

Efluentes de la industrialización del maíz: ¿contaminante o recurso valioso?

Rosa Domínguez Espinosa
Daniel Pacho Carrillo

POTENCIAL DE USO PARA LOS EXCEDENTES AGROINDUSTRIALES Y EFLUENTES DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Anualmente millones de toneladas de cereales y frutos son dañados por el clima durante su transporte, durante su almacenaje o bien durante su procesamiento, lo que ocasiona que se conviertan en material de desecho no aceptable para su consumo o proceso directo (Godon, 1993). Sin embargo, todo este desperdicio agrícola constituye una fuente potencial de energía renovable en alta abundancia y de muy bajo costo (USDA, 1995). La creación de procesos biológicos para la producción de químicos y aditivos que utilicen estos materiales como principales insumos puede ayudar a resolver algunos problemas socio-económicos generados en el campo y en la cadena productiva

debido al alto volumen de material agrícola no aprovechado. Adicionalmente, con la implementación de tecnologías limpias como la anterior se ayudaría a reducir el número de emisiones generadas por la industria química (Stanley y col., 1994).

La utilización de excedentes agroindustriales como materias primas para la obtención de químicos y otros bienes ha sido un campo de alto crecimiento a partir de las más recientes crisis petroleras. Varios estudios alrededor del planeta han comprobado que por medio de la *bioconversión* de excedentes y residuos agroindustriales es factible obtener diversos productos químicos y de especialidad de relevancia industrial en cantidades considerables a través de métodos de fermentación o *biorrefinación*. Otra fuente importante de recursos subexplotados es la industria

Rosa Domínguez Espinosa. Doctora en ingeniería química con especialidad en fermentaciones, por la Universidad de Manchester. Ganadora del Premio Nacional César O. Baptista del IMIQ, 2002, a la Investigación de Excelencia en Ingeniería Química.

Daniel Pacho Carrillo. Doctor en ingeniería química con especialidad en aplicaciones de tomografía eléctrica para control de procesos, por la Universidad de Manchester. Ganador del Premio Nacional César O. Baptista del IMIQ, 2002, a la Investigación de Excelencia en Ingeniería Química.

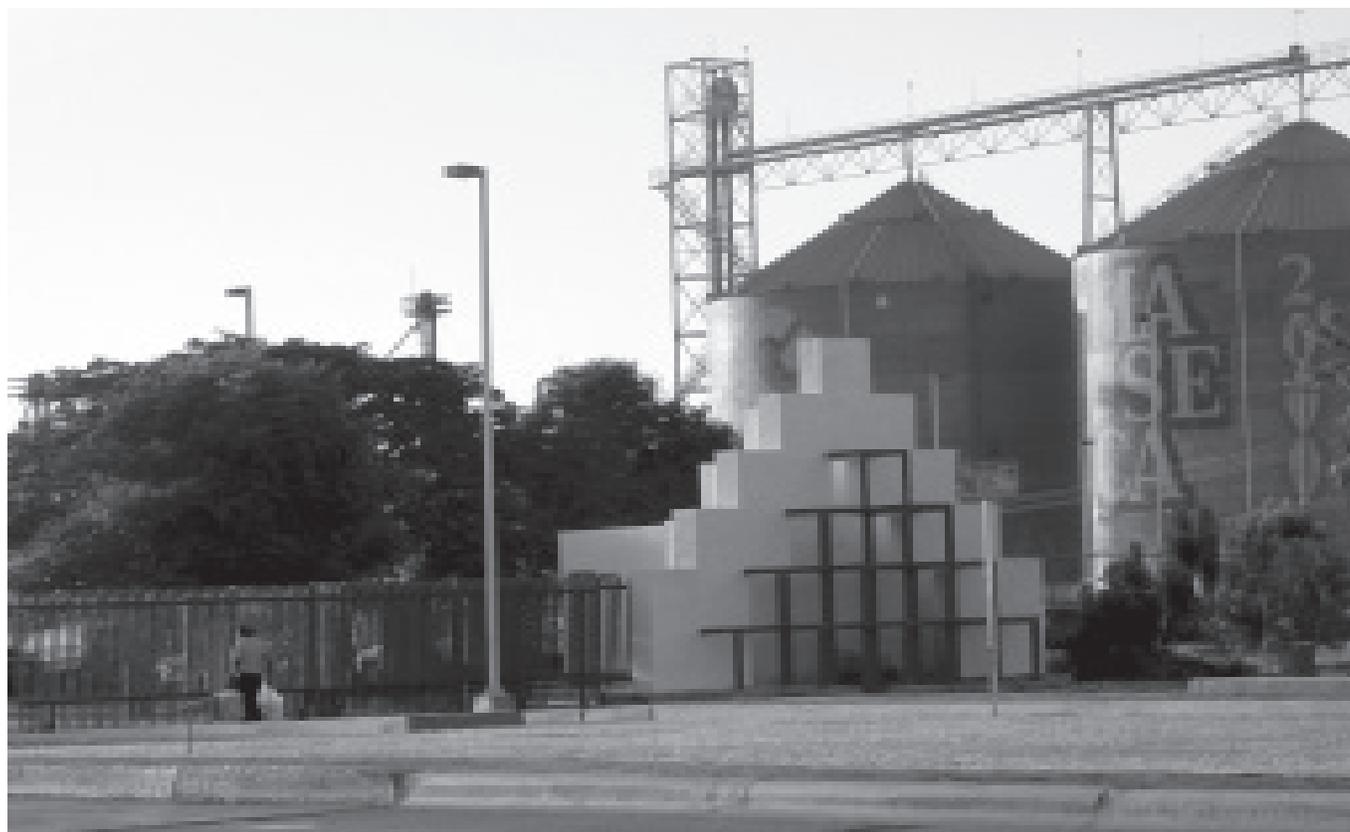
de los alimentos, que habitualmente genera efluentes provenientes de sus procesos, las cuales acarrearán materiales provenientes de los alimentos procesados, mismos que son factibles de ser reaprovechados como materia prima para la obtención de compuestos de mayor valor agregado.

