

# Biodegradación de dos biomasas residuales mediante microorganismos y modelamiento del proceso de hidrólisis como fase previa para la producción de bioetanol

Daniela Ocaciones Mejía  
Andrea Viviana Vega Martínez

Directores:

Dra. Graciela Chálela Álvarez  
Dr. Alexander Meneses Jácome



# CONTENIDO

---

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

OBJETIVOS

---

METODOLOGÍA

---

RESULTADOS

---

CONCLUSIONES

---

RECOMENDACIONES

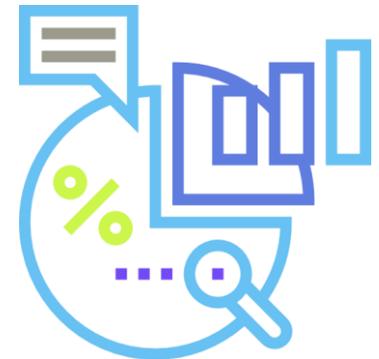
---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



El bioetanol es producido principalmente con alimentos de primera generación, alimentos de consumo humano, lo que afecta la seguridad alimentaria. [1]

El desarrollo de este proyecto consiste en el modelo cinético de la etapa de hidrólisis biológica en estado sólido, realizada mediante hongos filamentosos. Basándose en los resultados del hidrolizado se estima el potencial teórico de producción de bioetanol, aportando datos primarios sobre la utilización y biodegradación de estas biomasas en el territorio nacional para posible producción de biocombustibles a escala piloto o industrial.



