



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar DOI - REBID - Mendeley -  
 DIALNET - ROAD - ORCID

# Title: Optimización del proceso de hidrólisis enzimática utilizando bagazo de sorgo dulce deslignificado

**Authors:** Javier GUARNEROS-FLORES, Leticia LÓPEZ-ZAMORA,  
 Ma. Guadalupe AGUILAR-USCANGA

Editorial label ECORFAN: 607-8324  
 BCIE Control Number: 2016-01  
 BCIE Classification (2016): 221116-0101

Pages: 19  
 RNA: 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**

244 – 2 Itzopan Street  
 La Florida, Ecatepec Municipality  
 Mexico State, 55120 Zipcode  
 Phone: +52 | 55 6159 2296  
 Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
 E-mail: contacto@ecorfan.org  
 Facebook: ECORFAN-México S. C.  
 Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**Holdings**

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
<b>Peru</b>	Spain	Cuba	<b>Haití</b>
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

Introducción

Metodología

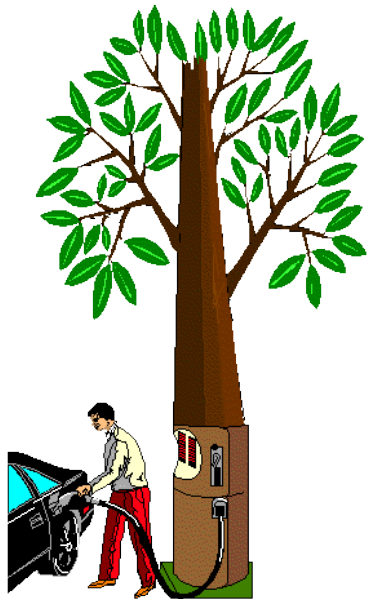
Resultados

Conclusiones

Referencias

# Introducción

Las perspectivas de agotamiento de los combustibles fósiles sumado a la demanda creciente de energía, sitúan a los biocombustibles líquidos como una alternativa energética renovable



El bioetanol constituye alrededor del 90% del biocombustible producido a escala mundial. Actualmente es de gran interés la producción de etanol a partir de fuentes renovables de materias primas ambientalmente amigables, como son los cultivos agrícolas, los residuos de cosechas forestales, y/o los desechos industriales y municipales.

# Biocombustibles segunda generación

Son combustibles producidos a través de materias primas que no son fuentes alimenticias, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía están en etapas de investigación y desarrollo.



Se pone especial énfasis, asimismo, en aquellas que no compitan con su utilización como fuente alimenticia, además de que se centra la atención en el desecho del cultivo no en la planta como tal, es decir, en la utilización de la biomasa lignocelulósica

