



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**HIDRÓLISIS ÁCIDA DE
POLISACÁRIDOS PRESENTES EN
CEBADA Y MALTA**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

MANUEL ALEJANDRO RODRÍGUEZ GARCÍA

ASESOR:

DRA. ALMA DELIA ROMÁN GUTIÉRREZ

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO; 2010



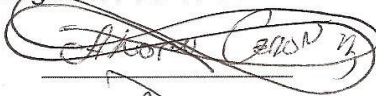
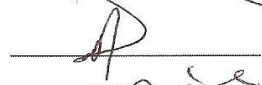




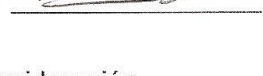


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
LICENCIATURA EN QUÍMICA EN ALIMENTOS

M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO,
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR
DE LA U.A.E.H.,
Presente:

Por este conducto le comunico que el jurado asignado al pasante de Licenciatura en Química en Alimentos **RODRÍGUEZ GARCÍA MANUEL ALEJANDRO**, quien presenta el trabajo de titulación "**HIDRÓLISIS ÁCIDA DE POLISACÁRIDOS PRESENTES EN CEBADA Y MALTA**" después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

Presidente	M. en C. Álvaro Cerón Beltrán	
Primer vocal	Dra. Alma Delia Román Gutiérrez	
Segundo vocal	Dra. Elizabeth Contreras López	
Tercer vocal	Dra. Angélica Gutiérrez Nava	
Secretario	Dr. Francisco Prieto García	
Primer suplente	Dra. Araceli Castañeda Ovando	
Segundo suplente	Q. A. Israel Oswaldo Ocampo Salinas	

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"Amor, Orden y Progreso"
Mineral de la Reforma Hidalgo, 16 de febrero de 2010.



Q. A. Israel Oswaldo Ocampo Salinas
Coordinador Adjunto de la Licenciatura
en Química en Alimentos

Ciudad Universitaria Carretera Pachuca – Tulancingo Km. 4.5 C.P. 42184
Col. Carboneras Mineral de la Reforma Hidalgo.
Tel. 017717172000 Ext. 6501 Fax ext. 6502
iocampo@uaeh.reduaeh.mx



El presente trabajo de Investigación fue realizado en el Laboratorio de Alimentos I del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo financiado por la Coordinadora Nacional de las fundaciones Produce. A. C. (COFUPRO) con la clave 42-2007-0902.

DEDICATORIAS

A mis padres por darme el apoyo para que pudiera concluir mis estudios, por estar ahí siempre que los necesito y sobre todo por darme su amor y confianza.

A mis hermanos y cuñadas por todos los consejos que me dieron, por esos ratos agradables que pasamos y por dejarme aprender de sus experiencias de vida.

A los chiquillos Isaac y Kuby por esos ratos de felicidad que me hacen pasar con sus travesuras y con sus juegos.

A mis amigos de la vida Susana, Sergio, René, Brenda, Mariana, Bertha, Tomás y Sara Ortega M. por estar ahí siempre que los necesite.

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez por permitirme ser parte de su grupo de trabajo, por asesorarme, brindarme su confianza y su paciencia para el desarrollo de este trabajo de investigación.
- ❖ A todos los miembros del jurado por el tiempo que me dedicaron durante las revisiones de este trabajo.
- ❖ A todos los profesores que sirvieron para mi formación académica.
- ❖ A la técnico laboratorista Yolanda por el préstamo y asesoramiento para la utilización del espectrofotómetro UV-Vis.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
Dedicatorias	I
Agradecimientos	II
Índice general	III
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VI
Índice de gráficos	VII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1 Origen de la cebada	2
2.2 Taxonomía y morfología de grano cebada	2
2.3 Composición química del grano de cebada	4
2.3.1 Carbohidratos	4
2.3.2 Proteínas	8
2.3.3 Lípidos	9
2.3.4 Minerales	10
2.3.5 Otros constituyentes del grano de cebada	10
2.4 Malteado de cebada	11
2.4.1 Bioquímica del malteado	13
2.5 Hidrólisis ácida de polisacáridos de cebada	14
2.5.1 Hidrólisis ácida de almidón	15
2.5.2 Hidrólisis ácida de la celulosa	22
2.5.3 Hidrólisis ácida de la hemicelulosa	24
2.7 Azúcares reductores	26
3 Objetivos	28
3.1 Objetivo general	28
3.2 Objetivos específicos	28
4 Materiales y métodos	29
4.1 Materia prima	29

4.2 Calidad física de la cebada	29
4.3 Obtención de harinas de cebada y malta y cascarillas	29
4.4 Caracterización fisicoquímica de harinas y cascarillas de cebada y malta	31
4.5 Hidrólisis ácida de polisacáridos de cebada	31
4.5.1 Determinación de azúcares reductores	32
4.6 Análisis estadísticos	33
5 Resultados y discusiones	34
5.1 Calidad física de la cebada	34
5.2 Rendimiento del descascarillado y de la molienda	35
5.3 Caracterización fisicoquímica de harinas, cascarillas de cebada y malta	35
5.4 Cinética de hidrólisis ácida de los polisacáridos de cebada	36
6 Conclusiones	58
7 Perspectivas	60
8 Anexo	61
8.1 Resultados de cinética de hidrólisis ácida de polisacáridos de cebada	61
9 Bibliografía	79

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Estructura del grano de cebada	3
2. Estructura química de la celulosa	5
3. Estructura química de monosacáridos y ácidos urónicos de hemicelulosa	6
4. Estructura química de la amilosa	7
5. Estructura química de la amilopectina	8
6. Grano de cebada en germinación	12
7. Reacción de hidrólisis ácida en la fracción de amiloasa	16
8. Primera fase en la hidrólisis ácida de la amilopectina	17
9. Segunda fase en la hidrólisis ácida de la amilopectina	19
10. Estructura química de la maltosa	19
11. Hidrólisis ácida de la celulosa	23
12. Estructura química de la celobiosa	23
13. Estructura química del xilitol	25
14. Estructura química del furfural	26
15. Grupo hemiacetal en una molécula de glucosa	27

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
1. Composición química del grano de cebada en base seca	4
2. Principales aminoácidos presentes en la cebada	9
3. Ácidos grasos presentes en la cebada	10
4. Principales minerales presentes en la cebada	10
5.- tratamientos realizados a la cebada	32
6. Análisis físico y selectivo de la cebada	34
7. Rendimiento de descascarillado y molienda cebada y malta	35
8. Composición química de cebada y malta	35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA
1. Hidrólisis ácida a diferentes concentraciones del grano integral	37
2. Hidrólisis ácida del grano integral remojado en ácido sulfúrico	39
3. Hidrólisis ácida del grano descascarillado en ácido sulfúrico	41
4. Hidrólisis del grano descascarillado y remojado en ácido sulfúrico	42
5. Hidrólisis ácida de malta integral	45
6. Hidrólisis ácida de malta Integral remojada en ácido sulfúrico	46
7. Hidrólisis ácida de malta descascarillada	48
8. Hidrólisis ácida de malta descascarillada y remojada	49
9. Hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada	51
10. Hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada remojada en ácido sulfúrico	53
11. Cascarilla de malta sometida a hidrólisis ácida	54
12. Hidrólisis de cascarilla de malta remojada en ácido sulfúrico	56

RESUMEN

El grano de cebada es un cereal muy rico en polisacáridos como almidón y hemicelulosa los cuales pueden ser hidrolizados para obtener glucosa y la xilosa.

En el presente proyecto, se realizó la hidrólisis ácida de dichos polisacáridos aplicando diversos factores para optimizar el proceso y obtener los mejores rendimientos en un menor tiempo.

Para lograrlo, el grano de cebada fue utilizado como tal y también se utilizó convertido en malta, dichos granos fueron molidos enteros y molidos descascarillados, también se utilizaron las cascarillas obtenidas. Estos fueron sometidos a hidrólisis ácida utilizando diferentes concentraciones de ácido sulfúrico 0.25, 0.5 y 1.0% (m/v), diferentes rangos de temperatura de 60 a 130°C en intervalos de 10°C y se siguió una cinética hasta los 360 minutos tomando una muestra de 1mL del hidrolizado cada hora para medir los azúcares reductores. Todas las muestras se tomaron por triplicado, se les obtuvo una media y se les realizó un análisis de varianza simple para buscar diferencias significativas con un intervalo de confianza del 0.05%.

Como resultados se pudo observar que para el grano de cebada el mejor tratamiento fue el de malta molida entera y remojada por 3 días en solución de ácido sulfúrico al 1% (m/v) obtuvo un porcentaje de hidrólisis del 62.38% aplicándole una temperatura de hidrólisis de 100°C con un tiempo de 180 minutos.

Para harina, se obtuvo el mejor resultado con malta descascarillada molida y remojada por 3 días en solución de ácido sulfúrico del 1% (m/v), se alcanzó un porcentaje de hidrólisis del 60.48% a los 240 minutos con una temperatura de 100°C.

Para cascarilla de cebada se pudo observar que con el tratamiento de cascarilla de malta remojada por 3 días en solución de ácido sulfúrico al 1% (m/v) se obtuvo un porcentaje de hidrólisis del 81.09% aplicándole una temperatura de 100° C con un tiempo de 180 minutos.

1. INTRODUCCIÓN

La cebada es un cereal utilizado principalmente en la industria cervecera. El estado de Hidalgo ocupó en el 2008 el segundo lugar a nivel nacional en su producción, pero se considera que del 30 al 40% de la producción total es rechazada por sus características dentro de la industria cervecera por lo que se destina a la alimentación de ganado (SAGARPA, 2008).

Por su constitución química, el grano de cebada es muy rico en polisacáridos como el almidón y la hemicelulosa de los cuales mediante hidrólisis es posible obtener derivados muy atractivos para diversas industrias como son la glucosa y la xilosa.

La hidrólisis de polisacáridos involucra reacciones químicas, las cuales consisten en romper los azúcares complejos en azúcares más sencillos. Existen 2 tipos de hidrólisis: la química (puede ser ácida o básica) y la enzimática (se emplean enzimas sintetizadas principalmente por microorganismos y hongos)

En este proyecto se buscó desarrollar condiciones que permitieran obtener el mayor porcentaje de hidrólisis de los polisacáridos presentes en el grano de cebada, malta y así como en sus cascarillas mediante hidrólisis ácida, aplicando diversos tratamientos al grano y sometiéndolo a diversos factores de temperatura y tiempo.

2. Antecedentes

2.1 Origen de la cebada

El cultivo de la cebada se conoce desde tiempos remotos y procede de dos centros de origen situados uno en el Sudeste de Asia en las altiplanicies de China, Nepal e India y el otro en África septentrional con límite occidental en Marruecos. Se cree que fue una de las primeras plantas domesticadas al comienzo de la agricultura (Shewry, 1992; Molina, 1989). En excavaciones arqueológicas realizadas en el valle del Nilo se descubrieron restos de cebada, de cerca de 15,000 años de antigüedad y en localidad de Jarmo, al Este de Irak, se han encontrado granos de cebada carbonizados, de hace más de seis mil años, dicho poblado es el más antiguo hasta ahora descubierto y puede que fuera uno de los lugares donde naciera la agricultura (Rodríguez, 2006).

2.2 Taxonomía y morfología de grano cebada

La cebada es una planta monocotiledónea anual perteneciente a la familia de las gramíneas (*Gramineae*), pertenece a la especie *Hordeum vulgare L.*; está representada principalmente por 2 subespecies cultivadas que difieren entre otros caracteres, en el número de filas de granos que se presentan en la espiga: las de 2 carreras o de 2 filas de granos pertenecen a *Hordeum Vulgare L. Convar. Distichon* y la de 6 carreras o de 6 filas de granos a la de *Hordeum Vulgare L. Convar. Vulgare* o más comúnmente *Hordeum Vulgare ssp. Hexastichon* (Osca, 1992).

El grano de cebada tiene forma de huso afilado en las puntas (figura 1), con un surco poco profundo a lo largo de su cara ventral. Es normalmente de color amarillo pálido, y está ligeramente estampado con arrugas. Está compuesto esencialmente de unas capas secas y duras de naturaleza lignocelulósica, su función es la de proteger al grano en desarrollo y maduro, contra agentes externos como insectos, hongos y humedad. Estas capas son estructuras florales en forma de hoja que encierra a las cariósides del cereal y se denominan glumillas (lema y

palea). La glumilla inferior se prolonga en una larga arista o barba. Al madurar el grano, las glumillas quedan fuertemente unidas a la cariósida (Hough, 1990).

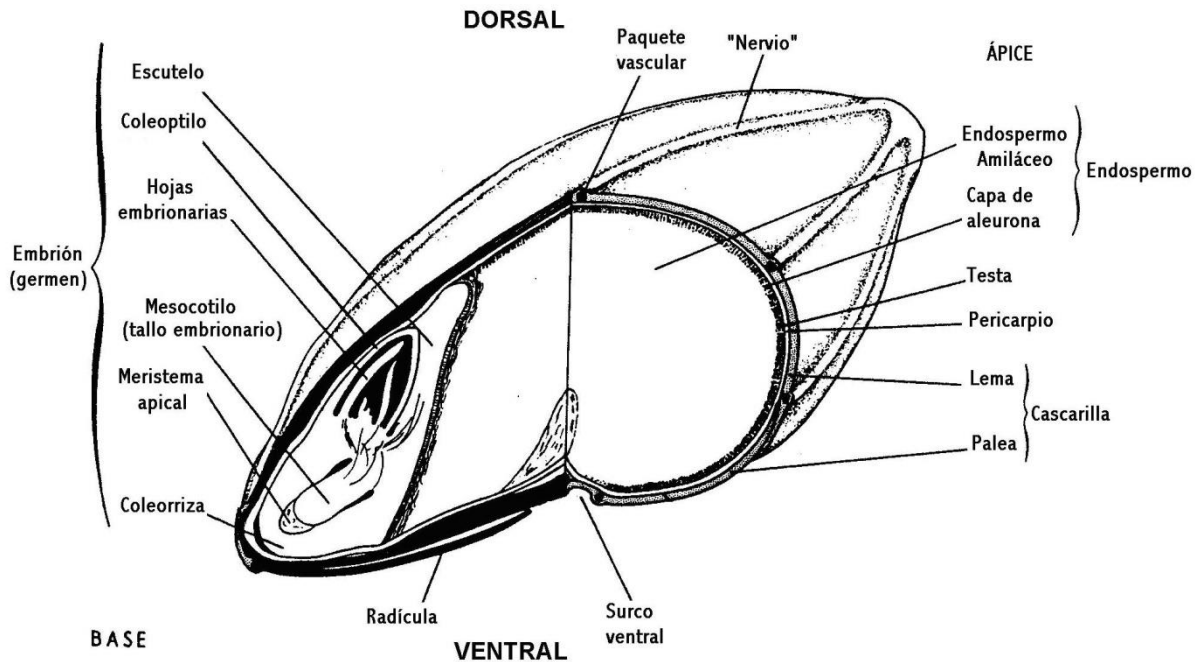


Figura 1. Estructura del grano de cebada

Fuente: http://www.plantprotection.hu/modulok/spanyol/barley/morf01_bar.htm (enero 2008)

Las cubiertas más externas forman el pericarpio, que a su vez se subdivide en epicarpio el cual está protegido por cutículas y vellosidades y el mesocarpio formado por células tubulares. La función principal del pericarpio es la de proteger al grano contra agentes bióticos externos, impedir la pérdida de humedad, conducir y distribuir el agua y otros nutrientes durante la germinación.

El pericarpio protege a la semilla, formada por el endospermo y el germen. El endospermo es la parte más desarrollada del grano donde se acumulan las sustancias de reserva, las cuales servirán para el desarrollo de la planta. La capa más externa del endospermo, de naturaleza proteica, es denominada capa de aleurona, la cual está compuesta por 2 o 4 estratos. Esta capa tiene un papel muy importante durante la germinación ya que sintetiza enzimas indispensables para poder lograr desdoblar el almidón que se encuentra en el endospermo.

El germen se encuentra encerrado en una membrana protectora, contiene el embrión y el escutelo, siendo este último el cotiledón de los cereales. El axis o

eje embrionario resulta de la diferenciación del embrión y está formado por la radícula y la plúmula, que formarán las raíces y la parte vegetativa de la planta respectivamente (Osca, 1992).

2.3 Composición química del grano de cebada

En general, la cebada presenta la composición química media, mostrada en la tabla 1, en base seca. El contenido de humedad oscila entre el 10 a 14%.

Tabla 1: Composición química del grano de cebada en base seca

Nutriente	Contenido %
Carbohidratos	70-80
De los cuales:	
Almidón	50-63
Celulosa	4.0-5.0
Hemicelulosa y lignina	10-15
Otros azúcares	1.8-2.0
Proteínas	10.5-14.5
Lípidos	1.5-3.0
Minerales	2.0-4.0

Fuente: Callejo, 2002, Tscheuschner, 2001

2.3.1 Carbohidratos

Los carbohidratos provenientes del reino vegetal se originan como producto de la fotosíntesis en la cual el CO₂ reacciona con agua para formar glucosa; luego se combinan miles de unidades de glucosa sintetizada para generar moléculas mucho mas grandes como la celulosa, que sirve de material de soporte para la planta, y el almidón, que se almacena en las semillas donde sirve como alimento de reserva para el desarrollo de un vegetal nuevo (Badui, 2005).

Los carbohidratos que dan resultados positivos con las soluciones de Tollens, DNS, Benedict ó Fehling se conocen como azúcares reductores, y todos los carbohidratos que contienen un grupo hemiacetal o hemicetal dan pruebas positivas. Los carbohidratos que solo contienen grupos acetal o cetal no dan

pruebas positivas con estas soluciones y se llaman azúcares no reductores (Fox y Whitesell, 2000).

Los carbohidratos de origen vegetal se pueden dividir en 2 grupos, los carbohidratos estructurales y los no estructurales.

2.3.1.1 Carbohidratos estructurales

Dentro de este grupo se encuentra la celulosa y la hemicelulosa, las cuales se localizan exclusivamente en la cascarilla del grano.

a) **Celulosa:** Es insoluble en agua, insípido y es un carbohidrato no reductor. Tiene la fórmula química $(C_6H_{10}O_5)_n$. Está constituida por cadenas no ramificadas de unidades de D-glucosa (alrededor de 1500 unidades por molécula), cada una de ellas unidas por enlaces glucosídicos β -1,4 (figura 2), dichos enlaces favorecen la formación de puentes de Hidrógeno intramoleculares. En consecuencia, tales moléculas se ordenan en conjuntos lineales que se mantienen unidos por puentes de Hidrógeno intermoleculares entre cadenas adyacentes. Estos grandes agregados determinan que la celulosa sea insoluble en agua (Bruice, 2007).

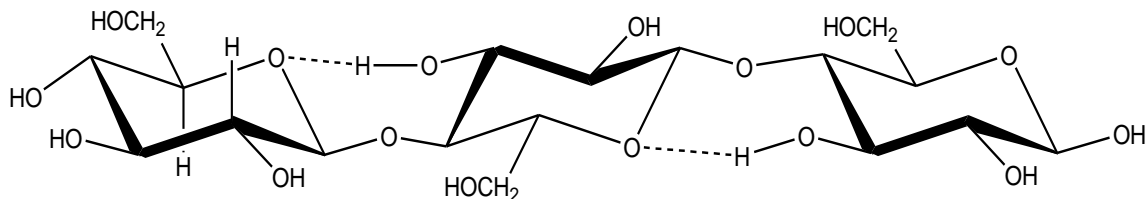


Figura 2. Estructura química de la celulosa.

Fuente: Bruice, 2007

b) **Hemicelulosa:** Las hemicelulosas o poliosas son heteropolisacáridos de gran abundancia en el reino vegetal y en las plantas superiores lignificadas y se encuentran formando una rígida matriz en las paredes de las células del endospermo (Bender, 1994). Se encuentra constituida por diferentes unidades de monosacáridos: pentosas, hexosas y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glucosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas. Algunas hemicelulosas contienen adicionalmente ácidos urónicos (Tanner y

Loewus, 1981). Las pentosas, hexosas y ácidos urónicos que conforman a la hemicelulosa se muestran en la figura 3.

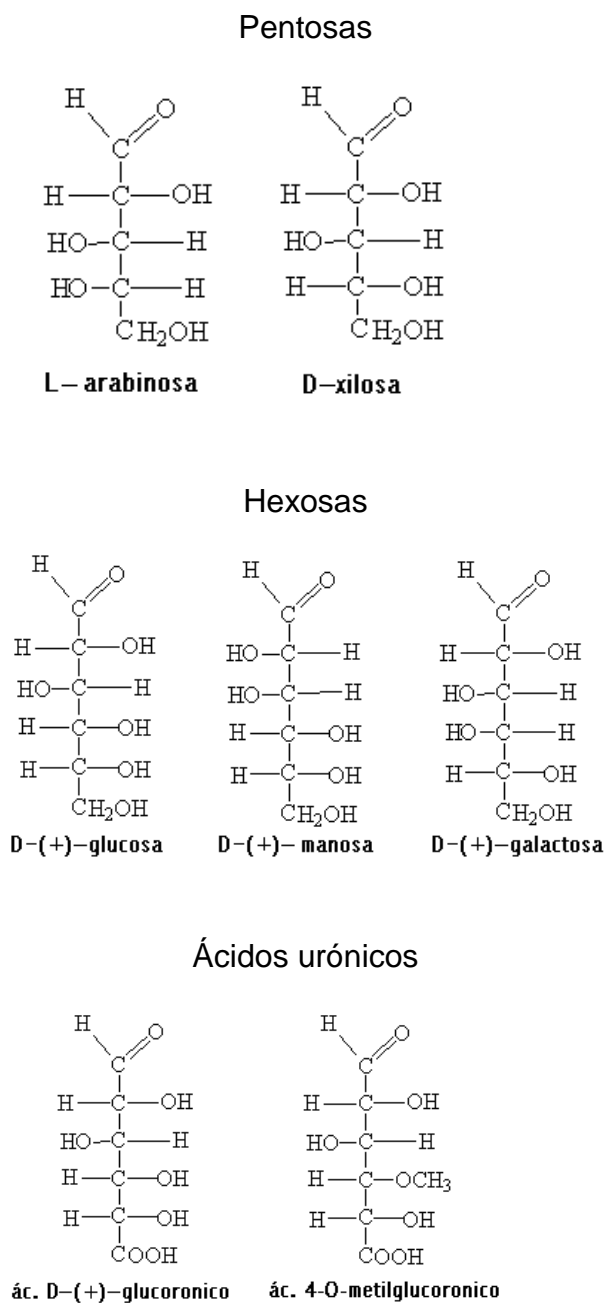


Figura 3. Estructura química de monosacáridos y ácidos urónicos de hemicelulosa

2.3.1.2 Carbohidratos no estructurales

Los carbohidratos de este grupo se encuentran principalmente en el endospermo del grano, aunque también se pueden encontrar pequeñas cantidades en el embrión y en la capa de aleurona.

Almidón: se encuentra en forma de gránulos y tiene el tamaño y forma característica de la planta de la cual se obtiene. Químicamente es un polímero de glucosa, el cual está constituido alrededor del 20% por una fracción soluble en agua llamada amilosa y un 80% de una insoluble conocida como amilopectina (Coultrate, 1998).

a) Amilosa: está constituida por largas cadenas, cada una de las cuales contiene 1000 o más unidades de D-(+)-glucosa cada una de ellas unida a la siguiente mediante un enlace glucosídico α -(1-4). La cadena no se ramifica y se halla enrollada en forma de espiral (figura 6).

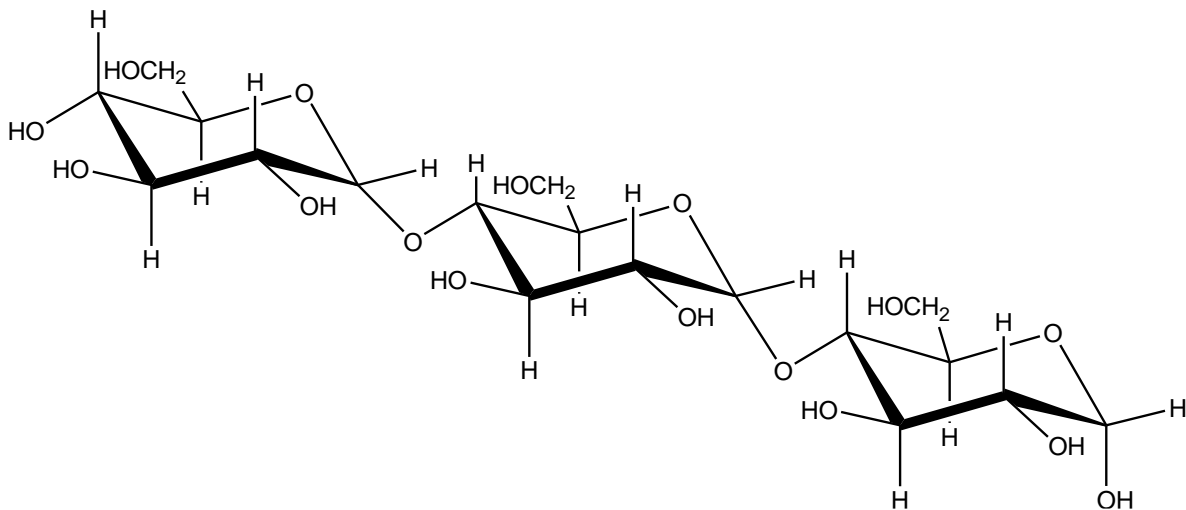


Figura 4. Estructura química de la amilosa

Fuente: Morrison y Boyd, 1998

b) Amilopectina: está constituida al igual que la amilosa, por cadenas de unidades de D-glucosa unidas mediante un enlace glucosídico α (1-4). Sin embargo su estructura es más compleja ya que la amilopectina es muy ramificada formada por varios centenares de cadenas cortas de unos 20 a 25 unidades de D-

glucosa cada una. El extremo de cada una de estas cadenas se une mediante un enlace α (1-6) de la siguiente cadena (figura 7) (Morrison y Boyd, 1998).

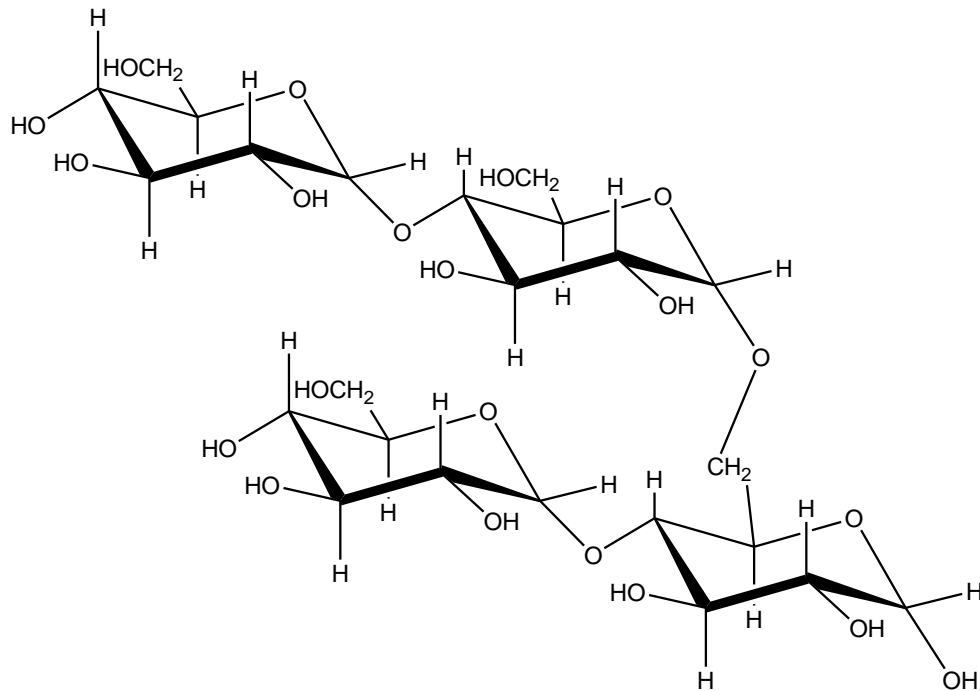


Figura 5. Estructura química de la amilopectina.

Fuente: Morrison y Boyd, 1998

2.3.1.3 Otros carbohidratos no estructurales

En el endospermo se encuentran en muy bajas concentraciones carbohidratos simples como glucosa y fructosa. La maltosa se encuentra en bajas concentraciones en las regiones adyacentes del endospermo, en el embrión y la capa de aleurona. Durante el desarrollo de la cebada, la galactosa y manosa se presentan en pequeñas cantidades y la rafinosa se puede encontrar en el embrión (McGregor y Batí, 1996).

2.3.2 Proteínas

Las proteínas se encuentran distribuidas por todos los tejidos del grano, encontrándose en mayor concentración en el germen y en la capa de aleurona que en el endospermo y el pericarpio. Dentro del endospermo su concentración aumenta desde el centro hacia la periferia (Bellido, 1991).

En la tabla numero 2 se muestra los principales aminoácidos presentes en la cebada así como su composición en mg/100g de materia seca.

Tabla 2: Principales aminoácidos presentes en la cebada
(mg/100g de materia seca)

Arginina	560
Histidina	210
Isoleucina	460
Leucina	800
Lisina	380
Metionina	180
Fenilalanina	590
Treonina	430
Triptofano	150
Tirosina	390
Valina	580

Fuente: Sauci y col, 1999

En la cebada existen 4 fracciones proteicas importantes dependiendo a su solubilidad (McGregor y Batí, 1996):

- Hordeína: alcanza hasta un 36% de la proteína total y es soluble en etanol al 70%.
- Globulina: constituye alrededor de un 31% de la proteína total y es soluble en cloruro de sodio diluido.
- Glutelina: es soluble en hidróxido de sodio y constituye alrededor de un 29% de la proteína total.
- Albumina: es una proteína soluble en agua caliente y en soluciones salinas diluidas, supone alrededor del 4% del contenido total de proteína

2.3.3 Lípidos

Los lípidos se concentran principalmente en el embrión y en la capa de aleurona (Tscheuschner, 2001), los ácidos grasos constituyentes predominantes se muestran en la tabla numero 3 así como su composición en mg/100g de materia seca.

