

La aplicación de las enzimas en la industria

M. en C. Aurora Martínez Trujillo*

Las enzimas son proteínas, cuya función es catalizar las reacciones biológicas. Están presentes en todas las células vivientes, en donde desarrollan una función primordial, ya que controlan los procesos metabólicos. Consisten en largas cadenas de aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos; toman parte en la ruptura de materiales contenidos en los alimentos, convirtiéndolos en materias más simples. Estas sustancias son capaces de convertir los nutrientes en energía, en nuevas células y hasta en productos, algunos de los cuales tienen un elevado potencial para su explotación comercial. Otras se encuentran en el tracto digestivo, donde se encargan de romper las proteínas en aminoácidos, las grasas en ácidos grasos y glicerol, y el almidón en azúcares simples, facilitando así la digestión de todos los alimentos que ingerimos. Por ser catalizadores, su presencia puede acelerar una reacción o proceso sin tomar parte en él. Dichos procesos serían realmente lentos o prácticamente imposibles si no estuviera una enzima presente en ellos. Después de completarse la reacción, la enzima es liberada nuevamente, lista para comenzar otra reacción. En principio, su función debería ser eterna, pero en la naturaleza muy pocas cosas lo son; por lo tanto, la mayoría de los catalizadores tienen una estabilidad limitada, y después de cierto tiempo pierden su actividad, quedando imposibilitadas para volver a tomar parte en los procesos que catalizan.

En comparación con los catalizadores inorgánicos, como los ácidos, las bases, los metales y los óxidos metálicos, las enzimas son muy específicas, ya que pueden actuar sobre sustratos particulares. En algunos casos su acción se limita a enlaces específicos en los compuestos sobre los que actúan. La o las moléculas sobre las que actúa una enzima se conocen como sustratos, los cuales son convertidos en uno o más productos. Una parte de la larga molécula de la enzima, conocida como sitio activo, se ligará reversiblemente al sustrato y ahí catalizará el cambio específico necesario para convertir el sustrato en un producto. Para cada tipo de reacción que sucede dentro de una célula existe una enzima diferente. En general, las enzimas se han clasificado en seis categorías, de acuerdo a la reacción que catalizan: oxidoreductoras, transferasas, hidrolasas, ligasas, isomerasas y liasas. (Prescot, *et al.*, 2002). Como lo muestra la figura 1, las enzimas pueden

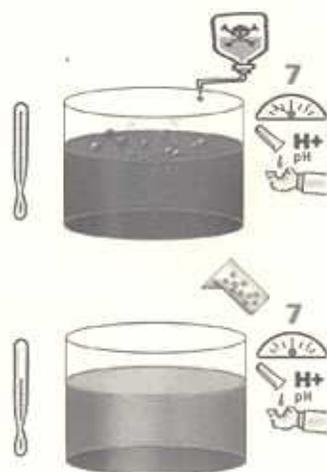


Figura 1. Las enzimas trabajan a condiciones medias.

Todos hemos oído hablar de las enzimas, aunque para muchos no es sencillo entender qué son o para qué sirven. Sin embargo, todos estamos aquí gracias a la acción de las enzimas, y su aplicación es constante en nuestra vida cotidiana.

*Profesora e investigadora del Laboratorio de Catálisis enzimática del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec auro_mt@yahoo.com

trabajar a presión atmosférica y en condiciones medias con respecto a la temperatura y acidez (pH); la mayoría funcionan a temperaturas de 30° a 70° C y en valores de pH cercanos al punto neutro (pH 7). Actualmente se conocen enzimas capaces de trabajar en altas temperaturas o pH extremos, obtenidas a partir de microorganismos extremófilos (Zamost, *et al.*, 1991; Longo y Combes, 1999).

Los procesos enzimáticos se caracterizan por consumir poca energía, por lo que no se requiere de equipos especiales; algunos son resistentes al calor, la presión y la corrosión. Debido a su eficiencia, su capacidad de acción específica, las condiciones medias a las que trabajan y su elevada biodegradabilidad, las enzimas tienen un amplio uso en diversas aplicaciones industriales (Bajpai, 1997).