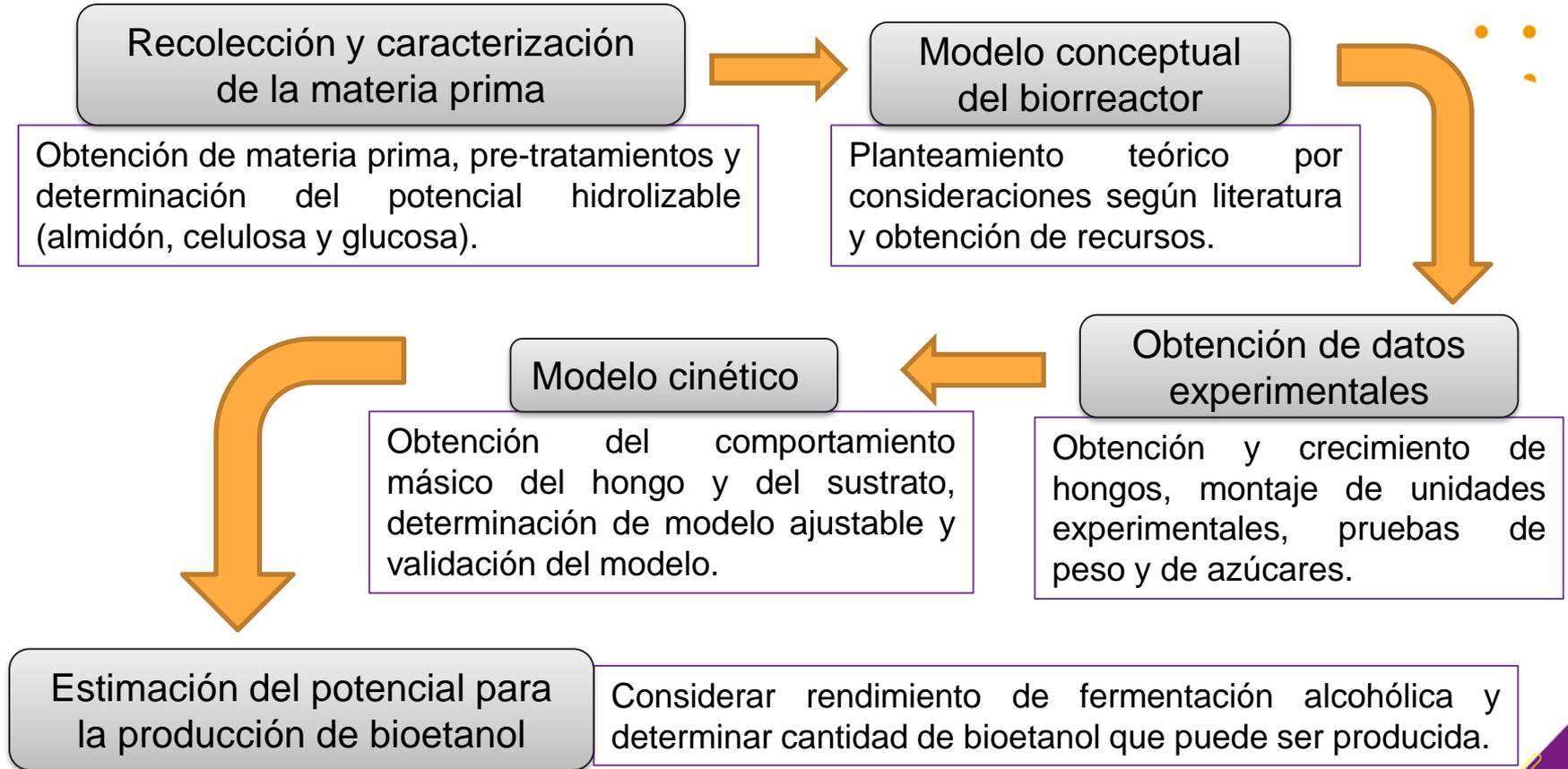
## Objetivo general

Biodegradar la biomasa residual de papa y yuca mediante microorganismos y modelar la cinética de la hidrólisis biológica como fase previa para la producción de bioetanol.

## Objetivos específicos

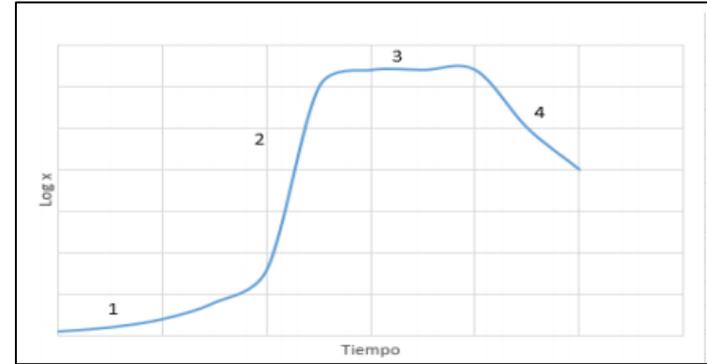
- I. Caracterizar el almidón, la celulosa y la glucosa de las dos biombras residuales objeto de la investigación.
- II. Caracterizar las condiciones de crecimiento de los hongos filamentosos biodegradadores, *Aspergillus niger* y *Trichoderma* spp. y su adaptación a los sustratos cascaras de yuca y papa.
- III. Realizar el diseño conceptual de un biorreactor a escala de laboratorio, para el estudio de la biodegradación de las biombras residuales con los hongos filamentosos escogidos.
- IV. Ajustar un modelo cinético, que permita la predicción del proceso de hidrólisis biológica de las biombras en referencia.

# METODOLOGÍA



En el modelado de procesos bioquímicos se tiene en cuenta las reacciones catalizadas por los microorganismos y los procesos físicos o químicos que influyen en la cinética, excluyendo en lo posible la influencia de la configuración física del biorreactor.

Balance general de un microorganismo:



Fuente: Tomado de Juan Fernando Calderón Vargas [9].

1. Fase de latencia o “lag”
2. Fase de crecimiento o exponencial
3. Fase estacionaria
4. Fase de muerte o de decaimiento

# RESULTADOS

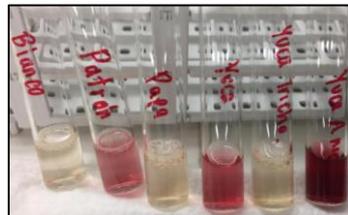
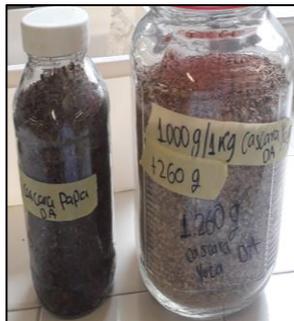
## Recolección y caracterización de la materia prima



Almidón: Grace 1977.



Celulosa: Método de Kurschner y Hoffer.