Tabla 3: Ácidos grasos presentes en la cebada (mg/100g de materia seca)

Ácido palmitito	450
Ácido esteárico	40
Ácido oleico	230
Ácido linoleico	1150
Ácido linolénico	110

Fuente: Sauci y col, 1999

2.3.4 Minerales

La concentración mineral en el grano de cebada es superior en la cáscara que a la del resto del grano, aunque también los hay en buena cantidad en la capa de aleurona. En la tabla 4 se muestran los principales minerales encontrados en la cebada así como su composición en mg/100g de materia seca.

Tabla 4: Principales minerales presentes en la cebada (mg/100g de materia seca)

Sodio	18	Cinc	3.1
Potasio	445	Fósforo	340
Magnesio	115	Cloro	25
Calcio	40	Flúor	0.12
Manganeso	1.650	Yodo	0.007
Hierro	2.8	Cobre	0.03

Fuente: Sauci y col, 1999

2.3.5 Otros constituyentes del grano de cebada

Vitaminas: la cebada posee vitaminas del complejo B, las cuales se distribuyen en el embrión y la capa de aleurona (McGregor y Batí, 1996).

Lignina: La lignina es una macromolécula componente de la pared celular de las plantas superiores, es de naturaleza polímera especial, formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes parahidroxicinámicos (alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico), presentan en su estructura grupos hidroxilos, carbonilos, metoxilos y carboxilos. Las ligninas son extremadamente complejas y difíciles de caracterizar. Constituyen un polímero aromático, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida

definidamente. Poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de la planta (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén (Allinger y col, 1983)

2.4 Malteado de cebada

El Malteado es un proceso aplicado a los granos de cebada, en el cual dichos granos se hacen germinar de forma controlada con el fin de sintetizar y movilizar enzimas para liberar gránulos de almidón del endospermo y convertirlos en azúcares sencillos, finalmente son secados rápidamente tras el desarrollo de la planta. La malta se usa para fabricar cerveza, whisky y vinagre de malta (Starr, 1997).

El malteado consta de las siguientes etapas:

Selección y limpieza: es una actividad cualitativa que se realiza en base a propiedades organolépticas de la cebada y consiste en comprobar si el grano posee un tamaño uniforme, si esta libre de materias extrañas (otras semillas, heces de roedores, piedras, etc.), si contiene granos rotos, vanos, inmaduros, chupados o verdes que puedan existir.

Remojo: es una fase crítica del malteado debido a que el remojo depende en gran medida de la capacidad de germinación del grano; consiste en suministrar agua al interior del grano con el objetivo de incrementar su humedad hasta un 45% (Starr, 1997).

Conforme avanza el tiempo de remojo, la semilla de cebada incrementa su tamaño hasta un 25% y ocurre un ablandamiento de las células, así como la activación de enzimas presentes en la cebada para iniciar el proceso de germinación.

El remojo consta de 2 fases importantes: los periodos de inmersión (suministro constante de agua) y los periodos de oxigenación (suministro de oxígeno). El oxígeno es necesario porque la respiración del embrión aumenta significativamente lo que crea una demanda importante de este gas en el agua de remojo (French y McReur, 1990), además es promotor de la formación de α -amilasa. Tradicionalmente, el remojo de la cebada se realiza por inmersión del grano en el agua con descansos de aire o suministros de oxígeno. Al final de la

fase de remojo, el agua utilizada se elimina y se continúa con la fase de germinación (McGregor y Batí, 1996).

Germinación: durante la germinación ocurren cambios significativos en la composición química y estructural del grano, en preparación para producir la energía requerida para el crecimiento y desarrollo del embrión en una nueva planta; se generan nutrientes, principalmente azúcares y aminoácidos mediante la modificación del endospermo, la cual ocurre por el desarrollo, distribución y acción de enzimas (α y β -amilasas, proteasas, arabinoxilasas y β - glucanasas). La germinación del grano es controlada mediante la estabilización de la humedad de la muestra (la cual debe mantenerse alrededor de 42%), suministro de oxígeno, eliminación de CO_2 y del exceso de calor generado por la semilla (Castañe y Damm, 1997). La actividad enzimática se manifiesta por la aparición externa de raicillas en un extremo y el avance por debajo de la cáscara del cotiledón (figura 8).

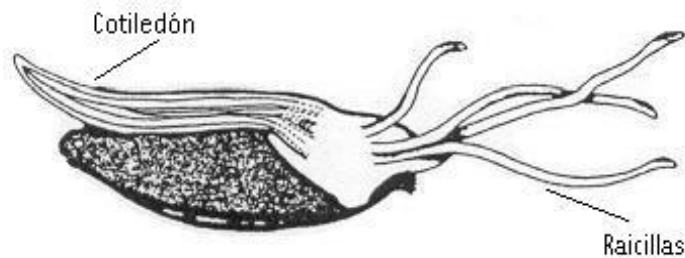


Figura 6. Grano de cebada en germinación.

Fuente: Briggs, 1981

La germinación se detiene cuando las raicillas tienen un tamaño de 2 veces la longitud del grano y cuando el cotiledón tiene $2/3$ de la longitud del grano (Callejo, 2002).

Secado: consiste en la aplicación de calor ($30\text{-}55^\circ\text{C}$) a la cebada después de que ha culminado la fase de germinación con el objetivo de detener la germinación y reducir la humedad hasta 2-5%, con ello se logra mantener la estabilidad de la malta durante el periodo de almacenamiento así como detener la actividad enzimática sin destruir las enzimas (McGregor y Batí, 1996).

2.4.1 Bioquímica del malteado

El mecanismo de germinación empieza cuando la semilla se expone a factores favorables, como son la presencia de agua, la disponibilidad de oxígeno y temperatura, que propician la síntesis de hormonas seguida por la generación de enzimas degradadoras de los tejidos de reserva en el endospermo y en el escutelo (Matz, 1972).

En el embrión, primeramente se producen las hormonas que están involucradas en el metabolismo de la germinación del grano, las giberelinas y el ácido giberélico, que inducen a la aleurona a sintetizar α -amilasa (Serna, 2001).

Para permitir la difusión de las enzimas hidrolíticas y la movilización de las reservas es necesario un proceso de modificación que produzca la degradación de las paredes celulares del endospermo que contiene el almidón y las proteínas de reserva. El β -glucano supone un 75% de la pared celular junto con un 15% de arabinoxilano, un 5% de protevna y un 3% de glucomanano (Kent y Evers, 1994).

Los β -glucanos se hidrolizan por la acción de las enzimas β -glucano solubilasa (endo- (1-3)- β -glucanasa y endo-(1-3:1-4)- β -glucanasa). La cebada en germinación contiene 3 grupos de endopeptidasa (proteinasas) y 3 grupos de exopeptidasas (peptidasas). La actividad endopeptidasica aumenta unas 20 veces durante la germinación y al mismo tiempo desaparecen los inhibidores. Aproximadamente el 66% de las proteínas de reserva del endospermo se encuentran en el endospermo amiláceo, particularmente en el tejido subyacente a la capa de aleurona. El resto se localiza en la capa de células vivas de la aleurona en forma de inclusiones proteicas. En el escutelo se observan también este tipo de inclusiones. La movilización de la proteína en la germinación se inicia con la degradación de las inclusiones proteicas tanto de la capa de aleurona como del escutelo. Los aminoácidos y péptidos liberados pasan al citosol, donde los péptidos son hidrolizados por las exopeptidasas neutras y/o alcalinas. Los aminoácidos están involucrados en la nueva síntesis de enzimas que posteriormente serán los responsables de la actividad hidrolítica en el endospermo amiláceo (Briggs, 1981).

La hidrólisis de las proteínas del endospermo amiláceo parece estar iniciada por las endopeptidasas ácidas. Probablemente, las enzimas son secretadas en primer lugar por el escutelo y a continuación tiene lugar una síntesis en la capa de la aleurona bajo el estímulo de las giberelinas. Los péptidos producidos son, a su vez, hidrolizados por las carboxipeptidasas. Esta reacción no sigue hasta el final, sino que se forma una mezcla de aminoácidos libres y de pequeños péptidos. La etapa final de la movilización de las proteínas conlleva a la captación de aminoácidos por el escutelo en donde los péptidos restantes son hidrolizados por las exopeptidasa neutras y/o alcalinas (Varnam y Sutherland, 1997).

Una vez degradadas las paredes celulares del endospermo, pueden ahora actuar las enzimas amilolíticas. La cebada en germinación tiene varias enzimas amilolíticas de las que la α - y β -amilasas son las que revisten la mayor importancia. Las α -amilasas son endoenzimas dependientes de calcio que catalizan la hidrólisis de los enlaces glicosídicos α - (1-4) en la región central de la cadena, dejando al azúcar Terminal en configuración α . Los productos de bajo peso molecular obtenidos son maltosa, maltotriosa y cantidades relativamente pequeñas de glucosa. Las β -amilasas son exoenzimas que catalizan la hidrólisis del penúltimo enlace glucosídico del extremo no reductor de las cadenas de los α -glucanos (Serna, 2001).

Además de las amilasas, el grano en germinación contiene, al menos 2 enzimas desramificadoras, puluanasas, que catalizan la hidrólisis de los enlaces glicosídicos α -(1-6) de la amilopectina y de las dextrinas límite con la liberación de maltotriosa. La maltosa se hidroliza a glucosa mediante la acción de la α -glucosidasa (maltasa) (Varnam y Sutherland, 1997).

2.5 Hidrólisis ácida de polisacáridos de cebada

El porcentaje de hidrólisis así como la velocidad de este proceso dependen de muchos factores como son, del pH y concentración del ácido, de la temperatura de reacción aplicada, de la concentración de biomasa, tipo de materia orgánica y del tamaño de partícula (Sánchez y Cardona, 2005).

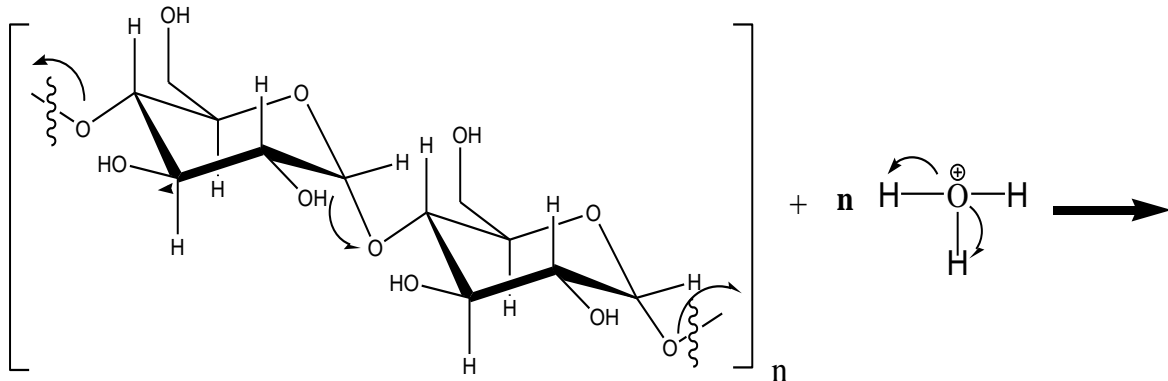
Los polisacáridos que se pueden encontrar en la cebada son el almidón, la celulosa y la hemicelulosa

2.5.1 Hidrólisis ácida de almidón

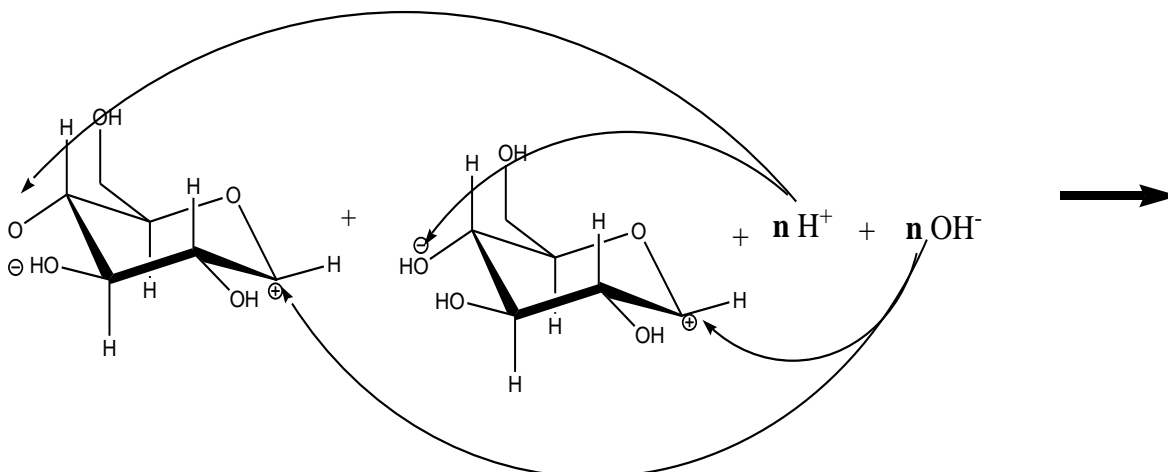
Por tratamiento con ácido, los componentes del almidón se hidrolizan lentamente, dando sucesivamente dextrina, maltosa y finalmente D-(+)-glucosa.

La fracción de amilosa, por hidrólisis ácida, da D-(+)-glucosa como único monosacárido. La reacción de hidrólisis ácida de amilosa, así como su mecanismo se muestra en la figura 9.

HIDRÓLISIS ÁCIDA EN LA FRACCIÓN DE AMILOSA



ROMPI MIENTO DEL ENLACE GLUCOSÍDICO



REORDENAMIENTO MOLECULAR

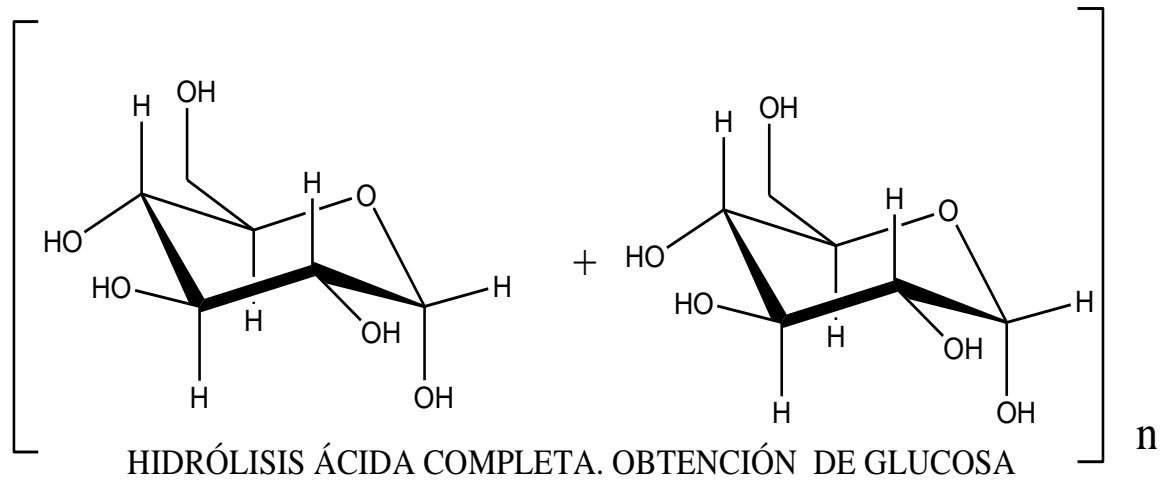
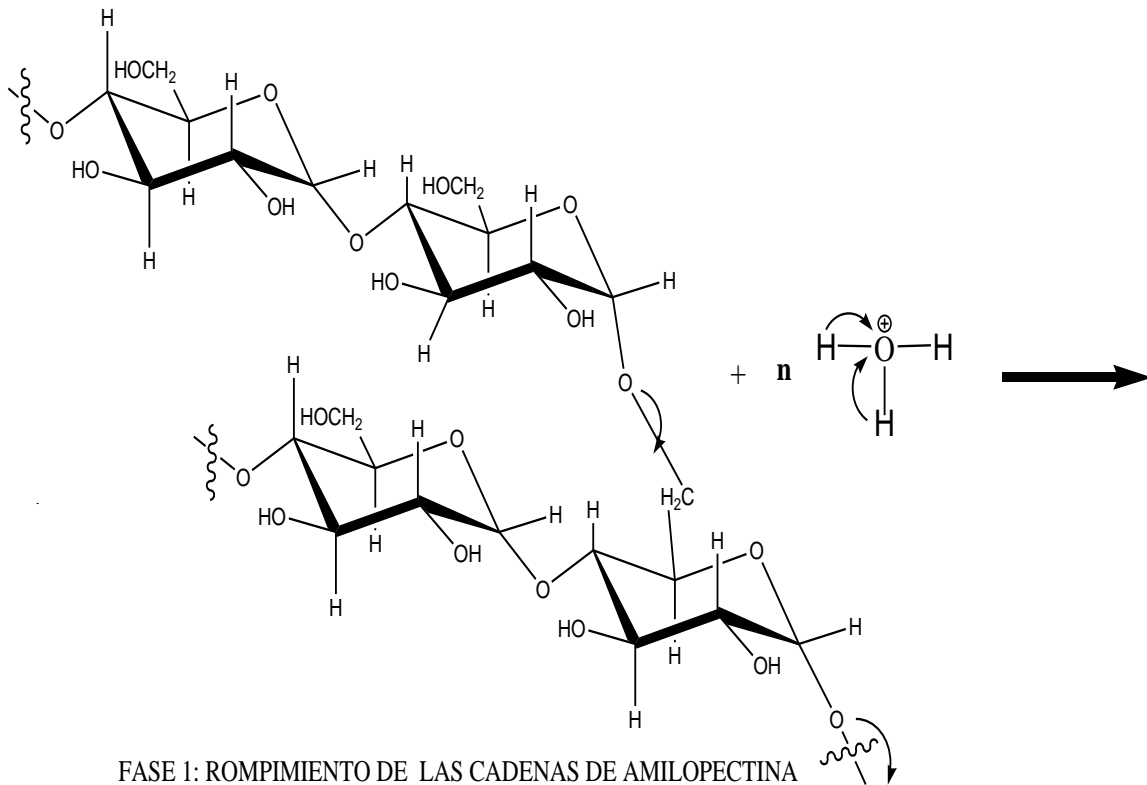
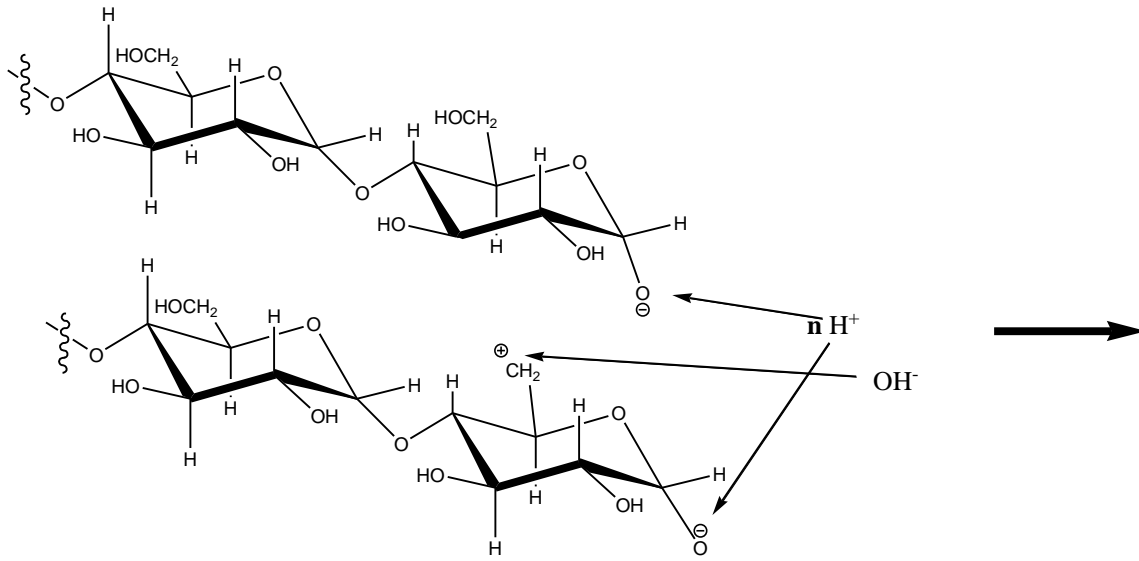


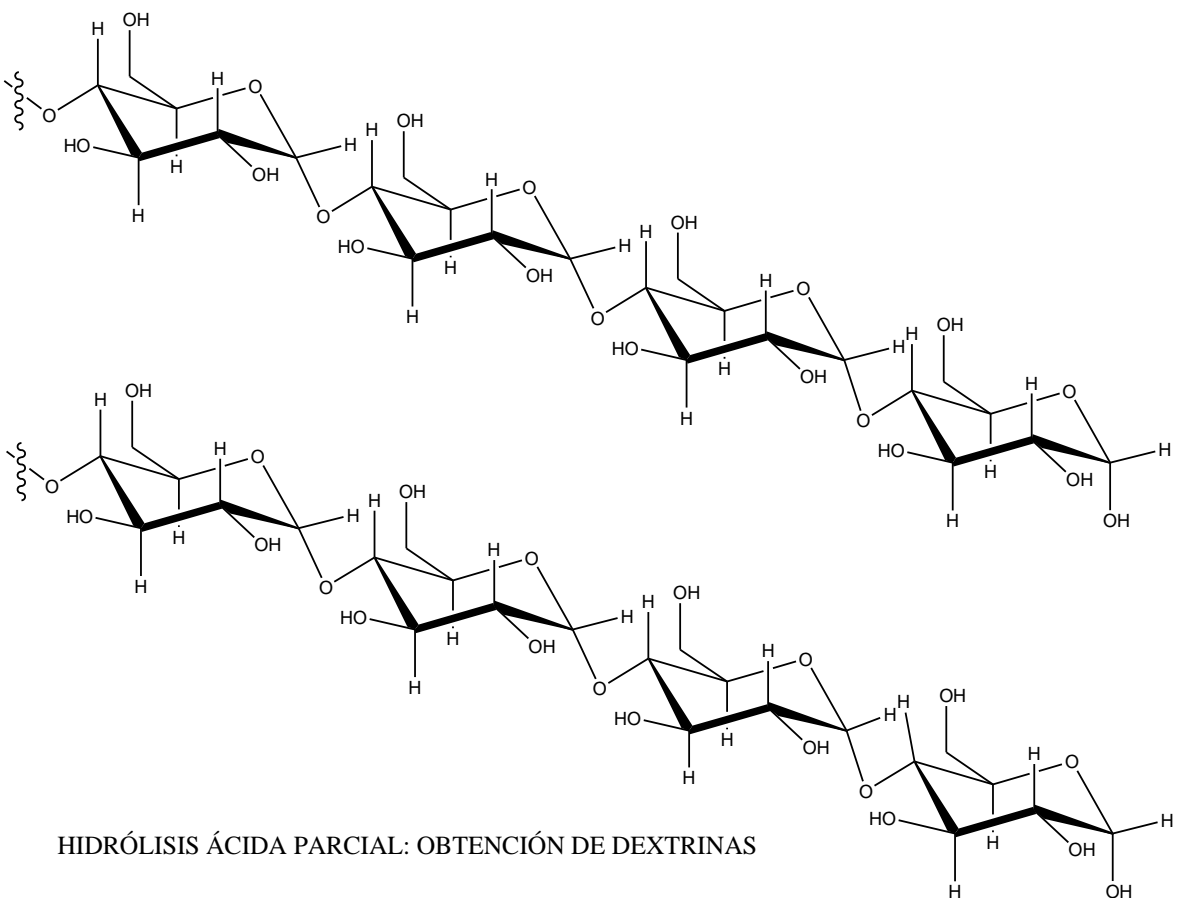
Figura 7. Reacción de hidrólisis ácida en la fracción de amilosa

La hidrólisis ácida de la fracción de amilopectina, se da en 2 fases; en la primera (figura 10) ocurre el rompimiento de las cadenas de amilopectina y la consecuente formación de dextrinas.





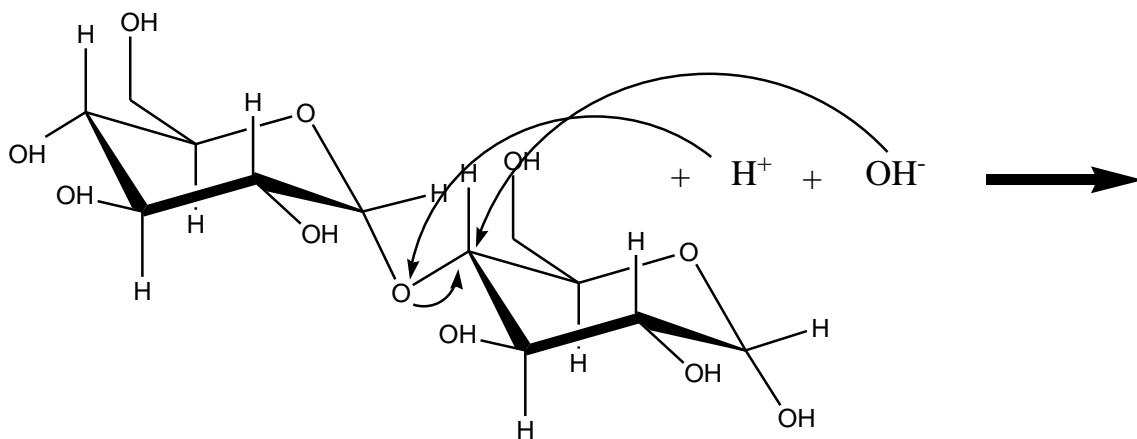
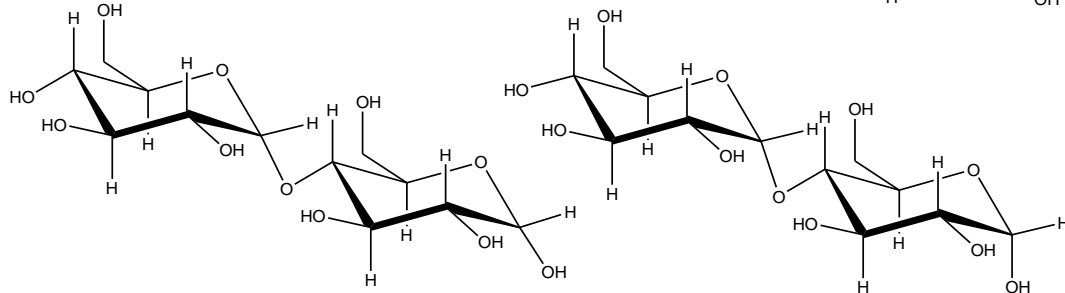
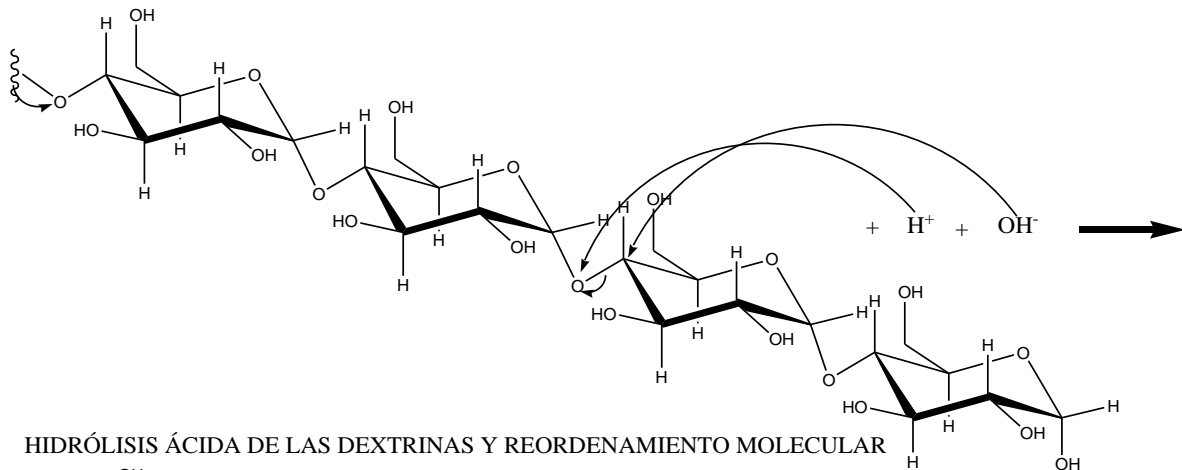
REORDENAMIENTO MOLECULAR. FORMACIÓN DE DEXTRINAS



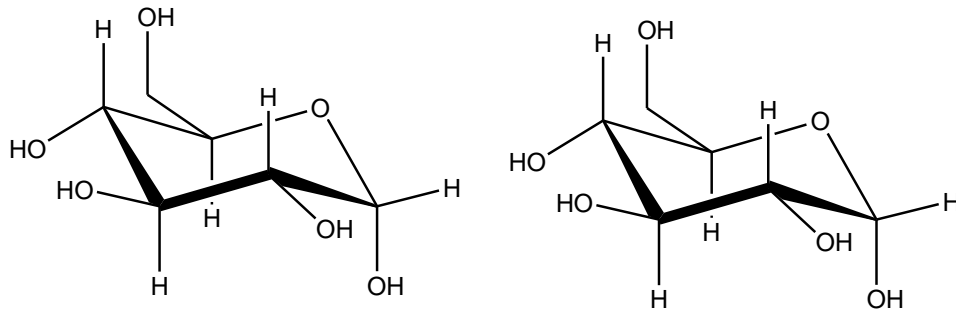
HIDRÓLISIS ÁCIDA PARCIAL: OBTENCIÓN DE DEXTRINAS

Figura 8. Primera fase en la hidrólisis ácida de la amilopectina

En la segunda fase, las dextrinas son hidrolizadas parcialmente para obtener maltosa como unido disacárido y por una hidrólisis total se obtiene glucosa como único monosacárido. La reacción de hidrólisis ácida de la amilopectina, así como su mecanismo se muestra en la figura 11.



HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA MALTOSA Y REORDENAMIENTO MOLECULAR



HIDRÓLISIS ÁCIDA TOTAL DE LA AMILOPECTINA: OBTENCIÓN DE GLUCOSA

Figura 9. Segunda fase en la hidrólisis ácida de la amilopectina

Las dextrinas son carbohidratos de bajo peso molecular y son de una longitud de cadena más corta en comparación con la del almidón. Las dextrinas son sólidos de color blanco a levemente amarillos, ópticamente activos y solubles en agua. Las dextrinas encuentran uso extenso en la industria, debido a su falta de toxicidad y a su precio bajo. Se utilizan como pegamentos solubles en agua, como agentes de espesamiento en la transformación de los alimentos, y como agentes aglutinantes en productos farmacéuticos. Son carbohidratos reductores al poseer el grupo hemiacetálico (Badui 2005).

La maltosa es un disacárido formado por dos glucosas unidas por un enlace glucosídico producido entre el oxígeno del primer carbono anomérico (proveniente de -OH) de una glucosa y el oxígeno perteneciente al cuarto carbono de la otra (figura 16).

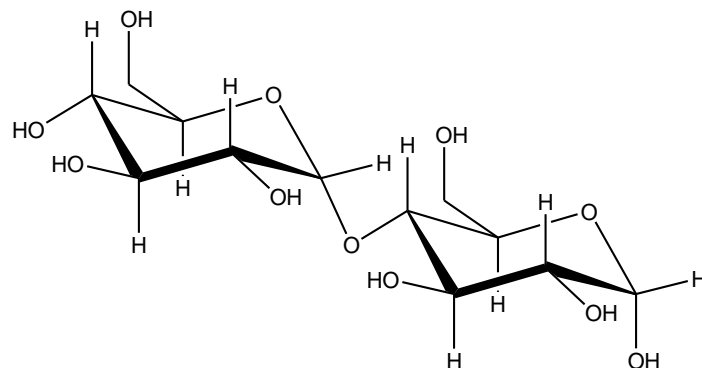


Figura 10. Estructura química de la maltosa.

La maltosa presenta en su estructura el grupo hemiacetal por lo que es un azúcar reductor (Morrison y Boyd, 1998).

2.5.1.1 Derivados de la hidrólisis del almidón

a) Maltodextrinas

Las maltodextrinas son productos de almidón parcialmente hidrolizado con una dextrosa equivalente (DE) inferior a 20. Las maltodextrinas se utilizan como soportes y agentes para dar volumen, textura, ayudar a la pulverización, y como sustitutos de grasas, formadores de película y controladores de la congelación, con el fin de evitar la cristalización y suministrar valor nutricional. Se utiliza en alimentos para bebés, bebidas en polvo, caramelos, pastelería, sopas y caldos y productos lácteos entre otros.

Las maltodextrinas también se emplean como agentes dispersantes de aromas y saborizantes tanto naturales como artificiales en diversos alimentos.

Existen diversas investigaciones como las realizadas por Luna y Mera (2006), Shin y Sae (2005), Monsalve y col (2006), Pataux y col (2003), etc. en las que obtuvieron maltodextrinas a partir de diferentes almidones como el de yuca y maíz con hidrólisis ácida utilizando diferentes condiciones.

b) D-Glucosa o dextrosa

La dextrosa, también descrita como D-glucosa o azúcar de uva, es producto final de la hidrólisis del almidón y se emplea comercialmente en la elaboración de gran número de alimentos tales como refrescos, jugos, bebidas alcohólicas, panificación y productos lácteos.

Tiene uso como edulcorante, el poder edulcorante de la dextrosa se fija generalmente en 70%, comparado con el 100% de la sacarosa. Sin embargo, este poder depende también de otros factores, como la concentración del edulcorante, acidez, temperatura y presencia de otros edulcorantes. Por ejemplo, cuando se usa dextrosa en combinación con sacarosa, el poder edulcorante final es generalmente mayor de lo esperado.

La dextrosa es completamente fermentable, especialmente por la mayoría de las levaduras, formando CO₂ y alcohol. Por esa razón, se usa en mejorantes para el pan y en procesos relacionados con la panadería, en productos cárnicos, y en cervezas de alto contenido en alcohol (Fennema, 2000).

Existen diversas investigaciones en las que se ha obtenido glucosa por hidrólisis ácida de almidones de diversas fuentes (*Canavalia ensiformis*, maíz, sorgo, yuca, papa etc.) como por ejemplo las de Fernández y Garro (2004), Monsalve y col (2006), Tasic y col, (2008) Betancur y Chel (1997), De Florio (2006) etc. sus resultados varían dependiendo de las condiciones que aplicaron para la hidrólisis

c) Jarabe de glucosa

Es un producto cristalino y viscoso resultante de una hidrólisis parcial de almidón. Esta solución contiene alrededor de 20% de dextrosa en base seca. Se utiliza, junto con azúcar, en la elaboración de dulces y mermeladas, helados, productos lácteos, panificación y galletería. Se le emplea por su propiedad anticristalizante, higroscopicidad, cuerpo, textura y poder humectante (Badui, 2005).

d) Fructuosa

También denominada levulosa o azúcar de las frutas, es un monosacárido, que aparece junto con la glucosa en las frutas dulces y en los jugos de fruta. Se produce junto con la glucosa durante la degradación de la sacarosa, y también mediante la transformación enzimática de la glucosa.

La fructosa es el más dulce de todos los azúcares naturales. En su forma pura cristalina tiene un valor edulcorante de 160 – 180, comparado con el valor de 100 de la sacarosa (Castro y Bonner, 1999).

Con la fructuosa se elaboran 2 productos empleados en la industria alimentaria, los jarabes de fructuosa y los jarabes de alta fructuosa.

Jarabes de fructuosa: es un producto que tiene un contenido de 55% de fructuosa y 45% de glucosa, tienen diversas aplicaciones en la industria alimentaria debido a sus propiedades, principalmente como edulcorante, aumentador de la higroscopicidad, son 100% fermentables por levaduras, lo cual hace posible su uso en procesos de panificación como sustituto de la sacarosa, los jarabes de fructuosa presentan una alta presión osmótica y ésta característica

es utilizada para inhibir el crecimiento de microorganismos y aumentar la vida de anaquel en productos como jugos, néctares y conservas; estos jarabes resaltan los aromas frutales y ácidos, generando la sensación de mayor contenido de fruta en bebidas de sabores. Hoy se puede encontrar al jarabe de fructosa en una inagotable lista de productos como son: copos y barras de cereales, bebidas instantáneas, gaseosas, jugos de frutas, salsas en general, galletas, helados, chocolates, cacao en polvo, postres instantáneos, jamones, mostaza, mayonesa, catsup, lácteos, jaleas y mermeladas, sopas, pasta de tomate, etc. (Badui, 2005)

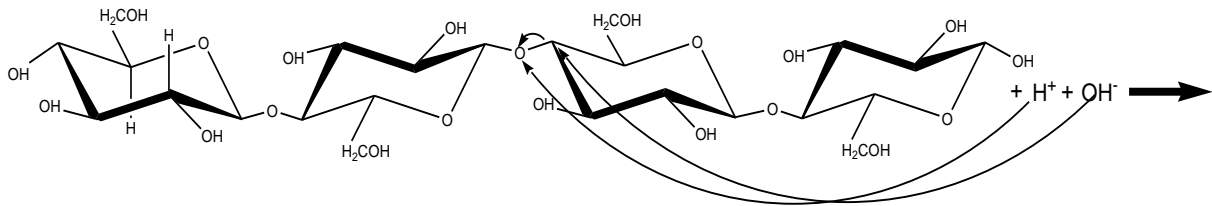
Jarabes de alta fructuosa: son un endulzante líquido que se usa en la fabricación de alimentos y bebidas. Tiene un contenido superior al 55% de fructosa y el resto de glucosa. Tiene aplicaciones similares al jarabe de fructuosa (Fenema, 2000).

Hernández y col (2006) realizaron un jarabe de alta fructuosa a partir de almidón de plátano macho (*Musa paradisiaca*) haciendo una sacarificación mediante hidrólisis ácida y posteriormente utilizando tecnología enzimática para la isomerización a fructuosa.

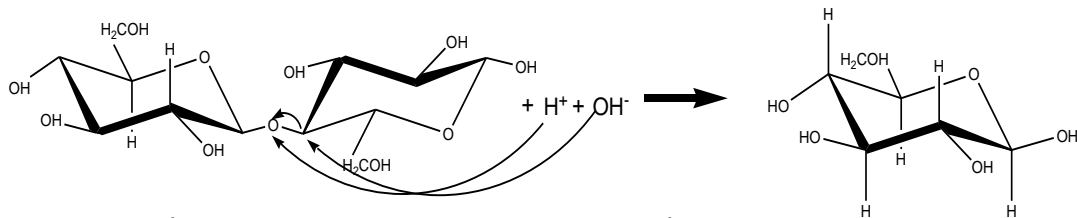
2.5.2 Hidrólisis ácida de la celulosa

La celulosa se mantiene unida por enlaces β -(1-4)-glicosídicos, los cuales resultan mas difíciles de hidrolizar que los enlaces α -(1-4)-glicosídicos debido al efecto anomérico que debilita el enlace en el carbono anomérico.

Por hidrólisis ácida parcial de la celulosa, se obtiene celobiosa como único disacárido y glucosa como único monosacárido por hidrólisis total. En la figura 13 se muestran las reacciones químicas que ocurren durante la hidrólisis ácida de la celulosa.



HIDRÓLISIS ÁCIDA PARCIAL DE LA CELULOSA Y REORDENAMIENTO MOLECULAR: OBTENCIÓN DE CELOBIOSA



HIDRÓLISIS ÁCIDA TOTAL DE LA CELULOSA: OBTENCIÓN DE GLUCOSA

Figura 11: Hidrólisis ácida de la celulosa

La celobiosa (figura 14) es un disacárido formado por 2 subunidades de D-glucosa unidas entre si por un enlace β -(1,4)-glicosídico.

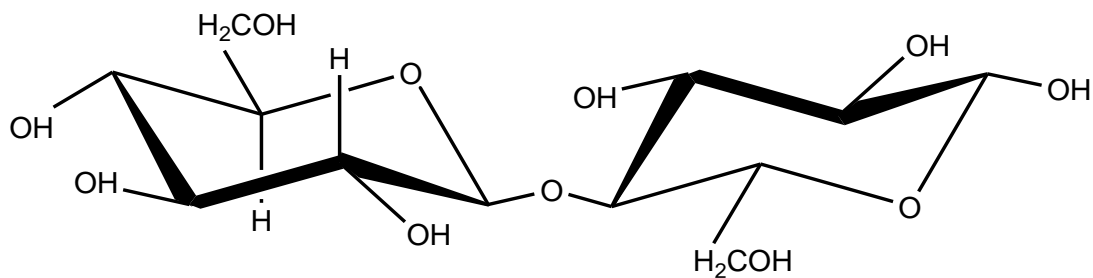


Figura 12: Estructura química de la celobiosa

La celobiosa se clasifica dentro de los azúcares reductores, ya que posee la subunidad hemiacetal.

2.5.2.1 Derivados de la hidrólisis de celulosa

La glucosa obtenida por hidrólisis total puede ser utilizada de la misma forma que la glucosa obtenida por la hidrólisis del almidón

a) Celobiosa

La celobiosa no tiene ninguna aplicación dentro del área de los alimentos, aunque ha comenzado a ser de utilidad en otras áreas debido a que resulta un material de desecho dentro de la fabricación del papel (Ríos, 1999). Actualmente se ha comenzado a utilizar como:

- Compota para suelos estériles
- Material de relleno para cimentar laderas de fácil derrumbe
- Pasta para pegar paredes de madera, bambú, carrizo, etc.
- Impermeabilización de terrazas
- Reemplazo de techos.
- En la fabricación y pega de adobes.
- Sustitución de aserrín en corrales de animales (elimina el mal olor).

2.5.3 Hidrólisis ácida de la hemicelulosa

La diferencia en cuanto a la reactividad de las hemicelulosas en comparación con la celulosa se debe a que las hemicelulosas son sustancias amorfas, con un grado de cristalinidad muy bajo por lo que la accesibilidad por parte de los reactivos químicos es mucho mayor que en las regiones cristalinas de la celulosa.

Por tanto las hemicelulosas son más fáciles de hidrolizar por ácidos que la celulosa y, por consiguiente, con tratamientos suaves y de gran rendimiento se convierten más fácilmente en monosacáridos (Allan, 1998).

La hidrólisis de las hemicelulosas origina monosacáridos, los correspondientes a las unidades monoméricas que la constituyen, los más comunes son: D- xilosa, L-arabinosa, D-glucosa, D-galactosa, D-manosa, ácido glucurónico, 4-O-metilglucurónico, ácido D-galacturónico. Entre los constituyentes más raros están L-ramnosa, L-fucosa y varios azúcares metilados neutros (Carballo y Arteaga, 2008).

2.5.3.1 Derivados de la hidrólisis de hemicelulosa

Como ya se mencionó con anterioridad, el resultado de la hidrólisis de la hemicelulosa, produce una gran cantidad de monosacáridos (pentosanos y hexosanos), siendo los de mayor importancia la xilosa, glucosa y arabinosa.

La glucosa se puede emplear de la misma forma que es empleada la glucosa obtenida por la hidrólisis del almidón.

a) Xilitol

El xilitol (figura 15) es un alcohol derivado de la xilosa, se puede obtener por hidrogenación de la xilosa, también se obtiene mediante levaduras capaces de metabolizar la xilosa transformándola en xilitol, el que luego se acumula en el medio de cultivo del que puede ser recuperado, o también es producida a partir de la hidrogenación y posterior isomerización de la arabinosa (Castro y Bonner, 1999).

El xilitol se usa principalmente como edulcorante en pastas dentales y tópicos (Mäkinen, 1978), así como en alimentos dietéticos, productos para diabéticos (Beereboom, 1978), gomas de mascar, chocolates, caramelos, jaleas, dulces, mermeladas, bebidas, helados, etc (Touster, 1974).

Otra de sus propiedades características es su "efecto refrescante" debida a la "sensación de frío" que produce a nivel del trigémino. Esto es consecuencia a su bajo calor de disolución de -153 KJ/K (Beereboom, 1978).

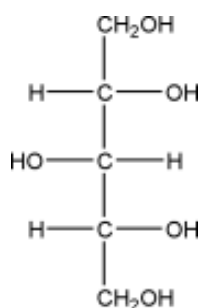


Fig. 13. Estructura química del xilitol

En las investigaciones realizadas por Aguilar y Canizales-Leal (2004), Karimi y col (2005), Sun y Cheng (2004) y Mejía y col (2007), pudieron obtener

xilosa como resultado de la hidrólisis de material lignocelulósico (cascarilla de arroz, cebada y centeno y residuo industrial de mango) y proponen utilizarlo para la producción de xilitol además de que también obtuvieron glucosa.

b) Furfural

También llamado furfuraldehído, es un aldehído orgánico líquido, de fórmula $C_5H_4O_2$, que se obtiene por la reacción del ácido clorhídrico o sulfúrico con los pentosanos contenidos en la hemicelulosa. En la figura 16 se muestra su estructura química.

Industrialmente se emplea para refinar el disolvente utilizado en la elaboración del caucho o hule sintético y el nylon, y en la fabricación de resinas para plásticos y revestimientos metálicos. También es un componente de los insecticidas, de los líquidos de embalsamamiento y de los líquidos desinfectantes. (Babor e Ibariz,. 2000)

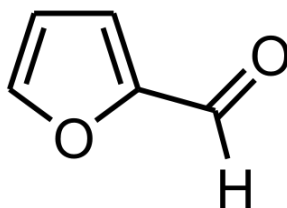


Fig. 14. Estructura química del furfural

2.7 Azúcares reductores

Los monosacáridos derivados de la hidrólisis ácida de polisacáridos son azúcares reductores; los azúcares reductores son aquellos que poseen un grupo hemiacetalico intacto, y que a través del mismo pueden reaccionar con otras especies (Fox y Whitesell, 2000).

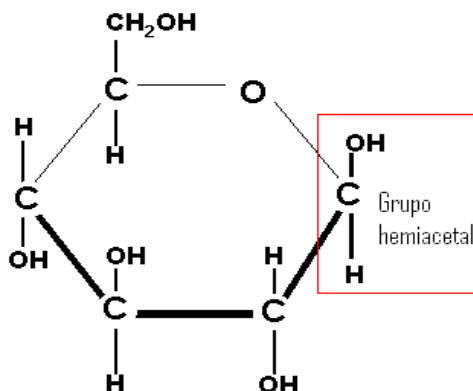


Figura 15. Grupo hemiacetal en una molécula de glucosa

Para determinar azúcares reductores, se utilizan los métodos Benedict, Tollens, Fehling, y el método ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959), este último se basa en que, el grupo hemiacetal del azúcar reductor, reacciona con el reactivo DNS de color amarillo y da el compuesto 3-amino-5-nitrosalicílico de color rojo, dicha unión se da en relación estequiométrica de 1:1, por lo que la concentración puede ser determinada directamente por espectrofotometría UV-VIS a 550 nanómetros.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Identificar las mejores condiciones para obtener la mayor concentración de azúcares sencillos a partir de carbohidratos complejos presentes en los granos de cebada y malta mediante el uso de la hidrólisis ácida.

3.2 Objetivos específicos

- Conseguir, seleccionar y limpiar de granos de cebada producidos en el estado de Hidalgo.
- Acondicionar y descascarillar granos de cebada y obtener malta
- Obtener harinas a partir de los granos cebada y malta.
- Caracterizar fisicoquímicamente las muestras de harinas de cebada y malta.
- Hidrolizar con diferentes concentraciones de ácido sulfúrico, temperaturas y tiempos de digestión las muestras tratadas.

4. Materiales y métodos

4.1 Materia prima

Para la realización del presente proyecto se utilizó cebada variedad Pastor Ortiz cultivada en la región de Apan, perteneciente al Estado de Hidalgo, México, en el año 2005, limpia.

4.1.1 Limpieza de la cebada

La cebada se hizo pasar por tamices del número 6 y 8 (W. S. TYLER, ROTAP, EUA) con ayuda de un agitador de tamices (W. S. TYLER, RX-29, EUA) para eliminar la tierra, restos florales, paja, granos pequeños o vanos. Finalmente se realizó una selección manual en la cual se retiraron semillas ajenas, granos desnudos y quebrados, piedras, etc.

4.2 Calidad física de la cebada

Se determinó a partir de 1 kg de cebada a la que se le realizaron análisis físicos (olor y color), de impurezas y selectivo según la NMX-FF-043-SCFI-2003.

4.3 Obtención de harinas de cebada y malta y cascarillas

4.3.1 Acondicionado

El grano limpio se sometió a la operación de acondicionamiento que consiste en incrementar la humedad del grano a un 16% esto con el fin de facilitar el descascarillado y la molienda. Para ello resulta necesario agregar agua al grano y dejar reposar en un recipiente cerrado y con agitación continua por un lapso de 24 h. (Callejo, 2002)

La fórmula utilizada para calcular la cantidad de agua necesaria para el acondicionamiento del grano y poder llegar a una humedad de 16% en 100 g de materia seca fue:

Donde:

X= cantidad de agua requerida (mL)

Hf= humedad requerida (%)

Ms= materia seca (g)

Dh= diferencia de humedad

Hi= humedad inicial

$$X = \left(\frac{(Hf)(Ms)}{Dh} \right) - Hi$$

4.3.2 Malteado

Previo a la hidrólisis ácida, se llevo a cabo una hidrólisis enzimática la cual ocurre durante el malteo; Para el malteo de la cebada se realizaron los siguientes pasos:

A) Remojo: Se colocaron 600 g de muestra y se le adicionó la suficiente agua para que el nivel de ésta estuviera a aproximadamente 2 cm sobre la cebada. El recipiente tenía adaptado un sistema de circulación de aire el cual bombeaba aire cada 10 min durante 30 seg. El grano se mantuvo en remojo durante 24 h a temperatura ambiente.

B) Germinación: Finalizado el remojo, se retiró del recipiente toda el agua. El sistema de recirculación de aire se mantuvo encendido durante toda la fase de germinación. El grano se dejó germinar por 48 h.

C) Secado: El grano germinado se colocó en una charola de aluminio y se secó a 55° C por 58 h en una estufa de secado con recirculación de aire (IMPERIAL V, LAB-LINE, EUA). La malta seca se almacenó en bolsas de plástico con cierre hermético para evitar contaminación por microorganismos.

4.3.3 Descascarillado

Esta operación consiste en eliminar la cascarilla del grano mediante un proceso abrasivo. Esta operación también recibe el nombre de perlado.

El descascarillado, se realizó en una perladora (STRONG SCOTT, EUA). La cascarilla obtenida de la separación del grano se secó en una estufa con recirculación de aire (Imperial V, Lab-Line, EUA) a 55°C por 24 h y se guardó en bolsas de plástico con cierre hermético.

4.3.4 Molienda

Una parte de las muestras de cebada y malta acondicionadas a 16% de humedad, fueron molidas cada una con todo y cascarilla en un molino mecánico de aspas (Thomas scientific 3383-L10, EUA) y tamizados por malla numero 60, las harinas integrales de cebada y malta fueron secadas en una estufa con recirculación de aire (Imperial V, Lab-Line, EUA) a 55°C por 24 h.

La otra parte de las muestras fueron sometidas a descascarillado y se molieron en un molino mecánico de rodillos con estrías (Chopin Moulin CD1, FRANCIA) el cual tiene la capacidad de separar en harina, sémola y salvado. La harina que se obtuvo se secó en una estufa con recirculación de aire (Imperial V, Lab-Line, EUA) a 55° C por 24 h.

4.4 Caracterización fisicoquímica de harinas y cascarillas de cebada y malta

Para la caracterización fisicoquímica se utilizaron los métodos de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). Para humedad (método 925.10), cenizas (método 923.03), grasa (método 920.39), proteínas (método 968.06), fibra cruda (método 926.09) y carbohidratos asimilables por diferencia.

4.5 Hidrólisis ácida de polisacáridos de cebada

Para llevar a cabo la hidrólisis ácida se utilizaron 3 diferentes concentraciones de ácido sulfúrico, 0.25, 0.5 y 1.0% v/v para evaluar cual de estas concentraciones tendría mayor efectividad para la hidrólisis de los carbohidratos de la cebada. También se evaluó cual sería la temperatura ideal para realizar la hidrólisis ácida, tomando un rango de 60° C hasta 130° C a intervalos de 10° C, así como el tiempo necesario para llegar a la máxima conversión de azúcares reductores el cual se siguió hasta los 360 minutos.

Las muestras se sometieron a diferentes tratamientos para evaluar si se vería reducido el tiempo y temperatura y de esta forma acelerar el proceso de hidrólisis de los carbohidratos presentes en la cebada.

Los tratamientos que se le hicieron a las muestras así como sus códigos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Tratamientos realizados a la cebada

Tratamiento	Muestra	Descripción	Código
Hidrólisis Directa	Grano entero	Molido	GI
		Descascarillado	GD
	Malta	Molido	MI
		Descascarillado	MD
	Cascarilla de grano	Molida	CG
	Cascarilla de malta	Molida	CM
Inmersión por 3 días en solución ácida	Grano entero	Molido	GIR
		Descascarillado	MDR
	Malta	Molido	MIR
		Descascarillado	MDR
	Cascarilla de grano	Molida	CGR
	Cascarilla de malta	Molida	CMR

Las muestras se sometieron a hidrólisis en un digestor (Digestor Kjeldahl 8U, México), y se pusieron en una relación 1/10 (peso muestra/volumen de ácido diluido). Se tomó una muestra de 1 mL del hidrolizado cada hora y se le determinaron los azúcares reductores.

Para las muestras de 60-90° C se utilizaron 4 g de harina en 40 mL de solución de ácido y para muestras de 100-130° C se utilizaron 12 g de harina en 120 mL de solución de ácido.

4.5.1 determinación de azúcares reductores

Para determinar azúcares reductores, se utilizó el método ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959) para el cual, se tomó una alícuota de 1 mL del hidrolizado y se le agregaron 3 mL del reactivo DNS, se sumergió en agua a ebullición por 5 minutos y por último se le agregaron 6 mL de agua destilada. Se procedió a leer en un espectrofotómetro UV-VIS 5 550nm.

Los cálculos de azúcares reductores se determinaron considerando el porcentaje total de carbohidratos en solución (relación 1 g de harina/10 mL de solución ácida) obtenidos de la caracterización fisicoquímica (carbohidratos totales

más fibra) como el 100% de carbohidratos totales, considerando las características de cada muestra.

4.6 Análisis estadísticos

Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado, a partir de estas se determinó una media y una desviación estándar y se realizó un análisis de varianza simple utilizando el programa Microsoft Excel para determinar si existían diferencias significativas entre las muestras con un grado de confianza de 0.05%.

5. Resultados y discusiones

5.1 Calidad física de la cebada

Los resultados referentes a la calidad física de la cebada se muestran en la tabla 5.

Tabla 6: Análisis físico y selectivo de la cebada

OLOR	COLOR	INSECTOS VIVOS	IMPUREZAS	GRANOS DAÑADOS
Normal (paja seca)	Típico (paja seca)	ninguno	0.62%	0.5%

La ausencia de olores y colores anómalos indican que la muestra no presenta contaminación fúngica.

De acuerdo al contenido de impurezas, la cebada empleada se encuentra dentro del límite establecido por la norma oficial mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, ya que acepta un límite del 2%, lo cual le da una bonificación al precio de este grano.

La norma oficial NMX-FF-043-SCFI-2003 clasifica de acuerdo a los resultados obtenidos en su análisis físico a la cebada aquí empleada como grado México y es apta para el consumo humano dentro del territorio nacional.

López y col (2005), realizaron un análisis físico a una muestra de la misma variedad de cebada aquí empleada pero de distinto año de cosecha, se observa que la variedad en general muestra las mismas condiciones de limpieza por lo que se puede decir que se manejaron buenas prácticas de cosecha y de almacenamiento.

Los granos dañados representan rendimientos bajos durante el proceso de malteado, la norma establece un límite máximo del 10%, por lo que la muestra de cebada cumple con este requisito. Los resultados de López y col, 2005, muestran un menor porcentaje de granos dañados a los obtenidos con la cebada aquí empleada.

5.2 Rendimiento del descascarillado y de la molienda

El rendimiento de descascarillado y molienda de cebada y malta se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Rendimiento de descascarillado y molienda de cebada y malta (%)

DESCASCARILLADO			MOLIENDA	
	Perlada	Cascarilla	Harina	Sémola
Cebada	75.36	22.64	43.42	56.58
Malta	67.82	32.18	58.71	41.29

En la tabla 7, se puede observar que la cebada presenta un menor porcentaje de cascarilla en comparación con la malta debido a que con el malteado, el grano perdió dureza debida a la hidrólisis enzimática de las moléculas de almidón y a su vez se ve reflejado al tener un mayor porcentaje de harina.

Sharp (1987), comprobó que los granos más duros tienen un menor rendimiento en la molienda debido a que forman partículas más grandes durante la reducción de partícula.

5.3 Caracterización fisicoquímica de las harinas y cascarillas de cebada y malta

Los resultados obtenidos en el análisis proximal para el grano de cebada y malta se muestran en la tabla 8, dichos resultados se encuentran expresados por 100g de muestra en base seca.

Tabla 8: Composición química de cebada y malta (%)

	HUMEDAD	CENIZAS	FIBRA	PROTEÍNA	GRASA	CHO's
Grano	8.9 (0.86) ^e	2.03 (0.04) ^c	4.83 (0.31) ^b	9.71 (0.19) ^c	2.32 (0.12) ^e	81.11 ^b
Harina	3.61(0.07) ^b	0.82 (0.02) ^a	0.53 (0.05) ^a	6.79 (0.07) ^a	1.18 (0.05) ^c	90.67 ^c
Cascarilla	4.17 (0.05) ^c	3.44 (0.14) ^e	21.83 (0.92) ^d	8.83 (0.5) ^b	0.803 (0.01) ^a	65.10 ^a
Malta	5.54 (0.52) ^d	2.25 (0.10) ^d	4.21(0.04) ^c	10.15 (0.08) ^d	1.37 (0.05) ^d	82.02 ^b
Harina	3.19 (0.27) ^a	1.18 (0.02) ^b	0.492 (0.05) ^a	9.15 (0.58) ^c	1.11 (0.05) ^c	88.07 ^c
Cascarilla	2.81 (0.35) ^a	3.62 (0.05) ^f	20.93 (1.43) ^d	9.36 (0.31) ^c	0.89 (0.04) ^b	65.21 ^a

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas ($p < 0.05$)

La norma oficial mexicana indica que la humedad óptima para la conservación del grano no exceda del 13.5% (NMX-FF-043-SCFI-2003), por lo que la variedad de cebada utilizada se encuentra dentro de este rango, el bajo porcentaje de humedad obtenido puede deberse a un largo periodo de almacenado de este grano a una humedad ambiental baja.

