

La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México

D. Martínez-Carrera, A. Larqué-Saavedra, M. Aliphat, A. Aguilar, M. Bonilla, y W. Martínez Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, *Campus* Puebla, Biotecnología de Hongos Comestibles, Apartado Postal 701, Puebla 72001, Puebla, México. Fax: 22-852162. Correo electrónico: dcarrera@colpos.colpos.mx

1) Aspectos históricos relevantes

Los inicios del cultivo de hongos comestibles en México tuvieron lugar en 1933, en un rancho cercano a Texcoco, Estado de México (Martínez-Carrera *et al.*, 1991b). Esto convirtió al país en el tercer lugar de América donde se emprendía dicho cultivo, sólo antecedido por E.U.A. (1880) y Canadá (1912). Actualmente, la producción de hongos comestibles en México ofrece notables ventajas sociales, económicas y ecológicas. Se estima que la producción comercial en fresco es de aproximadamente 28,895 toneladas anuales. Nuestro país es el mayor productor de Latinoamérica, ya que genera alrededor del 56% de la producción total de esa región y lo ubica como el 18o. productor a nivel mundial. El monto anual de las operaciones comerciales supera los 73 millones de dólares, generando alrededor de 15 mil empleos directos e indirectos. La importancia ecológica de esta actividad económica radica en la utilización y reciclaje de más de 280,000 toneladas anuales de subproductos agrícolas (Martínez-Carrera, 1999b).

A diferencia de otros países donde el cultivo de hongos comestibles es un negocio privado, su evolución en México ha tenido dos vertientes principales: el desarrollo industrial privado y la producción rural por el sector social. Esta última vertiente es más reciente, generándose a partir de 1989 mediante el desarrollo del modelo sostenible de producción rural de hongos comestibles (Martínez-Carrera *et al.*, 1991a, 1992a, 1993, 1998a).

2) Fortalezas y debilidades a nivel institucional, empresarial, y de organización social

México es el único país latinoamericano que cuenta con una importante red de grupos de investigación, los cuales trabajan en diversos aspectos básicos y aplicados relacionados con el cultivo de hongos comestibles (**Tabla 1**). Sin embargo, comparativamente con el desarrollo de la industria privada, se trata de grupos bastante jóvenes formados a principios de los años ochenta. Por esta razón, son todavía bastante heterogéneos desde el punto de vista de formación académica, masa crítica de investigadores, infraestructura, e impacto internacional de las investigaciones realizadas. Las principales instituciones son las siguientes: 1) Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP), 2) Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 3) Instituto de Ecología, A. C. (IE), 4) El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), 5) Universidad de Guadalajara (U. de G.), 6) Universidad de Guanajuato (UG), y 7) Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). La mayoría de los grupos de investigación se encuentran en la zona central del país cumpliendo una función básicamente regional, abarcando los Estados de Chiapas, Guanajuato, Jalisco, México, Morelos, Puebla, y Veracruz. Las regiones norte, sur, y sureste se encuentran prácticamente desatendidas, aunque existen instituciones con gran potencial para desarrollar regionalmente la biotecnología de producción de hongos comestibles en el corto plazo. Este es el caso del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY), la Universidad Veracruzana (UV), y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. El impacto de los estudios institucionales en la industria ha sido bastante

limitado, aunque pueden mencionarse investigaciones desarrolladas sobre el aislamiento de cepas mexicanas y taxonomía convencional (Guzmán *et al.*, 1997), la obtención de cepas acelulolíticas (Ramírez-Carrillo *et al.*, 1991), híbridos comerciales desarrollados por mejoramiento genético (Morales *et al.*, 1995), resistencia genética al ataque del moho *Trichoderma* (Martínez-Carrera *et al.*, 1997), y desarrollos tecnológicos (Sánchez-Vázquez *et al.*, 1995; Martínez-Carrera *et al.*, 1996, 1998b; Martínez-Soto *et al.*, 1998). Se espera que estos grupos de investigación evolucionen y se consoliden en el transcurso de los próximos 5-10 años, para poder contribuir científica y tecnológicamente al desarrollo de la producción rural y comercial de hongos comestibles en México.