Glucosa: DNS

# RESULTADOS

## Recolección y caracterización de la materia prima

Componente	Cáscara yuca [g/100 g]	Cáscara papa [g/100 g]
Almidón	53,15 ± 1,86	33,05 ± 0,09
Lignina	7,68 ± 0,03	8,15 ± 0,43
Celulosa	22,80 ± 0,13	20,36 ± 0,14
Hemicelulosa	8,42 ± 0,05	13,32 ± 0,14
Azúcares reductores	7,04 ± 0,10	5,22 ± 0,03

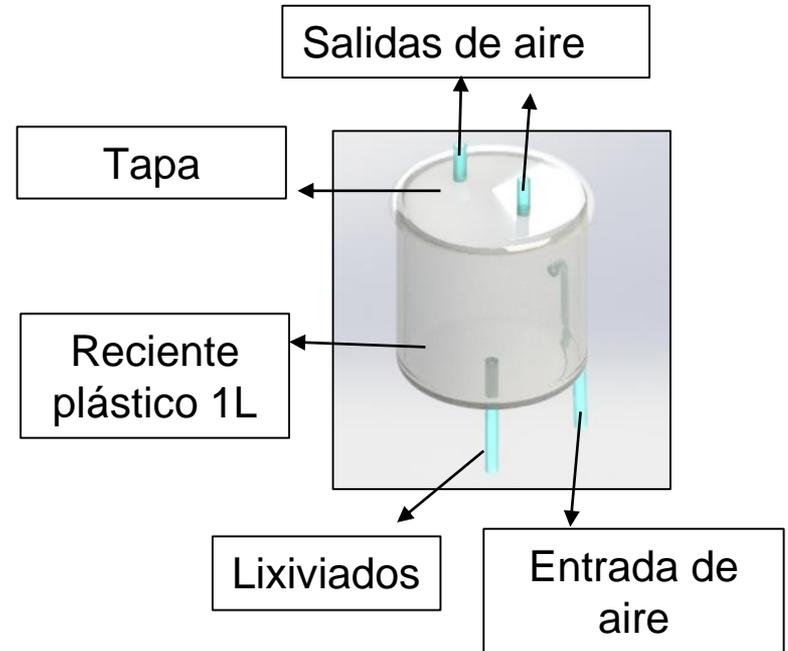
Fuente: Tomado de G. Mithra [2], Daiana G. Martinez [3], S. Pooja [4] y Ben J. Khawlaa [5].

Componente	Cáscara yuca [%]	Cáscara papa [%]	Error cáscara yuca [%]	Error cáscara papa [%]
Almidón	21,29	16,03	60%	51%
Celulosa	52,36	77,9	130%	283%
Glucosa	8,58	2,65	22%	49%

## Modelo conceptual del biorreactor

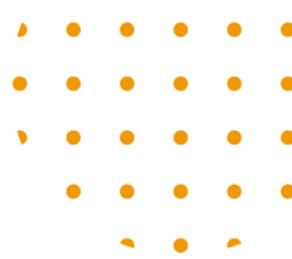
### Consideraciones:

- Hidrólisis sólida.
- Carga máximo 60% del volumen total.
- Flujo de aire.
- Tapa, comodidad para muestreo.
- Material que no intervenga en las reacciones.

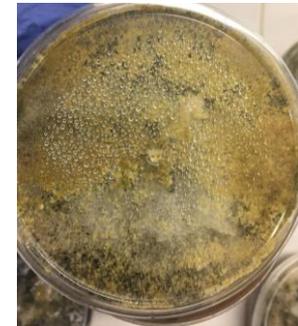
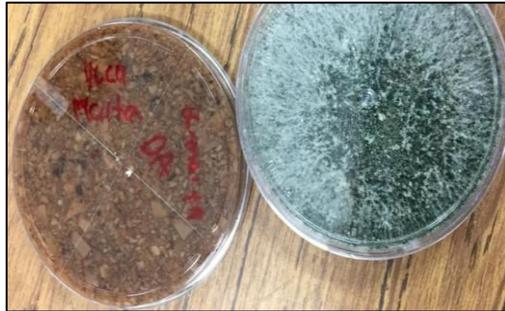


# RESULTADOS

## Obtención de datos experimentales



Obtención de hongos, previa adaptación a las cáscaras:



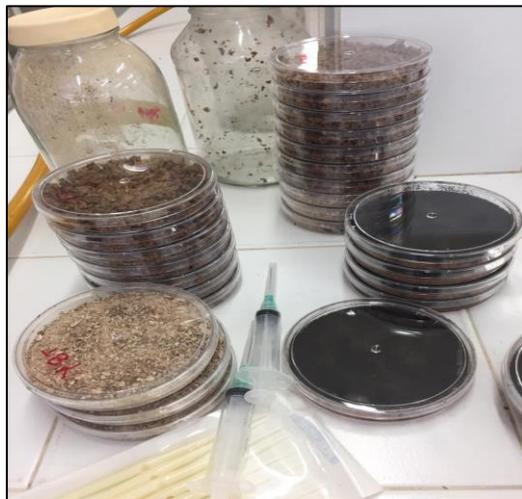
Después de 4 meses de pruebas con los medios PDA, Sabouraud y malta en mezcla con agar-agar, se escoge que el mejor medio de crecimiento es: Malta y agar-agar.

