

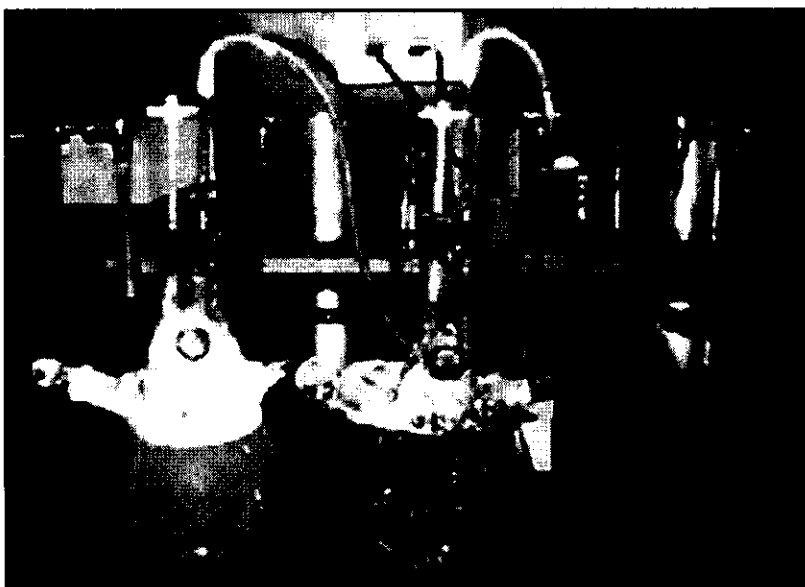
AVANCES RECIENTES EN LA UTILIZACIÓN DEL SORGO EN AMÉRICA LATINA

Sergio R. Othón Serna Saldivar

Departamento Tecnología de Alimentos y Centro de Investigación Agroalimentaria. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey- Campus Monterrey. Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur Monterrey, N.L., CP 64849, México. Tel. (52) 8183284262. FAX (52) 8183284322. Email: sserna@campus.mty.itesm.mx

RESUMEN

En el presente escrito se presentan los avances recientes en la utilización del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en América Latina. El sorgo después de ser cosechado y almacenado puede ser canalizado a tres grandes industrias molineras: molienda en seco, molienda húmeda y nixtamalización. Estas tres grandes industrias molineras generan materias primas para diversas industrias terminales tales como las industrias de panificación, productora de cereales de desayuno y botanas, cervecera y productora de etanol, jarabes/edulcorantes y productora de tortillas y botanas nixtamalizadas (fritos y doritos). La calidad y tipo del grano juegan un papel crítico en la calidad de los productos obtenidos de cada una de estas industrias. El grano de sorgo de pericarpio blanco con glumas no coloreadas y textura de endospermo intermedia a dura es preferido por la industria de molienda en seco. Para la industria de molienda en húmedo o refinadora de almidón se prefieren sorgos tipo I con endospermo suave y de color amarillo o pigmentado. Para esta industria en particular debe existir disponibilidad de granos con almidón regular y ceroso. Finalmente para la industria nixtamalizadora se prefieren granos con características similares a los de molienda en seco, es decir granos blancos con glumas no coloreadas, textura intermedia y endospermo regular.



ABSTRACT

Recent advances for processing and utilization of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in the Latin American food industry are discussed. Harvested and stored sorghum can be utilized throughout three milling industries: dry milling, wet milling or starch

refining and nixtamalization. These milling industries provide raw materials for the various terminal industries such as the baking industry, cereals manufacturers, beer and ethanol producers, and the snack industry based on corn and tortilla chips. Sorghum grain quality and type are critical for obtaining the desired features in the final product. White pericarp grains with uncolored glumes of intermediate-hard to hard texture are preferred in the dry milling and nixtamalization industries. Type I grains, with soft yellow or pigmented endosperm, are preferred in the wet milling industry as well as for production of refined starch. The supply and existence in the market of grains with regular and waxy endosperm is specially important for this type of industry.