La producción de productos químicos de alto potencial comercial representan una alternativa atractiva para la puesta en marcha de métodos biológicos de degradación de desechos generados en el procesado industrial de cereales y otros alimentos, no sólo porque propone la utilización de un desecho de poco valor comercial y que en algunos casos puede llegar a ser

altamente contaminante, sino también contempla la producción de insumos de gran importancia comercial a un costo muy bajo con respecto de la materia prima utilizada. De esta manera, el diseño de procesos biológicos para la producción de químicos finos a partir de estos materiales puede resolver algunos problemas socio económicos generados en el campo y en la cadena productiva.

EL NEJAYOTE Y LA INDUSTRIA DEL NIXTAMAL

Una industria de gran relevancia en México es la transformación del maíz en tortillas. De acuerdo con estimaciones extraoficiales (Pedroza de Brenes



y Durán de Bazúa, 1988), el consumo aparente promedio de maíz grano en México ascendió a 25.5 millones de toneladas en el período 2002/2003, cubierto principalmente por la producción interna y en menor medida por las importaciones. El grano nacional contribuye en promedio con el 86 por ciento de la oferta total, mientras que el consumo humano del grano se realiza predominantemente como tortilla, de tal manera que el consumo *per capita* es de 350 gramos diarios, que se traduce a un consumo de este producto de 12.45 millones de toneladas al año, con un consumo de tortilla ascendente ligado al crecimiento de la población (Figura 1). La Cámara Nacional del Maíz Industrializado establece que la industria de la tortilla en México está constituida por cerca de 45,000 tortillerías, alrededor de 10,000 molinos de nixtamal y cuatro

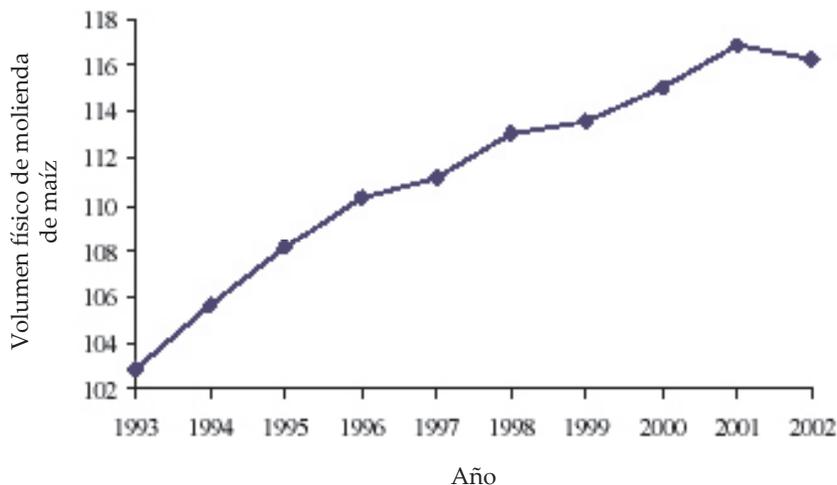
empresas productoras de harina de maíz nixtamalizado.

