga, 2017.
- [65] The International Standards Organisation, “Iso 14044:2006,” Int. J. Life Cycle Assess., vol. 2006, no. 7, pp. 652–668, 2006.

- [65] The International Standards Organisation, “Iso 14044:2006,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 2006, no. 7, pp. 652–668, 2006.
- [66] N. Rieznik and A. Hernández, “Análisis del ciclo de vida,” *Capítulo 3. Metodol. Del Análisis Del Ciclo Vida*, p. 37, 2005.
- [67] M. T. Romero Díaz de ávila, “Análisis de ciclo de vida (ACV) Herramienta de Gestión ambiental,” *eoi Esc. negocios*, vol. 3, p. 16, 1998.
- [68] J. Hans, “Análisis del ciclo de vida,” *Metodol. Del Análisis Del Ciclo Vida*, p. 37, 2015.
- [69] D. G. Dg-, “Daniel Garraín Cordero,” vol. 2009, 2009.
- [70] J. S. García, I. Herrera, and A. Rodríguez, “Análisis de Ciclo de Vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Caso: PTARM de Yautepec (Morales, México),” p. 40, 2011.
- [71] “Impact Category Definitions - eTool.” [Online]. Available: <https://etoolglobal.com/eblog/software/impact-category-definitions/>. [Accessed: 30-May-2019].
- [72] “Appendix A: Impact Category Descriptions | Ministry for the Environment.” [Online]. Available: <https://www.mfe.govt.nz/publications/waste/life-cycle-assessment-product-stewardship-options-mercury-containing-lamps-new-1>. [Accessed: 30-May-2019].
- [73] “Secretaría de Medio Ambiente.” [Online]. Available: <https://www.sema.gob.mx/SGA-IMPACTO-CONCEPTOS.htm>. [Accessed: 30-May-2019].