Palabras claves: seguridad alimentaria, *Sorghum bicolor*, industria alimenticia

De acuerdo con datos de la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO, 2002), los cereales dominan en la producción mundial de alimentos con un total de 2 000 millones de toneladas. Constituyen la base de alimentación para los aproximadamente 6 000 millones de habitantes en el mundo y la gran industria de formulación de raciones para animales domésticos. El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es el quinto cereal en importancia en términos de producción. En el año 2001 se produjeron más de 57 millones de toneladas en el mundo (FAO 2002). Los países centro americanos incluyendo a México proveyeron el 11.5 por ciento del total mundial. Este cultivo es único debido a su alta tolerancia a la sequía y adaptación a regiones tropicales y subtropicales del mundo. El sorgo es utilizado como cultivo de subsistencia en la India y el continente Africano y como pienso para animales domésticos en países desarrollados. El sorgo es frecuentemente entresembrado junto con el maíz y mijos, esto con el objetivo de asegurar una cosecha en caso de que las condiciones climatológicas no sean óptimas. La composición química proximal del sorgo es prácticamente idéntica a la del maíz; por tanto, el sorgo puede ser usado en su lugar para producir harinas, tortillas, almidón, jarabes y bebidas alcohólicas (Rooney y Serna Saldivar, 2000). Uno de los avances más significativos en el campo de producción de sorgo es el desarrollo de variedades, híbridos y tipos especiales utilizando fitomejoramiento tradicional. Los esfuerzos se enfocan principalmente a la obtención de plantas que: 1) sean más productivas mediante la introducción de resistencia natural a plagas y enfermedades; 2) que posean mayor rango de adaptación (fitoperíodo, suelos ácidos, suelos salitrosos) y resistencia a las condiciones climatológicas (resistencia a las heladas y sequías); 3) que sus granos tengan mejor valor nutricional o alto contenido de algún compuesto natural nutraceutico; y 4) que sus granos contengan compuestos químicos para usos industriales específicos. El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de los avances más recientes en investigación sobre usos alimentarios de sorgo haciendo énfasis en molienda seca, molienda húmeda o refinación de almidón, producción de

almacenado puede ser canalizado a tres grandes industrias molineras: molienda en seco, molienda húmeda y nixtamalización (Figura 1). Estas tres grandes industrias molineras generan materias primas para diversas industrias terminales tales como las industrias de panificación, productora de cereales de desayuno y botanas, cervecera y productora de etanol, jarabes/edulcorantes y productora de tortillas y botanas nixtamalizadas (fritos y doritos). La calidad y tipo del grano juegan un papel crítico en la calidad de los productos obtenidos de cada una de estas industrias (Figura 1). El grano de sorgo de pericarpio blanco con glumas no coloreadas y textura de endospermo intermedia a dura es preferido por la industria de molienda en seco. Esto con el objetivo de obtener harinas y *grits* refinados con una apropiada granulometría y color. Para la industria de molienda en húmedo o refinadora de almidón se prefieren sorgos tipo I con endospermo suave y de color amarillo o pigmentado. Esto para favorecer el proceso y la calidad del almidón refinado y del gluten. Para esta industria en particular debe existir disponibilidad de granos con almidón regular

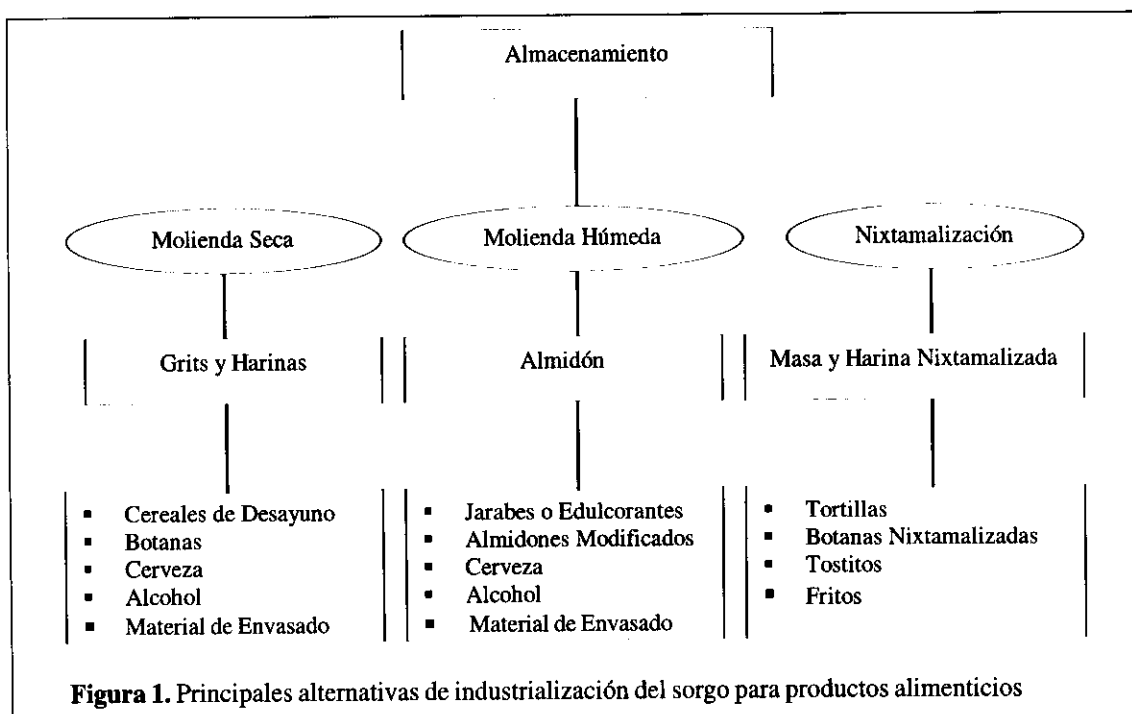


Figura 1. Principales alternativas de industrialización del sorgo para productos alimenticios

edulcorantes y cerveza Lager.