# Sorgo dulce

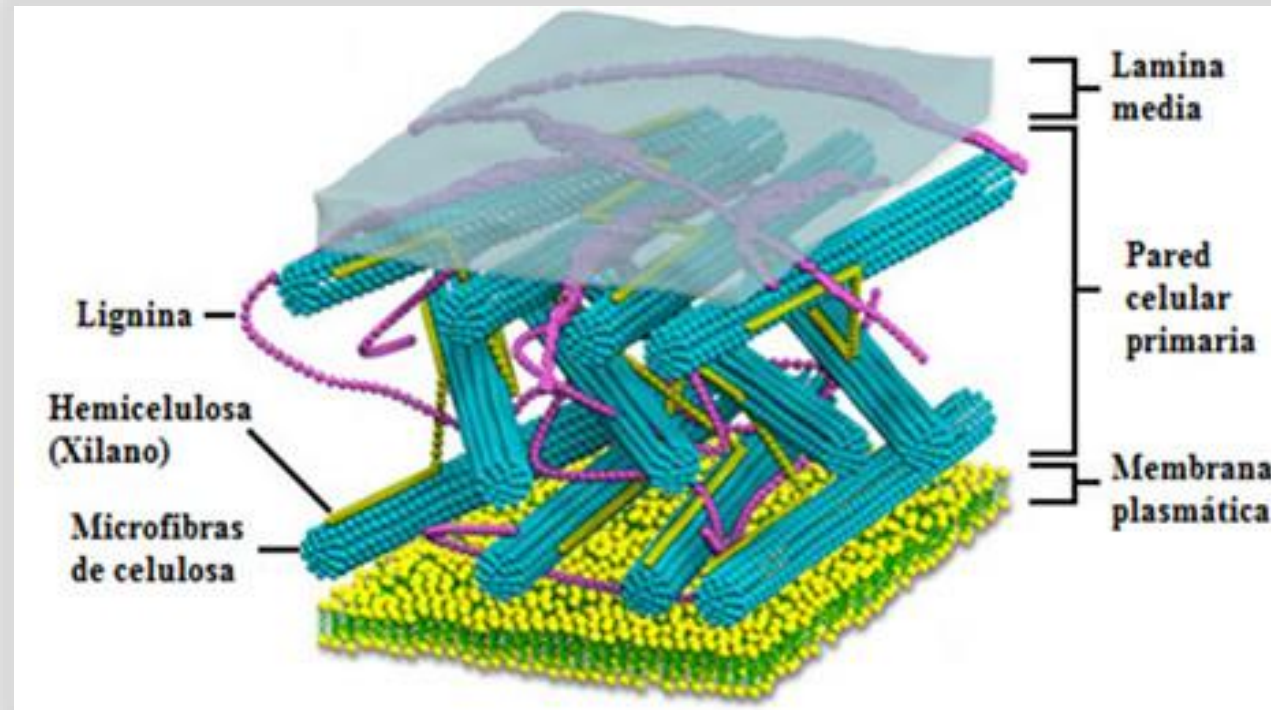
En México donde las reservas de petróleo están escaseando, es prioridad producir biocombustibles. El sorgo dulce, debido a su rápida tasa de crecimiento, su alto valor de producción de energía y su gran adaptabilidad resulta ser una excelente fuente de producción de etanol (Montes *et al.*, 2010).



- Ciclo de cultivo: 3 a 3.5 meses.
- Ciclos al año: 3 ciclos
- Precipitación: 500 a 800 mm
- Producción: 34 a 46 Ton/ha

# Biomasa Lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica (Figura 1) presenta una estructura compleja, compuesta de varias fracciones que deben ser procesadas por separado para asegurar una conversión eficiente de estos materiales a etanol.



**Figura 1.** Principales componentes de la biomasa lignocelulósica.

# Metodología





La hidrólisis enzimática del bagazo de sorgo dulce deslignificado se llevo a cabo de acuerdo al diseño de experimentos plateado en la tabla 1, con una fase liquida de 100 ml para las 15 pruebas realizadas, analizando los resultados mediante el software NCSS 2007 y comprobando los resultados mediante validaciones experimentales



# Diseño de Experimentos

Experimento	VARIABLES CODIFICADAS			VARIABLES NATURALES		
	Enzima (% p/p)	Tiempo (h)	RLS	Enzima (% p/p)	Tiempo (h)	RLS
1	-1	-1	0	4	24	7:1
2	1	-1	0	6	24	7:1
3	-1	1	0	4	72	7:1
4	1	1	0	6	72	7:1
5	-1	0	-1	4	48	5:1
6	1	0	-1	6	48	5:1
7	-1	0	1	4	48	9:1
8	1	0	1	6	48	9:1
9	0	-1	-1	5	24	5:1
10	0	1	-1	5	72	5:1
11	0	-1	1	5	24	9:1
12	0	1	1	5	72	9:1
13	0	0	0	5	48	7:1
14	0	0	0	5	48	7:1
15	0	0	0	5	48	7:1