A nivel internacional, la producción comercial de hongos comestibles es una actividad rentable, bastante dinámica y competitiva (Martínez-Carrera, 1998; 1999a). Como en toda actividad productiva, el equilibrio integral entre la tecnología, el capital, y el mercado determinan el éxito o fracaso de la empresa. Por esta razón, tanto en países desarrollados como aquellos en desarrollo, existen un gran número de compañías de hongos comestibles que han cerrado o fusionado sus operaciones para dar lugar a nuevas empresas o compañías de mayor nivel. Actualmente, el sector industrial mexicano se encuentra diversificado y en pleno desarrollo, ya que han logrado establecerse no tan sólo diversas empresas productoras de hongos comestibles, sino también empresas distribuidoras, exportadoras, importadoras, e incluso generadoras de fertilizantes orgánicos. Existen siete grandes empresas productoras que han logrado mantenerse en el mercado nacional por varios años, a saber: “Hongos Leben, S. A.”, “Hongos de México, S. A.”, “Monterey Mushrooms, Inc.”, “Alimentos Selectos de Tlaxcala, S. A.”, “Champiñones Los Altos, S. A.”, “Hongos del Monte, S. A.”, “Champiñones El Riojal, S. A.” (Tabla 1). Producen comercialmente champiñones (*Agaricus*), setas (*Pleurotus*), y shiitake (*Lentinula*) [Fig. 1A-C].

La producción rural de hongos comestibles ha dado lugar a un gran número de pequeños productores, principalmente de setas dada la sencillez y bajo costo de implementación de su sistema de cultivo. Este tipo de producción es normalmente temporal, por la forma en que la unidad de producción campesina ha integrado exitosamente el cultivo de hongos como una actividad adicional. Sin embargo, una proporción importante de productores rurales generan una producción inestable o efímera, ya que no tienen apoyos suficientes de capital y tecnología, ni tampoco planifican adecuadamente la comercialización del producto. El potencial de la producción rural de hongos comestibles es significativo, ya que existen en distintas partes del país más de 6,000 sociedades y organizaciones campesinas e indígenas con posibilidades para desarrollarla (Tabla 1).

En general, la producción rural y comercial de hongos comestibles se encuentra localizada en la región central de México. Se aprovechan grandes cantidades de subproductos agrícolas y forestales como sustrato de cultivo, tales como las pajas de trigo, cebada, y sorgo; pulpa de café; bagazos de algodón, caña de azúcar, y tequila; rastrojos de maíz, haba, y frijol; fibra de coco; y hojas, hojarasca, o cáscaras de diversas plantas. Estos sustratos se preparan para su siembra, mediante fermentación aerobia y pasteurización, o por esterilización. Los sistemas de producción utilizan cajas de madera o bolsas de plástico de diferentes tamaños, incubadas verticalmente o en anaqueles. Los cuartos de crecimiento y producción de los hongos comestibles son poco sofisticados y con control rústico de las variables ambientales (luz, humedad relativa, y ventilación), lo cual conduce a producción inestable y bajos rendimientos a lo largo del año. Pocas empresas están en posibilidades de efectuar procesamiento postcosecha de hongos comestibles, la mayoría comercializa su producto fresco. Algunas empresas han realizado con éxito alianzas estratégicas con compañías capaces de envasar hongos comestibles a gran escala (Martínez-Carrera *et al.*, 1996; Martínez-Carrera, 1999b).

El mercado se encuentra bastante centralizado y adolece de varias debilidades estructurales. Entre 80-90% de la producción nacional se comercializa a través de la Central de Abasto, en México, D. F., desde donde se distribuye a otras regiones del país. En este lugar es común observar prácticas monopólicas, un excesivo intermediarismo, especulación, y que se carece de infraestructura de conservación adecuada, lo cual genera efectos negativos en la calidad, disponibilidad, y precios del producto al consumidor. También existe competencia desleal entre las grandes empresas y los productores rurales por la venta del producto fresco, lo cual se revierte contra los mismos productores al generarse precios artificialmente bajos de los hongos comestibles (Martínez-Carrera *et al.*, 1992b).