Usos potenciales de sorgo en alimentación humana

Al igual que el maíz, el sorgo después de ser cosechado y

y ceroso. Finalmente para la industria nixtamalizadora se prefieren granos con características similares a los de molienda en seco, es decir granos blancos con glumas no coloreadas, textura intermedia y endospermo regular. Los mejores productos nixtamalizados se obtienen con granos que no tienen daño ambiental (Rooney y Serna Saldivar 2000).

Refinación de almidón y producción de jarabes glucosados a partir de sorgo

Uno de los principales usos industriales del maíz es para la producción de almidón. La industria de molienda húmeda ha crecido porque el almidón es enzimáticamente transformado en jarabes, principalmente en jarabe de alta fructosa, altamente demandado por los fabricantes de bebidas refrescantes (Serna Saldivar 1996, Rooney y Serna Saldivar 2000). Desde 1950 el sorgo se ha visto como una alternativa para sustituir al maíz en la producción de almidón (Watson 1951). El sorgo presenta

varias desventajas como son la presencia de endospermo periférico que actúa como una barrera contra la penetración de la solución de remojo, una matriz proteica más dura y entrecruzada que rodea los gránulos de almidón bajando los rendimientos y calidad del almidón y la contaminación del almidón con pigmentos fenólicos presentes en el pericarpio, testa, y tejidos de la aleurona (Rooney y Serna Saldivar 2000). En términos generales se dice que el sorgo rinde aproximadamente 10% menos de almidón que el maíz suave dentado. Steinke y Johnson (1991) demostraron que el uso de enzimas proteolíticas y degradadoras de fibra durante la molienda húmeda del maíz bajan significativamente el requerimiento de remojo en SO_2 sin sacrificar rendimientos. Una vez refinado el almidón de sorgo se puede usar en lugar del almidón de maíz porque ambos tienen propiedades viscoamilográficas casi idénticas. Los almidones de tipos cerosos (>95% amilopectina) tienen usos industriales muy especiales debido primordialmente a su baja tasa de retrogradación (Moheno Perez et al 1999, Watson 1984).

Moheno et al (1999) realizó un trabajo de investigación para comparar los rendimientos de molienda y las propiedades viscoamilográficas de almidones extractados de sorgos con endospermo normal (SN), heteroceroso (SHC) y ceroso (SC) en comparación con el de maíz (MN) y el de estudiar si enzimas degradadoras de pared celular agregadas a los granos enteros eran capaces de disminuir tiempos de proceso y aumentar rendimientos de molienda. Se siguió el típico proceso de molienda húmeda el cual consistió en el remojo de granos en una solución de dióxido de azufre a temperatura controlada (48-50°C) por 24 o 48 hrs con la posterior molturación de los granos para liberar al germen y pericarpio. Al endospermo

resultante se le separó y molturó más finamente para liberar los gránulos de almidón. El almidón fue finalmente separado por densidad y secado. El maíz utilizado fue el típico amarillo dentado sembrado en los EUA. A pesar de que los granos de sorgo tuvieron aproximadamente 1% más proteína que el maíz, el contenido de almidón de las cuatro fuentes de granos fue similar. Esto es porque el MN contenía aproximadamente 1% más de aceite que los granos de sorgo. El análisis de los almidones indicaron que efectivamente contuvieron cantidades de amilosa y amilopectina que están dentro de los rangos citados para almidones regulares, cerosos y heterocerosos (Watson 1984). Los rendimientos del almidón basados en el peso del grano y en el contenido total del almidón para los sorgos se encontraron en un rango de 53-64% y 70-84% (Tabla 1). Los valores de recuperación de almidón de sorgo fueron significativamente menores que los del maíz (66% de rendimiento de almidón y 88% de recuperación). El SC tuvo rendimientos y recuperaciones de almidón significativamente más altos ($P < 0.05$) que el SN y el SHC. De acuerdo a Rooney y Pflugfelder (1986) los genotipos de SC no contienen endospermo periférico o capa de subaleurona y poseen una matriz proteica más débil que los genotipos regulares, teniendo una textura del endospermo que se parece más a la del maíz. Cuando se comparó el efecto del tiempo de remojo se observó que los granos remojados por 48 hr tuvieron mayor rendimiento y recuperación de almidón que las contrapartes remojadas por 24 hr. Para el caso del MN, SHC, y SC remojados en la solución regular existió diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los dos tiempos de remojo. Los resultados obtenidos muestran que el complejo enzimático degradador de fibra no incrementó los rendimientos y recuperación de los almidones (Tabla 2). Sola-

Tabla 1. Efecto del tipo de grano, tiempo de remojo y tratamiento de enzima degradadora de fibra en el rendimiento y recuperación del almidón y en contenido de proteína y ceniza del almidón refinadoa.