Para la industria maltera, el porcentaje máximo que debe poseer el grano de cebada de proteína es de 11.5% (Schwentenius, 2004), por lo que la variedad de cebada utilizada cumple con este requisito.

Sin embargo Ruiz, 2006, evaluó el porcentaje de germinación en esta misma muestra de cebada y encontró que era de de 84%, la norma indica que el mínimo debe ser del 85% por lo que la variedad empleada no cumple con este requisito de la industria maltera.

López y col, 2005, también realizaron el análisis fisicoquímico de la variedad de cebada y obtuvieron un porcentaje de humedad del 10.7%, el cual es mayor al obtenido pero se mantiene aún dentro de la norma. Sin embargo López y col determinaron un porcentaje de fibra superior al obtenido de 8.2%, lo cual podría deberse a diferentes condiciones climatológicas a las que se pudieron haber enfrentado las cosechas.

Marquez, 2007, realizó el análisis fisicoquímico de otra muestra de la misma variedad de cebada y encontró un porcentaje de humedad del 12.7%, el cual se mantiene alto al aquí obtenido pero aún dentro de la norma. El resto de los constituyentes arroja resultados muy similares a los aquí obtenidos.

5.4 Cinética de hidrólisis ácida de polisacáridos de cebada

5.4.1.1 Grano de cebada molido integral (GI)

Los resultados completos obtenidos en el tratamiento GI, que consistió en el grano molido integral de cebada y sometido a hidrólisis ácida a 3 concentraciones diferentes de ácido sulfúrico (0.25%, 0.5% y 1.0%), son mostrados en el gráfico 1; en este se observa que las condiciones que generaron el mayor porcentaje de hidrólisis ocurrieron a los 120min aplicando una temperatura de 100° C con una concentración de ácido sulfúrico de 1.0%, obteniéndose 50.28% de conversión a

azúcares reductores. Los datos relacionados con las graficas siguientes aparecen en su respectiva tabla en el anexo a partir de la pagina 61. Cabe señalar que en el gráfico de barras se muestran los mejores resultados para las 3 concentraciones de ácido.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO GI

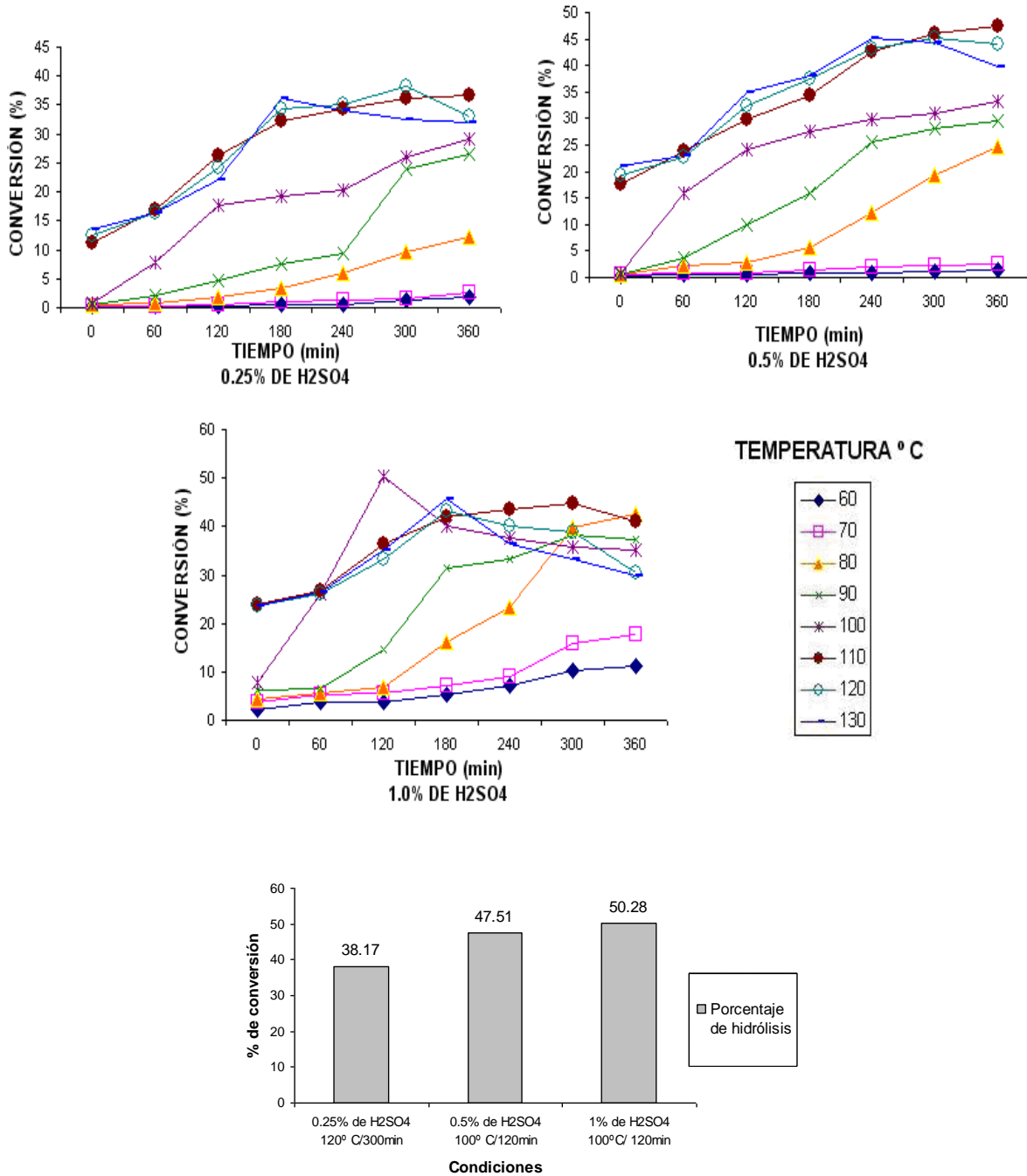
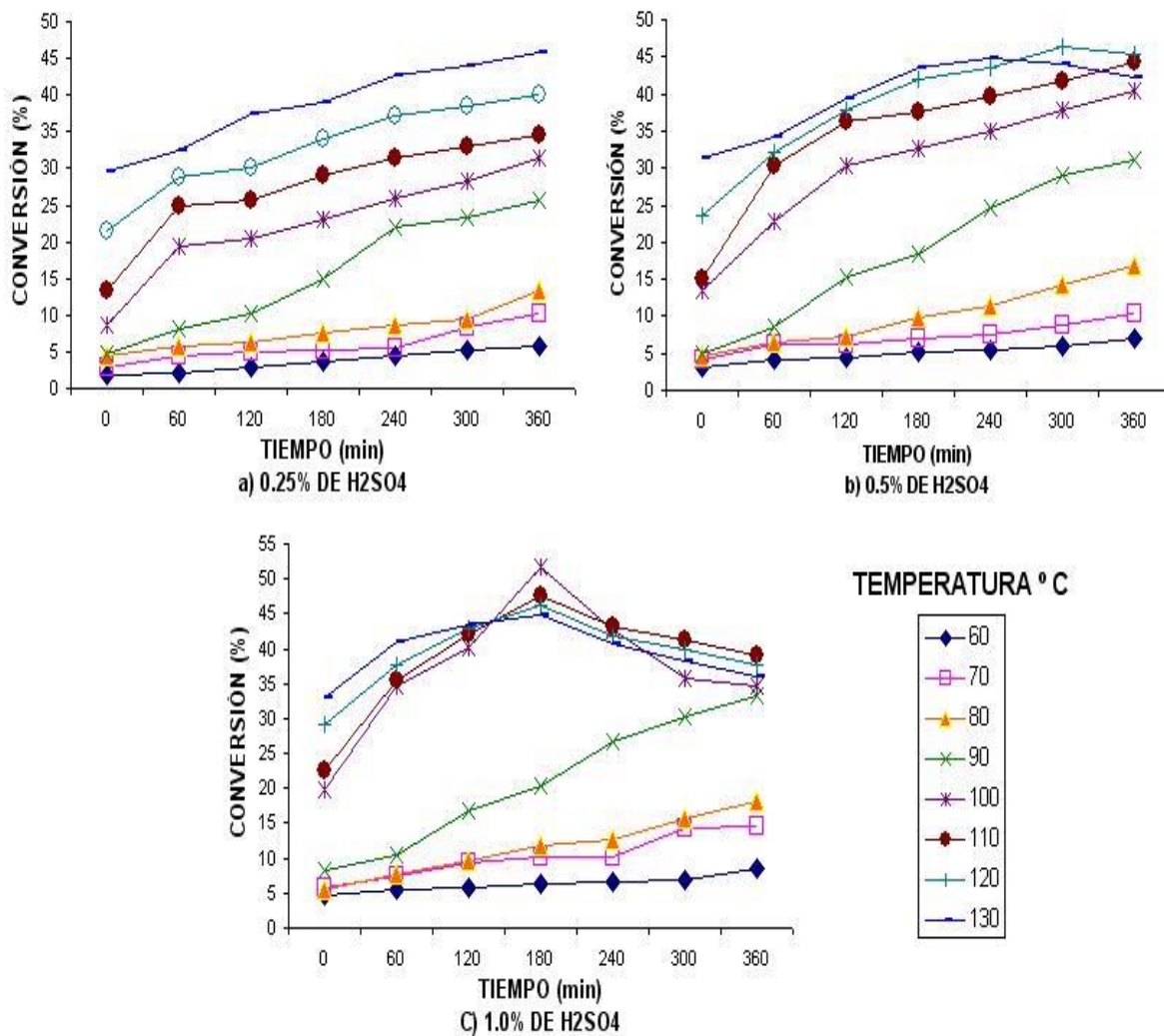


Gráfico 1. Hidrólisis ácida a diferentes concentraciones del Grano Integral

5.4.1.2 Grano de cebada integral molido y remojado en solución ácida (GIR)

En el gráfico 2 se muestran los resultados completos obtenidos para el tratamiento GIR, que consistió en el grano integral de cebada molido y remojado en soluciones de cada una de las concentraciones de ácido por 3 días previo a su hidrólisis ácida; en este se observa que las condiciones que generaron el mayor porcentaje de hidrólisis ocurrieron a los 180min aplicando una temperatura de 100° C con una concentración de ácido sulfúrico de 1.0%, obteniéndose 51.59% de conversión a azúcares reductores.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO GIR



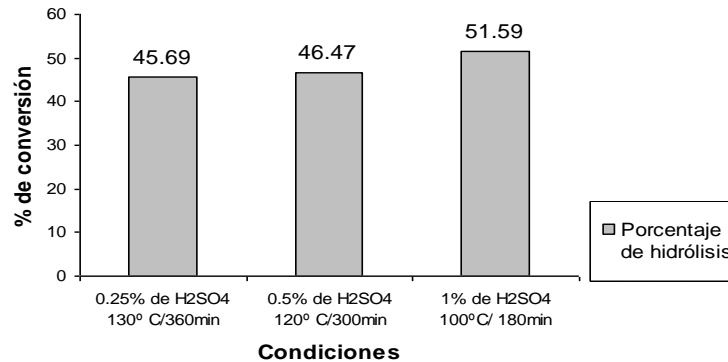


Gráfico 2. Hidrólisis ácida del grano integral remojado en ácido sulfúrico

Comparando este tratamiento con el tratamiento GI, se puede ver un incremento del 1.31% lo que denota que el remojo en la solución ácida ayuda un poco a mejorar el rendimiento pero este incremento podría no ser relevante a nivel industrial debido a que fue necesario elevar el tiempo en una hora lo que repercute en un mayor costo de producción y además el tiempo demorado para el remojo no justifica el incremento.

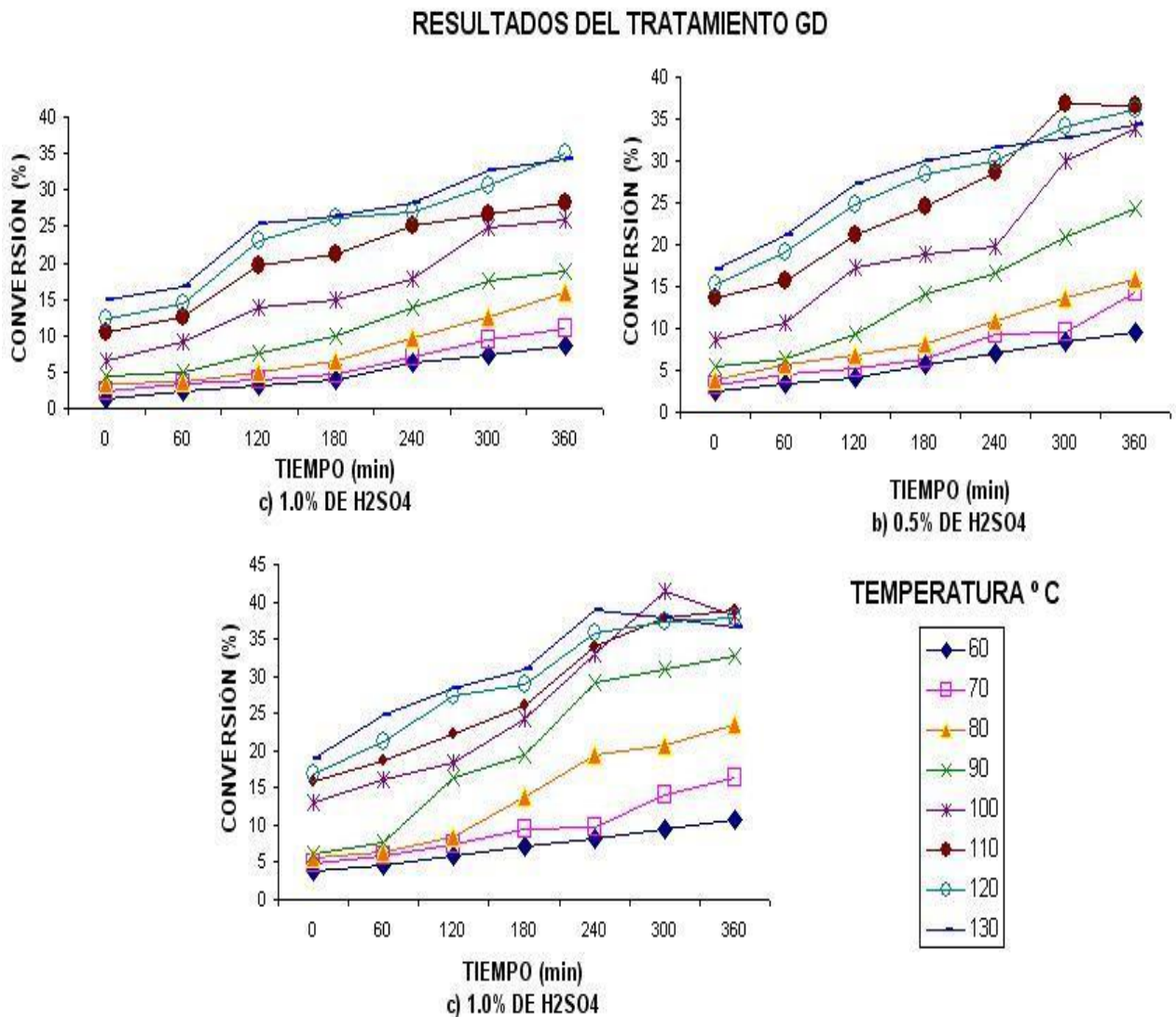
Para los tratamientos GI y GIR se espera obtener glucosa como azúcar mayoritario y xilosa, arabinosa como azúcares minoritarios debido a la cascarilla de la muestra.

Se puede observar que durante la cinética de hidrólisis, el porcentaje de conversión fue aumentando de acuerdo al tiempo e incrementándose de acuerdo a la concentración de ácido sulfúrico; esta conversión llegó a un pico máximo y comienza a disminuir su concentración muy probablemente debido a que las condiciones no permitieron que se generaran mas azúcares reductores y los ya existentes siguieron diversas rutas como la Reacción de Maillard (justificada por la presencia de proteínas y de altas temperaturas), por la reacción de caramelización o ambas; dicho comportamiento se repitió en todos los siguientes experimentos. Durante el desarrollo de los experimentos, se pudo observar en todos los casos que el hidrolizado inicialmente blanco se tornaba de color café claro a oscuro durante la reacción por lo que resulta evidente que se hayan producido alguna o ambas de estas reacciones. Por otro lado las muestras que en su composición

presentan pentosas, estas durante la hidrólisis pueden reaccionar con el ácido sulfúrico para formar furfural (Babor e Ibariz, 2000).

5.4.1.3 Grano de cebada descascarillado y molido (GD)

En el gráfico 3 se muestran los resultados completos obtenidos en el tratamiento GD, el cual consistió en el grano descascarillado de cebada molido y sometido a hidrólisis ácida con 3 concentraciones diferentes de H_2SO_4 , aquí las condiciones que generaron el mayor porcentaje de hidrólisis fueron una temperatura $100^\circ C$ durante 300min con una concentración de ácido sulfúrico de 1.0%, obteniéndose 41.45% de conversión a azúcares reductores



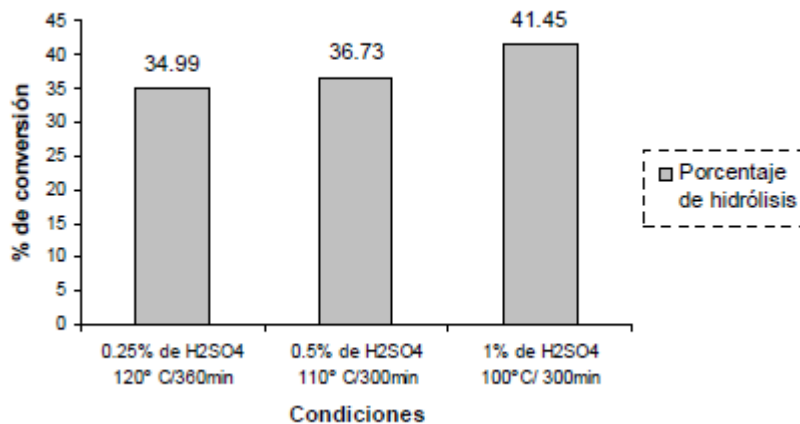


Gráfico 3. Hidrólisis ácida del grano descascarillado en ácido sulfúrico

Cabe destacar que el tratamiento GD es el que tuvo el menor porcentaje de hidrólisis en cuanto a grano de cebada se refiere debido a que las condiciones propuestas no fueron lo suficientemente fuertes para hidrolizar el almidón, prueba de ello fue que durante el desarrollo del experimento, la muestra se aglomeró formando un gel de baja a nula disolución dificultando la acción del ácido en las cadenas de almidón.

5.4.1.4 Grano de cebada descascarillado, molido y remojado en solución ácida (GDR)

Los resultados completos obtenidos en el tratamiento GDR son mostrados en el gráfico 4; Este tratamiento consistió en el grano descascarillado y molido de cebada remojado en soluciones de cada una de las concentraciones de ácido por 3 días previo a su hidrólisis ácida. En este se observa que las condiciones que generaron el mayor porcentaje de hidrólisis ocurrieron a los 300min aplicando una temperatura de 100° C con una concentración de ácido sulfúrico de 1.0%, obteniéndose 51.84% de conversión a azúcares reductores.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO GDR

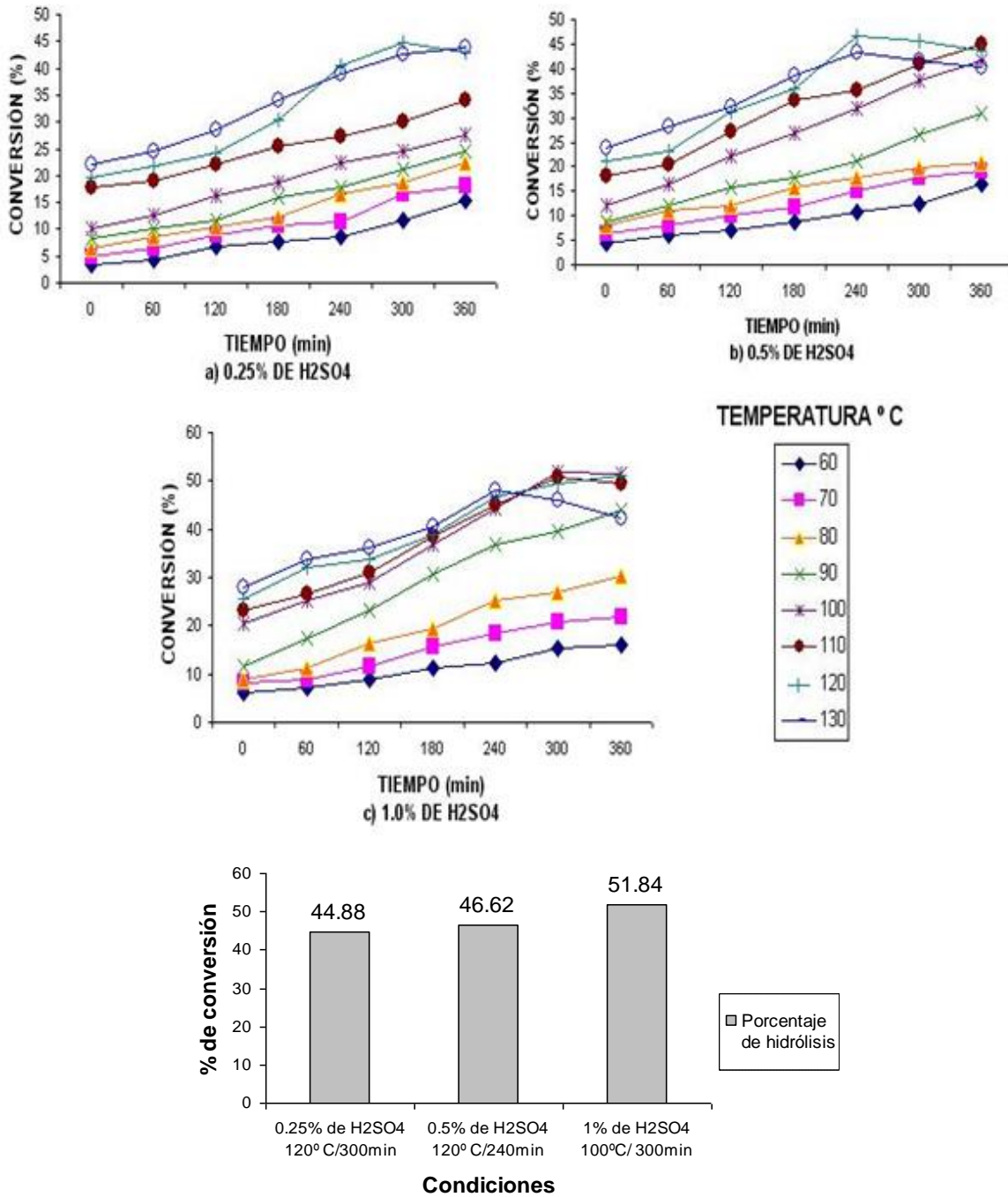


Gráfico 4. Hidrólisis del grano descascarillado y remojado en ácido sulfúrico

En comparación con el tratamiento GD, se puede observar que el remojo en solución ácida en este caso si incremento el porcentaje de hidrólisis de forma

importante en un 10.39%, ya que se permitió que el ácido penetrara mejor en las cadenas de almidón ya que no se apreció en este tratamiento la aparición del gel.

Fernández y Garro, 2004, realizaron el estudio sacarificación de harina de sorgo dulce, en este estudio, se obtuvo un porcentaje de hidrólisis del 51% utilizando ácido clorhídrico diluido al 5% a una temperatura de 60° C por 12 horas. Comparando estos resultados con los tratamientos GD y GDR por tratarse de harinas descascarilladas de 2 cereales con similares características de composición, se observa que en el caso del tratamiento GD, los resultados obtenidos por Fernández y Garro son superiores en un 9.55% y en el caso del tratamiento GDR son muy similares siendo en un 0.84% mejores los resultados aquí obtenidos. Sin embargo el tiempo que necesitaron para hidrolizar al sorgo dulce fue enorme en comparación con el usado y también fue necesario emplear una concentración mayor de ácido.

Monsalve y col., 2006, realizaron estudios sobre la hidrólisis de almidón de yuca, utilizaron ácido sulfúrico al 20% durante un tiempo de reacción de 6 horas a una temperatura de 94° C, obteniendo una hidrólisis del 100%, realizando una comparación con el tratamiento GDR se observa que el rendimiento es muy superior sin embargo emplean una concentración alta de ácido sulfúrico, lo que involucra un elevado costo de implementación a nivel industrial y un grave impacto ecológico si no se manejan los residuos adecuadamente.

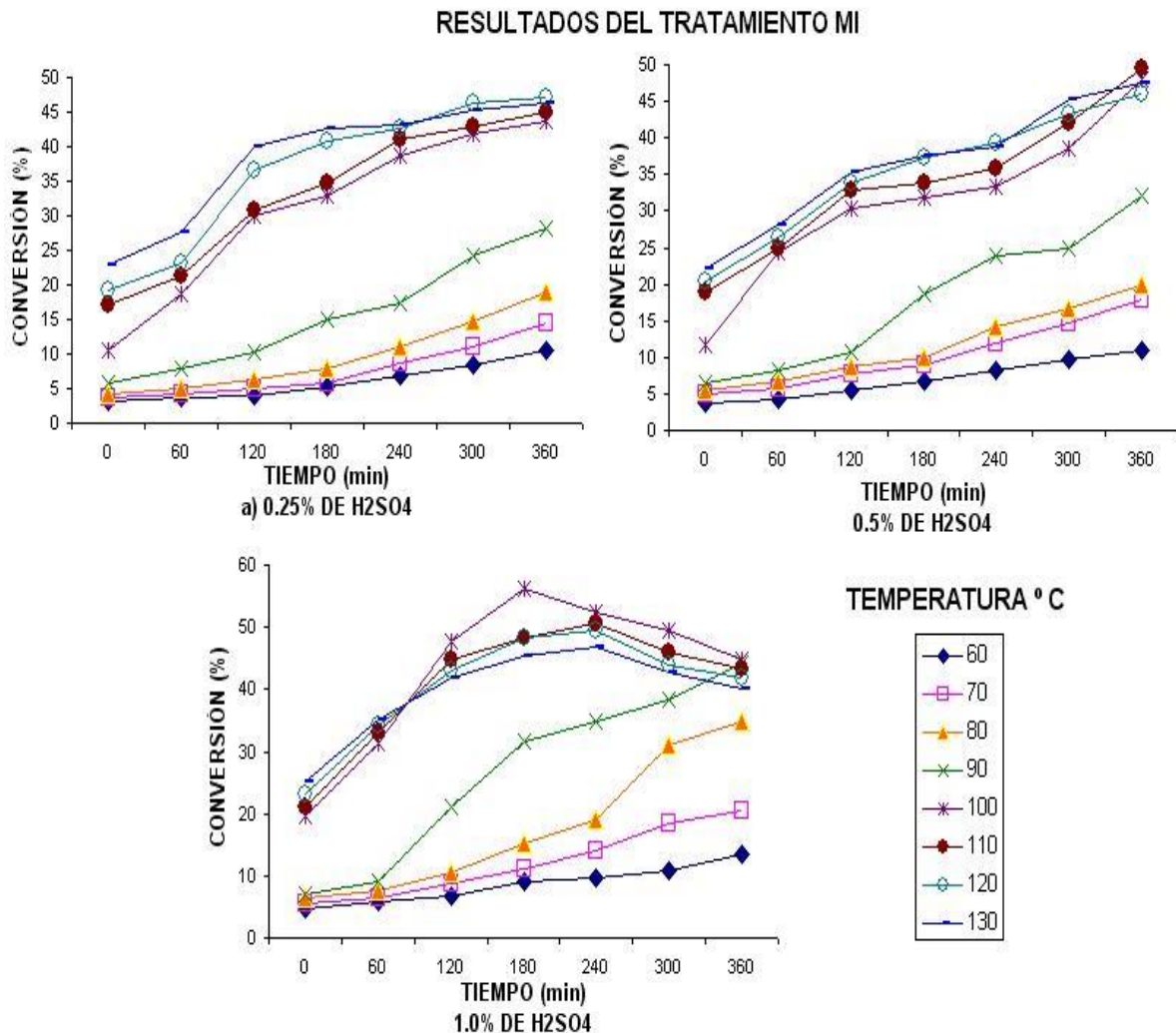
Tasic y col., 2008, realizaron la hidrólisis de almidón de papa utilizando HCl a 1M durante 18hr y logran un porcentaje de conversión del 94%, comparado con los resultados del tratamiento GDR e observa un mayor porcentaje pero el tiempo requerido para llegar a el es superior.

Betancur y Chel, 1997, realizaron la hidrólisis del almidón de *Canavalia ensiformis*, que es una variedad de frijol gigante, obteniendo 45.3% de conversión al aplicarle 55° C por 6hr y una concentración de HCl del 1.5%. En comparación con el tratamiento GDR, e puede observar que se obtuvo un mayor porcentaje de conversión necesitándose además una menor concentración de ácido y menos tiempo de reacción.

Para el tratamiento GD y GDR se debería obtener glucosa como azúcar mayoritario derivado de la hidrólisis debido a que en estos tratamientos el grano fue descascarillado.

5.4.2.1 Malta molida integral (MI)

El tratamiento MI consistió en el grano malteado molido integral y sometido a hidrólisis ácida. Para alcanzar el pico máximo en el tratamiento MI fue necesario aplicar una temperatura de 100° C por 180 minutos con una concentración de ácido sulfúrico del 1.0 para obtener una conversión del 56.30%, los resultados completos son mostrados en el gráfico 5.