**Tabla 1.** Diseño de experimentos Box Behnken .

# Resultados

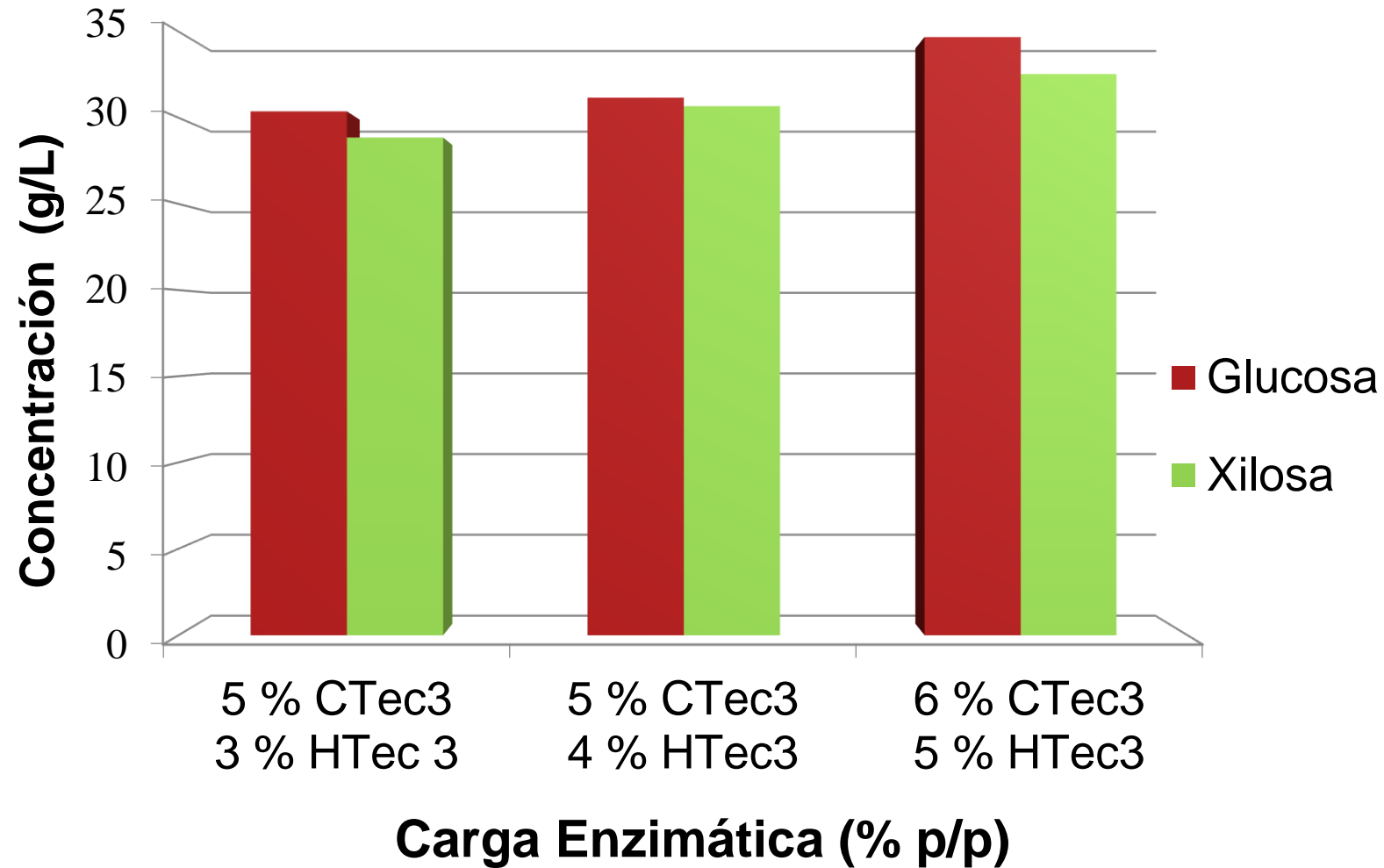
Los resultados de la composición porcentual del bagazo se muestran en la Tabla 2.

Bagazo	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Otros (%)
Crudo	39.54	29.83	22.21	8.42
Alcalino	50.07	34.56	5.33	10.04

**Tabla 2.** Contenido de fibra del bagazo de sorgo dulce en sus diferentes etapas

Se analizaron 3 diferentes combinaciones enzimáticas con la finalidad de verificar la mejor.

El Gráfico 1, muestra los resultados obtenidos a partir de las 3 diferentes combinaciones enzimáticas de CTec3 y HTec3, en donde es posible observar que en la primera combinación (3 % HTec3 - 5 % p/p CTec3) y la segunda (4 % HTec3 - 5 % p/p CTec3) únicamente existe un incremento del 6 % de xilosa, mientras que entre la primera respecto a la tercera combinación (5 % HTec3 - 6 % p/p CTec3) el incremento presentado es de 10.19 % de glucosa y 8.75 % de xilosa, sin embargo representa una mayor adición de ambas enzimas, especialmente en la hemicelulasa, motivo por el cual se declina por usar la primer combinación la cual permite disminuir el gasto de cada una de las enzimas sin que esto afecte de manera drástica las concentraciones de glucosa y xilosa obtenidas durante la hidrolisis