# RESULTADOS

## Obtención de datos experimentales



### Montajes realizados:



Cajas Petri: 10 unidades por hongo

Biorreactores: 3 unidades por hongo

# RESULTADOS

## Obtención de datos experimentales



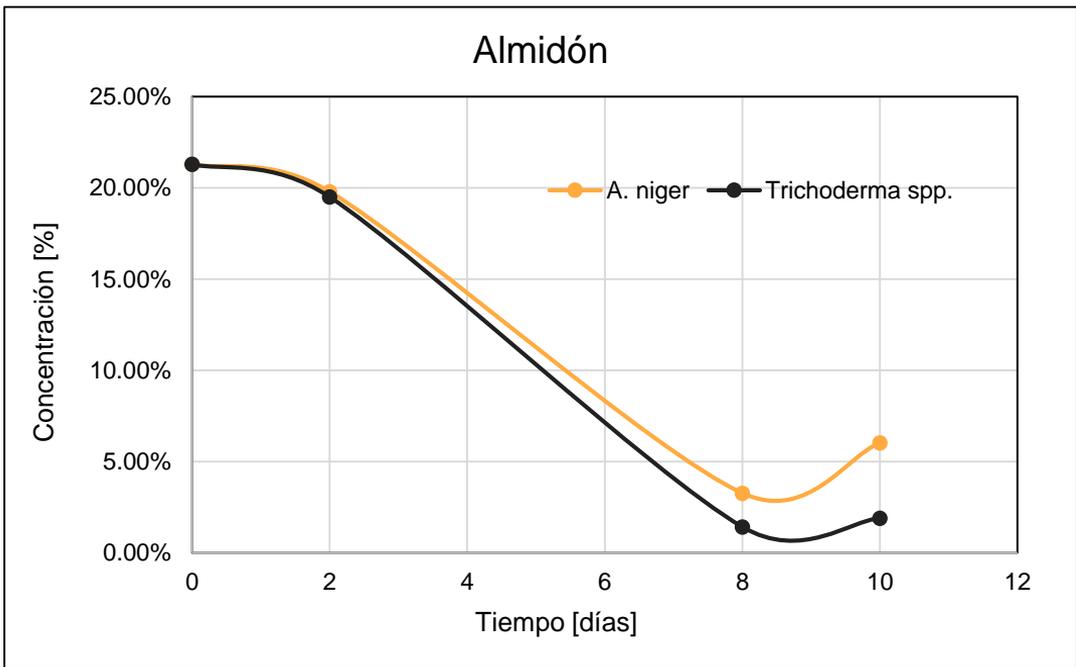
### Condiciones de crecimiento:

- Relación inóculo sustrato 1:1 (p/v).
- Temperatura: 20-35 °C.
- Humedad 75 % (p/p).
- Aireación.