En la práctica industrial, la mayoría de las enzimas se utilizan una sola vez y se desechan cuando han efectuado su trabajo.

Su aplicación en la industria textil



Figura 2. Las enzimas mejoran la apariencia de la tela.

Las enzimas han encontrado en los últimos tiempos diversos usos en la industria textil, principalmente en los acabados de telas y prendas. Las telas hechas de algodón o mezclas de algodón y fibras sintéticas se refuerzan con un adhesivo, a fin de prevenir la ruptura o deformación de los hilos. Con este propósito se utiliza el almidón o los derivados de éste: gelatina, goma vegetal, polivinil alcohol y celulosa soluble, así como sus derivados: la metil y la carboximetilcelulosa. Durante el procesamiento de la tela, que consiste en el teñido, blanqueo e impresión, el adhesivo debe ser removido para obtener texturas uniformes. Este procedimiento puede llevarse a cabo mediante el uso de ácidos, agentes oxidantes o bases; sin embargo, estos procesos implican el riesgo de dañar las fibras. El descubrimiento del mecanismo de acción de ciertas enzimas ha permitido reemplazar casi completamente estos métodos, ya que éstas son altamente efectivas en la remoción de dichos compuestos, y extremadamente nobles con las telas y la maquinaria, además de no causar contaminación ambiental, como lo hacían los antiguos procesos utilizados en la industria textil (Sreenath, *et al.*, 1996).

El biopulido

Es un tratamiento enzimático para el algodón y otras fibras naturales basadas en la celulosa. Dicho tratamiento le da a la tela una apariencia más lisa y brillante. Se utiliza para remover las pequeñas hebras de las fibras, que sobresalen de la superficie de la tela, conocidas como "pelusa". Estas "pelusas" o pelotitas pueden presentar un serio problema de calidad, debido a que confieren a la tela una apariencia poco atractiva para el consumidor. Después del biopulido la tela muestra menor tendencia a formar "pelusas". Un beneficio adicional obtenido con el tratamiento enzimático es un mejor manejo de la tela y una brillantez superior en el color de la misma (Cavaco-Paulo y Almeida, 1996).

Deslavado de mezclilla

La mezclilla goza de una posición única en el mundo de la moda. Los *jeans*, después de fabricarse, son lavados con piedras pómez para conferirles la apariencia de gastados. El lavado tradicional involucra el uso de una lavadora especial y piedras pómez. A pesar de los excelentes resultados obtenidos con ese proceso, se causan en la tela severas pérdidas en cuanto a su resistencia a la tensión, además de dañar los accesorios de las prendas y causar el desgaste excesivo de la maquinaria. Para resolver estos problemas se utiliza la celulasa, una enzima que trabaja directamente en la pérdida de color en el proceso denominado "biolavado", el cual ha traído consigo una gama de posibi-

lidades para el terminado de la mezclilla al incrementar la variedad de deslavados. Con una enzima es posible desgastar la mezclilla a un mayor grado sin el riesgo de dañar la prenda (Figura 3), además de incrementar la productividad, ya que las máquinas para este proceso pueden deslavar una mayor cantidad de prendas, evitando además su desgaste (Ponce y Pérez, 2002).

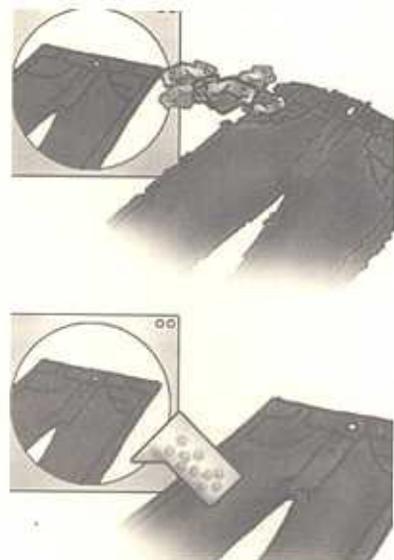


Figura 3. Las enzimas deslavan la mezclilla y eficientan el proceso.