Tiempo de remojo	MN		SN		SHC		SC	
	Remojo regular	Remojo enzimático	Remojo regular	Remojo enzimático	Remojo regular	Remojo enzimático	Remojo regular	Remojo enzimático
Rendimiento almidón, %								
24 hr	66.6 a	60.5 c	54.4 e	56.9 d	57.5 d	54.2 e	62.8 b	62.5 b
48 hr	66.3 a	65.8 a	58.1 d	53.1 e	58.3 d	54.6 e	63.5 b	62.9 b
Recuperación almidón, %								
24 hr	88.6 a	80.4 c	72.1 e	75.4 d	76.3 d	71.9 e	82.7 b	82.5 b
48 hr	88.2 a	87.5 a	77.0 d	70.4 e	77.3 d	72.3 e	83.7 b	83.0 b
Proteína del almidón, %								
24 hr	0.58 e	0.47 fg	1.24 a	0.97 bc	0.89 c	1.03 b	0.53 ef	0.43 gh
48 hr	0.36 h	0.45 fgh	1.00 b	1.00 b	0.77 d	0.97 bc	0.47 fg	0.45 fgh
Cenizas del almidón, %								
24 hrs	0.052 e	0.092 ed	0.125 cd	0.263 a	0.060 e	0.227 ab	0.130 cd	0.114 cd
48 hr	0.063 e	0.067 e	0.146 c	0.243 ab	0.096 ed	0.207 b	0.124 cd	0.113 cd

^a Fuente: Moheno Perez et al (1999). Cada observación es el promedio de tres repeticiones. MN=maíz normal, SN=sorgo normal, SHC=sorgo heteroceroso y SC=sorgo ceroso. Para cada combinación de efectos estudiados, las medias con la misma letra(s) no difieren estadísticamente ($P > 0.05$) de acuerdo a Pruebas de Duncan.

mente en el SN el complejo enzimático degradador redujo el tiempo de remojo requerido para obtener la misma recuperación de almidón. La comparación en el contenido proteico y de cenizas de los almidones obtenidos indicó que el proceso de refinación fue más efectivo para el MN y el SC.

Tal como se esperaba y debido a su bajo contenido de amilosa (<1%), las viscosidades al principio y al final del ciclo de enfriamiento/retrogradación para el almidón del SC fueron significativamente menores ($P<0.05$) que para los almidones del MN y SN. El almidón del SHC tuvo propiedades intermedias entre el almidón del SC y SN. Villaseñor (1997) obtuvo jarabes glucosados a partir de los almidones obtenidos en el estudio anterior utilizando un método de conversión continuo y una membrana de ultra-filtración para separar a la glucosa. Se compararon las tasas de hidrólisis del almidón y la producción neta de glucosa. El sistema empleado fue efectivo siendo el factor más limitante la capacidad de filtración de la membrana. Con la excepción del almidón de SC, todos los almidones tardaron aproximadamente 2 hr en alcanzar su máxima tasa de conversión a glucosa (Figura 2). El almidón de MN se degradó más rápidamente en glucosa que los almidones de sorgo y por consiguiente produjo más glucosa. El jarabe glucosado resultante del MN fue más viscoso y contuvo mayor cantidad de glucosa

y °Brix que los jarabes de sorgo. Los rendimientos de glucosa producidos por los almidones de sorgo fueron semejantes. El sorgo, especialmente el genotipo ceroso, tiene buen potencial para usarse en lugar del maíz en procesos de refinación de almidón y de producción de jarabes glucosados aunque los almidones mostraron menos susceptibilidad al ataque enzimático. Mezo (1997) estudió el efecto de adición de enzimas degradadoras de fibra y de proteína en rendimiento de almidón de granos de maíz y sorgo previamente molturados. A diferencia del estudio de Moheno et al (1999) la adición de enzimas degradadoras de pared celular (Tabla 2) y proteolíticas (Tabla 3) ayudaron a incrementar los rendimientos de almidón de sorgo y reducir a la mitad los requerimientos de remojo en dióxido de azufre. Las enzimas degradadoras de pared celular o fibra (Tabla 2) fueron menos efectivas en el grano de sorgo que las proteolíticas (Tabla 3). Ninguno de los dos complejos enzimáticos afectó la calidad ni las propiedades viscoamilográficas de los almidones. La exposición de granos de sorgo previamente remojados por 20 hr y molturados a la hidrólisis enzimática con proteasas es altamente recomendable ya que se obtuvieron excelentes rendimientos de almidón de primera y se logró reducir el tiempo de remojo a la mitad de lo comúnmente practicado en la industria. Las propiedades viscoamilo-