El maíz se somete a un proceso de cocción alcalina llamado nixtamalización, que es básicamente una cocción del maíz en agua con cal (hidróxido de calcio), y puede describirse como una lixiviación que logra la gelificación de los almidones del cereal. Los productos son el *nixtamal*, que es el grano que será transformado en tortillas y el *nejayote* o agua residual también conocido como "caldo de cal" (Figura 2).

Durante la nixtamalización ocurren cambios en la composición del maíz, entre ellos se pueden citar los siguientes:

- a) Hay un incremento en el contenido de minerales debido a la introducción de iones calcio.
- b) El contenido de grasa se reduce debido básicamente a la hidrólisis alcalina de los ácidos grasos, el ácido linoleico es el que se ve principalmente afectado.
- c) La cantidad de fibra cruda también disminuye, ya que durante la nixtamalización se separa el pericarpio del grano y por el lavado a que es expuesto el nixtamal se elimina parte de este pericarpio.
- d) El contenido de proteínas disminuye. Esto se debe a la solubilidad e hidrólisis de algunas fracciones proteínicas, principalmente glutelinas, que se pierden en el nejayote. Sin embargo, la calidad

Figura 1
Volumen de molienda de maíz para nixtamalización en México registrado de 1993 a 2002 (INEGI, 2002)



de la proteína que permanece en el nixtamal mejora notablemente debido a la mayor disponibilidad de aminoácidos en las fracciones peptídicas después de la hidrólisis. Aproximadamente el 10% de proteína se pierde durante el proceso de elaboración de tortillas.

- e) Los hidratos de carbono del endospermo del maíz también sufren modificaciones. Ocurre una gelatinización parcial de los gránulos de almidón, lo que ocasiona el rompimiento de los gránulos y la liberación de las cadenas de almidón (amilosa y amilopectina). Las cadenas así liberadas son expuestas a la acción del medio alcalino, lo que provoca una hidrólisis cuyo nivel depende de qué tan severo sea el tratamiento en cuanto a la temperatura, tiempo de exposición al calor y concentración de cal.

Parte de la glucosa producida por la hidrólisis del almidón, así como las maltodextrinas, dextrinas y almidón, pasan al nejayote. Durante la elaboración de la tortilla, debido a la alta temperatura y a la cantidad limitada de agua, ocurre la fusión de los gránulos de almidón, lo cual ayuda a formar la red estructural básica de la tortilla.

- f) Las vitaminas hidrosolubles se deterioran.

Los procesos de nixtamalización que se emplean en el país para la producción de masa de nixtamal son muy variados, dependen del tipo de escala, equipo disponible, variedad de maíz utilizada así como de las diversas prácticas de manufactura, sin embargo, en términos generales, en promedio se produce un mínimo de tres unidades de volumen de efluentes

Figura 2
Proceso de elaboración del nixtamal



por cada unidad de masa de granos procesada. Parte de los nutrientes perdidos durante la nixtamalización se acumulan en esos efluentes que son compuestos principalmente por el agua de remojo o lavado del cereal, por lo que la composición de estas aguas es similar al cereal (Cuadro 1) aun cuando proporcionalmente contenga más fibra (pericarpio del maíz) y cenizas (sales de calcio) y menos proteína que el grano de maíz (Calderón, 1990).

El nejayote es altamente contaminante debido a que tiene las siguientes características:

- Contiene altas concentraciones de materia orgánica en suspensión y disuelta (5 a 50 g/l) lo que ocasiona una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Sale del proceso a muy alta temperatura (60 a 80° C).
- Tiene un pH cercano al límite máximo de alcalinidad (10 a 14).