La falta de una estructura eficiente de mercado culminó en una crisis bastante severa para el sector a principios de 1995, lo cual desaceleró y limitó drásticamente su desarrollo (**Fig. 2**). Los antecedentes inmediatos de dicha crisis se remontan al período de 1990-1994, caracterizado por una fuerte inversión pública o privada, tanto nacional como extranjera. Estimaciones conservadoras indican que la inversión global ascendió a más o menos 150 millones de dólares en ese período. Esto generó un mayor número de productores, tanto grandes como pequeños, lo que condujo a cada vez mayores volúmenes de producción que se canalizaron hacia un mercado ampliamente regionalizado y con sistemas de comercialización centralizados. En forma paralela a este fenómeno, se incorporaron a este mismo mercado grandes cantidades de hongos importados, procedentes principalmente de España y China. Las estadísticas oficiales indican que, en el período 1993-1995, se importaron 12,380 toneladas de hongos comestibles frescos y procesados, cuyo valor rebasó los 19 millones de dólares (BANCOMEXT, 1999; INFOTEC, 1999; U.S.A. Trade Data Services, 1999). Por si esto no hubiera sido suficiente, a finales de 1994 estalló la peor crisis económica que ha tenido el país en lo que va del siglo, afectando seriamente la capacidad de compra de los consumidores.

Los tres factores mencionados (producción, importaciones, crisis económica) deprimieron significativamente el mercado mexicano de los hongos comestibles. Esta circunstancia generó una auténtica guerra de precios entre los productores, la cual mantuvo el precio de los hongos en planta tan bajo como aquel que se tenía en 1990 (*ca.* M.N. \$ 5.00-8.00). Varias empresas y un elevado número de pequeños productores quebraron. Actualmente, el mercado mexicano se encuentra en franca recuperación. Paradójicamente, el precio final a los consumidores sigue siendo elevado, lo cual indica que los grandes beneficiarios de esta ineficiente situación han sido y son los intermediarios.

Dentro de un mercado saturado por altos volúmenes de producción e importaciones, en un contexto de crisis económica recurrente, el sector debe plantearse como objetivo global inmediato de largo plazo el incremento y diversificación del mercado, tanto nacional como de exportación. Para ello es necesario fomentar la organización integral de la industria mexicana, lo cual es complicado dada su heterogeneidad y porque existe conflicto de intereses entre grandes y pequeños productores. Sin embargo, esta vía permitiría consolidar una red nacional de producción rural y comercial de hongos comestibles, así como una estructura de mercado y comercialización eficientes para poder competir en los mercados internacionales.

3) Areas prioritarias de investigación básica y aplicada

Los grandes avances científicos y tecnológicos de la biotecnología de producción de hongos comestibles, desarrollados fundamentalmente a mediados del presente siglo, han consolidado un crecimiento sostenido de esta industria a nivel mundial. Los principales países productores desarrollaron una estrategia bastante exitosa que consistió en establecer centros nacionales de

investigación científica y tecnológica, en los cuales integraron los estudios básicos y aplicados, la transferencia de tecnología, y la capacitación en todos sus niveles. Así se establecieron institutos de investigación en Pennsylvania, E.U.A.; Bordeaux, Francia; Horst, Holanda; Wellesbourne, Inglaterra; Tottori, Japón; y Hong Kong/Fuzhou, China. Esto representó un avance fundamental en la historia de la producción comercial de hongos comestibles, ya que estos institutos vinculados directamente a la industria han promovido en forma eficaz el constante mejoramiento de sistemas de producción, han proporcionado asesoría técnica especializada para la solución de problemas cotidianos en las plantas, y han formado abundantes recursos humanos de alto nivel en este campo.

México cuenta con una posición geográfica estratégica, un mercado doméstico en constante crecimiento, y ventajas comparativas (materias primas abundantes, bajos costos de la mano de obra, climas adecuados) ante la globalización mundial que le permiten estar en posibilidades de mantener un sólido liderazgo regional en este sector a nivel latinoamericano (Martínez-Carrera, 1999b). Asimismo, nuestro país puede incursionar en el mercado internacional de hongos comestibles y sus productos metabólicos de importancia industrial, ocupando una posición central. Sin embargo, para consolidar este liderazgo se requiere una vinculación estrecha academia-industria privada-sector social rural, la cual permita desarrollar aspectos estratégicos mediante la investigación básica y aplicada. A diferencia de la estrategia seguida por otros países, se considera que el establecimiento de un centro nacional de biotecnología de producción de hongos comestibles tendría diversas desventajas, no tan sólo por el tamaño del país, sino también por su diversidad biológica, ecológica, y cultural.