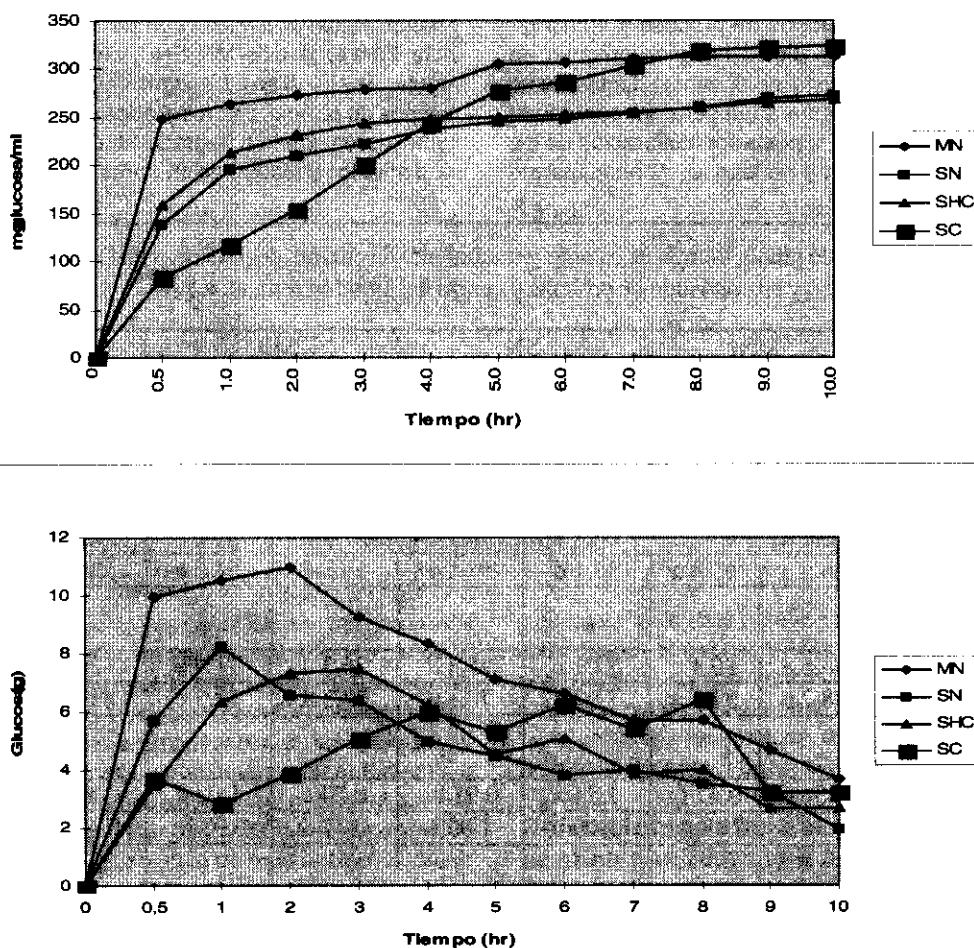


Figura 2. Efecto del tipo de almidón en la tasa de conversión y producción neta de glucosa en un sistema de conversión continuo. MN=maíz normal, SN=sorgo normal, SHC=sorgo heteroceroso y SC=sorgo ceroso.

Tabla 2. Efecto del tipo de grano, tiempo de remojo y tratamiento con enzima degradadora de fibra en el rendimiento y recuperación del almidón y en contenido de proteína y ceniza de almidón refinado ^a.

Tratamiento			Rend. Almidón %	Recuperación Almidón, %	Composición Almidón	
Grano	Tiempo	Enzima			Proteína, %	Cenizas, %
Maíz	20 hr	Sin	63.6c	86.5 b	0.30 d	0.05 f
Maíz	44 hr	Sin	64.5c	87.7b	0.28 e	0.05 g
Sorgo	20 hr	Sin	61.4d	83.8c	0.31 d	0.15 b
Sorgo	44 hr	Sin	63.3c	86.3b	0.30 d	0.13 c
Maíz	20 hr	Viscozyme	64.7bc	88.1c	0.35 b	0.08 d
Maíz	44 hr	Viscozyme	66.9a	91.0a	0.34 c	0.08 e
Sorgo	20 hr	Viscozyme	64.5c	88.0	0.36 a	0.16 a
Sorgo	44 hr	Viscozyme	66.6ab	90.9a	0.36 a	0.16 a
Grano						
Maíz			64.99a	88.44 a	0.32 a	0.07 a
Sorgo			63.84b	87.14 b	0.34 a	0.15 b
Tiempo Remojo						
20 hr			63.58a	86.64a	0.34 a	0.11 a
44 hr			65.26b	88.94b	0.32 b	0.10 b
Tratamiento Enzimático						
Sin			63.19 a	86.11 a	0.30 a	0.10 a
Con Vyscozyme			65.65 b	89.47 b	0.36 b	0.12 b

Fuente: Mezo (1997). Para cada combinación de efectos estudiados, las medias con la misma letra(s) no difieren estadísticamente ($P > 0.05$) de acuerdo a Pruebas de Duncan.

Tabla 3. Efecto del tipo de grano, tiempo de remojo y tratamiento con enzimas proteolíticas (Neutrasa) en el rendimiento y recuperación del almidón y en contenido de proteína y ceniza del almidón refinado ^a.