Cuadro 1
Composición del maíz y de sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales de nixtamalización

Parámetro	Maíz normal ¹	Sólidos suspendidos del nejayote ²
Aminoácido		
Isoleucina	3.82	3.24
Leucina	14.29	10.61
Fenilalanina	5.29	5.39
Metionina	2.89	0.95*
Valina	4.68	5.20
Lisina	2.00	2.32
Treonina	3.48	3.73
Humedad	11.00	6.90
Grasa	4.00	1.50
Proteína	13.03	4.10
Fibra	2.00	24.60
Cenizas	— —	10.20

* Parcialmente destruido durante la hidrólisis.
¹ Determinado por Mertz y col., (1964), Science 145:279.
² Determinado por CIMMYT, El Batán, México.



Sin embargo, el nejayote en muchas ocasiones se desecha en drenajes, cenotes (cuando éstos existen), o arrojándose directamente a las inmediaciones del molino. Esto tiene como consecuencia directa el que no crezcan plantas debido a que cambia el pH del suelo, o bien la muerte de peces y otros seres acuáticos por falta de oxígeno (Pedroza y Durán, 1992).

Existen varias tecnologías para reducir la cantidad de nejayote producido durante la nixtamalización, tales como el recircular el agua dentro del proceso e incluso evitar que se genere del todo; también es posible reducir la cantidad de material orgánico que contiene, removiendo la materia insoluble por clarificación y sedimentación, y la materia soluble por medio de la acción de microorganismos aerobios o anaerobios a través de un sistema de tratamiento biológico conocido como tratamiento secundario de aguas residuales. Pese a que se dispone de este tipo de desarrollos tecnológicos y de una legislación ambiental que trata de evitar su emisión al ambiente, actualmente sigue siendo un problema grave de contaminación común al ambiente el desecho del nejayote sin tratamiento previo (Duran de Bazúa, 1988). Los procesos microbianos que han sido desarrollados han tenido como objetivo principal la eliminación de la materia orgánica contaminante del efluente y la producción de proteína de origen microbiano mixto para dietas anima-

les (Durán de Bazúa, 1988; Arámbula, 1999). Sin embargo, estos co-productos del tratamiento biológico del nejayote son de bajo valor comercial, por lo que en muchos casos el costo-beneficio del tratamiento biológico resulta poco atractivo para los productores de nixtamal.

Hasta ahora no se había contemplado la posibilidad de obtener químicos de interés comercial a partir del nejayote a través de su fermentación con microorganismos específicos (cepas puras). Esta alternativa brinda una perspectiva deseable al tratamiento de los efluentes, permitiendo la posibilidad de obtener ganancias adicionales (lo cual no se obtiene en cantidades suficientes deseables en los otros usos alternos del nejayote) que pueden hacer que el sistema de tratamiento sea rentable desde el punto de vista económico (Domínguez y col., 2002).

UTILIZACIÓN DE EFLUENTES DE NIXTAMAL (NEJAYOTE) PARA PRODUCCIÓN DE INSUMOS DE VALOR COMERCIAL

Dentro de la gran variedad de productos químicos que pueden ser generados por vías biológicas, la producción de biocatalizadores (enzimas) es uno de los más importantes. El uso de estos agentes se puede ubicar en cuatro áreas principales: agentes terapéuticos, herramientas para la manipulación de materiales biológicos

Figura 3
Actividad amilolítica del extracto crudo de la fermentación de agua de nejayote por *A. awamori*