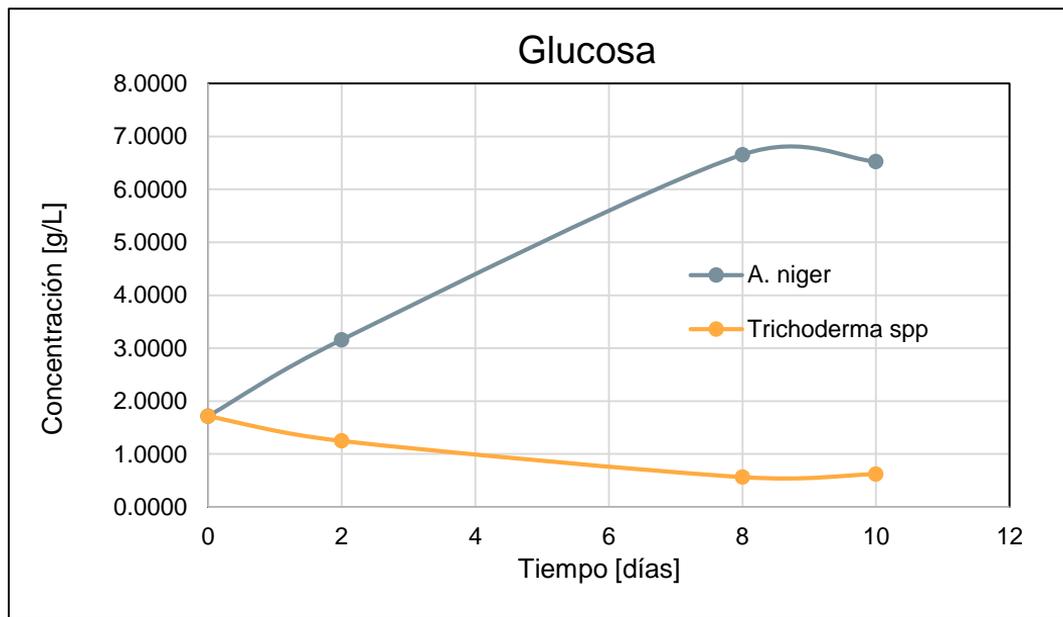


### Comportamiento de Almidón durante hidrólisis:



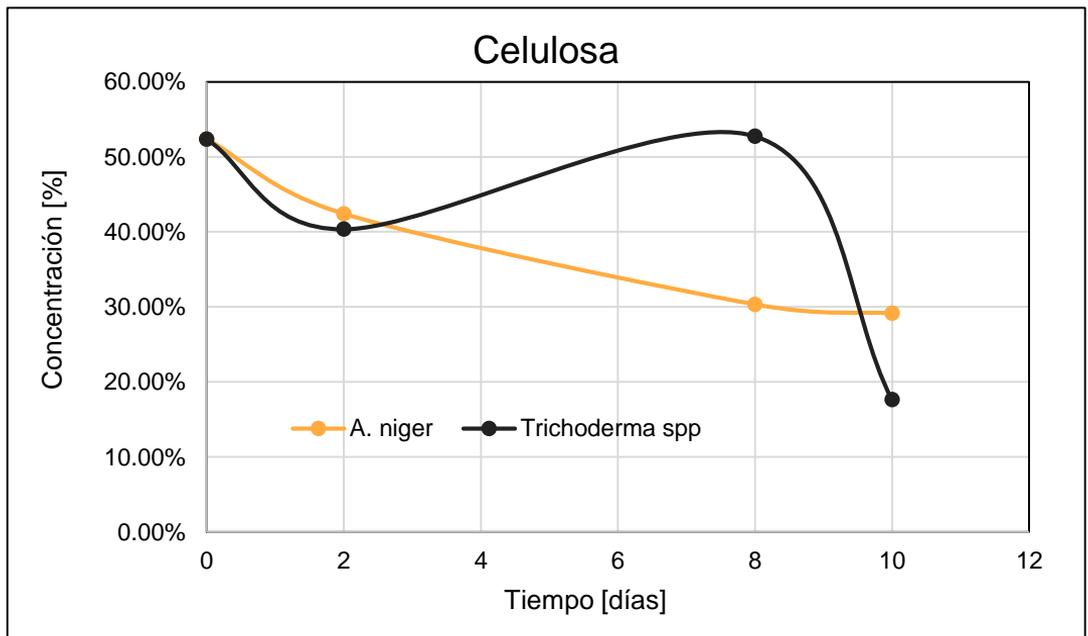


### Comportamiento de Glucosa durante hidrólisis:



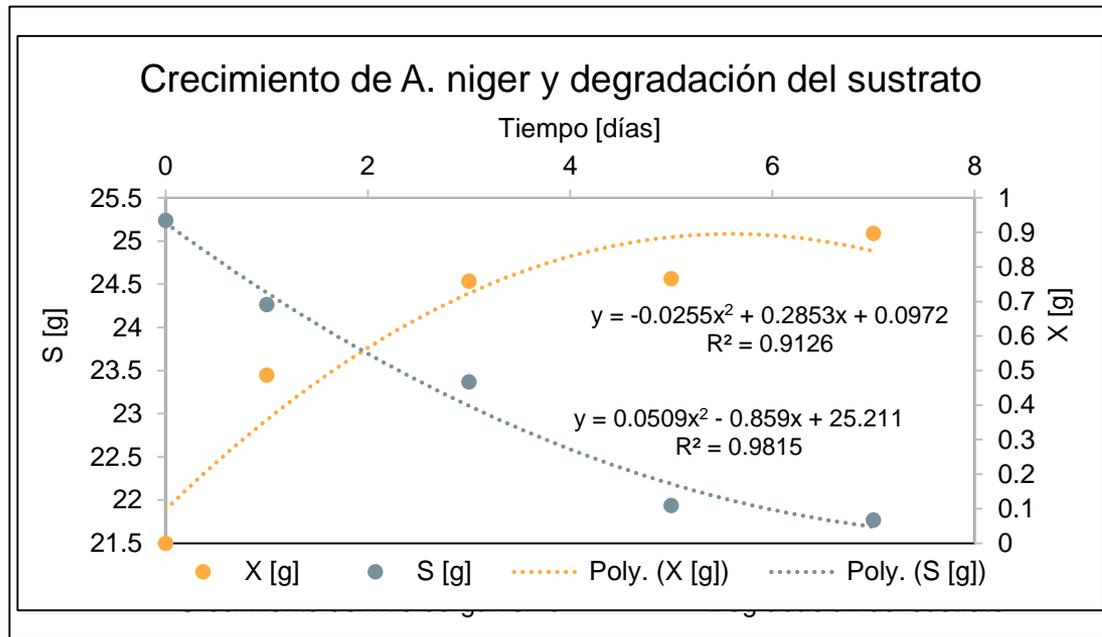


### Comportamiento de Celulosa durante hidrólisis:





### Modelo cinético de Monod para Aspergillus niger

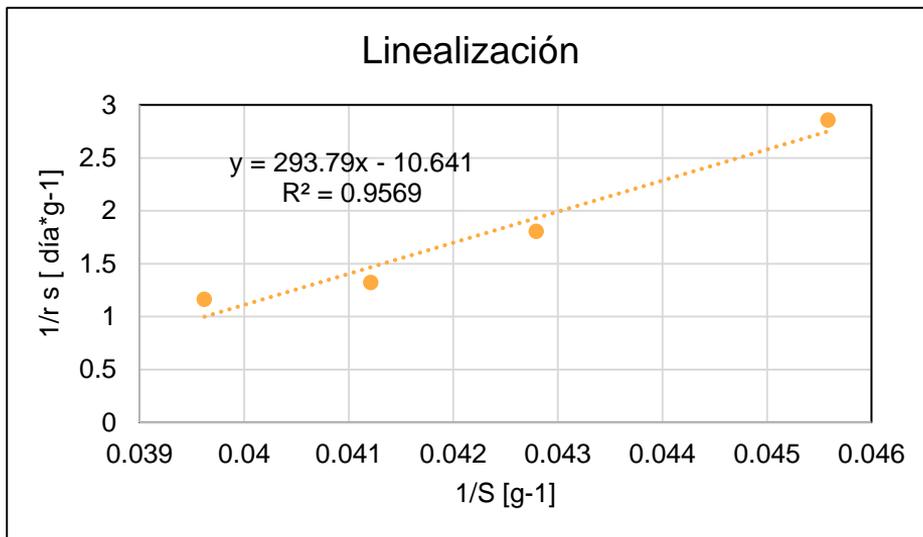


Ecuación base de Monod

$$-\frac{dS}{dt} = -r_s = \frac{K[S]}{[S] + K_s}$$



### Modelo cinético de Monod para Aspergillus niger



Ecuación de linealización para Monod

$$\frac{1}{-r_s} = \frac{1}{K} + \frac{K_s}{K} * \frac{1}{[S]}$$

$$-\frac{dS}{dt} = -r_s = \frac{0,09398[\text{g/día}] * [S]}{[S] - 27,60925[\text{g}]}$$