Las enzimas en la panadería

El horneado del pan es una de las técnicas de procesamiento de comida más comunes en todo el mundo. El componente básico de todo tipo de pan es la harina, a la cual se le adiciona sal, agua y levaduras. A veces se añaden otros ingredientes como azúcar, grasas y saborizantes. Los principales componentes de la harina y su relativa abundancia son el 82% de almidón, 12% de proteína y el 3% de fibra. La harina de trigo tiene enzimas naturales que modifican al almidón y a la fracción de fibra que contiene la harina cuando se le adiciona agua para hacer la masa. En forma similar, la adición de levaduras también le proporciona enzimas que ayudan en la fermentación de la maltosa y otros azúcares durante el proceso de horneado para producir CO_2 , lo cual provoca que el pan se esponje (Figura 4).

Con todo lo anterior, la masa deja de ser un material difícil de digerir (Potter, 1978). En grandes operaciones de fabricación de pan, la calidad de la harina de trigo varía dependiendo de algunos factores, como la época del año, las inconsistencias en el molino o los lentos cambios en el trigo durante su almacenamiento. Con la finalidad de ofrecer productos consistentes para el consumidor, y tener a la vez procesos más eficientes, se están utilizando las enzimas como suplementos en el proceso de elaboración del pan. Dentro de las enzimas con mayor uso en la industria de la panificación destacan a las xilanasas, α -amilasas, proteasas, glucosa-oxidasas y lipasas. Estas enzimas se adicionan al moler la harina seca, y al igual que hacen las enzimas del trigo, se activan cuando se adiciona el agua para elaborar la masa. Estos suplementos permiten su adecuado manejo y un control de las características del pan terminado como son: el sabor, el volumen, la textura de la migaja y las propiedades de anti endurecimiento. Estas enzimas están reemplazando gradualmente a otros mejoradores químicos de la harina. Durante la formación de la masa, una porción del almidón se degrada gracias a la acción de la β -amilasa endógena del trigo. Esta reacción puede mejorarse al agregar α -amilasa, la que a su vez puede ayudar a prolongar la frescura del pan. Por otro lado, enzimas como la glucosa oxidasa pueden reemplazar a los oxidantes químicos, tales como los bromatos o el ácido ascórbico, usados para fortificar al gluten, obteniéndose así, una masa más fuerte y con mayor elasticidad (Oxenbol, 1994).

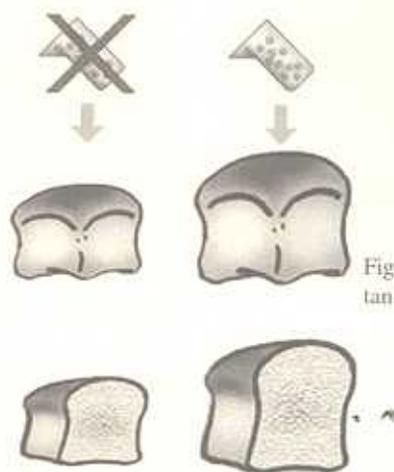


Figura 4. Las enzimas aumentan el volumen del pan.

El uso de las enzimas en la industria cervecera

La fermentación de la cerveza involucra esencialmente la producción de alcohol por la acción de levaduras presentes en los cereales, como la cebada, el maíz, sorgo, lúpulo y arroz. Las levaduras son capaces de convertir azúcares simples en alcohol y CO_2 ; sin embargo, la mayoría de los azúcares presentes en los materiales constituyentes de las plantas son en forma de polisacáridos, que no pueden ser utilizados fácilmente. Tradicionalmente, estos nutrientes se degradan por el proceso denominado malteo, en donde se permite que la cebada germine parcialmente y, mientras tanto, se liberan las enzimas endógenas que degradan al almidón y a las proteínas, hasta convertirlas en azúcares simples y aminoácidos que pueden ser utilizados por las levaduras.