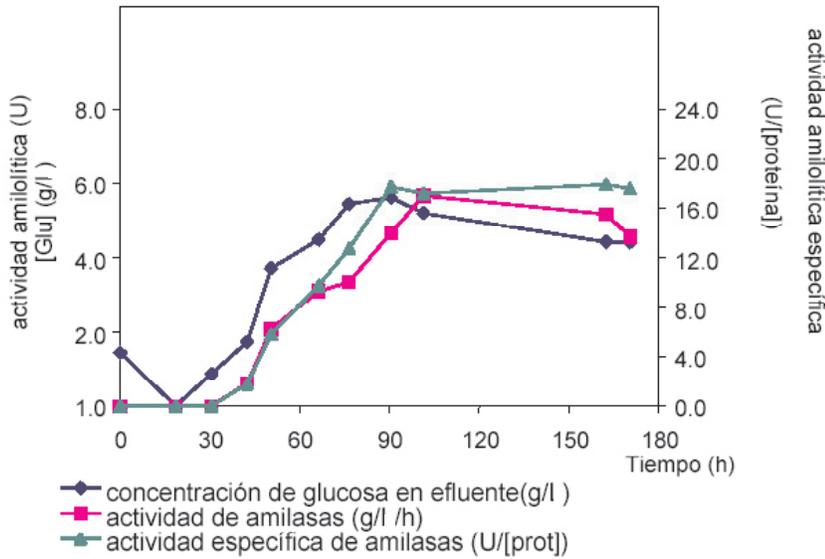
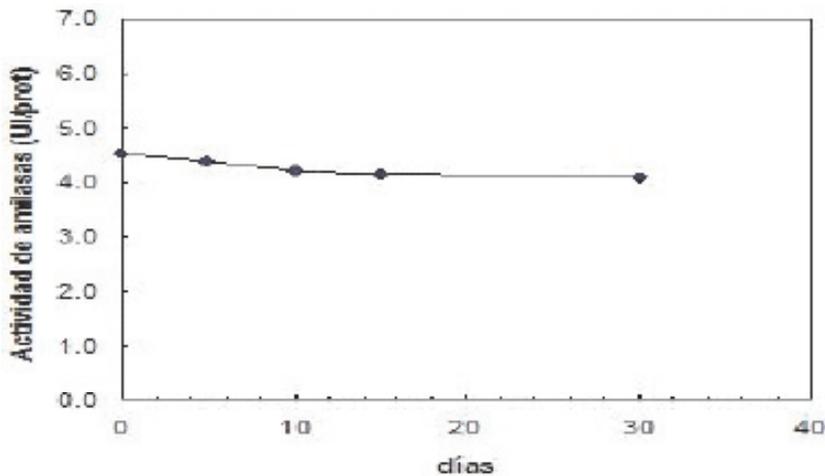


Figura 4
Estabilidad de la actividad de amilasas en refrigeración, obtenidas en la bioconversión de nejayote por *A. awamori*



(por ejemplo: genes), como reactivos analíticos y como catalizadores industriales. Los efluentes del nixtamal pueden ser usados para producir enzimas, en particular, amilasas.

Las enzimas amilasas tienen capacidad de degradar almidón y sus derivados. Estos catalizadores se usan en la industria alimentaria para eliminar el almidón de los extractos de frutas, en la producción de pectina a partir del bagazo de manzanas, para clarificar la turbiedad debida al almidón en los vinos, en la cerveza y en los jugos de frutas, para convertir en jarabes dulces los almidones procedentes de cereales y leguminosas, en la fabricación del pan y para sacarificar el almidón en las masas que se utilizan en la fermentación alcohólica. Pero también se usan en otros procesos industriales como: aditivos para detergentes biológicos, investigación, como desengomantes en la industria textil, elaboración de papel, alternativa económica a la modificación del almidón y la elaboración de jarabes ricos en glucosa (Knorr y Soinsky, 1985).

DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA BIOTRANSFORMADORA DE NEJAYOTE
Estudios realizados en la Facultad de Ingeniería Química de la UADY han permitido desarrollar una tecnología para la posible utilización de los efluentes de la nixtamalización como medio de fermentación para



la obtención de compuestos de alto valor agregado.

En un ensayo llevado a cabo se logró la degradación biológica del nejayote produciendo enzimas con actividad amilolítica y proteolítica a diferentes condiciones de cultivo. La mayor actividad amilolítica fue de 16 UI después de un proceso de fermentación de 100 h (Figura 3) a pH inicial de 4.5 y un régimen de agitación de 300 rpm. La variación de la aeración no tuvo efecto aparente y su almacenamiento en refrigeración a 4º C resultó estable (Figura 4). Esta concentración de enzimas amilolíticas fue mayor que la observada en otros estudios donde el hongo *A. awamori* ha alcanzado actividades amilolíticas de 1.2 U y 2.56 U en tiempos de 72 y 90h (Webb y Wang, 1997; Domínguez y Webb, 1998). Se observaron en la preparación cruda niveles bajos de actividad proteolítica de tipo ácido (aproximadamente 10 veces menor que la amilolítica), lo que indica buena estabilidad del preparado enzimático en almacén. De igual manera

se observaron reducciones de sólidos solubles en el nejayote cercanas a un 42% y reducciones importantes del DBO5 hasta un 21% del valor original después de 170 h de iniciada la fermentación (Cuadro 2).