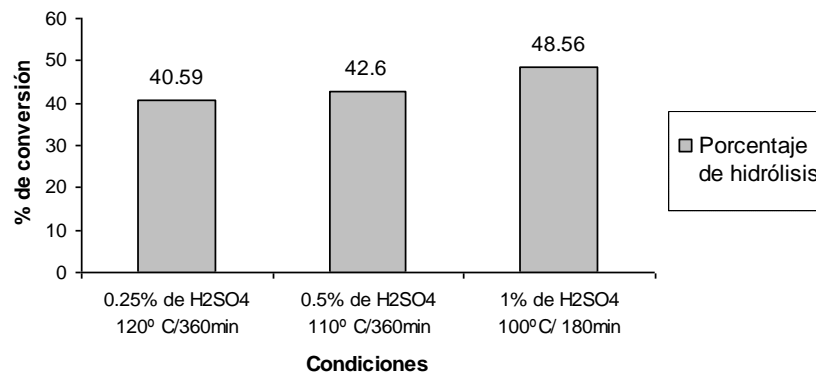


Gráfico 5. Hidrólisis ácida de malta Integral remojada en ácido sulfúrico

En comparación con el tratamiento GI, se observa que con el malteado del grano, se logró un incremento de 11.14%, debido a que se permitió una pre-hidrólisis enzimática.

5.4.2.2 Malta integral molida y remojada en solución ácida (MIR)

En el gráfico 6 se muestran los resultados completos obtenidos para el tratamiento MIR, el cual consistió en malta molida integral remojada en soluciones de cada una de las concentraciones de ácido por 3 días previo a su hidrólisis ácida, en el cual el punto máximo de conversión se obtuvo a los 180 minutos aplicando una temperatura de 100° C con ácido sulfúrico al 1% obteniéndose 62.38% de conversión.

En comparación con el tratamiento MI se puede observar que el remojo en solución ácida del grano de malta elevó el porcentaje de hidrólisis un 6.08% siendo necesario las mismas condiciones de tiempo y temperatura.

Para los tratamientos MI y MIR se espera obtener glucosa como azúcar mayoritario y xilosa y arabinosa como azúcares minoritarios así como pequeñas cantidades de maltosa.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO MIR

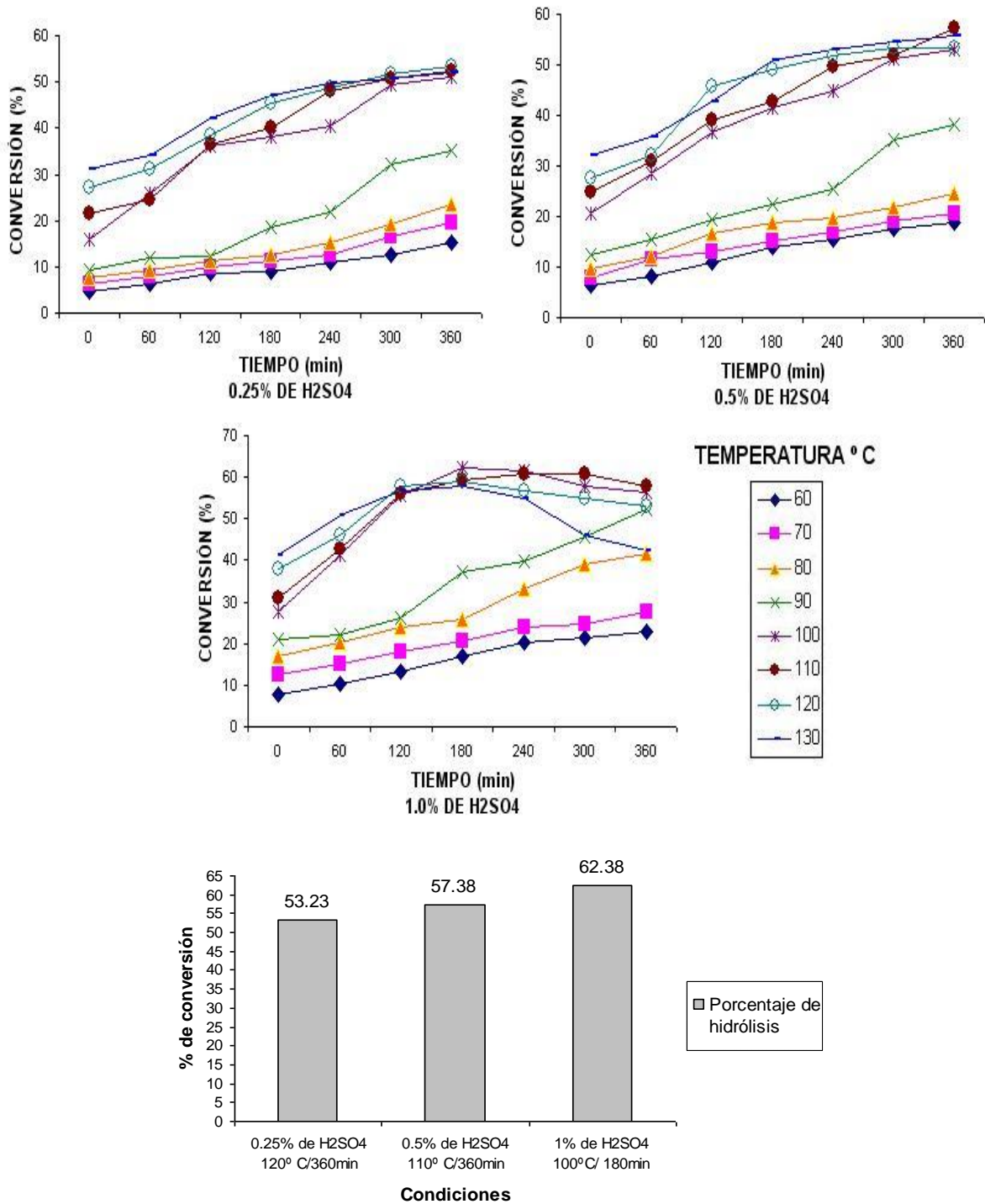
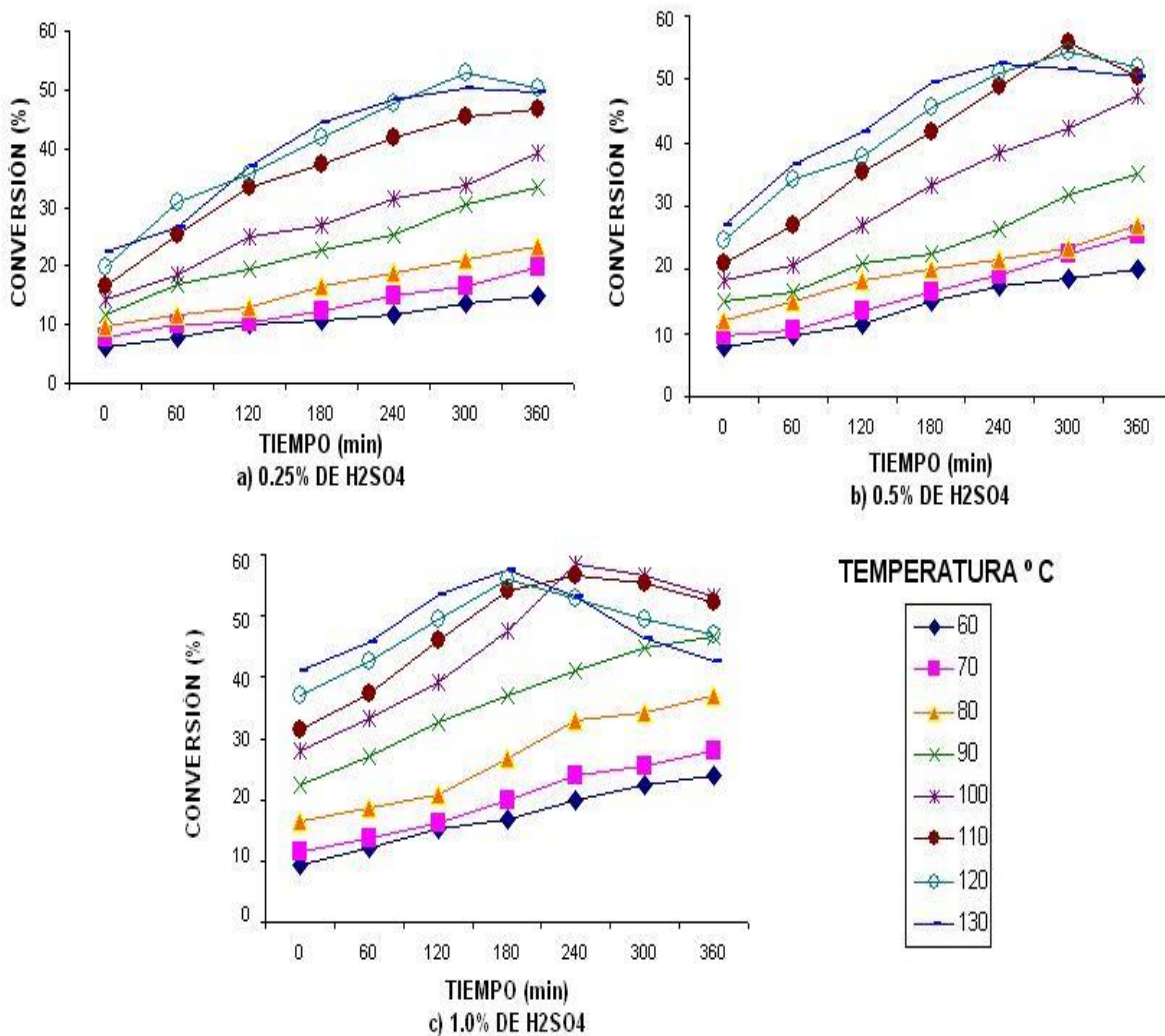


Gráfico 6. Hidrólisis ácida de malta Integral remojada en ácido sulfúrico

5.4.2.3 Malta descascarillada y molid (MD)

Para tener el máximo porcentaje de hidrólisis en este tratamiento se requirió un tiempo de hidrólisis de 240 minutos a 100° C con ácido sulfúrico al 1% para obtener el 58.52% de conversión a azúcares reductores. Los resultados completos de este tratamiento se muestran el gráfico 7. Este tratamiento consistió en malta descascarillada y sometida a hidrólisis a 3 diferentes concentraciones de ácido sulfúrico.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO MD



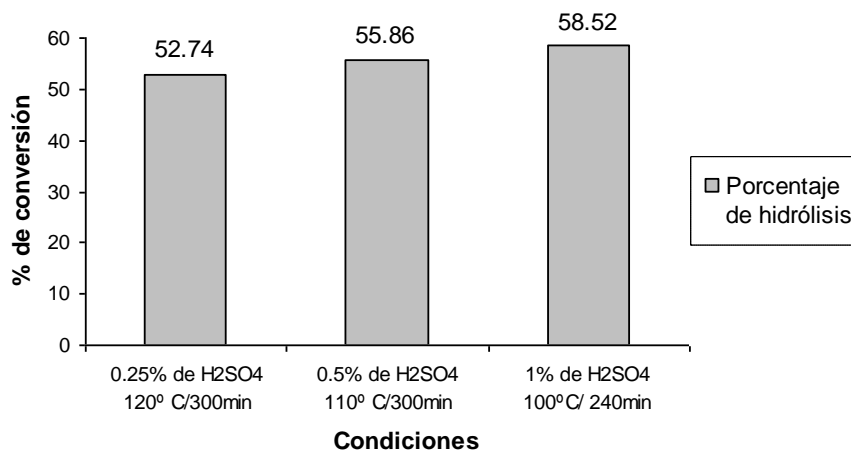


Gráfico 7. Hidrólisis ácida de malta descascarillada

En comparación con el tratamiento GD, se observa un incremento del 17.42% como consecuencia del malteado además durante el desarrollo del experimento a diferencia del tratamiento GD, no hubo formación del gel.

5.4.2.4 Malta descascarillada, molido y remojado en solución ácida (MDR)

Los resultados obtenidos en el tratamiento MDR se muestran en el gráfico 8. Este tratamiento consistió en malta descascarillada y remojada por 3 días previos a la hidrólisis en cada una de las soluciones ácidas empleadas. Para llegar al máximo porcentaje de conversión fue necesario aplicar 100° C de temperatura durante 240min con una concentración de ácido sulfúrico del 1% para obtener el 60.48% de conversión a azúcares reductores.

Comparando con el tratamiento MD se observa un incremento de únicamente 1.96% por lo que ha nivel industrial no representa una ganancia significativa por el hecho de que se pierde 3 días durante la fase de remojo.

Para los tratamientos MD y MDR se esperaba obtener glucosa como único monosacárido mayoritario y maltosa como monosacárido minoritario resultados de la hidrólisis.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO MDR

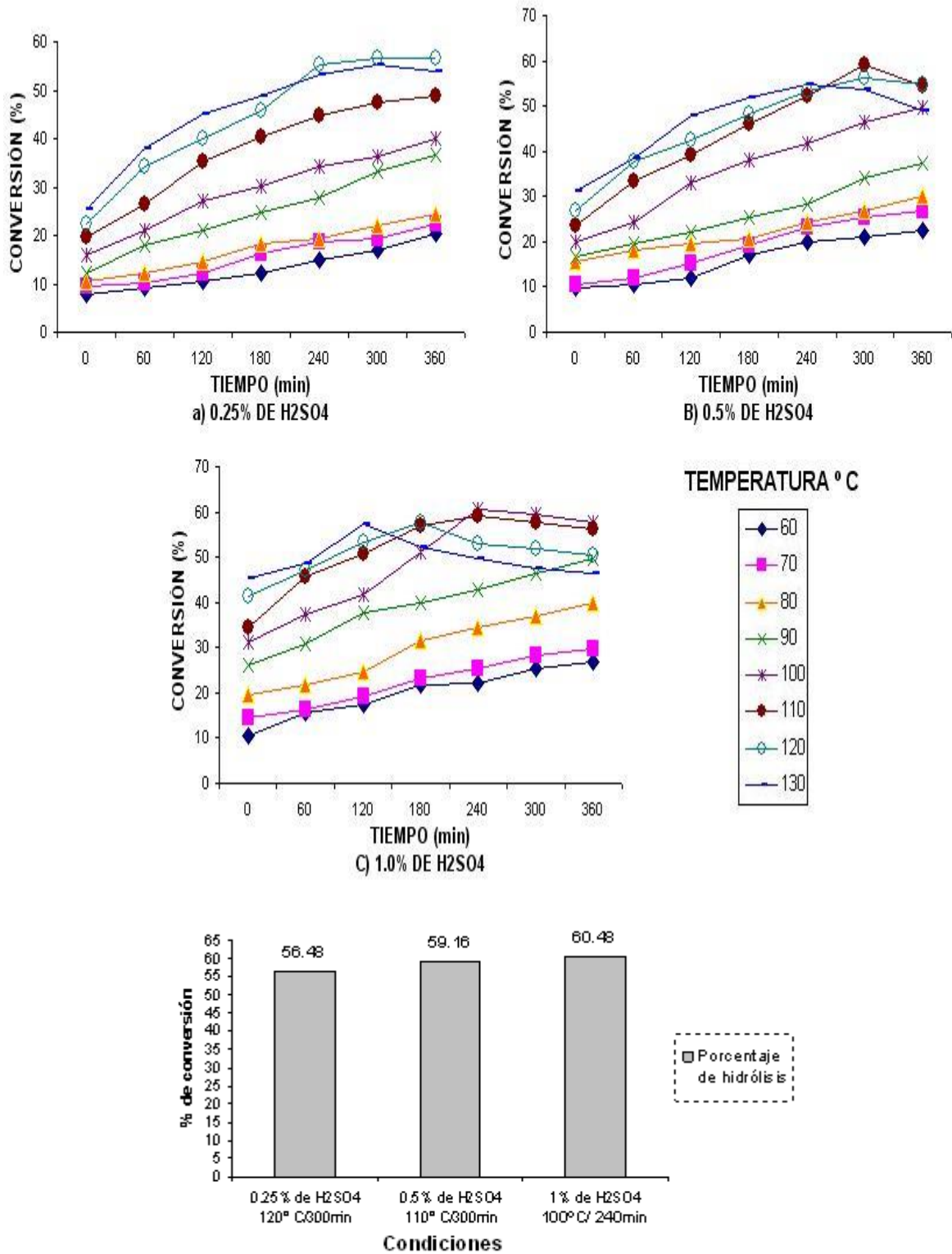


Gráfico 8. Hidrólisis ácida de malta descascarillada y remojada

Reyes (2008) midió el porcentaje de conversión a azúcares reductores durante el malteo del grano de cebada y encontró que había una conversión del 9% a azúcares reductores; por lo que puede observarse en los tratamientos MI, MIR, MD y MDR que se logró un aumento significativo de azúcares reductores mediante hidrólisis ácida.

De Florio, 2006, realizó un estudio sobre la hidrólisis de “malta” de maíz, denominado “jora” el cual obtuvo un porcentaje de hidrólisis del 53.58% a una temperatura de 78°C por 180 minutos con una concentración de ácido sulfúrico del 1%. En comparación con los resultados aquí obtenidos, se observa que el rendimiento es mucho mayor y esto es debido a que la cebada es el cereal con mayor poder diastásico y por consiguiente se logra romper mejor los carbohidratos complejos en azúcares reductores durante la fase de germinación del malteado.

5.4.3.1 Cascarilla de cebada molida (CG)

En el gráfico 9, se presentan los resultados completos obtenidos para el tratamiento CG, en este se puede ver que el máximo porcentaje de conversión se obtuvo a los 180 minutos con una temperatura de 100° C en solución de ácido sulfúrico del 1.0% obteniéndose 74.98% de conversión. Este tratamiento consistió en la hidrólisis ácida en 3 diferentes concentraciones de ácido sulfúrico de la cascarilla de cebada.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO CG

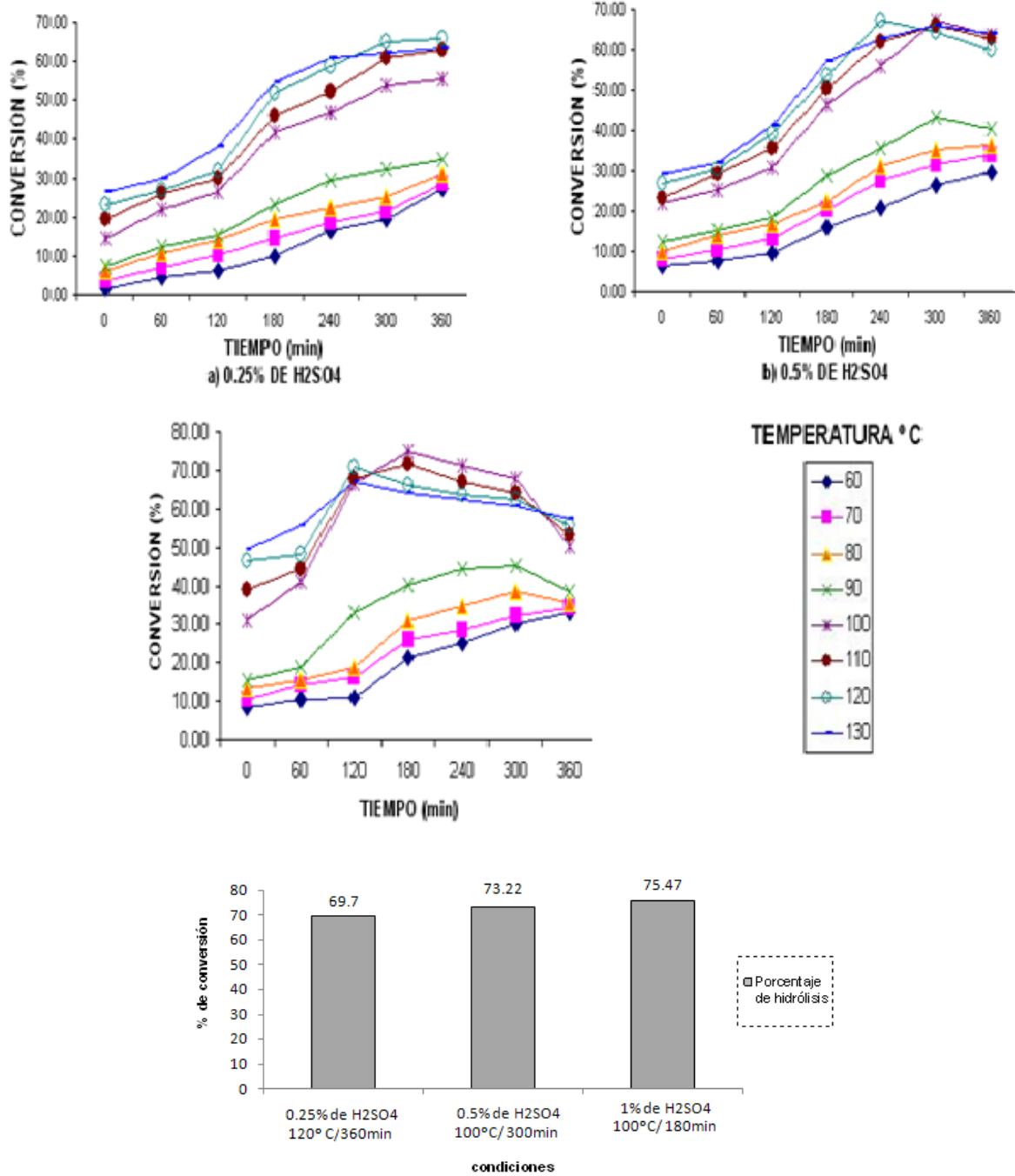
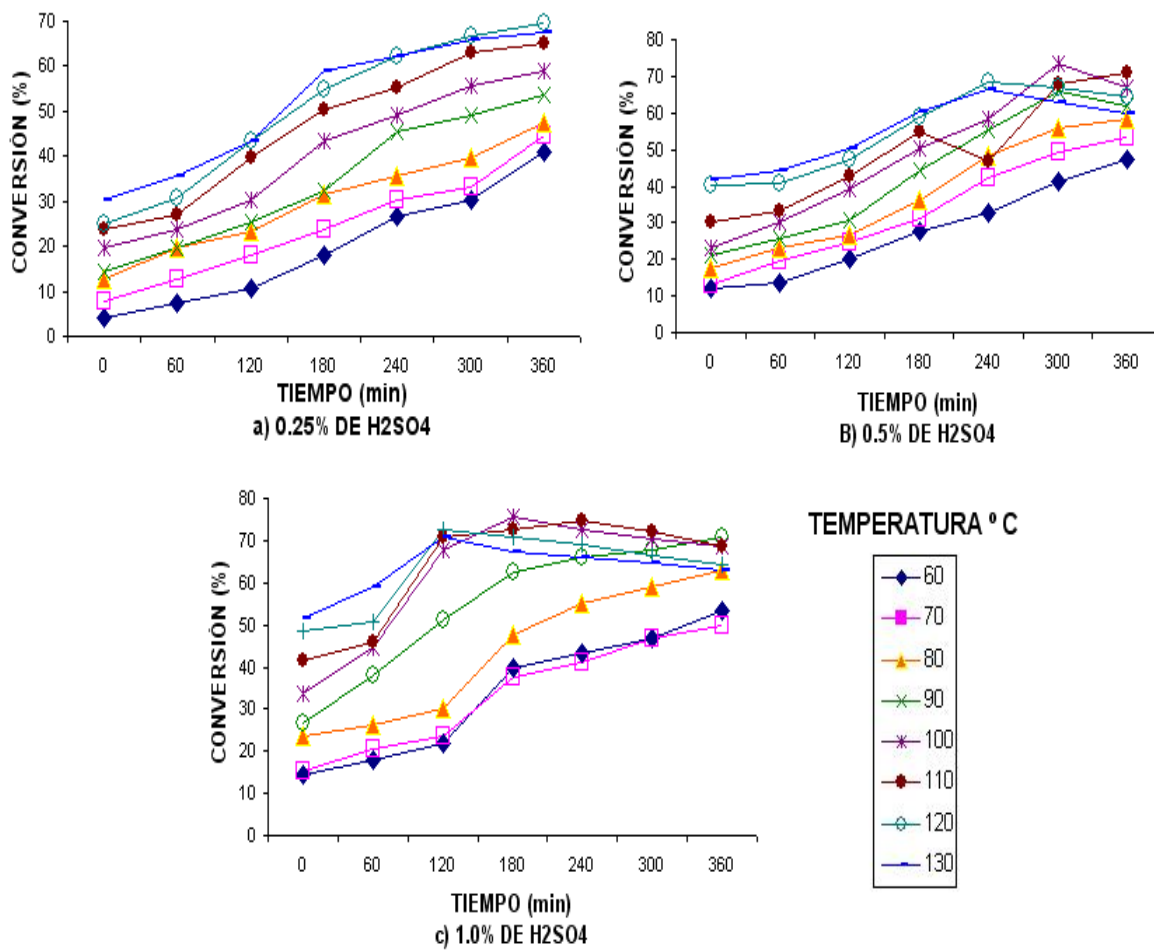


Gráfico 9. Hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada

5.4.3.2 Cascarrilla de cebada, molida y remojada en solución ácida (CGR)

El tratamiento CGR consistió en la cascarrilla de grano de cebada remojada por 3 días en soluciones ácidas y sometidas a hidrólisis. Los resultados completos obtenidos en el tratamiento CGR se muestran en el gráfico 10, en el se observa que el porcentaje máximo de hidrólisis fue de 75.47% y se obtuvo a los 180 minutos a una temperatura de 100° C con una concentración de ácido sulfúrico del 1.0%

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO CGR



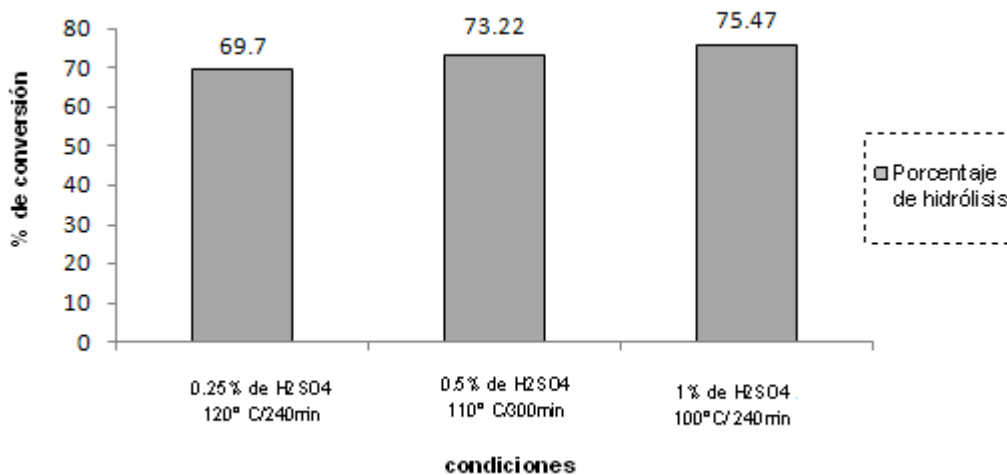


Gráfico 10. Hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada remojada en ácido sulfúrico

En comparación con el tratamiento CG se puede observar que hubo un incremento del 0.49% en la hidrólisis debido al remojo en solución ácida, pero podría no ser lo suficientemente significativo a nivel industrial, debido al tiempo invertido en el remojo en solución ácida.

5.4.3.3 Cascarilla de malta molida (CM)

Para lograr el máximo porcentaje de hidrólisis en el tratamiento CM, fueron necesarios 240 minutos a 100° C de temperatura con una concentración de ácido sulfúrico del 1.0% para obtener el 77.27% de conversión. Los resultados completos obtenidos en este tratamiento son mostrados en el gráfico 11. El tratamiento CM consistió en la hidrólisis ácida de la cascarilla de malta en 3 soluciones diferentes de ácido sulfúrico.