Figura 5. Las enzimas tienen diversas aplicaciones como detergentes.

El proceso de malteo es una forma relativamente cara de fabricar enzimas y no siempre es fácil de controlar. Las enzimas industriales, tales como las amilasas, glucanasas y proteasas pueden adicionarse a la cebada antes del malteado para obtener los mismos azúcares simples y aminoácidos que en el malteo, pero de un modo más controlado. Dichas enzimas juegan además un papel muy importante como mejoradoras de la filtración, ya que a menudo se presentan problemas durante esta etapa del proceso, debido a la elevada viscosidad de los líquidos a filtrar, provocada por el exceso de azúcar. Ante esto, se utilizan xilanasas o glucanasas, que ayudan para prevenir la saturación de las membranas de filtración y a eficientar los procesos (Priest y Campbell, 1995).

Las enzimas como detergentes

Las enzimas se han utilizado en la industria de los detergentes desde mediados de los 60, incorporadas a los "detergentes biológicos", polvos líquidos y tabletas, siendo probablemente la aplicación más conocida para las enzimas industriales. La principal actividad enzimática en los detergentes biológicos es la proteasa, que actúa sobre las cadenas orgánicas de materias como el pasto, la sangre, el huevo y el sudor humano. Sin embargo, se ha vuelto común en los años recientes incluir un cóctel de actividades enzimáticas, como las lipasas y amilasas. Recientemente se han desarrollado polvos potenciadores del color y antiburbujeantes que contienen celulasas. Se piensa que el modo de acción de dichas enzimas es en la remoción de las fibrillas de celulosa desprendidas del tejido, que causan un apagado progresivo del color a medida que la suciedad es atrapada en la superficie de la tela.

El uso de enzimas en detergentes para lavavajillas automáticas se está volviendo también muy popular. Las actividades enzimáticas típicas son la proteasa y la amilasa, que son usadas para remover las partículas de comida. Estos nuevos productos son más benévolos con el medio ambiente, ya que contienen menos agentes blanqueadores y menos fosfatos (Figura 5).

La producción de vinos

La fabricación del vino involucra principalmente la fermentación del jugo de uva. La extracción del jugo es, sin embargo, el proceso más complicado en las frutas, comparado con otros como la extracción de los sabores o colores, como sucede en el caso del vino tinto. Las uvas utilizadas para la fabricación del vino se colectan antes de que hayan madurado. La fruta no madura contiene grandes cantidades de protopectina insoluble, que puede absorber grandes cantidades de jugo durante el prensado y también puede dar soluciones muy viscosas que son difíciles de procesar. La adición de pectinasas durante el molido puede hidrolizar las pectinas, con lo cual se incrementa el

rendimiento del jugo, además de ayudar en su clarificación y prevenir que éste se gelifique. Algunas uvas contienen además grandes cantidades de arabinosilanas que pueden tratarse con xilanasas, las cuales se adicionan al proceso. Otro problema específico en la fabricación del vino es la infección frecuente de las uvas por los hongos *Botrytis cinerea*, los cuales producen β -glucanas, que estorban durante la clarificación del vino, tapando los dispositivos utilizados para la filtración. La adición de β -glucanasas puede solucionar este problema (Figura 6). Otro uso especial de las enzimas en la fabricación del vino, incluye la adición de proteasas para mejorar la esta-

bilidad del color en los vinos rojo al reducir el enlace de los taninos polimerizados a las proteínas, y el uso de glicosidas para hidrolizar los terpenil glicósidos, incrementando el aroma o buqué del vino.

Las enzimas en el procesamiento de alimentos

Los procesos en los que se utilizan enzimas durante el procesamiento de alimentos son muy numerosos para describirlos con detalle. Las enzimas pueden emplearse para modificar las materias primas y los aditivos en el procesamiento o en los estados de cocción. Las funciones de las enzimas en este campo incluyen: potenciamiento del sabor y aroma y la remoción de sabores indeseables, mejorando la digestibilidad y modificando la textura y apariencia del producto final. La principal actividad enzimática utilizada en el procesamiento de alimentos es la proteasa; sin embargo, tienen buen uso las aplicaciones que incluyen lipasas y actividades degradativas de carbohidratos (Ray, 1996).