Con base en los rendimientos obtenidos, es posible realizar una evaluación económica preliminar para el proceso. La instalación de la planta procesadora (Figura 5) de nejayote resulta viable para una capacidad de procesamiento por lotes desde 10 m³ de nejayote, con un rendimiento de 80 litros de extracto crudo enzimático por cada 100 litros de nejayote procesado, 13.5 g de polvo liofilizado con una potencia de 82 UI/g y 695 g de biomasa como subproducto de fermentación, el cual puede ser comercializado como suplemento de alimento animal ya que tiene un contenido de proteína del 18%. Para un proceso de este tipo se ha estimado una inversión inicial de \$18'181,683.00, recuperable al segundo año de operación de la planta.

Cuadro 2
Composición del nejayote antes y después de la fermentación

Nejayote	Sólidos totales (g/l)	DBO5 (mg/l)	Proteína (g/l)	Nitrógeno libre (g/l)	Sólidos solubles (g/l)	Sólidos Totales ¹ (g/l)
*Antes biodegradación	14.49±0.22	432.77±0.32	0.762±0.067	0.135±0.08	11.92±0.58	14.49±0.22
Después biodegradación	9.51(1)±0.16	340±0.12	0.518±0.0201	0.0918±0.0024	2.56±.93	9.51(1)±0.16

* Ajustado a pH 5 antes de inocular.

¹ Incluye biomasa microbiana generada durante la biodegradación.

CONCLUSIONES

Los sólidos fermentables de maíz contenidos en los efluentes de sus procesos comunes de industrialización (nejayote) se encuentran en concentraciones suficientes para sostener el crecimiento de cepas fúngicas de utilidad industrial, obteniendo productos de alto valor agregado, como son las amilasas, haciendo atractiva su canalización y uso como materias primas para procesos biotecnológicos industriales.

AGRADECIMIENTOS

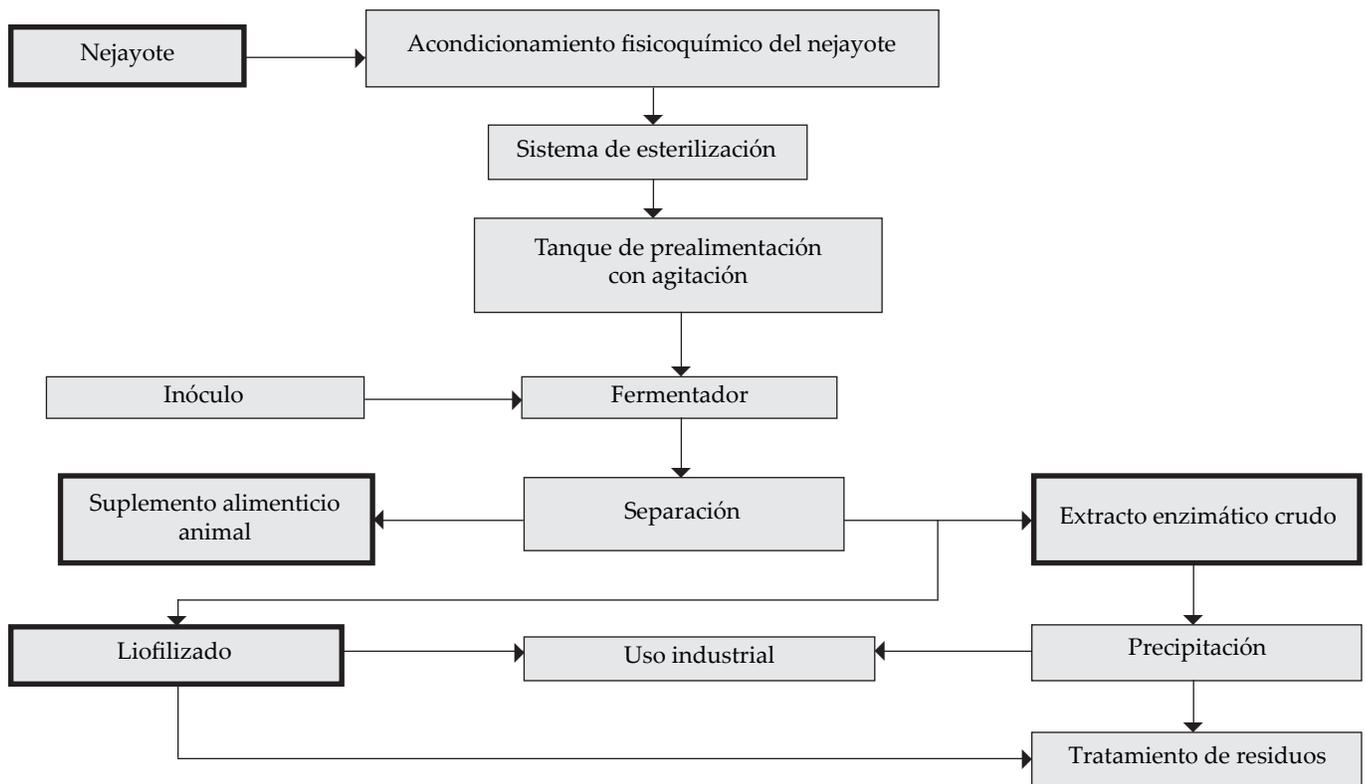
Los autores de este trabajo agradecen al Ingeniero Jorge Lugo Magaña, de "Nixtamalera de Productos