Tratamiento			Rend. Almidón %	Recuperación Almidón, %	Composición Almidón	
Grano	Tiempo	Enzima			Proteína, %	Cenizas, %
Maíz	20 hr	Sin	64.0 e	87.1 e	0.3 d	0.6 e
Maíz	44 hr	Sin	65.8 c,d,e	89.5 c,d,e	0.3 e	0.1 e
Sorgo	20 hr	Sin	64.6 d,e	88.2 d,e	0.3 d	0.1 b
Sorgo	44 hr	Sin	65.9 c,d	89.9 c,d	0.3 e	0.1 c
Maíz	20 hr	Neutrasa	66.8 c	90.9 c	0.4 a	0.1 c
Maíz	44 hr	Neutrasa	67.5b,c	91.8 b,c	0.4 b	0.1 d
Sorgo	20 hr	Neutrasa	68.5 a,b	94.1 a,b	0.4 a	0.2 a
Sorgo	44 hr	Neutrasa	70.1 a	95.6 a	0.4 c	0.1 a,b
Grano						
Maíz			66.12 a	89.98 a	0.33 a	0.08 a
Sorgo			67.29 b	91.83 b	0.33 a	0.15 b
Tiempo Remojo						
20 hr			66.07 a	90.05 a	0.34 a	0.12 a
44 hr			67.34 b	91.76 b	0.32 b	0.11 b
Tratamiento Enzimático						
Sin			65.08 a	88.69 a	0.29 a	0.94 a
Con Neutrase			68.33 b	93.11 b	0.36 b	0.13 b

Fuente: Mezo (1997). Para cada combinación de efectos estudiados, las medias con la misma letra(s) no difieren estadísticamente ($P > 0.05$) de acuerdo a Pruebas de Duncan.

gráficas del almidón de sorgo regular fueron prácticamente iguales a las del almidón de maíz regular.

Producción de cerveza lager a partir de adjuntos cerveceros y malta de sorgo

El término cerveza es una expresión genérica para designar al producto originalmente obtenido por fermentación de un

extracto acuoso de malta, que abarca tanto lo que en la Gran Bretaña se denomina "ale", una bebida a la que se añade lúpulo, con o sin adición de otras fuentes de carbohidratos, fabricada con levaduras altas, como a aquellas otras bebidas de malta a las que se añade lúpulo y son fermentadas con levaduras bajas. Su producción se basa en procesos biotecnológicos que incluyen la germinación o malteado de la cebada

(*Hordeum vulgare*), la maceración de adjuntos cerveceros ricos en almidón con enzimas generadas durante el malteo con la posterior aromatización del mosto dulce con lúpulo (*Humulus lupulus*) y finalmente con la fermentación del mosto aromatizado con levadura (Serna Saldivar 1996).

Producción de malta de sorgo. Allende (1995) determinó y comparó las propiedades malteras de cuatro diferentes genotipos de sorgo (rojo normal, blanco normal o dorado, blanco ceroso y blanco heteroceroso). El proceso de malteo consistió en remojar por 24 hr a los granos bajo aireación, posteriormente los granos fueron sujetos a una sanitización mediante remojo en una solución clorada al 2% y a germinación por diversos tiempos en una cámara bioclimática ajustada a 90% humedad relativa y 28°C. El proceso de malteo se paro mediante la deshidratación de los granos en una estufa regulada a 60°C. De los cuatro genotipos de sorgo, el blanco normal (Dorado) fue el que mostró mayor poder diastásico (Tabla 4). Todos los genotipos estudiados alcanzaron su mayor poder diastásico después de 106 hr de germinación. Una comparación entre la actividad diastásica del sorgo dorado y malta de cebada comercial indicó que la malta de cebada contuvo apro-

teína, fibra cruda y cenizas y mayor contenido de almidón en comparación con los granos enteros. El rendimiento de grits o adjuntos cerveceros para los sorgos BNO, BWX, BHWX y CNO fueron 87.4, 89.9, 90.0 y 81%, respectivamente. Los mostos dulces producidos a partir de la malta de cebada y grits de sorgo ceroso filtraron más rápidamente que los producidos a partir del resto de los sorgos. Todos los mostos de sorgo, ajustados a 14° Plato, tuvieron valores similares de pH, viscosidad, alfa amino nitrógeno y color (Tabla 5). La cantidad de carbohidratos fermentables en el mosto del sorgo CNO fue ligeramente menor que el resto de los mostos. El estudio claramente muestra que los sorgos blancos con endospermo de textura intermedia a dura y con almidón ceroso fueron los más adecuados para la producción de adjuntos cerveceros.