Su uso en el procesamiento de jugos de frutas

Las enzimas se utilizan en el procesamiento de frutas no cítricas para maximizar la producción del jugo clarificado. Generalmente, las frutas y fresas contienen pectinas y otros polisacáridos tales como el almidón y las arabinosilas; las pectinas mantienen las células de las frutas juntas como una "goma", lo cual provoca una liberación pobre del jugo durante el pulpeo, y la presencia de pectinas solubles en el jugo subsecuente causa la turbidez del mismo. La adición de enzimas degradadoras de pectina en la fase de pulpeo incrementa el rendimiento del jugo y ayuda a su clarificación, y son particularmente importantes en la producción de jugos concentrados de frutas, ya que las pectinas pueden formar geles muy viscosos que obstaculizan la filtración y la concentración de altos niveles de sólidos disueltos.

La arabinosilana y el almidón, presentes en el jugo de manzana, pueden disminuir los rendimientos de filtración, por lo que deben eliminarse mediante la adición de xilanasas y α -amilasas. Las celulasas tienen la característica de desempeñar un papel importante durante la extracción de jugos a partir de las fresas, donde el rendimiento del jugo junto con la extracción del color y los componentes del sabor, pueden ser difíciles.

En el procesamiento de las frutas cítricas las enzimas ayudan a maximizar la producción de jugos turbios, contribuyen a resolver los problemas de la extracción del jugo de la pulpa de frutas cítricas y a reducir su viscosidad durante la concentración. Sin embargo, los jugos cítricos son muy

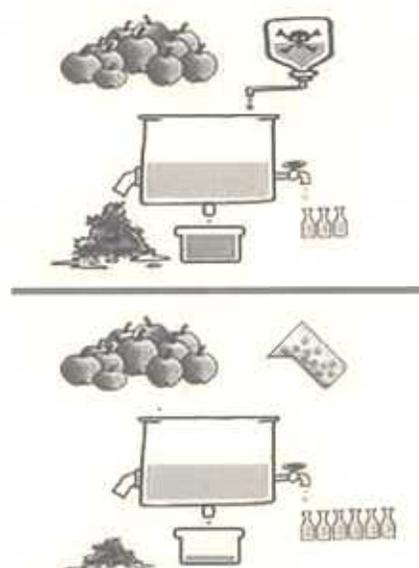


Figura 6. Las enzimas mejoran el proceso de filtración en la elaboración del vino y jugos.

turbios, y su sabor y color dependen de la etapa de prensado de las frutas. La estabilidad de la turbidez se controla con una cuidadosa manipulación de la pectina en el jugo (Sreenath y Santhanam, 1992).

Dentro de la industria farmacéutica y de diagnóstico, las enzimas tienen un destacado papel, ya que cubren un sin fin de aplicaciones, las cuales incluyen a las enzimas directamente como productos farmacéuticos, utilizados en el tratamiento de los desórdenes genéticos causados por la deficiencia específica de cierta enzima en la extracción de compuestos medicinales importantes como la heparina, la manufactura de fármacos químicos donde las enzimas se aplican para la interconversión de intermediarios químicos o para la remoción de componentes quirales, y en la biocatálisis combinacional.

La investigación y desarrollo, especialmente en el campo de la biología molecular, se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, ya que casi todos los procesos de manipulación de ácidos nucleicos se desarrollan con enzimas como las endonucleasas de restricción y las DNA polimerasas. Los procedimientos de diagnóstico se valen frecuentemente de enzimas como la luciferasa y la glucosa oxidasa (Montes-Horecasitas y Magaña-Plaza, 2002).