de Maíz y Derivados S. A. de C.V", su cooperación en la realización de este estudio. A Marvin Vera, Ángel Aguilar, Herbert González y Araceli González, por su participación en la realización del trabajo.

REFERENCIAS

- Arámbula G. 1999. Investigaciones tecnológicas para la industria de la masa y la tortilla. En línea, disponible en <http://www.cinvestav.mx/queretaro/Ing.html>, consultado en septiembre 2000.
- Calderón H. 1990. Obtención y evaluación biológica de biomasa microbiana con bajo contenido de calcio, a partir de un sistema de tratamiento aerobio de nejayote. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM.
- Domínguez R. 2000. Bioconversion of cereal raw materials for *Monascus* pigment production, PhD. thesis, UMIST, England.

Figura 5
Diseño de la Planta Procesadora de Nejayote





- Domínguez R. y Webb C. 1998. Bioconversion of Whole-wheat flour for production of food colourants, Proceedings of the IChemE Research event 8-10 April, Newcastle, UK, on cd room.
- Domínguez ER., Wang R., Pacho CJD. 2002. Residuos agroindustriales como materia prima para la producción de compuestos químicos finos *Revista de Ciencia, Tecnología y Educación*. 17: (2) 77-83.
- Durán de BC. 1988. Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo. *Monografía Tecnológica 2. UNAM*. México D.F.
- Dutton G. 1973. Applications of gas liquid chromatography to carbohydrates: Part I. Adv. Carbohydrates. *Chem. Biochem.* 30: 10- 110.
- Godon B., Boundreu A. 1993. *Bioconversion of cereal products*. (eds), VCH Publishers Ltd., UK.
- Knorr D. y Soinskey A. 1985. Biotechnology in food production, *Science*. 2229: 1224-1229.
- Lin T. and Demain A. 1991. Effect on nutrition of *Monascus* sp. on formation of red pigments, *Applied Microbiology and Biotechnology*. 36: 70-75.
- Pedroza de BA., Durán de BC. 1998. Producción de proteína unicelular de desechos (PUCD) a partir de efluentes de la industrialización del maíz para consumo humano *Tecnología de Alimentos*. 20: (6) 3 – 10.
- Schmidt A. and Bjerre A. 1997. Pre-treatment of agricultural crop residues for conversion to high-value products, In Campell G., Webb C., and McKee SL (eds.) *Cereals; Novel uses and Processes*, Plenum Press, New York. 133-141.
- Stanley A., Ramstad W. y Ramstad P. 1995. Corn: *Chemistry and Technology*, 1st edition, 3rd reprinting, AACC. St Paul, MN, USA.
- USDA. 1995. United States Department of Agriculture. Industrial uses of agricultural Materials, situation and outlook. *Economic Research Service*. Washington DC, October.
- Wang R., Domínguez ERM., Leonard K., Koutinas A. Webb, C. 2002. The Application of a Generic Feedstock from Wheat for Microbial Fermentations. *Biotechnology Progress*. 18: 1033-1038.
- Webb C. 1996. Food, feed and fermentation: The future of grain processors. *World Grain*, March. 18-19, April 31-34.
- Webb C. and Wang R. 1997. Development of a generic fermentation feedstock from whole wheat flour, Proceedings of "Cereals: Novel uses and processes", 205-218, *Plenum Press*, New York.
- Zoebelein H. 1997. *Dictionary of Renewable Resources*, Verlagsgesellschaft mgH (VCH) Alemania.