**Grafico 1.** Resultados de las 3 combinaciones enzimáticas.

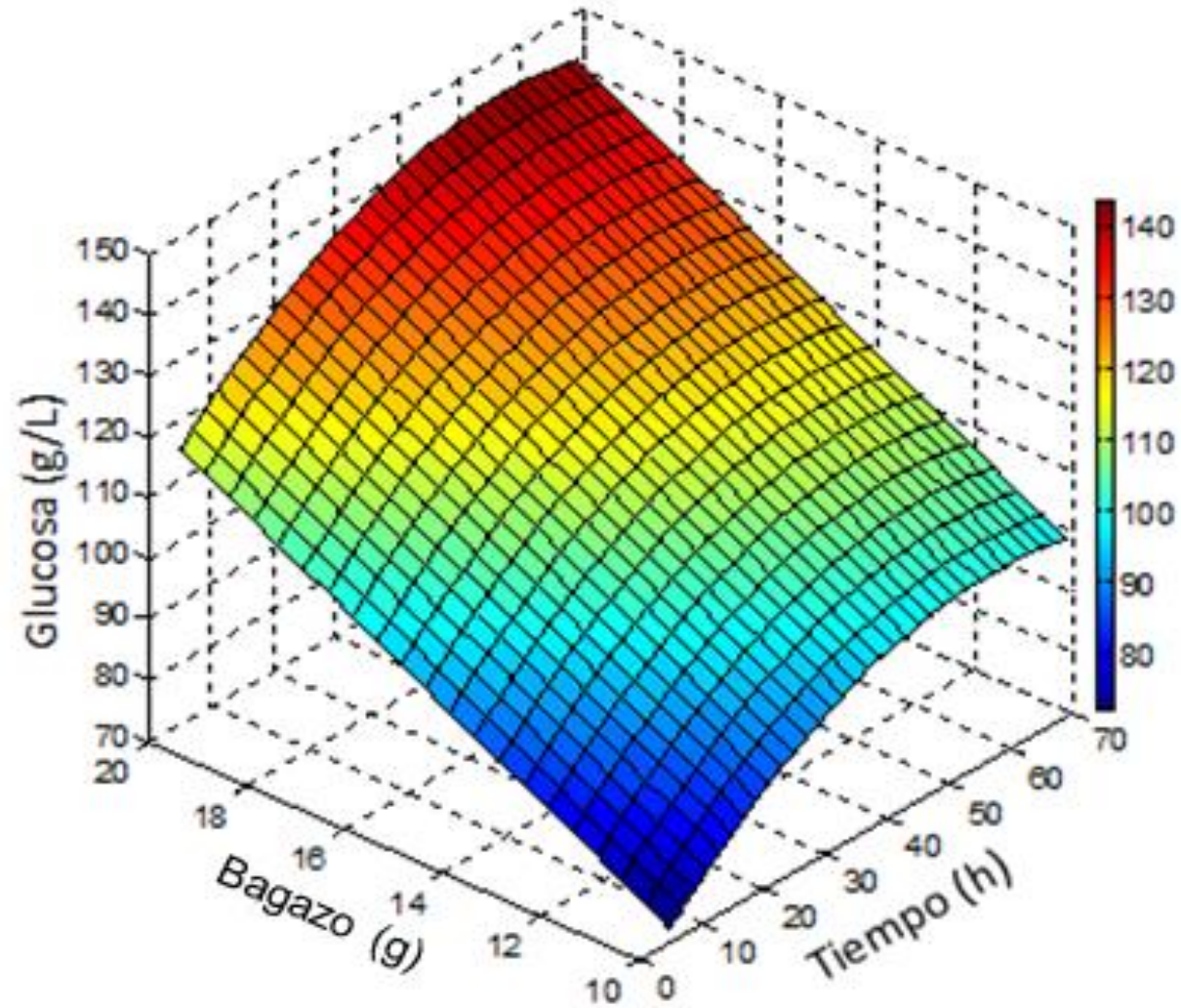
# Resultados del diseño de experimentos

Muestra	Glucosa (g/L)	Xilosa (g/L)
1	98.23	44.463
2	105.324	52.037
3	119.933	65.751
4	104.803	52.484
5	130.259	75.101
6	135.841	80.49
7	95.435	41.088
8	95.717	43.601
9	121.557	67.682
10	123.658	68.222
11	81.006	36.246
12	92.179	32.171
13	109.856	56.969
14	110.278	57.879
15	108.138	56.912