Producción de cerveza tipo Lager a partir de adjuntos de sorgo y malta de cebada. Recientemente Barredo Moguel et al (2001) continuaron con la investigación de Osorio et al (2000) y estudiaron los perfiles de sustrato y productos resultantes de la fermentación de mostos obtenidos de sorgo ceroso y malta de cebada. Para lograr los objetivos se diseñaron bioreactores con 1 L de capacidad que tenían controles estrictos de

temperatura y puertos de muestreo para la cerveza y el espacio de cabeza. El número de células de levadura suspendidas

das, pH, sólidos solubles, azúcares fermentables, alfa amino nitrógeno y alcoholes superiores o de fusel fueron determinados a través de 144 hrs de fermentación. Los estudios claramente demuestran que los mostos de sorgo ceroso se comportaron similarmente a un mosto testigo comercial. El máximo número de células de levaduras suspendidas se alcanzó después de 60 hr de fermentación. La concentración de oxígeno en el espacio de cabeza del bioreactor cambió de 20% al inicio de la fermentación a menos de 2% después de 72 hr. La utilización de alfa amino nitrógeno para la producción de propanol, isobutanol y alcoholes amílicos en el mosto de sorgo

ceroso fue prácticamente idéntica al observado en el mosto testigo (Tabla 6). Dentro de los alcoholes superiores el isobutanol fue producido en la menor concentración. La

Tabla 4. Actividad diastásica de cuatro distintas maltas de sorgo sujetas a diferentes tiempos de germinación.

Tipo de Sorgo	Tiempo Germinación (hr)				
	0	36	72	108	144
Rojo	6.2	8.2	23.2	82.3	54.5
Dorado	2.5	10.0	10.3	129.3	78.6
WX	9.3	11.1	12.6	98.4	99.9
HWX	9.0	15.4	16.6	83.6	79.5

Fuente: Allende (1995). Los valores están expresados en unidades diastásicas.

Producción de mostos dulces a partir de adjuntos de sorgo

ximadamente el 75% de la actividad diastásica de la cebada.

Osorio et al (2000) estudió el potencial de cuatro genotipos de sorgo: blanco normal (BNO), blanco ceroso (BWX), blanco heteroceroso (BHWX) y café o marrón normal (CNO) para la producción de grits cerveceros y mostos dulces. Los sorgos fueron decorticados en un molino abrasivo PRL y después molidos en un molino de rodillos para optimizar el rendimiento de grits. Los valores de dureza de los granos determinados con el molino TADD indicaron que el sorgo CNO tenía el endospermo más suave y tuvo el menor rendimiento de granos decorticados. Los granos perlados tuvieron menor contenido de pro-

Tabla 5. Carbohidratos fermentables, alfa amino nitrógeno, pH, viscosidad y color de mostos dulces ajustados a 14° Plato^{a,b}.

Mosto	PH	Carbohidratos Fermentables (g/L)	Alfa Amino Nitrógeno (mg/L)	Viscosidad (cP)	Color Lovibond ^c
Control ^d	5.6 a	136.6 d	119.7 a	2.0 b	4.78 b
BNO	5.8 a	120.2 c	130.8 b	1.7 a	4.73 b
BWX	5.7 a	123.5 c	127.6 b	1.7 a	4.96 c
BHWX	5.8 a	114.0 b	143.8 d	1.6 a	4.22 a
CNO	5.7 a	101.7 a	136.2 c	1.7 a	4.74 b

^a Fuente: Osorio et al (2000). BNO = sorgo blanco normal, BWX = sorgo blanco ceroso, BHWX = sorgo blanco heteroceroso, y CNO = sorgo café o marrón con endospermo normal.

^b Cada valor es el promedio de 5 repeticiones. Los valores por columna con diferente(s) letra(s) son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

^c Color Lovibond: Absorbancia 430nm x 12.7.

concentración final de etanol y todos los alcoholes de fusel estuvieron dentro de los rangos esperados en cervezas tipo lager comerciales. Estos estudios demuestran claramente que el mosto elaborado a partir de malta de cebada y grits de sorgo

nitrógeno, etanol y azúcares remanentes después de la fermentación. Aún cuando las cervezas elaboradas con malta de cebada o sorgo no fueron iguales se concluye que la malta de sorgo con buen poder diastásico tiene potencial para sustituir parcial o totalmente a la de cebada.

Tabla 6. Propiedades químicas de mostos y cervezas elaboradas con adjuntos comerciales y de sorgo ceroso^a.

	Cerveza	
	Control	Sorgo Ceroso
PH	4.63	4.7
Células Levadura Suspendidas en mosto, ml	99.7	102.9
Azúcares Reductores, mg/ml	15.8	13.8
Etanol, %	5.7	5.4
Alcoholes Superiores, ppm	68.2	66.5
Propanol, ppm	15.6	16.3
Isobutanol, ppm	9.9	9.6
Amflico/Isoamflico, ppm	42.7	40.6

^a Fuente: Barredo Moguel *et al* (2001).

ceroso es adecuado para la industria cervecera.

Producción de cerveza de sorgo

Ortega Villicaña (2001) comparó las características y rendimientos de cervezas elaboradas con adjuntos comerciales o grits de sorgo ceroso y con malta de cebada o malta de sorgo.