En comparación con el tratamiento CGR, se puede observar un incremento en el porcentaje de hidrólisis debido a que se favoreció la hidrólisis enzimática de las paredes lignocelulosicas del grano por acción enzimática debida al malteo del grano y por ende mayor facilidad para la hidrólisis ácida debido al debilitamiento de estas paredes.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO CM

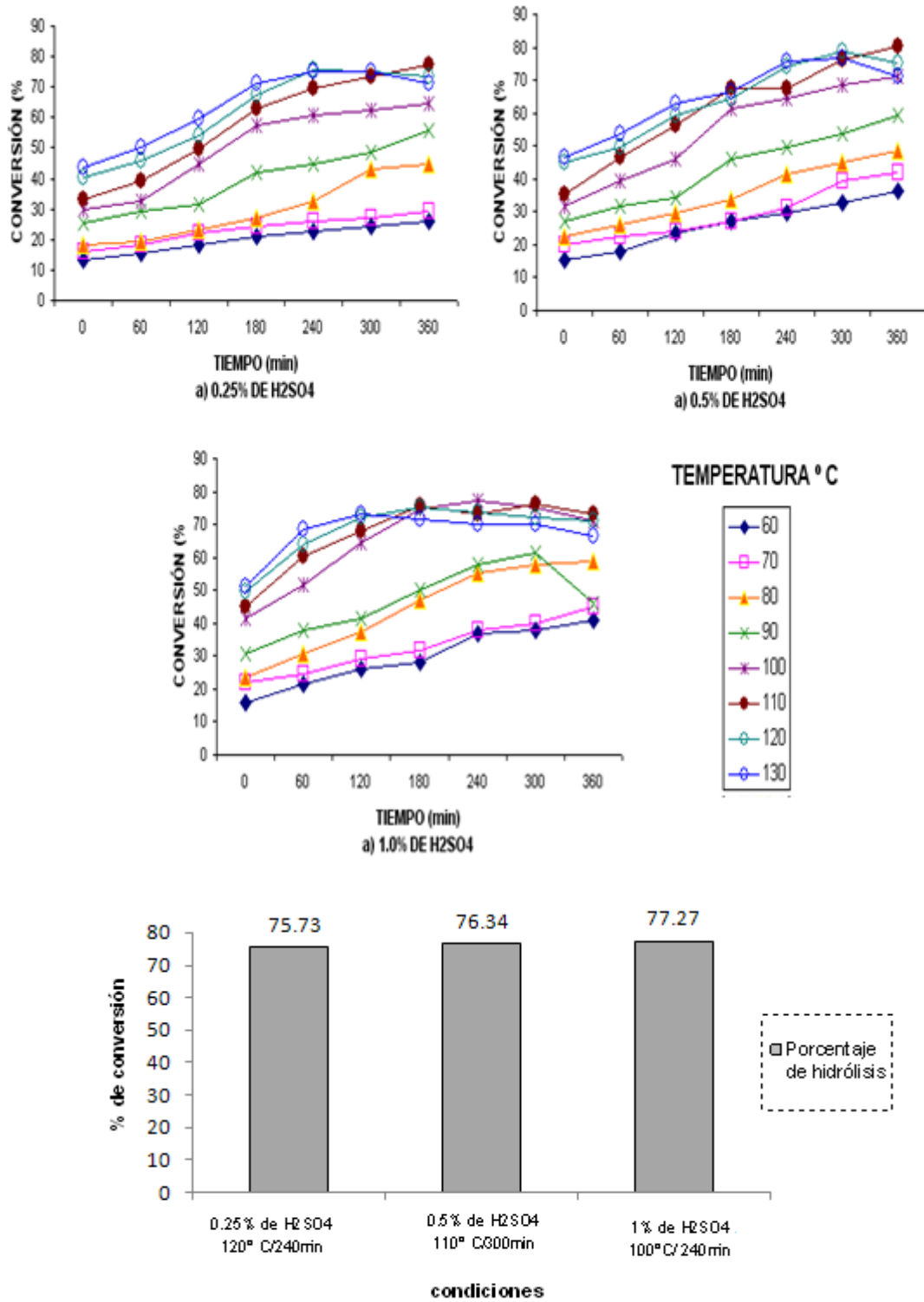


Gráfico 11. Cascarilla de malta sometida a hidrólisis ácida

5.4.3.4 Cascarilla de malta molida y remojada en solución ácida (CMR)

Para lograr el máximo porcentaje de hidrólisis en el tratamiento CMR, el cual consistió en cascarilla de malta remojada por 3 días previos a la hidrólisis ácida en soluciones de ácido sulfúrico al 0.25%, 0.5% y 1.0%, fueron necesarios 180 minutos a 100° C de temperatura con una concentración de ácido sulfúrico del 1.0% para obtener el 81.09% de conversión. Los resultados completos obtenidos en este tratamiento son mostrados en el gráfico 12.

En comparación con el tratamiento CM, se observa que hubo un incremento en el porcentaje de hidrólisis debido a que con el remojo en solución ácida se fortaleció la hidrólisis.

Para los tratamientos CG, CGR, CM y CMR, por la composición de la muestra se esperaba obtener glucosa y xilosa como carbohidratos mayoritarios y arabinosa y manosa entre otros como azúcares minoritarios.

En el trabajo de Aguilar y Canizales-Leal (2004) sobre hidrólisis ácida de cascarilla de cebada obtenida del desecho de la industria cervecera obtuvo el 70.43% de hidrólisis con una temperatura de 110°C a los 210 minutos y una concentración de ácido sulfúrico del 1%, comparando con el tratamiento CM y CMR, se puede observar que los resultados obtenidos son mayores a los reportados, pero esto pudiera deberse a que el material utilizado por dicho investigador fue cascarilla de desecho de la industria cervecera, por lo que durante la elaboración de la cerveza, los carbohidratos que se pudieron hidrolizar de la cascarilla durante el cocimiento del mosto se quedaron en éste y la cascarilla filtrada posteriormente del mosto contenía una menor cantidad de carbohidratos.

También debe de considerarse que la cebada varía en su composición química de acuerdo a la zona geográfica en que es cultivada, así como del suelo, fertilizantes, etc. (Poehlman, 1985)

Karimi y col (2005), estudiaron la hidrólisis ácida de la cascarilla de arroz,

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO CMR

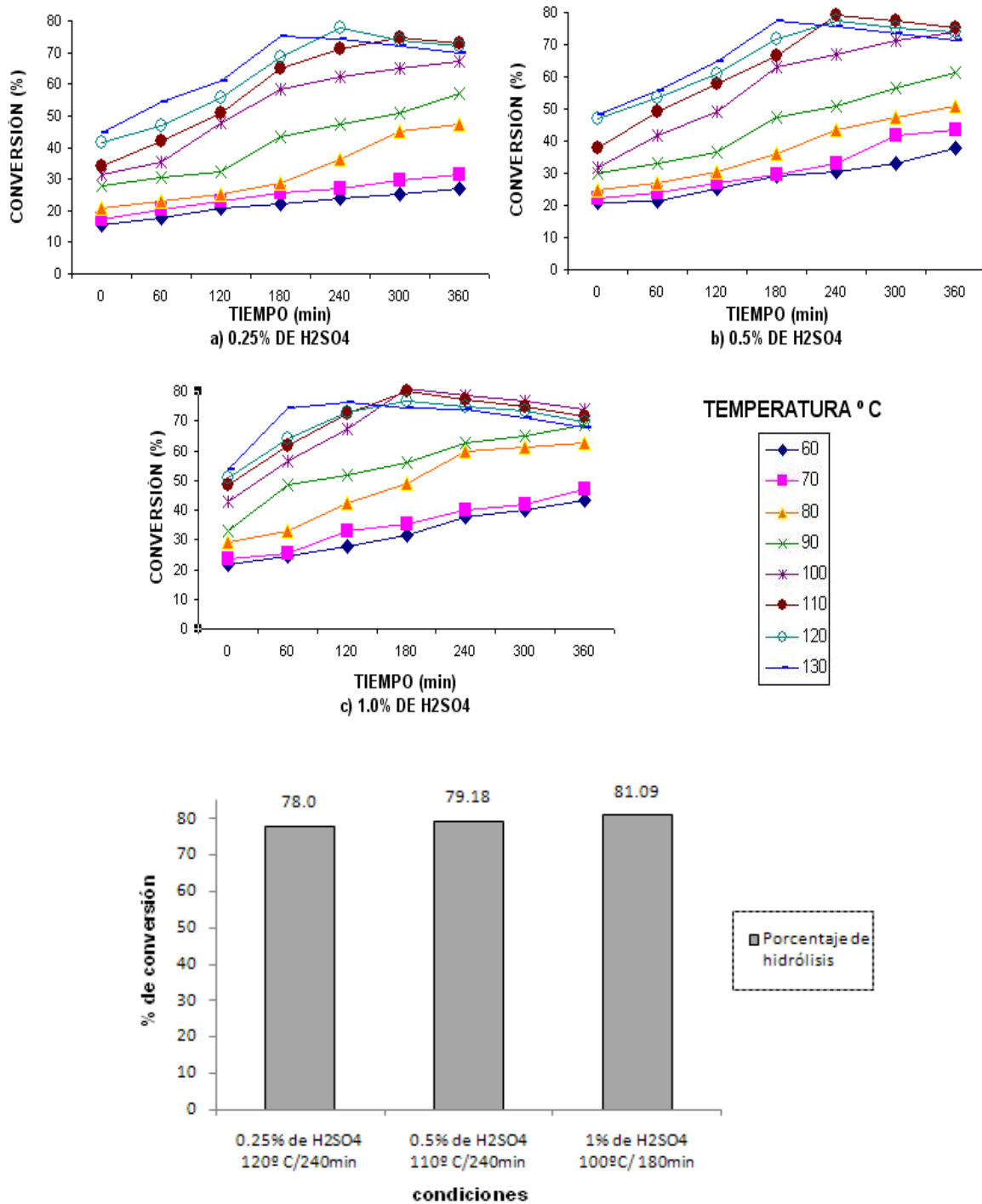


Gráfico 12. Hidrólisis de cascarilla de malta remojada en ácido sulfúrico

ahí se obtuvo un porcentaje de hidrólisis del 80.8% a 201°C por 10 minutos con ácido sulfúrico al 0.5%, así como Sun y Cheng (2004), estudiaron la hidrólisis

ácida de cascarilla de centeno , ellos obtuvieron un porcentaje de hidrólisis del 59% a una concentración de ácido sulfúrico del 1.2% durante 60 minutos a una temperatura de 121°C; comparando con los resultados obtenidos de los tratamientos CG y CGR se puede concluir que con la cascarilla de cebada se puede lograr un mayor porcentaje de hidrólisis. Por otro lado, con el tratamiento CMR, se demuestra que la cascarilla de malta remojada en solución ácida se genera aun mayor porcentaje de conversión.

Pattana y col (2006), realizaron la hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar del residuo de la industria azucarera, comparable con la muestra aquí empleada por su similitud en concentración de hemicelulosa y en ese estudio obtuvieron un porcentaje de conversión del 25.38% con 0.5% de ácido clorhídrico al 0.5% a 100° C por 5 horas, en comparación con el tratamiento CMR se puede observar que el rendimiento aquí obtenido por es superior y esto puede ser debido a la dureza de la caña de azúcar dificulto la acción del ácido para atacar las fibras de hemicelulosa del bagazo y a que la concentración de ácido empleada fue muy débil.

Por otro lado Agüero y col. (2006), realizaron la hidrólisis del bagazo de caña de azúcar tal y como se obtiene del cañaveral y obtuvieron un porcentaje de hidrólisis del 97.5% con H₂SO₄ al 30% a 50° C por 1 hora, en comparación con el tratamiento CMR el porcentaje aquí obtenido es menor debido a que el jugo de caña de azúcar es muy rica en azúcares y por ello resulta en un rendimiento alto.

Mejía y col (2007), realizaron la hidrólisis ácida del residuo industrial del mango (cáscara y semilla) y aplicaron 0.5% de concentración de H₂SO₄ con una temperatura de 80° C durante 1 h obteniendo el 52.75% de conversión, comparándolo con los tratamientos CM y CMR por sus similares tipos y porcentajes de polisacáridos, se puede observar que la cascarilla de malta presenta una menor resistencia a la hidrólisis debido a que se obtuvo un mayor rendimiento aunque para el mango fueron necesarias condiciones menos rigurosas.

6. CONCLUSIONES

- La variedad de cebada pastor Ortiz 2005, cumple con los requisitos establecidos por la norma oficial mexicana en cuanto a su calidad.
- En cuanto a los requisitos establecidos por la industria maltera, la muestra de cebada empleada cumple con el requisito de porcentaje de proteína.
- Para grano integral de cebada, el tratamiento descrito en el tratamiento MIR (cebada malteada y molida con todo y cascarilla y remojada por 3 días en solución ácida de ácido sulfúrico al 1%) y sometido a hidrólisis ácida a concentración de ácido sulfúrico del 1% por 180 minutos a 100°C, fue el mejor método para hidrolizar el mayor porcentaje de polisacáridos teniendo un 62.38% de conversión a azúcares reductores.
- Para grano descascarillado de cebada (harina), el tratamiento MDR (malta descascarillada molida y remojada por 3 días en solución de ácido sulfúrico), fue el método más eficaz, utilizando una concentración de ácido sulfúrico del 1% a los 240 minutos con una temperatura de 100° C obteniendo un porcentaje de hidrólisis del 60.48%.
- Para la cascarilla de cebada, el tratamiento descrito en el tratamiento CMR (cascarilla de malta remojada por 3 días en disolución de ácido sulfúrico al 1%) y sometida a hidrólisis ácida a concentración de ácido sulfúrico del 1% por 180 minutos a 100°C, fue el mejor método para hidrolizar el mayor porcentaje de polisacáridos teniendo un 69.22% de conversión a azúcares reductores.
- El malteo del grano de cebada produce que se hidrolice mayor porcentaje de polisacáridos debido a que se propicia una pre-hidrólisis enzimática en el grano el cual refuerza a la hidrólisis ácida posteriormente aplicada.

- El remojo por 3 días en solución ácida refuerza aun más la hidrólisis enzimática y ácida efectuada en la malta; ya que se permite que el ácido ataque los gránulos de almidón resistentes aunque el incremento es muy poco por lo que podría no ser a nivel industrial efectivo este método para incrementar el rendimiento de la hidrólisis.

7. PERSPECTIVAS

Para enriquecer esta investigación se plantean las siguientes perspectivas esperando que en algún momento puedan ser realizadas.

- Comprobar si aumentando las concentraciones de ácido sulfúrico, el máximo de hidrólisis aumente o se presente en menor tiempo.
- Realizar la caracterización de los carbohidratos obtenidos como productos de la hidrólisis.
- Estudiar la hidrólisis enzimática, para comprobar cual es mas efectiva y viable en la industria
- Buscar algún uso a los productos derivados de la hidrólisis de los carbohidratos de cebada

8. ANEXO

8.1 RESULTADOS DE CINÉTICA DE HIDRÓLISIS ÁCIDA DE POLISACÁRIDOS DE CEBADA.

Tratamiento GI

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%								
Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	0.17 (0.02) ^a	0.22 (0.04) ^a	0.42 (0.07) ^a	0.52 (0.05) ^a	0.77 (0.01) ^a	11.11 (0.09) ^a	12.61 (0.02) ^a	13.47 (0.06) ^a
60	0.24 (0.05) ^b	0.37 (0.10) ^b	0.65 (0.08) ^b	2.17 (0.04) ^b	7.68 (0.00) ^b	17.02 (0.03) ^b	16.38 (0.08) ^b	16.40 (0.04) ^b
120	0.35 (0.03) ^c	0.63 (0.01) ^c	1.88 (0.02) ^c	4.62 (0.01) ^c	17.69 (0.07) ^c	26.19 (0.14) ^c	24.13 (0.09) ^c	22.04 (0.07) ^c
180	0.49 (0.05) ^d	1.09 (0.04) ^d	3.49 (0.03) ^d	7.48 (0.07) ^d	19.14 (0.24) ^d	32.23 (0.09) ^d	34.28 (0.06) ^e	36.05 (0.02) ^g
240	0.06 (0.01) ^e	1.41 (0.37) ^e	6.07 (0.30) ^e	9.36 (0.08) ^e	20.30 (0.06) ^e	34.25 (0.04) ^e	35.09 (0.06) ^f	34.14 (0.02) ^f
300	1.37 (0.20) ^f	1.67 (0.07) ^f	9.53 (0.04) ^f	24.06 (0.08) ^f	26.00 (0.05) ^f	36.19 (0.27) ^f	38.17 (0.09)^g	32.47 (0.00) ^d
360	1.93 (0.03) ^g	2.59 (0.16) ^g	12.20 (0.03) ^g	26.55 (0.07) ^g	29.18 (0.32) ^g	36.60 (0.08) ^g	33.01 (0.02) ^d	32.05 (0.67) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración ácido Sulfúrico 0.50%								
Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	0.28 (0.04) ^a	0.44 (0.03) ^a	0.57 (0.07) ^a	0.64 (0.06) ^a	0.81 (0.01) ^a	17.71 (0.19) ^a	19.26 (0.03) ^a	20.88 (0.03) ^a
60	0.47 (0.02) ^b	0.72 (0.01) ^b	2.18 (0.05) ^b	3.64 (0.02) ^b	16.03 (0.03) ^b	23.90 (0.07) ^b	22.67 (0.34) ^b	23.03 (0.08) ^b
120	0.64 (0.00) ^c	0.91 (0.09) ^c	2.98 (0.03) ^c	9.94 (0.01) ^c	24.08 (0.00) ^c	29.73 (0.05) ^c	32.40 (0.00) ^c	35.03 (0.07) ^c
180	0.81 (0.08) ^d	1.42 (0.07) ^d	5.58 (0.05) ^d	15.96 (0.03) ^d	27.55 (0.08) ^d	34.45 (0.03) ^d	37.59 (0.71) ^d	38.17 (0.48) ^d
240	0.97 (0.03) ^e	1.92 (0.04) ^e	12.30 (0.00) ^e	25.55 (0.03) ^e	29.72 (0.09) ^e	42.61 (0.06) ^e	43.28 (0.09) ^e	45.29 (0.06) ^g
300	1.23 (0.06) ^f	2.33 (0.03) ^f	19.38 (0.02) ^f	27.99 (0.07) ^f	31.07 (0.08) ^f	46.05 (0.79) ^f	45.16 (0.05) ^g	44.28 (0.07) ^f
360	1.52 (0.04) ^g	2.60 (0.24) ^g	24.58 (0.17) ^g	29.65 (0.07) ^g	33.26 (0.00) ^g	47.51 (0.03)^g	44.15 (0.06) ^f	39.75 (0.23) ^e

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	2.09 (0.03) ^a	3.73 (0.07) ^a	4.49 (0.04) ^a	6.33 (0.06) ^a	7.72 (0.27) ^a	23.96 (0.01) ^a	23.75 (0.35) ^a	23.52 (0.06) ^a
60	3.65 (0.07) ^b	5.13 (0.03) ^b	5.70 (0.24) ^b	6.56 (0.04) ^b	26.26 (0.01) ^b	26.82 (0.03) ^b	26.24 (0.03) ^b	26.48 (0.09) ^b
120	3.87 (0.02) ^c	5.70 (0.04) ^c	6.99 (0.09) ^c	14.60 (0.30) ^c	50.28 (0.73)^g	36.31 (0.07) ^c	33.24 (0.09) ^d	35.04 (0.18) ^e
180	5.39 (0.06) ^d	7.26 (0.10) ^d	16.21 (0.04) ^d	31.33 (0.03) ^d	39.97 (0.07) ^f	42.00 (0.04) ^e	43.18 (0.06) ^g	45.83 (0.25) ^g
240	7.18 (0.01) ^e	8.89 (0.09) ^e	23.40 (0.07) ^e	33.30 (0.06) ^e	37.67 (0.04) ^e	43.65 (0.62) ^f	40.07 (0.05) ^f	36.47 (0.03) ^f
300	10.22 (0.08) ^f	15.92 (0.05) ^f	39.76 (0.37) ^f	38.09 (0.61) ^g	35.64 (0.06) ^d	44.78 (0.03) ^g	39.00 (0.38) ^e	33.22 (0.06) ^d
360	11.05 (0.09) ^g	17.72 (0.03) ^g	42.50 (0.06) ^g	37.27 (0.01) ^f	35.08 (0.03) ^c	41.03 (0.07) ^d	30.54 (0.29) ^c	29.79 (0.13) ^c

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento GIR

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	1.84 (0.09) ^a	3.00 (0.05) ^a	4.52 (0.03) ^a	4.79 (0.02) ^a	8.58 (0.01) ^a	13.29 (0.06) ^a	21.46 (0.07) ^a	29.64 (0.05) ^a
60	2.06 (0.03) ^b	4.57 (0.12) ^b	5.70 (0.05) ^b	8.11 (0.71) ^b	19.31 (0.04) ^b	24.95 (0.38) ^b	28.75 (0.04) ^b	32.55 (0.05) ^b
120	2.91 (0.05) ^c	5.10 (0.33) ^c	6.31 (0.42) ^c	10.24 (0.06) ^c	20.54 (0.24) ^c	25.68 (0.05) ^c	30.22 (0.06) ^c	37.46 (0.37) ^c
180	3.72 (0.01) ^d	5.26 (0.08) ^c	7.62 (0.03) ^d	14.88 (0.11) ^d	22.91 (0.35) ^d	29.13 (0.39) ^d	34.07 (0.05) ^d	39.02 (0.83) ^d
240	4.47 (0.07) ^e	5.57 (0.06) ^d	8.56 (0.21) ^e	22.04 (0.34) ^e	26.01 (0.01) ^e	31.45 (0.62) ^e	37.10 (0.04) ^e	42.74 (0.24) ^e
300	5.19 (0.04) ^f	8.32 (0.00) ^e	9.51 (0.08) ^f	23.37 (0.03) ^f	28.27 (0.09) ^f	33.10 (0.09) ^f	38.59 (0.19) ^f	44.08 (0.03) ^f
360	5.64 (0.03) ^g	10.24 (0.01) ^f	13.37 (0.07) ^g	25.69 (0.31) ^g	31.41 (0.07) ^g	34.60 (0.06) ^g	40.15 (0.37) ^g	45.69 (0.33)^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	3.03 (0.06) ^a	4.20 (0.11) ^a	4.65 (0.05) ^a	4.81 (0.02) ^a	13.44 (0.08) ^a	15.11 (0.03) ^a	23.64 (0.27) ^a	31.23 (0.20) ^a
60	4.15 (0.02) ^b	6.15 (0.05) ^b	6.38 (0.29) ^b	8.47 (0.04) ^b	22.82 (0.03) ^b	30.20 (0.08) ^b	32.24 (0.06) ^b	34.29 (0.06) ^b
120	4.39 (0.34) ^b	6.19 (0.20) ^b	7.28 (0.08) ^c	15.28 (0.00) ^c	30.43 (0.07) ^c	36.23 (0.24) ^c	37.75 (0.07) ^c	39.27 (0.09) ^c
180	5.13 (0.06) ^c	7.10 (0.03) ^c	9.94 (0.30) ^d	18.28 (0.03) ^d	32.63 (0.24) ^d	37.45 (0.51) ^d	41.90 (0.57) ^d	43.65 (0.37) ^e
240	5.51 (0.09) ^d	7.54 (0.06) ^d	11.40 (0.04) ^e	24.50 (0.01) ^e	35.09 (0.38) ^e	39.60 (0.02) ^e	43.51 (0.07) ^e	44.72 (0.07) ^g
300	5.86 (0.03) ^e	8.81 (0.04) ^e	14.21 (0.06) ^f	29.05 (0.05) ^f	37.77 (0.08) ^f	41.76 (0.62) ^f	46.47 (0.37)^g	44.15 (0.06) ^f
360	6.93 (0.02) ^f	10.27 (0.09) ^f	16.93 (0.04) ^g	31.06 (0.41) ^g	40.34 (0.01) ^g	44.37 (0.06) ^g	45.21 (0.35) ^f	42.16 (0.03) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	4.55 (0.05) ^a	5.69 (0.10) ^a	5.41 (0.06) ^a	8.23 (0.04) ^a	19.82 (0.02) ^a	22.57 (0.06) ^a	29.11 (0.03) ^a	33.09 (0.05) ^a
60	5.53 (0.01) ^b	7.33 (0.06) ^b	7.59 (0.02) ^b	10.32 (0.09) ^b	34.54 (0.34) ^b	35.61 (0.01) ^b	37.66 (0.39) ^b	41.07 (0.01) ^e
120	5.90 (0.08) ^c	9.36 (0.09) ^c	9.59 (0.09) ^c	16.86 (0.20) ^c	40.27 (0.03) ^d	42.21 (0.37) ^e	42.87 (0.04) ^e	43.53 (0.31) ^f
180	6.35 (0.03) ^d	10.05 (0.07) ^d	11.71 (0.07) ^d	20.45 (0.06) ^d	51.59 (0.09)^f	47.51 (0.24) ^g	46.11 (0.61) ^f	44.71 (0.09) ^g
240	6.48 (0.07) ^e	10.08 (0.2) ^d	12.70 (0.05) ^e	26.65 (0.02) ^e	42.69 (0.01) ^e	43.14 (0.09) ^f	41.91 (0.04) ^d	40.69 (0.03) ^d
300	6.78 (0.07) ^f	14.43 (0.06) ^e	15.81 (0.01) ^f	30.34 (0.04) ^f	35.74 (0.06) ^c	41.35 (0.04) ^d	39.84 (0.03) ^c	38.33 (0.38) ^c
360	8.57 (0.00) ^g	14.59 (0.11) ^f	18.22 (0.03) ^g	33.25 (0.09) ^g	34.62 (0.04) ^b	38.99 (0.01) ^c	37.63 (0.07) ^b	36.08 (0.02) ^b

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento GD

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%								
Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	1.29 (0.03) ^a	2.35 (0.04) ^a	3.42 (0.38) ^a	4.32 (0.07) ^a	6.52 (0.33) ^a	10.44 (0.05) ^a	12.21 (0.67) ^a	14.97 (0.08) ^a
60	2.31 (0.09) ^b	3.32 (0.00) ^b	3.63 (0.01) ^a	4.95 (0.03) ^b	9.12 (0.02) ^b	12.64 (0.09) ^b	14.44 (0.02) ^b	16.61 (0.03) ^b
120	3.10 (0.02) ^c	3.84 (0.14) ^c	5.02 (0.07) ^b	7.52 (0.02) ^c	13.96 (0.07) ^c	19.61 (0.00) ^c	23.07 (0.92) ^c	25.40 (0.00) ^c
180	3.87 (0.07) ^d	4.78 (0.06) ^d	6.57 (0.03) ^c	10.06 (0.04) ^d	15.00 (0.00) ^d	21.24 (0.24) ^d	26.13 (0.03) ^d	26.47 (0.02) ^d
240	6.17 (0.04) ^e	7.10 (0.08) ^e	9.60 (0.01) ^d	13.88 (0.01) ^e	17.69 (0.62) ^e	24.97 (0.05) ^e	26.80 (0.14) ^e	28.20 (0.35) ^e
300	7.26 (0.01) ^f	9.52 (0.04) ^f	12.66 (0.08) ^e	17.59 (0.03) ^f	24.85 (0.13) ^f	26.58 (0.11) ^f	30.53 (0.02) ^f	32.57 (0.09) ^f
360	8.69 (0.29) ^g	10.91 (0.00) ^g	15.86 (0.09) ^f	18.87 (0.08) ^g	25.96 (0.90) ^g	28.26 (0.28) ^g	34.99 (0.07)^g	34.15 (0.07) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%								
Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	2.41 (0.03) ^a	3.11 (0.07) ^a	3.85 (0.06) ^a	5.40 (0.01) ^a	8.63 (0.04) ^a	13.70 (0.03) ^a	15.17 (0.06) ^a	17.10 (0.04) ^a
60	3.52 (0.08) ^b	4.48 (0.02) ^b	5.76 (0.82) ^b	6.39 (0.03) ^b	10.58 (0.43) ^b	15.79 (0.84) ^b	19.01 (0.01) ^b	21.14 (0.35) ^b
120	4.17 (0.05) ^c	5.29 (0.04) ^c	6.91 (0.05) ^c	9.31 (0.50) ^c	17.22 (0.06) ^c	21.21 (0.09) ^c	24.68 (0.17) ^c	27.34 (0.01) ^c
180	5.60 (0.03) ^d	6.48 (0.00) ^d	8.22 (0.09) ^d	14.08 (0.07) ^d	18.78 (0.01) ^d	24.62 (0.19) ^d	28.51 (0.03) ^d	30.09 (0.64) ^d
240	7.02 (0.09) ^e	9.31 (0.68) ^e	11.02 (0.02) ^e	16.61 (0.06) ^e	19.78 (0.38) ^e	28.55 (0.05) ^e	30.01 (0.02) ^e	31.60 (0.06) ^e
300	8.39 (0.07) ^f	9.63 (0.07) ^e	13.73 (0.04) ^f	20.99 (0.05) ^f	30.08 (0.09) ^f	36.73 (0.27)^g	34.00 (0.41) ^f	32.78 (0.01) ^f
360	9.53 (0.26) ^g	14.21 (0.04) ^f	15.86 (0.05) ^g	24.29 (0.15) ^g	33.86 (0.38) ^g	36.51 (0.08) ^f	36.23 (0.71) ^g	34.23 (0.09) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	3.94 (0.08) ^a	4.80 (0.03) ^a	5.52 (0.09) ^a	6.02 (0.02) ^a	13.07 (0.07) ^a	15.75 (0.06) ^a	16.99 (0.37) ^a	18.95 (0.03) ^a
60	4.61 (0.02) ^b	5.96 (0.01) ^b	6.49 (0.06) ^b	7.57 (0.01) ^b	16.04 (0.21) ^b	18.64 (0.20) ^b	21.32 (0.06) ^b	24.77 (0.34) ^b
120	5.78 (0.09) ^c	7.43 (0.07) ^c	8.51 (0.04) ^c	16.45 (0.05) ^c	18.52 (0.39) ^c	22.34 (0.47) ^c	27.26 (0.29) ^c	28.33 (0.61) ^d
180	7.16 (0.27) ^d	9.36 (0.06) ^d	13.93 (0.02) ^d	19.50 (0.27) ^d	24.28 (0.83) ^d	25.97 (0.34) ^d	28.91 (0.06) ^d	31.03 (0.02) ^e
240	8.28 (0.06) ^e	9.68 (0.42) ^d	19.47 (0.73) ^e	29.15 (0.09) ^e	32.91 (0.00) ^e	33.97 (0.03) ^e	35.86 (0.00) ^e	38.80 (0.76) ^g
300	9.45 (0.02) ^f	14.18 (0.03) ^e	20.61 (0.03) ^f	30.83 (0.37) ^f	41.45 (0.06)^g	37.77 (0.08) ^f	37.32 (0.34) ^e	37.89 (0.07) ^f
360	10.64 (0.03) ^g	16.47 (0.22) ^f	23.47 (0.01) ^g	32.63 (0.02) ^g	38.11 (0.05) ^f	38.90 (0.34) ^g	37.87 (0.09) ^f	36.62 (0.04) ^c