Las concentraciones de glucosa obtenidas a partir del diseño experimental se presentan en la Tabla 3 oscilando los valores entre los 81.00 y 135.84 g/L para la glucosa y 32.17 y 80.49 g/L para la xilosa generando los mejores resultados en las pruebas 5 y 6, ambas con un tiempo de reacción de 48 h, una RLS de 5:1, pero diferentes cargas enzimáticas (4-2 % y 6-4 % de CTec3-HTec3 respectivamente) generando las concentraciones más altas en ambos azúcares.

**Tabla 3.** Resultados del diseño de experimentos realizado

# Superficie de Respuesta



**Grafico 2.** Superficie de respuesta de la producción de glucosa en g/L

# Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado mediante el software NCSS 2007 generó el modelo matemático presentado en la ecuación 2, representando un ajuste del 93.21 % y una respuesta teórica de 134 g/L de glucosa, cumpliendo con las condiciones óptimas de trabajo de carga enzimática (CE) de 5 % p/p CTec3 y 3 % HTec3, tiempo de reacción (t) de 48 h y RLS de 5:1

$$\text{Glucosa}_{(\text{g/L})} = 15.117 - 31.83 * \text{CE} + 2.68 * t + 10.92 * \text{RLS} + 3.68 * \text{CE}^2 - 0.010 * t^2 - 0.25 * \text{RLS}^2 - 0.23 * \text{CE} * t + 0.42 * \text{CE} * \text{RLS} + 0.002 * t * \text{RLS}$$

# Comprobación Experimental

Las condiciones de trabajo óptimas obtenidas (tiempo, RLS y carga enzimática) fueron comprobadas de manera experimental. Las concentraciones promedio de glucosa y xilosa obtenidas se presentan en la Tabla 4.

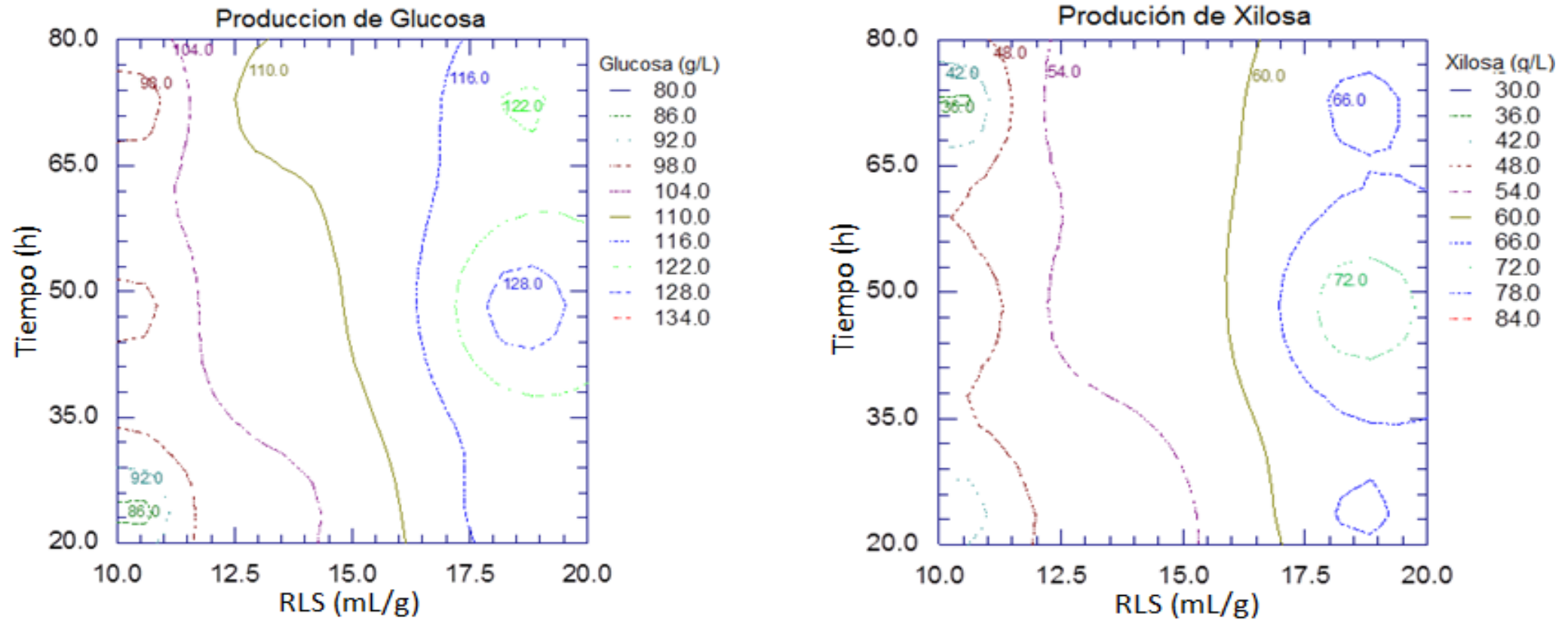
Comprobación Experimental	Glucosa (g/L)	Xilosa (g/L)
Prueba general	121.12	76.38