La industria de la pulpa y el papel

La materia prima para todo tipo de papel es la madera. El proceso de pulpeo involucra la separación de las fibras de celulosa de la lignina y otros componentes y puede desarrollarse por procesos químicos y mecánicos. El pulpeo mecánico da un alto rendimiento de la pulpa pero es de pobre calidad, ya que los componentes de la lignina no se solubilizan lo suficiente. Dichas pulpas mecánicas se utilizan principalmente en la fabricación de periódicos. El principal método de pulpeo mecánico es el proceso del papel kraft, en el cual la madera se trata con químicos hasta disolver por completo a la lignina. La pulpa de kraft resultante es de un color ligeramente oscuro, debido a la presencia de lignina disuelta y debe someterse a un blanqueo sustancial antes de ser utilizable para la manufactura del papel.

Los compuestos clorados son los principales agentes blanqueadores, y los fabricantes de papel están bajo presión continua para reducir las cantidades de éstos, por resultar contaminantes y mutágenos potenciales. El tratamiento enzimático de las pulpas de papel kraft es capaz de remover los enlaces de hemicelulosa de la superficie de las fibras, reduciendo así los requerimientos de compuestos clorados para el blanqueo. El destañado enzimático del papel de desecho se utiliza con mayor frecuencia; se piensa que la adición de la hemicelulasa remueve las proyecciones de la superficie del papel, las cuales son las responsables del atrapamiento de la tinta, haciendo así el destañado más sencillo. Otras aplicaciones de las enzimas en la manufactura de la pulpa y el papel incluyen el control de la pelusa, la modificación del almidón en los papeles cubiertos y la modificación de la fibra de celulosa para producir papeles con tejido y textura más suave (Viikari, *et al.*, 1994).

El aprovechamiento del almidón

Una considerable cantidad de los edulcorantes usados en todo el mundo se derivan del almidón, por lo que su tratamiento enzimático se ha vuelto más popular que la hidrólisis ácida. Dicho proceso resulta en una gran variedad de jarabes azucarados usados en las industrias de alimentos y bebidas; se identifican tres fases en la modificación del almidón: inicialmente, las amilasas liberan a la maltodextrina por el proceso de licuefacción, obteniéndose así dextrinas y oligosacáridos, que son hidrolizados a su vez por enzimas



Figura 7. Las enzimas tienen una gran aplicación en la elaboración de jarabes de alta fructosa.

como las pululanasa y las glucoamilasa, durante el proceso conocido como sacarificación.

La sacarificación completa convierte todas las dextranas limitantes en glucosa, maltosa e isomaltosa. Los jarabes resultantes son moderadamente dulces y requieren una modificación posterior, el tratamiento de éstos convierte una larga porción de glucosa en fructosa, que es más dulce que la primera (Figura 7). Este proceso de isomerización se desarrolla usualmente con la glucoisomerasa inmovilizada, y resulta en jarabes con aproximadamente el 50% de fructosa y 50% de glucosa. Tales productos se conocen como jarabes de alta fructosa y en la actualidad están reemplazando a los azúcares en la manufactura de alimentos y bebidas (Anthonsen, T., 2001).

Comentarios finales

La gran variedad de aplicaciones que tienen las enzimas a nivel industrial, hace necesario que se desarrollen nuevos procesos para producirlas y que se estudien a fondo los métodos hasta hoy desarrollados. Si bien el presente artículo no abarcó en su totalidad los usos de las enzimas en la industria, se intenta dar un panorama muy general de la importancia de las mismas.