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento GDR

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	3.32 (0.06) ^a	4.98 (0.05) ^a	6.48 (0.02) ^a	8.26 (0.04) ^a	10.09 (0.06) ^a	17.81 (0.01) ^a	19.63 (0.02) ^a	22.21 (0.38) ^a
60	4.17 (0.04) ^b	6.56 (0.03) ^b	8.56 (0.06) ^b	10.01 (0.02) ^b	12.53 (0.25) ^b	19.02 (0.03) ^b	21.83 (0.07) ^b	24.55 (0.21) ^b
120	6.69 (0.03) ^c	9.00 (0.09) ^c	10.36 (0.04) ^c	11.75 (0.01) ^c	16.36 (0.03) ^c	22.17 (0.49) ^c	24.38 (0.02) ^c	28.38 (0.07) ^c
180	7.81 (0.01) ^d	10.83 (0.04) ^d	12.38 (0.05) ^d	16.02 (0.08) ^d	18.64 (0.29) ^d	25.58 (0.62) ^d	30.43 (0.04) ^d	34.19 (0.06) ^d
240	8.44 (0.09) ^e	11.45 (0.05) ^e	16.63 (0.02) ^e	17.85 (0.27) ^e	22.31 (0.04) ^e	27.22 (0.08) ^e	40.43 (0.30) ^e	38.90 (0.03) ^e
300	11.78 (0.03) ^f	16.56 (0.01) ^f	18.85 (0.08) ^f	21.29 (0.03) ^f	24.58 (0.01) ^f	29.96 (0.04) ^f	44.88 (0.07)^g	42.73 (0.64) ^f
360	15.33 (0.09) ^g	17.97 (0.06) ^g	22.27 (0.05) ^g	24.65 (0.01) ^g	27.57 (0.04) ^g	33.99 (0.62) ^g	42.99 (0.58) ^f	43.87 (0.29) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	4.45 (0.02) ^a	6.23 (0.08) ^a	8.18 (0.05) ^a	8.76 (0.03) ^a	12.24 (0.05) ^a	18.26 (0.01) ^a	21.00 (0.03) ^a	23.67 (0.09) ^a
60	6.00 (0.07) ^b	8.17 (0.05) ^b	11.18 (0.08) ^b	12.21 (0.02) ^b	16.43 (0.06) ^b	20.45 (0.09) ^b	23.26 (0.04) ^b	28.15 (0.02) ^b
120	7.20 (0.09) ^c	10.00 (0.03) ^c	12.24 (0.09) ^c	15.79 (0.03) ^c	22.01 (0.04) ^c	27.06 (0.06) ^c	31.31 (0.01) ^c	32.12 (0.04) ^c
180	8.89 (0.04) ^d	11.79 (0.06) ^d	15.62 (0.02) ^d	17.91 (0.01) ^d	26.73 (0.09) ^d	33.69 (0.04) ^d	36.03 (0.05) ^d	38.64 (0.08) ^d
240	10.78 (0.03) ^e	15.14 (0.05) ^e	17.77 (0.03) ^e	21.22 (0.09) ^e	31.82 (0.02) ^e	35.62 (0.01) ^e	46.62 (0.06)^g	43.35 (0.01) ^g
300	12.44 (0.08) ^f	17.85 (0.02) ^f	19.79 (0.09) ^f	26.63 (0.15) ^f	37.56 (0.08) ^f	40.89 (0.00) ^f	45.64 (0.02) ^f	41.61 (0.24) ^f
360	16.56 (0.05) ^g	19.20 (0.01) ^g	20.81 (0.06) ^g	30.82 (0.08) ^g	41.63 (0.04) ^g	45.11 (0.07) ^g	43.67 (0.03) ^e	40.33 (0.02) ^e

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.00%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	6.00 (0.06) ^a	8.15 (0.01) ^a	8.87 (0.04) ^a	11.74 (0.01) ^a	20.30 (0.04) ^a	23.03 (0.08) ^a	25.62 (0.02) ^a	28.00 (0.09) ^a
60	7.29 (0.03) ^b	8.73 (0.09) ^b	11.24 (0.05) ^b	17.53 (0.04) ^b	25.27 (0.01) ^b	26.70 (0.02) ^b	31.91 (0.07) ^b	33.70 (0.37) ^b
120	8.75 (0.01) ^c	11.65 (0.29) ^c	16.37 (0.06) ^c	23.12 (0.05) ^c	29.00 (0.07) ^c	31.08 (0.06) ^c	33.75 (0.04) ^c	36.13 (0.14) ^c
180	11.24 (0.02) ^d	15.80 (0.03) ^d	19.39 (0.01) ^d	30.61 (0.03) ^d	36.87 (0.09) ^d	38.46 (0.50) ^d	39.02 (0.09) ^d	40.44 (0.71) ^d
240	12.22 (0.06) ^e	18.24 (0.05) ^e	25.08 (0.02) ^e	36.70 (0.08) ^e	44.16 (0.04) ^e	44.97 (0.01) ^e	46.65 (0.03) ^e	48.03 (0.06) ^g
300	15.36 (0.08) ^f	20.89 (0.04) ^f	27.06 (0.07) ^f	39.43 (0.04) ^f	51.84 (0.05)^g	50.66 (0.09) ^f	49.56 (0.04) ^f	45.92 (0.03) ^f
360	16.12 (0.04) ^g	21.73 (0.09) ^g	30.46 (0.06) ^g	43.92 (0.01) ^g	51.60 (0.08) ^f	49.56 (0.02) ^g	50.98 (0.11) ^g	42.23 (0.05) ^e

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento MI

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	3.05 (0.08) ^a	3.78 (0.05) ^a	4.19 (0.01) ^a	5.71 (0.07) ^a	10.51 (0.04) ^a	17.13 (0.00) ^a	19.19 (0.09) ^a	22.87 (0.07) ^a
60	3.69 (0.03) ^b	4.15 (0.04) ^b	4.93 (0.07) ^b	7.83 (0.05) ^b	18.81 (0.09) ^b	21.31 (0.02) ^b	23.07 (0.04) ^b	27.53 (0.28) ^b
120	4.07 (0.04) ^c	4.90 (0.01) ^c	6.19 (0.06) ^c	10.37 (0.04) ^c	29.99 (0.08) ^c	30.92 (0.07) ^c	36.52 (0.03) ^c	39.89 (0.06) ^c
180	5.34 (0.01) ^d	5.83 (0.09) ^d	7.82 (0.05) ^d	15.12 (0.09) ^d	32.82 (0.04) ^d	34.63 (0.05) ^d	40.69 (0.01) ^d	42.57 (0.03) ^d
240	6.97 (0.09) ^e	8.79 (0.27) ^e	11.10 (0.03) ^e	17.43 (0.04) ^e	38.68 (0.02) ^e	40.98 (0.10) ^e	42.76 (0.07) ^e	43.05 (0.05) ^e
300	8.44 (0.02) ^f	11.17 (0.06) ^f	14.67 (0.08) ^f	24.30 (0.03) ^f	41.91 (0.08) ^f	42.83 (0.06) ^f	46.22 (0.03) ^f	45.29 (0.02) ^f
360	10.57 (0.08) ^g	14.51 (0.07) ^g	18.91 (0.03) ^g	28.28 (0.05) ^g	43.63 (0.04) ^g	44.92 (0.29) ^g	47.06 (0.65)^g	46.19 (0.08) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	3.80 (0.05) ^a	4.98 (0.08) ^a	5.47 (0.02) ^a	6.41 (0.08) ^a	11.74 (0.07) ^a	18.89 (0.04) ^a	20.43 (0.68) ^a	22.11 (0.04) ^a
60	4.23 (0.01) ^b	5.61 (0.06) ^b	6.76 (0.04) ^b	8.17 (0.02) ^b	24.26 (0.08) ^b	24.89 (0.03) ^b	26.40 (0.37) ^b	28.01 (0.02) ^b
120	5.38 (0.20) ^c	7.61 (0.05) ^c	8.73 (0.09) ^c	10.73 (0.01) ^c	30.39 (0.05) ^c	32.89 (0.08) ^c	33.71 (0.17) ^c	35.34 (0.06) ^c
180	6.68 (0.06) ^d	9.02 (0.01) ^d	9.86 (0.04) ^d	18.70 (0.08) ^d	31.96 (0.18) ^d	33.94 (0.04) ^d	37.22 (0.30) ^d	37.56 (0.08) ^d
240	8.17 (0.08) ^e	11.83 (0.05) ^e	14.14 (0.02) ^e	23.99 (0.15) ^e	33.34 (0.52) ^e	35.78 (0.26) ^e	39.32 (0.09) ^e	38.75 (0.01) ^e
300	9.82 (0.04) ^f	14.56 (0.07) ^f	16.59 (0.03) ^f	24.91 (0.06) ^f	38.49 (0.04) ^f	42.12 (0.34) ^f	43.20 (0.06) ^f	45.29 (0.08) ^f
360	10.91 (0.09) ^g	17.95 (0.04) ^g	19.84 (0.05) ^g	32.04 (0.03) ^g	48.00 (0.06) ^g	49.40 (0.07)^g	46.06 (0.01) ^g	47.39 (0.07) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	4.61 (0.02) ^a	5.58 (0.04) ^a	6.42 (0.09) ^a	6.94 (0.08) ^a	19.57 (0.03) ^a	21.16 (0.09) ^a	23.16 (0.35) ^a	25.17 (0.38) ^a
60	5.78 (0.08) ^b	6.46 (0.06) ^b	7.74 (0.01) ^b	9.04 (0.03) ^b	31.22 (0.05) ^b	33.13 (0.06) ^b	34.27 (0.08) ^b	35.23 (0.22) ^b
120	6.61 (0.06) ^c	8.80 (0.08) ^c	10.51 (0.03) ^c	21.12 (0.04) ^c	47.69 (0.07) ^d	44.72 (0.03) ^d	43.11 (0.07) ^d	41.77 (0.03) ^d
180	9.13 (0.07) ^d	11.10 (0.04) ^d	15.23 (0.06) ^d	31.73 (0.16) ^d	56.30 (0.09)^g	48.40 (0.02) ^f	48.16 (0.05) ^f	45.38 (0.04) ^f
240	9.57 (0.04) ^e	14.08 (0.03) ^e	19.14 (0.07) ^e	34.73 (0.09) ^e	52.34 (0.16) ^f	50.55 (0.05) ^g	49.61 (0.05) ^g	46.77 (0.29) ^g
300	10.94 (0.01) ^f	18.52 (0.02) ^f	31.10 (0.04) ^f	38.28 (0.08) ^f	49.33 (0.38) ^e	45.83 (0.02) ^e	43.99 (0.03) ^e	42.63 (0.04) ^e
360	13.37 (0.02) ^g	20.53 (0.08) ^g	34.75 (0.06) ^g	44.17 (0.01) ^g	44.92 (0.61) ^c	43.26 (0.24) ^c	41.76 (0.09) ^c	40.16 (0.9) ^c

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento MIR

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	4.54 (0.13) ^a	6.42 (0.09) ^a	7.76 (0.02) ^a	9.23 (0.38) ^a	15.85 (0.05) ^a	21.49 (0.04) ^a	27.34 (0.07) ^a	31.10 (0.03) ^a
60	6.22 (0.07) ^b	8.01 (0.06) ^b	9.16 (0.01) ^b	11.84 (0.03) ^b	25.74 (0.02) ^b	24.68 (0.06) ^b	31.14 (0.01) ^b	34.16 (0.09) ^b
120	8.47 (0.02) ^c	9.87 (0.05) ^c	11.38 (0.08) ^c	12.42 (0.10) ^c	35.98 (0.09) ^c	36.52 (0.04) ^c	38.46 (0.00) ^c	42.19 (0.07) ^c
180	9.08 (0.05) ^d	11.36 (0.01) ^d	12.47 (0.03) ^d	18.42 (0.68) ^d	38.13 (0.06) ^d	40.11 (0.09) ^d	45.36 (0.04) ^d	47.10 (0.04) ^d
240	10.90 (0.09) ^e	12.50 (0.02) ^e	15.35 (0.04) ^e	21.79 (0.09) ^e	40.57 (0.02) ^e	48.07 (0.78) ^e	48.76 (0.35) ^e	49.68 (0.09) ^e
300	12.46 (0.04) ^f	16.71 (0.08) ^f	19.13 (0.02) ^f	32.19 (0.26) ^f	49.39 (0.07) ^f	50.82 (0.21) ^f	51.65 (0.03) ^f	50.59 (0.05) ^f
360	15.40 (0.01) ^g	19.45 (0.03) ^g	23.52 (0.09) ^g	35.23 (0.18) ^g	50.93 (0.02) ^g	52.41 (0.03) ^g	53.23 (0.05)^g	52.10 (0.01) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	6.35 (0.28) ^a	7.99 (0.08) ^a	9.68 (0.04) ^a	12.42 (0.08) ^a	20.52 (0.02) ^a	24.74 (0.07) ^a	27.64 (0.04) ^a	32.20 (0.03) ^a
60	8.27 (0.31) ^b	11.57 (0.05) ^b	12.23 (0.03) ^b	15.47 (0.06) ^b	28.36 (0.09) ^b	31.05 (0.04) ^b	32.20 (0.01) ^b	35.66 (0.09) ^b
120	10.86 (0.19) ^c	12.91 (0.04) ^c	16.79 (0.09) ^c	19.46 (0.02) ^c	36.70 (0.04) ^c	39.22 (0.03) ^c	45.79 (0.07) ^c	42.61 (0.04) ^c
180	14.02 (0.05) ^d	15.13 (0.12) ^d	18.83 (0.01) ^d	22.44 (0.24) ^d	41.52 (0.06) ^d	42.67 (0.09) ^d	49.08 (0.06) ^d	50.82 (0.01) ^d
240	15.54 (0.08) ^e	17.03 (0.02) ^e	19.66 (0.03) ^e	25.49 (0.05) ^e	44.75 (0.02) ^e	49.64 (0.01) ^e	51.87 (0.09) ^e	53.13 (0.22) ^e
300	17.63 (0.04) ^f	18.99 (0.01) ^f	21.87 (0.08) ^f	35.03 (0.00) ^f	51.33 (0.04) ^f	51.79 (0.08) ^f	53.28 (0.18) ^f	54.65 (0.10) ^f
360	18.73 (0.06) ^g	20.50 (0.08) ^g	24.57 (0.06) ^g	38.06 (0.02) ^g	53.11 (0.08) ^g	57.38 (0.04)^g	53.38 (0.05) ^f	55.66 (0.31) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	7.64 (0.04) ^a	12.42 (0.06) ^a	17.03 (0.01) ^a	20.85 (0.05) ^a	27.62 (0.09) ^a	30.87 (0.02) ^a	37.80 (0.37) ^a	41.24 (0.07) ^a
60	10.21 (0.01) ^b	15.08 (0.02) ^b	20.11 (0.08) ^b	22.00 (0.06) ^b	41.25 (0.07) ^b	42.56 (0.08) ^b	46.05 (0.29) ^b	50.69 (0.03) ^d
120	13.19 (0.06) ^c	18.20 (0.05) ^c	23.86 (0.03) ^c	26.10 (0.07) ^c	55.48 (0.02) ^c	55.97 (0.03) ^c	57.76 (0.18) ^f	56.89 (0.01) ^f
180	16.95 (0.08) ^d	20.48 (0.01) ^d	25.97 (0.07) ^d	37.18 (0.02) ^d	62.38 (0.09)^g	59.25 (0.01) ^e	58.91 (0.24) ^g	51.68 (0.05) ^g
240	20.38 (0.03) ^e	23.81 (0.07) ^e	33.27 (0.02) ^e	39.95 (0.19) ^e	61.49 (0.26) ^f	60.75 (0.03) ^f	56.83 (0.06) ^e	54.90 (0.07) ^e
300	21.53 (0.04) ^f	24.64 (0.14) ^f	39.12 (0.09) ^f	45.71 (0.07) ^f	57.79 (0.38) ^e	60.88 (0.05) ^g	54.75 (0.11) ^d	46.20 (0.26) ^c
360	22.89 (0.05) ^g	27.65 (0.03) ^g	41.73 (0.06) ^g	52.32 (0.02) ^g	56.42 (0.25) ^d	57.98 (0.09) ^d	53.23 (0.04) ^c	42.23 (0.09) ^b

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento MD

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	6.19 (0.06) ^a	7.67 (0.03) ^a	9.83 (0.07) ^a	11.62 (0.02) ^a	14.14 (0.05) ^a	16.45 (0.29) ^a	19.93 (0.14) ^a	22.38 (0.02) ^a
60	7.67 (0.02) ^b	9.95 (0.08) ^b	11.53 (0.03) ^b	16.91 (0.04) ^b	18.36 (0.01) ^b	25.23 (0.05) ^b	30.65 (0.26) ^b	26.72 (0.03) ^b
120	9.90 (0.07) ^c	10.47 (0.04) ^c	12.86 (0.16) ^c	19.49 (0.05) ^c	25.09 (0.09) ^c	33.35 (0.02) ^c	35.73 (0.22) ^c	37.12 (0.01) ^c
180	10.67 (0.02) ^d	12.17 (0.06) ^d	16.62 (0.27) ^d	22.55 (0.01) ^d	26.92 (0.12) ^d	37.26 (0.06) ^d	41.71 (0.16) ^d	44.51 (0.05) ^d
240	11.71 (0.03) ^e	14.96 (0.09) ^e	18.94 (0.09) ^e	25.25 (0.07) ^e	31.42 (0.04) ^e	41.71 (0.13) ^e	47.70 (0.22) ^e	48.43 (0.16) ^e
300	13.58 (0.09) ^f	16.60 (0.01) ^f	21.08 (0.11) ^f	30.37 (0.02) ^f	33.78 (0.06) ^f	45.42 (0.09) ^f	52.74 (0.09)^g	50.36 (0.11) ^g
360	15.06 (0.05) ^g	19.84 (0.03) ^g	23.35 (0.07) ^g	33.34 (0.05) ^g	39.16 (0.04) ^g	46.57 (0.08) ^g	50.21 (0.27) ^f	49.58 (0.06) ^f

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	7.72 (0.29) ^a	9.61 (0.01) ^a	12.14 (0.02) ^a	14.96 (0.06) ^a	18.22 (0.04) ^a	21.03 (0.28) ^a	24.47 (0.04) ^a	26.93 (0.28) ^a
60	9.58 (0.05) ^b	10.63 (0.04) ^b	14.93 (0.09) ^b	16.60 (0.24) ^b	20.84 (0.03) ^b	26.94 (0.34) ^b	34.14 (0.06) ^b	36.73 (0.34) ^b
120	11.53 (0.09) ^c	19.49 (0.06) ^c	18.24 (0.02) ^c	20.96 (0.08) ^c	26.92 (0.04) ^c	35.53 (0.19) ^c	37.90 (0.08) ^c	41.71 (0.39) ^c
180	14.93 (0.01) ^d	16.60 (0.08) ^d	19.95 (0.06) ^d	22.50 (0.15) ^d	33.17 (0.01) ^d	41.69 (0.20) ^d	45.51 (0.12) ^d	49.41 (0.24) ^d
240	17.36 (0.03) ^e	19.34 (0.04) ^e	21.52 (0.01) ^e	26.31 (0.03) ^e	38.42 (0.02) ^e	48.96 (0.06) ^e	51.05 (0.05) ^e	52.37 (0.23) ^g
300	18.55 (0.07) ^f	22.53 (0.01) ^f	23.36 (0.03) ^f	31.94 (0.09) ^f	42.17 (0.00) ^f	55.86 (0.09)^g	54.40 (0.01) ^g	51.54 (0.16) ^f
360	19.99 (0.06) ^g	25.46 (0.05) ^g	26.94 (0.09) ^g	35.11 (0.13) ^g	47.35 (0.05) ^g	50.51 (0.08) ^f	51.89 (0.04) ^f	50.38 (0.33) ^e

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	9.18 (0.03) ^a	11.53 (0.08) ^a	16.58 (0.09) ^a	22.34 (0.16) ^a	27.90 (0.07) ^a	31.37 (0.13) ^a	37.11 (0.08) ^a	41.08 (0.06) ^b
60	12.17 (0.05) ^b	13.57 (0.03) ^b	18.79 (0.04) ^b	26.93 (0.09) ^b	33.22 (0.05) ^b	37.28 (0.24) ^b	42.60 (0.05) ^b	45.68 (0.08) ^e
120	15.36 (0.01) ^c	16.28 (0.06) ^c	20.96 (0.07) ^c	32.53 (0.04) ^c	39.14 (0.01) ^c	46.15 (0.19) ^c	49.58 (0.07) ^d	53.51 (0.16) ^g
180	16.65 (0.05) ^d	19.95 (0.07) ^d	26.87 (0.03) ^d	37.08 (0.26) ^d	47.66 (0.07) ^d	53.98 (0.27) ^e	55.86 (0.12) ^f	57.42 (0.09) ^f
240	19.94 (0.08) ^e	23.91 (0.04) ^e	32.99 (0.07) ^e	41.08 (0.16) ^e	58.52 (0.05)^g	56.47 (0.08) ^g	52.89 (0.09) ^e	53.12 (0.42) ^d
300	22.45 (0.06) ^f	25.45 (0.09) ^f	34.26 (0.06) ^f	44.71 (0.04) ^f	56.72 (0.06) ^f	55.38 (0.17) ^f	49.58 (0.05) ^d	46.29 (0.08) ^c
360	23.79 (0.04) ^g	28.07 (0.13) ^g	37.11 (0.04) ^g	46.49 (0.07) ^g	53.18 (0.18) ^e	52.14 (0.06) ^d	46.88 (0.23) ^c	42.56 (0.10) ^a

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento MDR

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	7.66 (0.09) ^a	9.63 (0.02) ^a	10.63 (0.01) ^a	12.11 (0.06) ^a	15.93 (0.04) ^a	19.54 (0.08) ^a	22.35 (0.05) ^a	25.40 (0.04) ^a
60	9.15 (0.07) ^b	10.17 (0.06) ^b	12.11 (0.06) ^b	18.00 (0.05) ^b	20.92 (0.01) ^b	26.55 (0.04) ^b	34.28 (0.02) ^b	37.99 (0.01) ^b
120	10.67 (0.02) ^c	12.17 (0.05) ^c	14.62 (0.05) ^c	21.13 (0.01) ^c	27.04 (0.07) ^c	35.35 (0.01) ^c	39.85 (0.09) ^c	44.95 (0.08) ^c
180	12.14 (0.08) ^d	16.13 (0.02) ^d	18.46 (0.08) ^d	24.65 (0.07) ^d	30.15 (0.08) ^d	40.29 (0.09) ^d	45.78 (0.04) ^d	48.88 (0.06) ^d
240	14.98 (0.04) ^e	18.48 (0.01) ^e	19.33 (0.04) ^e	27.77 (0.06) ^e	34.18 (0.05) ^e	44.65 (0.16) ^e	55.10 (0.02) ^e	53.18 (0.04) ^e
300	16.87 (0.05) ^f	19.49 (0.09) ^f	21.99 (0.03) ^f	33.24 (0.02) ^f	36.17 (0.07) ^f	47.62 (0.08) ^f	56.48 (0.05)^f	55.18 (0.08) ^g
360	20.31 (0.08) ^g	22.29 (0.04) ^g	24.35 (0.07) ^g	36.63 (0.09) ^g	40.06 (0.01) ^g	48.80 (0.04) ^g	56.47 (0.06) ^f	53.77 (0.09) ^f

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	9.65 (0.03) ^a	10.63 (0.12) ^a	15.52 (0.30) ^a	16.59 (0.09) ^a	20.03 (0.04) ^a	23.57 (0.16) ^a	26.66 (0.03) ^a	31.33 (0.02) ^a
60	10.48 (0.04) ^b	12.12 (0.18) ^b	18.20 (0.35) ^b	19.51 (0.05) ^b	24.31 (0.03) ^b	33.51 (0.11) ^b	37.80 (0.07) ^b	38.29 (0.06) ^b
120	12.12 (0.09) ^c	15.28 (0.16) ^c	19.56 (0.32) ^c	22.14 (0.01) ^c	32.97 (0.08) ^c	39.34 (0.10) ^c	42.45 (0.20) ^c	47.98 (0.04) ^c
180	17.13 (0.01) ^d	19.27 (0.28) ^d	20.52 (0.27) ^d	25.54 (0.08) ^d	37.91 (0.01) ^d	45.90 (0.08) ^d	48.20 (0.06) ^d	51.94 (0.01) ^e
240	19.80 (0.07) ^e	23.04 (0.19) ^e	24.31 (0.24) ^e	28.11 (0.04) ^e	41.79 (0.02) ^e	52.24 (0.22) ^e	53.37 (0.04) ^e	54.88 (0.08) ^g
300	20.96 (0.05) ^f	25.26 (0.27) ^f	26.90 (0.19) ^f	34.13 (0.01) ^f	46.57 (0.09) ^f	59.16 (0.19)^g	56.17 (0.01) ^g	53.51 (0.05) ^f
360	22.45 (0.08) ^g	26.90 (0.16) ^g	30.04 (0.20) ^g	37.22 (0.06) ^g	49.55 (0.02) ^g	54.38 (0.27) ^f	54.71 (0.09) ^f	48.80 (0.01) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	10.61 (0.03) ^a	14.60 (0.01) ^a	19.47 (0.08) ^a	26.12 (0.02) ^a	31.10 (0.05) ^a	34.29 (0.07) ^a	41.17 (0.09) ^a	45.33 (0.03) ^a
60	15.44 (0.08) ^b	16.48 (0.05) ^b	21.68 (0.06) ^b	30.73 (0.07) ^b	37.35 (0.03) ^b	45.54 (0.01) ^b	47.14 (0.03) ^b	48.66 (0.09) ^d
120	17.48 (0.01) ^c	19.25 (0.03) ^c	24.77 (0.02) ^c	37.60 (0.05) ^c	41.63 (0.08) ^c	50.82 (0.07) ^c	53.43 (0.01) ^f	57.19 (0.06) ^g
180	21.68 (0.05) ^d	23.24 (0.08) ^d	31.71 (0.08) ^d	39.98 (0.02) ^d	51.32 (0.06) ^d	56.96 (0.09) ^e	57.83 (0.06) ^g	52.30 (0.02) ^f
240	22.06 (0.06) ^e	25.44 (0.09) ^e	34.33 (0.01) ^e	42.73 (0.03) ^e	60.48 (0.05)^g	59.29 (0.03) ^g	53.10 (0.08) ^e	49.77 (0.07) ^e
300	25.39 (0.09) ^f	28.25 (0.01) ^f	37.11 (0.05) ^f	46.58 (0.08) ^f	59.60 (0.02) ^f	57.66 (0.07) ^f	51.89 (0.01) ^d	47.42 (0.03) ^c
360	26.87 (0.02) ^g	29.73 (0.08) ^g	40.02 (0.04) ^g	49.55 (0.07) ^g	57.65 (0.09) ^e	56.28 (0.02) ^d	50.40 (0.05) ^c	46.58 (0.06) ^b

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento CG

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	2.45 (0.08) ^a	5.29 (0.02) ^a	8.95 (0.05) ^a	10.90 (0.01) ^a	14.30 (0.50) ^a	19.52 (0.02) ^a	23.06 (0.06) ^a	26.59 (0.03) ^a
60	6.51 (0.05) ^b	10.38 (0.06) ^b	15.59 (0.02) ^b	18.08 (0.06) ^b	22.01 (0.26) ^b	26.03 (0.06) ^b	26.84 (0.08) ^b	29.92 (0.06) ^b
120	9.24 (0.09) ^c	15.06 (0.04) ^c	20.53 (0.07) ^c	21.95 (0.04) ^c	26.49 (0.41) ^c	29.75 (0.02) ^c	31.95 (0.01) ^c	38.19 (0.05) ^c
180	14.38 (0.03) ^d	21.10 (0.09) ^d	28.50 (0.06) ^d	33.60 (0.01) ^d	41.98 (0.09) ^d	46.08 (0.08) ^d	51.66 (0.06) ^d	54.85 (0.07) ^d
240	23.77 (0.04) ^e	27.31 (0.03) ^e	32.19 (0.02) ^e	42.82 (0.03) ^e	46.62 (0.12) ^e	52.20 (0.04) ^e	58.85 (0.02) ^e	60.95 (0.01) ^e
300	28.47 (0.07) ^f	31.38 (0.08) ^f	36.35 (0.09) ^f	46.55 (0.01) ^f	53.73 (0.33) ^f	61.08 (0.03) ^f	64.85 (0.07) ^f	61.96 (0.06) ^f
360	39.63 (0.01) ^g	41.61 (0.09) ^g	45.32 (0.02) ^g	50.59 (0.05) ^g	55.65 (0.16) ^g	63.13 (0.01) ^g	65.71 (0.01)^g	63.55 (0.09) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	9.10 (0.15) ^a	11.87 (0.03) ^a	14.41 (0.06) ^a	17.97 (0.09) ^a	21.84 (0.05) ^a	23.27 (0.01) ^a	26.69 (0.09) ^a	29.26 (0.05) ^a
60	10.99 (0.22) ^b	14.81 (0.04) ^b	20.09 (0.09) ^b	25.29 (0.01) ^b	25.29 (0.01) ^b	29.21 (0.06) ^b	30.41 (0.18) ^b	32.15 (0.03) ^b
120	14.16 (0.19) ^c	19.29 (0.09) ^c	24.14 (0.03) ^c	30.98 (0.06) ^c	30.98 (0.03) ^c	35.48 (0.04) ^c	39.37 (0.24) ^c	41.15 (0.07) ^c
180	23.16 (0.36) ^d	29.34 (0.07) ^d	32.49 (0.01) ^d	46.44 (0.04) ^d	46.44 (0.09) ^d	50.49 (0.01) ^d	53.49 (0.08) ^d	57.12 (0.01) ^d
240	30.19 (0.28) ^e	39.89 (0.08) ^e	45.48 (0.05) ^e	55.90 (0.08) ^e	55.90 (0.04) ^e	62.15 (0.03) ^e	67.03 (0.14) ^g	62.80 (0.05) ^e
300	38.12 (0.31) ^f	46.00 (0.01) ^f	51.08 (0.04) ^f	67.33 (0.01) ^g	67.33 (0.01)^g	65.90 (0.07) ^g	64.42 (0.09) ^f	66.18 (0.02) ^g
360	43.19 (0.28) ^g	49.05 (0.05) ^g	52.95 (0.02) ^g	63.68 (0.06) ^f	53.68 (0.08) ^f	62.65 (0.12) ^f	59.97 (0.07) ^e	63.88 (0.01) ^f