m	b	K [g/día]	K <sub>s</sub> [g]
293,79	-10,641	0,09398	-27,60925

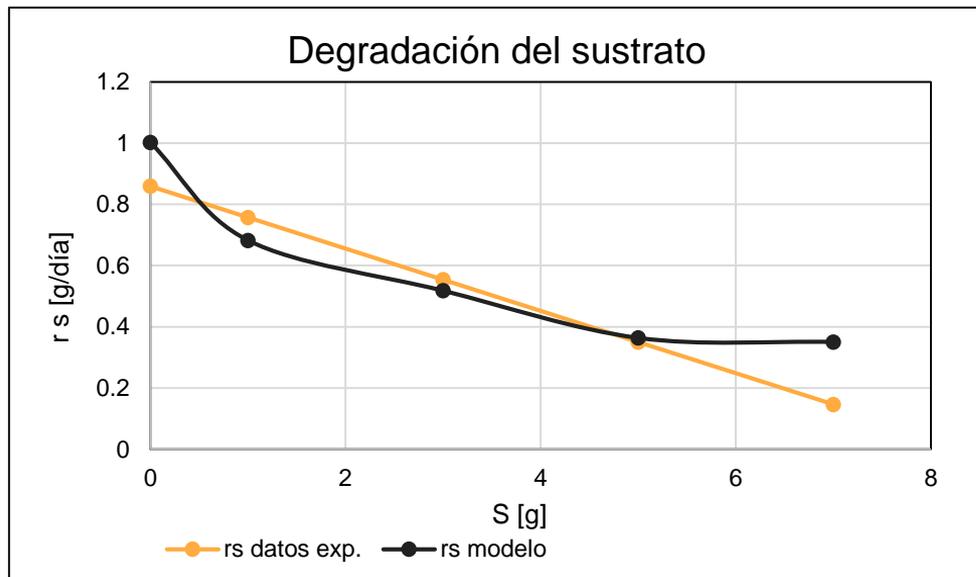
Fuente: Elaboración propia.

# RESULTADOS

## Modelo cinético

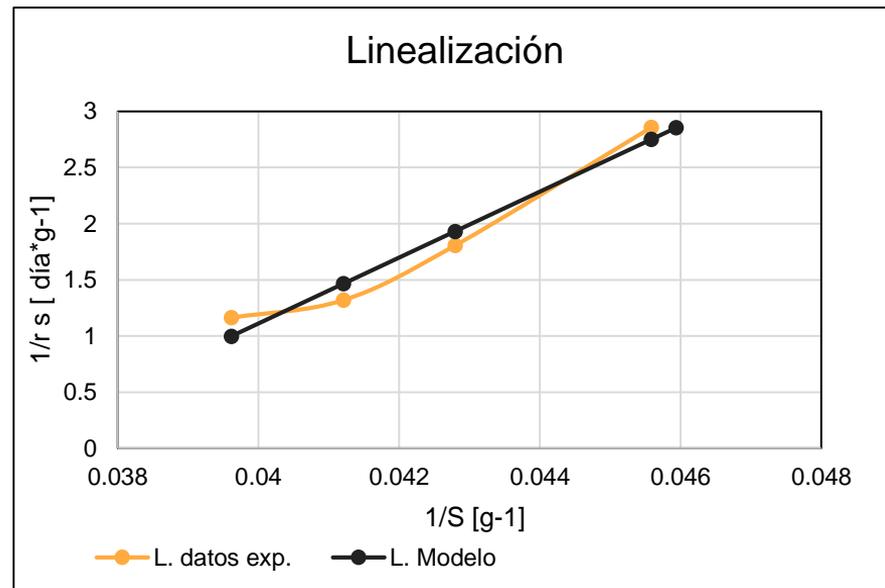


### Modelo cinético de Monod para Aspergillus niger



Error MSE hasta día 10	Error MSE hasta día 8
2,4908%	0,5647%

Fuente: Elaboración propia.



Error MSE hasta día 10	Error MSE hasta día 8
39,7732%	0,0167%

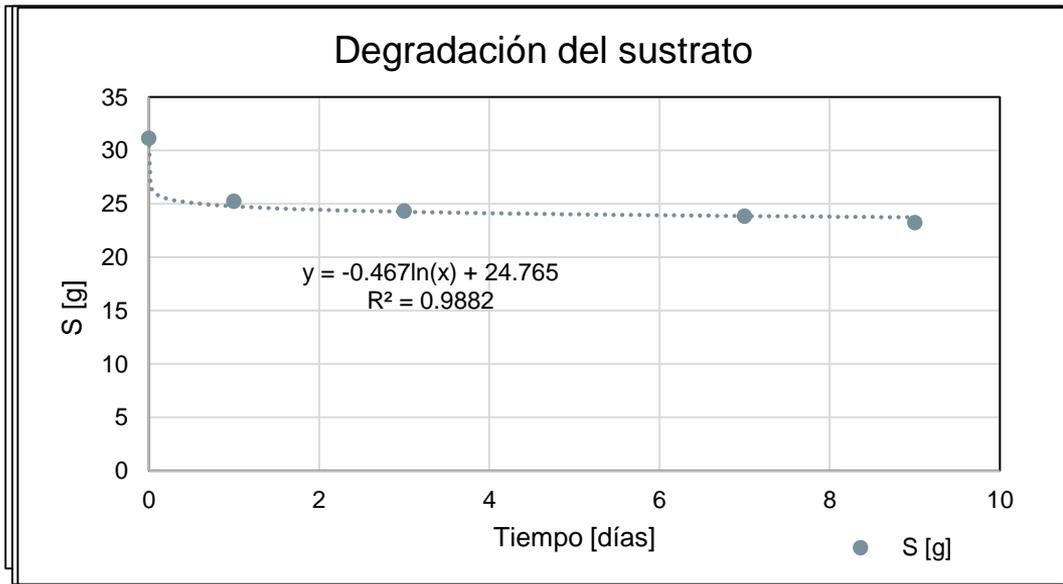
Fuente: Elaboración propia.