En el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, nuestro grupo de investigación ha comenzado a estudiar la producción de xilanasas y celulasas de dos hongos filamentosos: *Aspergillus niger* y *Phanerochaete chrysosporium*. Hasta el momento se conocen los mejores inductores de la actividad en estos hongos, las cinéticas de producción de las enzimas con esos inductores (Martínez-Trujillo, *et al.*, 2002), y se ha comenzado a trabajar con la metodología para optimizar la producción de dichas enzimas utilizando técnicas estadísticas. ☺

Bibliografía

- Anthonsen, T., 2001, "Synthesis of chemicals using enzymes", en: **Basic Biotechnology**, Ratledge y Kristiansen editors, 2a. Edición, Cambridge University Press.
- Bajpai, P., 1997, **Microbial Xylanolytic enzyme system; properties and applications**, Adv. In. Appl. Microbiol, 43, 141-194.
- Cavaco-Paulo, A. y Almeida, L., 1996, **Cellulase activities and finishing effects**, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 28, No. 6, 28-32.
- Martínez-Trujillo, M.A.; Castañeda Gutiérrez, G.E. y Peralta-Pérez, M.R. "Producción de xilanasas y celulasas a partir de sustratos lignocelulósicos utilizando *Phanerochaete chrysosporium* A594", en **Memorias del III Encuentro Internacional de Biotecnología UPIBI 2002**, realizado en la ciudad de Querétaro, del 6 al 9 de noviembre del 2002.
- Montes-Horecasitas, C. y Magaña-Plaza, I., 2002, "Enzimas con aplicación industrial", en **Avance y Perspectiva**, Vol. 21, 279-282.
- Longo, M. A. y Combes, D., 1999, "Thermostability of modifies enzymes: a details study", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74: 25-32.
- Oxenbol, K., 1994, "Aspergillus enzymes and industrial uses", en **The Genus Aspergillus**, Edit. por Keith A. Powel, et al., Plenum Press, New York.
- Ponce, N. T. y Pérez A. O., 2002, "Celulasas y Xilanasas en la industria", en **Avance y Perspectiva**, Vol. 21, 273-277.
- Potter, N. N., **La ciencia de los alimentos**, Avi publishing company, Inc. 1978.
- Prescott, L. M.; Harley, J. P. & Klein, D. A., **Microbiology**, Mc Graw Hill, fifth ed. 2002.
- Priest, F. G. y Campbell, I., 1995, **Brewing microbiology**, 2ª ed., New York: Chapman & Hill.
- Ray, B., 1996, **Fundamental of food microbiology**, CRC Press, Inc.
- Sreenath, H. K.; Shah, A. B.; Yang, V. W.; Gharia, M. M. y Jeffries, T. W. 1996, "Enzymatic Polishing of jute/cotton blended fabrics", *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol. 81, No. 1, 18-20.
- Sreenath, H. K. y Santhanam, S. S., 1992, "The use of commercial enzymes in white grape juice clarification", *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 73:3, 241-243.
- Viikari, L., Kantelinen, A., Sundquist, J. y Linko, M., 1994, "Xylanases in bleaching: from an idea to the industry", *FEMS Microbiology Reviews*, 13: 335-350.
- Zamost, B. L.; Nielsen, H. K. y Starnes, R. L., 1991, **Thermostable enzymes for industrial applications**, *J. Ind. Microbiol*, 8, 71-81.

PROMOTORES DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA



Dr. José Sarukhán Kermez
Miembro extranjero de la Royal Society del
Reino Unido 2003

- Nació en la ciudad de México en 1940.
- Maestro en Ciencias en la Gran Bretaña.
- Doctor por la Universidad de Gales.
- Reconocido por sus aplicaciones pioneras de métodos demográficos a poblaciones de plantas, especialmente a la de árboles tropicales.
- Impulsor del desarrollo científico y la formación de recursos humanos en México.
- Asesor de organismos nacionales e internacionales, reconocido por diversas sociedades botánicas de México y Estados Unidos.
- Distinguido con Honoris Causa, tanto en México como en el extranjero.
- Como presidente de la Academia de la Investigación Científica, impulsó la creación del Sistema Nacional de Investigadores.
- Miembro de El Colegio Nacional.
- En la UNAM, además de haber sido rector durante dos periodos, fue iniciador de Fundación UNAM para el apoyo institucional, coordinador de la Investigación Científica y director del Instituto de Ecología.
- Desarrolló un posgrado en Restauración Ecológica.
- Actualmente impulsa el desarrollo científico desde la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).