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	12.45 (0.03) ^a	15.18 (0.05) ^a	19.38 (0.07) ^a	22.51 (0.05) ^a	31.15 (0.07) ^a	39.06 (0.01) ^a	46.49 (0.16) ^a	49.59 (0.25) ^a
60	15.22 (0.04) ^b	20.74 (0.01) ^b	22.64 (0.02) ^b	27.21 (0.01) ^b	41.14 (0.02) ^b	44.44 (0.02) ^b	48.27 (0.04) ^b	55.62 (0.13) ^b
120	15.90 (0.08) ^c	23.74 (0.09) ^c	27.27 (0.06) ^c	48.18 (0.07) ^c	66.61 (0.04) ^d	68.03 (0.09) ^f	70.60 (0.06) ^g	67.07 (0.08) ^g
180	30.84 (0.01) ^d	37.59 (0.06) ^d	44.71 (0.04) ^d	58.38 (0.05) ^e	74.98 (0.02)^g	71.48 (0.04) ^g	66.33 (0.01) ^f	64.09 (0.07) ^f
240	36.18 (0.06) ^e	41.01 (0.01) ^e	50.14 (0.01) ^e	64.16 (0.03) ^f	71.39 (0.09) ^f	67.11 (0.08) ^e	63.70 (0.07) ^e	62.23 (0.02) ^e
300	43.69 (0.08) ^f	46.81 (0.08) ^f	56.01 (0.03) ^g	65.74 (0.08) ^g	67.97 (0.01) ^e	63.93 (0.04) ^d	62.57 (0.06) ^d	60.65 (0.06) ^d
360	47.74 (0.09) ^g	49.76 (0.03) ^g	51.54 (0.07) ^f	55.80 (0.02) ^d	50.12 (0.03) ^c	53.37 (0.05) ^c	55.60 (0.00) ^c	57.29 (0.08) ^c

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento CGR

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	4.27 (0.08) ^a	7.94 (0.04) ^a	12.68 (0.05) ^a	14.52 (0.01) ^a	19.72 (0.03) ^a	23.90 (0.02) ^a	25.10 (0.09) ^a	30.38 (0.03) ^a
60	7.47 (0.05) ^b	12.70 (0.06) ^b	19.77 (0.04) ^b	19.81 (0.06) ^b	23.79 (0.08) ^b	26.85 (0.07) ^b	30.83 (0.04) ^b	35.66 (0.04) ^b
120	10.76 (0.07) ^c	18.03 (0.01) ^c	23.28 (0.02) ^c	25.57 (0.09) ^c	30.38 (0.16) ^c	39.70 (0.09) ^c	43.20 (0.02) ^c	43.26 (0.01) ^c
180	17.82 (0.02) ^d	23.81 (0.09) ^d	31.39 (0.07) ^d	32.15 (0.27) ^d	43.21 (0.51) ^d	50.24 (0.01) ^d	55.05 (0.06) ^d	58.96 (0.03) ^d
240	26.79 (0.06) ^e	30.33 (0.07) ^e	35.66 (0.08) ^e	45.60 (0.18) ^e	49.02 (0.08) ^e	55.07 (0.05) ^e	62.13 (0.02) ^e	62.10 (0.09) ^e
300	30.15 (0.01) ^f	33.30 (0.02) ^f	39.76 (0.33) ^f	49.02 (0.01) ^f	55.59 (0.04) ^f	62.93 (0.01) ^f	66.71 (0.04) ^f	66.11 (0.11) ^f
360	40.90 (0.04) ^g	44.42 (0.08) ^g	47.31 (0.05) ^g	53.83 (0.09) ^g	59.06 (0.06) ^g	64.89 (0.08) ^g	69.70 (0.08)^g	67.41 (0.05) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	11.84 (0.05) ^a	13.28 (0.01) ^a	17.82 (0.08) ^a	21.38 (0.02) ^a	23.11 (0.06) ^a	30.31 (0.05) ^a	40.26 (0.06) ^a	41.54 (0.02) ^a
60	13.76 (0.09) ^b	19.79 (0.06) ^b	23.29 (0.04) ^b	25.57 (0.07) ^b	30.21 (0.02) ^b	33.16 (0.07) ^b	40.77 (0.04) ^b	44.25 (0.06) ^b
120	20.32 (0.28) ^c	24.44 (0.04) ^c	26.85 (0.03) ^c	30.67 (0.03) ^c	39.35 (0.08) ^c	42.65 (0.03) ^c	47.31 (0.01) ^c	50.29 (0.08) ^c
180	27.69 (0.17) ^d	31.40 (0.06) ^d	36.00 (0.02) ^d	44.05 (0.05) ^d	50.31 (0.06) ^d	55.06 (0.01) ^d	58.86 (0.09) ^d	60.13 (0.04) ^e
240	32.67 (0.09) ^e	42.50 (0.08) ^e	48.49 (0.05) ^e	55.59 (0.09) ^e	58.42 (0.02) ^e	46.61 (0.05) ^e	68.56 (0.02) ^g	66.58 (0.06) ^g
300	41.44 (0.21) ^f	49.13 (0.04) ^f	55.64 (0.07) ^f	66.14 (0.04) ^g	73.22 (0.07)^g	67.93 (0.09) ^f	66.68 (0.07) ^f	62.67 (0.04) ^f
360	47.26 (0.19) ^g	53.12 (0.03) ^g	58.43 (0.03) ^g	61.93 (0.05) ^f	66.68 (0.09) ^f	70.75 (0.04) ^g	64.24 (0.05) ^e	59.94 (0.09) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	14.52 (0.01) ^a	15.18 (0.02) ^a	23.79 (0.07) ^a	26.61 (0.26) ^a	33.84 (0.01) ^a	41.44 (0.07) ^a	48.49 (0.09) ^a	51.47 (0.06) ^a
60	17.82 (0.05) ^b	20.74 (0.08) ^b	26.15 (0.06) ^b	37.92 (0.17) ^b	44.42 (0.06) ^b	46.00 (0.03) ^b	50.83 (0.01) ^b	59.07 (0.02) ^b
120	21.95 (0.01) ^c	23.74 (0.04) ^c	30.16 (0.01) ^c	50.93 (0.18) ^c	67.87 (0.00) ^c	70.70 (0.01) ^d	72.67 (0.05) ^g	70.77 (0.04) ^g
180	39.70 (0.03) ^d	37.59 (0.07) ^d	47.84 (0.09) ^d	62.51 (0.34) ^d	75.47 (0.10)^g	72.70 (0.05) ^e	70.71 (0.06) ^f	67.40 (0.08) ^f
240	43.20 (0.04) ^e	41.01 (0.06) ^e	55.05 (0.06) ^e	66.12 (0.22) ^e	72.70 (0.03) ^f	74.91 (0.09) ^f	69.10 (0.02) ^e	65.95 (0.06) ^e
300	46.72 (0.09) ^f	46.81 (0.02) ^f	59.12 (0.01) ^f	67.89 (0.14) ^f	70.35 (0.06) ^e	72.26 (0.01) ^e	66.65 (0.09) ^d	64.56 (0.02) ^d
360	53.13 (0.02) ^g	49.76 (0.04) ^g	62.98 (0.04) ^g	70.75 (0.09) ^g	68.67 (0.05) ^d	68.49 (0.05) ^c	64.16 (0.04) ^c	63.06 (0.04) ^c

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento CM

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%								
Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	13.22 (0.08) ^a	15.74 (0.06) ^a	17.98 (0.05) ^a	25.16 (0.06) ^a	29.71 (0.04) ^a	32.93 (0.01) ^a	40.09 (0.07) ^a	43.60 (0.09) ^a
60	15.60 (0.06) ^b	17.98 (0.04) ^b	19.53 (0.06) ^b	29.36 (0.02) ^b	32.45 (0.06) ^b	39.37 (0.05) ^b	45.81 (0.04) ^b	50.19 (0.04) ^b
120	18.08 (0.01) ^c	22.14 (0.02) ^c	23.32 (0.01) ^c	31.69 (0.09) ^c	44.90 (0.09) ^c	49.54 (0.02) ^c	54.13 (0.01) ^c	59.42 (0.03) ^c
180	21.11 (0.07) ^d	24.03 (0.09) ^d	27.09 (0.07) ^d	41.88 (0.01) ^d	57.35 (0.03) ^d	63.09 (0.04) ^d	67.27 (0.06) ^d	71.37 (0.05) ^d
240	22.87 (0.03) ^e	25.81 (0.07) ^e	32.45 (0.06) ^e	44.89 (0.06) ^e	60.71 (0.01) ^e	69.75 (0.07) ^e	75.73 (0.04)^g	74.93 (0.09) ^e
300	24.03 (0.09) ^f	27.04 (0.05) ^f	43.07 (0.04) ^f	48.41 (0.07) ^f	62.45 (0.07) ^f	73.38 (0.06) ^f	75.13 (0.03) ^f	75.07 (0.04) ^f
360	25.81 (0.04) ^g	29.01 (0.04) ^g	44.83 (0.01) ^g	55.57 (0.01) ^g	64.41 (0.05) ^g	77.40 (0.09) ^g	73.38 (0.09) ^e	71.33 (0.06) ^g

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%								
Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	15.20 (0.04) ^a	19.99 (0.09) ^a	22.69 (0.03) ^a	26.87 (0.02) ^a	31.72 (0.06) ^a	35.47 (0.05) ^a	45.24 (0.05) ^a	46.49 (0.03) ^a
60	17.98 (0.09) ^b	22.36 (0.04) ^b	25.87 (0.08) ^b	31.68 (0.09) ^b	39.63 (0.08) ^b	46.29 (0.06) ^b	49.68 (0.02) ^b	53.57 (0.01) ^b
120	23.33 (0.04) ^c	24.03 (0.03) ^c	29.84 (0.04) ^c	34.23 (0.04) ^c	46.21 (0.06) ^c	56.49 (0.09) ^c	59.19 (0.09) ^c	62.67 (0.08) ^c
180	27.20 (0.02) ^d	27.06 (0.07) ^d	33.57 (0.02) ^d	45.92 (0.03) ^d	61.43 (0.02) ^d	67.39 (0.08) ^d	64.43 (0.04) ^d	66.61 (0.05) ^e
240	29.47 (0.03) ^e	31.14 (0.05) ^e	41.47 (0.07) ^e	49.58 (0.01) ^e	64.19 (0.09) ^e	67.60 (0.04) ^e	74.15 (0.02) ^g	75.62 (0.04) ^g
300	32.91 (0.07) ^f	39.36 (0.01) ^f	45.18 (0.06) ^f	53.57 (0.05) ^f	68.58 (0.02) ^f	76.34 (0.01)^g	70.44 (0.06) ^f	68.50 (0.03) ^f
360	36.49 (0.05) ^g	41.82 (0.06) ^g	48.46 (0.01) ^g	59.30 (0.09) ^g	71.01 (0.04) ^g	72.21 (0.03) ^f	67.04 (0.08) ^e	71.17 (0.09) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	16.05 (0.04) ^a	21.92 (0.06) ^a	23.36 (0.01) ^a	30.49 (0.08) ^a	41.33 (0.02) ^a	44.83 (0.04) ^a	49.51 (0.06) ^a	51.06 (0.04) ^a
60	21.58 (0.09) ^b	24.32 (0.04) ^b	30.79 (0.06) ^b	37.72 (0.01) ^b	51.63 (0.04) ^b	60.21 (0.02) ^b	63.81 (0.04) ^b	68.38 (0.08) ^c
120	25.89 (0.04) ^c	29.39 (0.02) ^c	37.15 (0.04) ^c	41.26 (0.05) ^c	64.63 (0.09) ^c	67.88 (0.08) ^c	72.17 (0.02) ^e	73.38 (0.09) ^g
180	28.36 (0.03) ^d	31.68 (0.08) ^d	47.14 (0.02) ^d	50.24 (0.03) ^e	74.78 (0.01) ^e	75.75 (0.01) ^e	75.16 (0.09) ^g	71.54 (0.05) ^f
240	36.64 (0.08) ^e	37.79 (0.06) ^e	55.39 (0.08) ^e	57.76 (0.09) ^f	77.27 (0.04)^f	73.13 (0.09) ^d	73.56 (0.04) ^f	70.09 (0.04) ^e
300	37.79 (0.04) ^f	39.78 (0.09) ^f	57.87 (0.04) ^f	61.38 (0.01) ^g	74.98 (0.06) ^e	76.35 (0.02) ^f	71.86 (0.08) ^d	69.81 (0.05) ^d
360	41.11 (0.01) ^g	44.87 (0.04) ^g	58.91 (0.02) ^g	46.15 (0.06) ^d	71.01 (0.07) ^d	73.04 (0.09) ^d	70.97 (0.01) ^c	66.72 (0.08) ^b

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Tratamiento CMR

Concentración de ácido Sulfúrico 0.25%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	15.35 (0.07) ^a	17.30 (0.04) ^a	20.92 (0.09) ^a	27.63 (0.03) ^a	31.27 (0.05) ^a	34.19 (0.08) ^a	41.35 (0.08) ^a	44.83 (0.02) ^a
60	17.86 (0.28) ^b	20.55 (0.07) ^b	22.86 (0.05) ^b	30.70 (0.07) ^b	35.51 (0.02) ^b	41.80 (0.04) ^b	47.02 (0.04) ^b	54.32 (0.06) ^b
120	20.80 (0.02) ^c	22.98 (0.01) ^c	25.09 (0.04) ^c	32.18 (0.06) ^c	47.57 (0.19) ^c	50.78 (0.09) ^c	55.55 (0.05) ^c	60.87 (0.09) ^c
180	22.01 (0.13) ^d	25.78 (0.02) ^d	28.57 (0.06) ^d	43.30 (0.04) ^d	58.34 (0.14) ^d	64.77 (0.01) ^d	68.55 (0.07) ^d	74.98 (0.07) ^g
240	23.68 (0.25) ^e	27.04 (0.09) ^e	36.34 (0.09) ^e	47.21 (0.09) ^e	62.30 (0.08) ^e	71.37 (0.06) ^e	78.00 (0.01)^g	74.09 (0.08) ^f
300	25.10 (0.18) ^f	29.42 (0.03) ^f	44.89 (0.02) ^f	50.72 (0.08) ^f	64.99 (0.06) ^f	74.80 (0.02) ^g	73.84 (0.05) ^f	71.88 (0.04) ^e
360	27.04 (0.09) ^g	31.19 (0.01) ^g	47.50 (0.01) ^g	57.18 (0.02) ^g	67.33 (0.07) ^g	73.15 (0.07) ^f	72.07 (0.09) ^e	69.73 (0.01) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 0.50%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	20.77 (0.08) ^a	22.29 (0.39) ^a	24.58 (0.09) ^a	29.88 (0.04) ^a	31.83 (0.06) ^a	37.77 (0.05) ^a	46.95 (0.27) ^a	48.43 (0.02) ^a
60	21.21 (0.06) ^b	24.03 (0.51) ^b	27.04 (0.05) ^b	32.96 (0.08) ^b	41.69 (0.04) ^b	48.97 (0.09) ^b	53.61 (0.14) ^b	55.57 (0.07) ^b
120	25.42 (0.01) ^c	27.09 (0.32) ^c	30.60 (0.07) ^c	36.53 (0.02) ^c	48.98 (0.01) ^c	57.88 (0.07) ^c	60.72 (0.23) ^c	64.81 (0.04) ^c
180	29.13 (0.07) ^d	29.42 (0.18) ^d	35.94 (0.04) ^d	47.20 (0.09) ^d	63.10 (0.09) ^d	66.58 (0.06) ^d	71.94 (0.28) ^d	77.24 (0.06) ^g
240	30.58 (0.04) ^e	32.98 (0.62) ^e	43.58 (0.06) ^e	50.76 (0.05) ^e	66.78 (0.05) ^e	79.18 (0.01)^g	77.45 (0.35) ^g	75.67 (0.08) ^f
300	32.96 (0.02) ^f	41.70 (0.24) ^f	47.50 (0.02) ^f	56.69 (0.03) ^f	71.42 (0.02) ^f	77.44 (0.08) ^f	75.43 (0.29) ^f	73.35 (0.05) ^e
360	37.79 (0.09) ^g	43.60 (0.37) ^g	50.76 (0.18) ^g	61.44 (0.01) ^g	73.88 (0.09) ^g	75.32 (0.07) ^e	73.73 (0.21) ^e	71.28 (0.07) ^d

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

Concentración de ácido Sulfúrico 1.0%

Tiempo minutos	Temperatura de hidrólisis °C							
	Conversión a azúcares reductores %							
	60	70	80	90	100	110	120	130
0	21.49 (0.01) ^a	23.56 (0.06) ^a	29.10 (0.04) ^a	32.94 (0.02) ^a	42.99 (0.04) ^a	48.66 (0.02) ^a	50.69 (0.08) ^a	53.46 (0.03) ^a
60	24.41 (0.04) ^b	25.35 (0.02) ^b	32.71 (0.09) ^b	48.63 (0.07) ^b	56.26 (0.03) ^b	61.50 (0.04) ^b	64.23 (0.02) ^b	74.42 (0.07) ^e
120	27.72 (0.02) ^c	32.89 (0.08) ^c	42.21 (0.07) ^c	51.81 (0.01) ^c	67.27 (0.07) ^c	72.51 (0.01) ^d	72.83 (0.04) ^d	76.09 (0.05) ^f
180	31.60 (0.08) ^d	35.48 (0.01) ^d	48.99 (0.01) ^d	56.13 (0.09) ^d	81.09 (0.09)^g	79.80 (0.06) ^g	76.70 (0.07) ^g	74.52 (0.09) ^e
240	37.60 (0.06) ^e	40.09 (0.06) ^e	59.68 (0.03) ^e	62.50 (0.04) ^e	78.36 (0.04) ^f	77.29 (0.07) ^f	74.89 (0.05) ^f	73.85 (0.04) ^d
300	40.07 (0.05) ^f	41.70 (0.05) ^f	61.38 (0.05) ^f	64.76 (0.06) ^f	76.76 (0.02) ^e	74.93 (0.03) ^e	73.30 (0.06) ^e	71.18 (0.01) ^c
360	43.07 (0.07) ^g	47.03 (0.07) ^g	62.51 (0.04) ^g	68.54 (0.5) ^g	73.88 (0.09) ^d	71.36 (0.08) ^c	69.73 (0.09) ^c	67.99 (0.06) ^b

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (p<0.05)

9.0 BIBLIOGRAFÍA

1. Agüero C. G., Fouad S. B. Jover de la Prida J. y González S. E. (2006) Estudio de la hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado para la obtención de etanol y análisis técnico-económico de dicho proceso. Revista Cubana de química, vol XVIII, no. 1. Cuba. P.p 43-55
2. Aguilar N. R., Canizales-Leal M. J. (2004). Cinética de la hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada. Revista de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química. México. p.p. 257-263
3. Allan G. G. (1998). Polymeric cellulose derivatives. 18th World Forestry Congress. EUA. P.p 13-18
4. Allinger N., Cava M., de Jongh C., Jonson I. y Lebel R. (1983). Química Orgánica. Editorial Reverté S.A. 2ª edición. España.
5. AOAC. (1990). Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist, Publisher by AOAC, 15 edición, Arlington, Vol. I y II p.p. 17-18, 40-62, 69-83, 1012.
6. Babor J. A., Ibariz, J. (2000) Química general moderna. Tercera edición editorial Marín. México. p.p 109
7. Badui D. S. (2005). Química de los alimentos. Séptima edición Pearson Educación-Addison Wesley. México. p.p. 81-84
8. Beereboom J., (1978). Low Calorie and Special Dietary Foods, CRC Press Inc. E.U.A. Pág. 67
9. Bellido L. L. (1991). Cultivos herbáceos vol. 1 Cereales. Primera edición. Editorial mundi prensa. España. p.p. 130-131
10. Bender E. A. (1994). Diccionario de nutrición y tecnología de los alimentos. Primera edición, editorial Acribia. España. Pág. 47
11. Betancur A. D. y Chel G. L. (1997) Acid hydrolysis and characterization of *Canavalia ensiformis* starch. Journal of agriculture and food chemistry. Mexico. Pp. 4236-4241
12. Briggs D. E. (1981). Barley. Sexta edición. Chapman and Hall, Inglaterra. Pp. 220
13. Bruice, Y. P. (2007). Química orgánica. Quinta edición. Pearson Educación-Prentice Hall. E.U.A. p.p. 1005-1006

14. Callejo G. M. J. (2002). Industria de cereales y derivados. Colección tecnología de alimentos. AMV ediciones. España. p.p. 169-185
15. Carballo A. L. y Arteaga C. Y. (2008) Reactividad química de las hemicelulosas. Universidad de Pinar del Rio, Facultad de Forestal y Agronomía. Cuba. P.p. 12-16
16. Castañe F. X. y Damm, S. A. (1997). la cerveza: Historia, fabricación y propiedades. Tercera edición. Editorial Acribia. España. p.p. 41-48
17. Castro J. A. y Bonner, W. A. (1999). Química orgánica básica. Quinta edición. Editorial alhambra. España, p.p 217
18. Coultate T. P. (1998). Manual de química y bioquímica de los alimentos. Tercera edición, Editorial Acribia. España p.p. 30, 44.
19. De Florio R. E. (2006). Elaboración de chicha de jora a nivel de planta piloto, utilizando tecnología cervecera. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Perú. p.p 1-8.
20. Farore W. A. y Cuzens J. E. (1998) Methods of producing sugar using strong acid hydrolysis. US patent no. 5726.046
21. Fenema R. O. (2000) Química de los alimentos. Segunda edición. Editorial acribia. E.U.A. p.p 237-239
22. Fernández C. y Garro, O. A. (2004) Alcohol a partir de sorgo dulce: sacarificación y fermentación. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. p.p 1-3.
23. Fox M. A., Whitesell J. K. (2000). Química orgánica. Segunda edición Prentice Hall. E.U.A. p.p. 60-67, 121
24. French B. J., McRuer G. R. (1990). Malt quality is affected by various steep aeration regimes, M.B.A.A. Technical Quarterly. Vol. 27. E.U.A. p.p. 10-14
25. Hernández U. J. P., Flores H. E., Bello P. L. A. Obtención de jarabe fructosado a partir de almidón de plátano *Musa paradisiaca* (variedad Macho) Revista Interciencia vol 33 numero 005. México. Pág. 372-376.
26. Houg J. S. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Editorial Acribia. España. p.p. 10-13
27. Karimi K., kheradmandinia S., Taherzadeh J. M. (2005) Conversion of rice Straw to sugar by dilute-acid hydrolysis. Biomass & Bioenergy magazine. Iran. Pág. 247-253

28. Kent N. L., Evers A. D. (1994). Technology of cereals. Cuarta edición, Editorial Binding. Inglaterra. p.p. 220-224
29. López P. P., Guzmán O. F. A., Santos L. E. M, Prieto G. F., Román, G. A. D. (2005). Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*hordeum sativum jess*) cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. Revista Chilena de Nutrición. Chile P.p 1-10
30. Luna I. W. A. y Mera A. J. A. (2006). Producción de dextrinas de yuca a partir de almidón nativo en la rayandería de Todoyuca ubicada en el corregimiento pescador. Proyecto de investigación para lograr el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Cauca. Colombia Pág. 90
31. Mäkinen K. (1978). Biochemical Principles of the Use of Xylitol in Medicine and Nutrition with Special Consideration of Dental Aspects, Alemania. pp 160
32. Marija B. T., Budimir V. K., Miodrog L. L. Vlada B. V. (2008). The acid Hydrolysis of potatoe tuber mash in bioethanol production. Biochemical Engineering journal, vol. 43 tomo 2. Serbia. P.p 208-211
33. Márquez E. A. K. (2007). Elaboración y evaluación de un producto de panificación con harina de cebada. Tesis de licenciatura en química en alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Pág. 64
34. Matz S. A. (1972). The chemistry and technology of cereals as food and feed. Segunda edición, editorial Avi. Inglaterra p.p. 42-48.
35. McGregor W. A., Batí S. R. 1996. Barley, Chemistry and technology. American Association of cereal Chemist, Inc. USA.
36. Mejía L. F., Martínez H. A., Betancourt J. E., Castrillon C. E., (2007) Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Magnifera indica L.*) en la obtención de azúcares fermentables. Revista Ingeniería y ciencia vol 3, no. 006. Colombia. P.p 41-62.
37. Miller G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. Anal. Chem. 31:426-428.
38. Molina C. J. L. (1989). La cebada. Ediciones mundi-prensa, MAPA, publicaciones de extensión agraria. España. Pág. 21
39. Monsalve G. J. F., Medina P. V. I., Ruiz C. A. A. (2006) producción de etanol a partir de la cascara de banano y de almidón de yuca. Revista de la facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Pág. 21-27

40. Morrison T. R., Boyd N. R. (1998). Química Orgánica. Sexta edición. Pearson educación. E.U.A. p.p 1257,1301, 1309-1312, 1317
41. NMX-FF-043-SCFI-2003. Norma Mexicana. Productos Alimenticios no industrializados para consumo humano-cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* y *Hordeum distichon*). Especificaciones y métodos de prueba.
42. Osca L. J. M. (1992). Cultivos herbáceos extendidos: cereales. Universidad Politécnica de Valencia. España. p.p 121, 123-126
43. Pataux J. L., Molina B. S., Momaur T., Dufresne A. (2003). Disruption of waxy maize starch granules by acid hydrolysis. Biomacromolecules Journal. Tomo 4. Francia p.p 1198- 1202.
44. Pattana I. Arthit T. Vichean L. Lakkana L. (2006). Acid hydrolysis of sugarcane bagase for lactic acid production. Bioresource Technology Magazine, Vol. 101 tomo 3. Tailandia P.p 1036-1043
45. Poehlman J. M. (1985). Adaptation and distribution of barley. Agronomy No. 26. American Society of Agronomy. Crop Sci. Soc. of America Publishers. USA
46. Reyes M. A. (2008). Comparación de 3 métodos de malteado con diferentes variedades de cebada. Tesis para obtener el grado de licenciatura en química en alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Pág. 74.
47. Ríos C. (1999). Producción de celobiosa. Red social de bioindustrias. Tomo 2 vol. 006. Colombia. Pág. 3
48. Rodríguez G. E. (2006). Monografía de la cadena agroalimentaria de cebada. Secretaria de desarrollo Rural del Estado de Puebla. México p.p 1-10
49. Ruiz S. Y. (2005). Elaboración y evaluación de maltas cerveceras d diferentes variedades de cebada (*Hordeum Vulgare*) producidas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Tesis de licenciatura en química en alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Pág. 63
50. SAGARPA. 2008. Secretaria de Agricultura, Ganadería, desarrollo rural y Pesca. Delegación Hidalgo. www.siap.sagarpa.gob.mx
51. Sánchez O. y Cardona, C., (2005). producción biotecnológica de alcohol carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas. Asociación Interciencia. Venezuela. p.p. 671-678
52. Schwentesius R. (2004). ¿El Campo, aguanta más? 2da Edición. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales, y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial y la Jornada, México p.p 129-149

53. Serna Saldivar Sergio Othon. (2001). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT editor S.A. México. P.p 42-44
54. Sharp P. F. (1987) Wheat and flour studies, IX. Density of wheat of influenced by freezing, stage of development, and moisture content. Cereal Chemistry; 14-46.
55. Shewry P. R. (1992). Genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. C.A.B. International. Department of Agricultural Science, University of Bristol, E.U.A. p.p. 19-23
56. Shin M., Sae H. M. (2005). Mild hydrolysis of resistant starch from maize. Revista Food chemistry. Vol. 4. Tomo 6. Corea del Sur. P.p 115-121
57. Souci S. W., Fachmann W., Kraut W. (1999). Tablas de composición de alimentos "El pequeño Souci-Fauchmann-Kraut", Segunda edición, Editorial acribia. España. Pág. 225
58. Starr M. W. (1997). Make Your Own Malt. Brew Your Own magazine. E.U.A. p.p. 32-36
59. Sun Y., Cheng J. (2001). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource technology. E.U.A. p.p 3-11.
60. Sun Y., Cheng J. (2004). Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production. Bioresource technology. E.U.A. p.p 1599-1606.
61. Tanner W. y Loewus F. A. (1981) Extracellular carbohydrates, Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, vol.13B, Plant Carbohydrates II. E.U.A. p.p 181-188
62. Tasic B. M., konstantinoisic V. B. Lazic L. M. y Veljkovic B. V. (2008). The acid hydrolysis of potatoe tuber mash in bioethanol production. Biochemical Engineering Journal, vol. 43 issue 2. Serbia Pág. 208-211
63. Touster O. (1974). Sugar in Nutrition. Cuarta edición. Academic press. E.U.A. pp. 229-239
64. Tscheuschner H. D. (2001). Fundamentos de tecnología de los alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia. España. p.p. 9-15
65. Varnam H. A, Sutherland P. J. (1997). Bebidas: tecnología, química y microbiología. Primera edición. Editorial Acribia. España. p.p. 346-349

En Internet:

- 1) http://www.plantprotection.hu/modulok/spanyol/barley/morf01_bar.htm (enero, 2008)