La malta de cebada (149 L) contuvo mayor poder diastásico que la de sorgo (106 L) y produjo cervezas con mayor contenido de alcohol. El tratamiento de los grits de sorgo ceroso con el objetivo de gelatinizar al almidón o destruir la matriz proteica antes de la maceración fue efectivo ya que favoreció el rendimiento de los mostos dulces y cerveza. Se concluyó que la producción de cerveza de sorgo con malta de sorgo dorado y grits de sorgo ceroso contuvo menos alfa amino

adición de amiloglucosidasa incrementó significativamente los contenidos de azúcares fermentables en el mosto y de etanol en la cerveza. No existieron diferencias en las características del mosto y de las cervezas cuando se compararon grits refinados de maíz y de sorgo regular. Estos estudios demuestran la factibilidad de producir cervezas Lager con propiedades muy semejantes a las cervezas regulares utilizando malta de genotipos especiales de sorgo en lugar de malta de cebada y adjuntos cerveceros de grits refinados de sorgo normal y ceroso.

El uso potencial de genotipos de sorgos mejorados en la industria cervecera en México y Centro América tanto para el malteo como para producir adjuntos es importante porque reduciría las importaciones de la cebada y los costos de producción.

Urias Lugo (2001) utilizó a la enzima amiloglucosidasa para compensar la falta de poder diastásico y actividad de beta amilasa de la malta de sorgo. Los resultados obtenidos demostraron que fue factible producir cerveza tipo lager 100% de sorgo y que la

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLENDE, K.L. 1995. Determinación de las Condiciones Optimas en el Proceso de Malteado de Sorgo. Tesis de Maestría en Ingeniería de Alimentos. ITESM. Monterrey, N.L., México.

BARREDO MOGUEL, L.H., ROJAS DE GANTE, C., y SERNA SALDIVAR, S.O. 2001. Alpha Amino Nitrogen and Fusel Alcohols of Sorghum Worts Fermented into Lager Beer. *Journal of the Institute of Brewing* 107 (6): 367-372.

BARREDO MOGUEL, L.H., ROJAS DE GANTE, C., y SERNA SALDIVAR, S.O. 2001. Comparisons Between a Commercial and a Waxy Sorghum Wort Fermented Into Lager Beer with Emphasis on Yeast Growth and Ethanol Production. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 59(1): 24-27.

FAO. 2002. Food Agriculture Organization. Página electrónica: <http://apps.fao.org>. Roma, Italia.

MEZO, M. 1997. Efecto de la Adición de Enzimas Degradadoras de Fibra y de Proteína en el Tiempo de Remojo y en los Rendimientos de Almidón en la Molienda Húmeda de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Maestría en Biotecnología. ITESM. Monterrey, N.L., México.

MOHENO PEREZ, J.A., ALMEIDA DOMINGUEZ, H.D., y SERNA SALDIVAR, S.O. 1999. Effect of Fiber Degrading Enzymes in the Wet Milling and Starch Properties of Different Types of Sorghums and Maize. *Starch/Stärke* 51:16-20.

ORTEGA VILLICAÑA, T. 2001. Elaboración de Cerveza Tipo Lager a Partir de Malta y Adjuntos Cerveceros de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Maestría en Ingeniería de Alimentos. ITESM. Monterrey, N.L., México.

OSORIO MORALES, S., SERNA SALDIVAR, S.O., CHAVÉZ CONTRERAS, J., ALMEIDA DOMINGUEZ, H.D., y ROONEY, L.W. 2000. Production of Brewing Adjuncts and Sweet Worts from Different Types of Sorghums. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 58(1):21-25.

ROONEY, L.W., y PFLUGFELDER, R.L. 1986. Factors Affecting Starch Digestibility with Special Emphasis on Sorghum and Corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607-1623.

ROONEY, L.W. y SERNA SALDIVAR, S.O. 2000. Sorghum. Capítulo 5 en: *Handbook of Cereal Science & Technology*, K. Kulp and J. Ponte (eds.), Second Edition. Marcel Dekker, Inc. New York, NY. pp 149-175.

SERNA SALDIVAR, S.O. 1996. Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, México, D.F., México.

STEINKE, J.D. y JOHNSON, L.A. 1991. Steeping Maize in the Presence of Multiple Enzymes. II. Continuous Countercurrent Steeping. *Cereal Chem.* 68:12-17.

URIAS LUGO, D. 2001. Efecto de Amiloglucosidasa en la Cinética de Fermentación de Cervezas Tipo Lager Elaboradas a Partir de Malts de Sorgo o Cebada. Maestría en Biotecnología. ITESM. Monterrey, N.L., México.

VILLASEÑOR, A. 1997. Obtención de Jarabes Glucosados a partir de Almidón de Cuatro Variedades de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) por Medio de un Proceso Continuo de Conversión Enzimática y una Membrana de Ultrafiltración. Maestría en Ingeniería de Alimentos. ITESM. Monterrey, N.L., México.

WATSON, S.A. 1984. Corn and Sorghum Starches: Production. Capítulo 19 en: *Starch: Chemistry and Technology*. 2nd edition. R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Paschall (eds.) Academic Press. Orlando, FL. USA.

WATSON, S.A., WILLIAM, C.B. y WAKELY, R.D. 1951. Laboratory Steeping Procedure Used in a Wet-Milling Research Program. *Cereal Chem.* 28:105.