# RESULTADOS

## Modelo cinético



### Modelo cinético para el Trichoderma spp



$$y = -0,467\ln(x) + 24,765$$

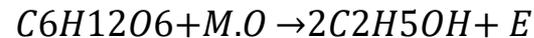
# RESULTADOS

Estimación del potencial para la producción de bioetanol



Potencial para producción de etanol

$FC_{ideal}$	$FC_{real}$
0,5	0,86



Fuente: Chávez L. [12] y Gonzales J. [17]

Cantidad de glucosa <i>A. niger</i> [g]	Cantidad etanol ideal [g]	Cantidad etanol real [g]	Cantidad etanol ideal [ml]	Cantidad etanol real [ml]
3,99348	7,98696	3,4344	10,0087	4,3038

- Densidad del etanol es de 0,798 g/ml
- Rendimiento de fermentación alcohólica de un 43%

## CONCLUSIONES

- Las cáscaras de papa y yuca son biomásas con potencial hidrolizable al contener en su composición química cantidades significativas de almidón, celulosa y glucosa.
- El mejor sistema de degradación fue el de *A. niger* con cáscaras de yuca. Esto por crecimiento y adaptación del hongo al sustrato, penetración y cubrimiento del sustrato.
- El biorreactor propuesto puede utilizarse en procesos biológicos en estado sólido donde se requiera facilidad de toma de muestras, distribución del flujo de aire y recuperación de lixiviados.
- El modelo cinético de degradación de las cáscaras de yuca por *A. niger* se define como tipo Monod al presentar un error máximo del 2,4908%.

## RECOMENDACIONES

- Condiciones microorganismos, principalmente la humedad.
- En revisiones futuras medir la hemicelulosa.
- Asegurar condiciones estériles para el biorreactor.
- Métodos de separación hongo-sustrato, para etapas posteriores.

# REFERENCIAS

- [1] F. N. d. B. d. Colombia, «Federeación Nacional de Biocomustibles de Colombia,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-32.htm>. [Último acceso: 2018].
- [2] M. L. J. M. S. S. G. P. M. G. Mithra, «Comparison of ethanol yield from pretreated lignocellulostarch biomass under fed-batch SHF or SSF modes,» *Heliyon* 4, 2018.
- [3] A. F. R. B. a. K. R. d. F. Z. Daiana G. Martinez, «Ethanol Production from Waste of Cassava Processing,» *Applied Sciences*, vol. 8, nº 11:2158, 2018.
- [4] M. S. S. M. L. J. G. P. N. S. Pooja, «Bioethanol production from microwave-assisted acid or alkali-pretreated agricultural residues of cassava using separate hydrolysis and fermentation (SHF),» *Biotech*, 2018.
- [5] M. S. G. I. F. D. G. D. E. G. R. N.-E. O. Ben Jeddou Khawlaa, «Potato peel as feedstock for bioethanol production: A comparison of acidic and enzymatic hydrolysis,» *Industrial Crops and Products*, vol. 52, pp. 144-149, 2014.
- [9] J. F. C. Vargas, AJUSTE DE UN MODELO CINÉTICO PARA EL CRECIMIENTO DE *Lactobacillus acidophilus* EN LA FERMENTACIÓN DE UN SUSTRATO COMPLEJO, Bogotá: Fundación Universidad de America, 2017.
- [12] L. R. M. Chavéz, Estudio de la producción de proteínas lignocelulíticas para la hidrólisis de trigo por el hongo *Trametes versicolor*, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2013.
- [17] J. A. S. Gonzales, "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD FERMENTATIVA" *Sacharomyces cerevisiae*, Universidad Nacional del Trujillo, 2012.

MUCHAS  
GRACIAS