**Tabla 4.** Comprobación de las condiciones de trabajo optimas obtenidas.

La variable de respuesta analizada estadísticamente, fue la concentración de glucosa, sin embargo se observó una relación directa en cuanto a la concentración de xilosa generada.



# Graficas de Contornos.



**Grafico 3.** Superficies de contornos respecto a la producción de glucosa y xilosa

# Conclusiones

- Es posible considerar al bagazo de sorgo dulce como un cultivo bioenergético, al comprobarse los altos niveles de azúcares que éste contiene presentando concentraciones incluso superiores a los de la caña de azúcar y con menores requerimientos generales.
- La aplicación del pretratamiento con  $H_2O_2$  favoreció la remoción de lignina alcanzando valores de hasta el 76 % de remoción lo que deja susceptible al bagazo para un posterior ataque enzimático.
- La realización de la hidrólisis enzimática empleando dos enzimas diferentes (Cellic Ctec3 y Cellic HTec3) aplicadas simultáneamente favorecieron la producción de Glucosa y Xilosa en altas concentraciones 121.12 y 76.38 g/L respectivamente, comprobando que no es necesario aplicar un pretratamiento para eliminar la hemicelulosa y demostrando el buen desempeño de las dos enzimas utilizadas.

# Referencias

Agbor, B. V., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin D. (2011). *Biotechnology Advances*. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. 29, 675:685.

Bueno, G., Cordovezm M., & Delgado, G. (2009). Sorgo dulce: sus potencialidades productivas. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar* 18 (3) 2-15.

Cardona, A. C. A. (2009). Perspectives of biofuels production in Colombia: Latinamerican and world contexts 29 (1): 109-120.

Chen, Y., Sharma, R., & Chen, C. (2010). Potential of agricultural residues and hayfor bioethanol production. *Applied Biochemistry and Biotechnology Part A: Enzyme engieneering and biotechnology*. 142:276-290.

Chuck, H. C., Carrillo, E. P., & Serna, H. S. (2011). Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10 (3):529-549.

Guarnizo, F. A., Yépez, M. P., & Sánchez V. H. (2009). Pretratamiento de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia et Technica* (42)15.

Medina, M. M. A., Fernández, L. L., Aguilar, C. L., & De la Garza, H. (2011). Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol como carburante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 3(6), 35-41.

Montes, G. N., Quintero, P. V., López, C. M. E., & García, A. M. (2010). RB. Cañero: sorgo dulce [*sorghum bicolor (L.) Moench*] para la producción de etanol. Folleto técnico 43. ISBN: 978-607-425-355-9.

Nochebuena, M. L. E., López, Z. L., Aguilar, U. M. G., & Dominguez, G. C. X. (2012). Optimización del tratamiento oxidativo sobre la hidrólisis enzimática de bagazo de caña de azúcar empleando superficie de respuesta. *Revista Latinoamericana de Química* ISSN 0370-5943.

Viñals, V. M., García, B. A., Álvarez, M. G., & Ramil, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). 7-16.

Viveros, R. I. P., López, Z. L., & Partida, S. G. (2014). Maximization of glucose production using hydrogen peroxide as an alkaline pretreatment of sweet sorghum bagasse. *Journal of chemical, Biological and Physical Sciences*. ISSN 2249-1929 (4) 3-2



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIE is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)