El primer encuentro academia-industria-sector social rural se llevó a cabo en mayo 28, 1992, en México, D. F., el cual fue estimulado por la inminente entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con E.U.A. y Canadá (**Fig. 3**). Un mayor esfuerzo de análisis y reflexión se realizó durante la Primera Reunión Nacional sobre Investigación Básica y Aplicada para Fortalecer la Producción Rural y Comercial de Hongos Comestibles en México, realizada en junio 27, 1999, en Puebla, Puebla. En esta reunión, financiada por el CONACYT, participaron las principales instituciones, empresas, y organizaciones sociales directa o indirectamente relacionadas con la biotecnología de producción de hongos comestibles. Se propuso integrar interdisciplinariamente la infraestructura humana y material de diversas instituciones, las cuales incluyen a los grupos de investigación más importantes con que cuenta el país en este campo (Tabla 1). Esto con el objeto de desarrollar investigaciones estratégicas sobre hongos comestibles, las cuales permitan impulsar la producción rural y comercial en diversas regiones del país.

Estos grupos de investigación tienen sólida colaboración inter-institucional a nivel nacional, así como programas de cooperación con instituciones internacionales. Se encuentran ubicados en regiones estratégicas del país: en el centro, sur, sureste, oriente y occidente. En su conjunto, incluyen un total de 46 investigadores de tiempo completo. Su nivel académico corresponde a una proporción de 30.4% de Doctores en Ciencias (14), 19.6% de Maestros en Ciencias (9), y 50.0% de Licenciados (23). Considerando los profesionales en formación, tanto en México como en el extranjero, se espera que esta masa crítica de investigadores se incremente alrededor del 100% para el año 2004.

La integración de un esfuerzo nacional de los sectores académico, social, y empresarial con objetivos comunes, permitió identificar las siguientes áreas prioritarias de investigación: 1) Taxonomía clásica y molecular para definir las especies que crecen en México; 2) Caracterización genética (clásica y molecular) de cepas de hongos comestibles procedentes de diversas regiones del país; 3) Mejoramiento genético y fisiología para desarrollar cepas

híbridas de alta calidad con técnicas genéticas (clásica y molecular); 4) Tecnologías de producción rural y comercial de hongos comestibles, incluyendo su optimización y adecuación a diversas regiones del país, considerando la cultura de las comunidades rurales y las necesidades empresariales, con el objeto de aprovechar y reciclar a gran escala los subproductos agrícolas locales; 5) Desarrollar métodos adecuados de prevención y control de plagas y enfermedades; 6) Tecnología de procesamiento para el manejo postcosecha de los hongos comestibles, en condiciones tropicales y subtropicales; 7) Valor nutricional y medicinal de los hongos comestibles; 8) Productos metabólicos de hongos comestibles con importancia potencial en la industria; 9) Generar estadísticas básicas relacionadas con la importación y exportación, mercado interno, y patrones de consumo; 10) Protección de la salud laboral y el medio ambiente; y 11) Hongos comestibles, cultura, y desarrollo sostenible (**Fig. 4**).

El desarrollo integral de estas líneas de investigación permitiría promover la biotecnología de producción de hongos comestibles en forma descentralizada y regional. De las instituciones participantes, sólo una (11%) se localiza en la ciudad de México (UNAM), el resto se encuentran distribuidas en la región central, sur, sureste, oriente y occidente del país. La proporción de académicos que trabajan en provincia también es elevada: 13 doctores (92.8%), 8 maestros en ciencias (88.8%), y 23 licenciados (100%).

El fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica en diferentes partes del país permitiría: 1) Conservar, manejar, y evaluar el potencial biológico y comercial de la diversidad genética presente en los hongos comestibles; 2) Establecer programas modernos de mejoramiento genético (clásico y molecular) utilizando el germoplasma nativo; 3) Aislar e identificar genes de interés comercial, así como productos metabólicos con potencial comercial para la industria; y 4) Concentrar esfuerzos para lograr estándares internacionales en los procesos de producción, tales como el compostaje, pasteurización, incubación, rendimientos por unidad de área, y manejo postcosecha, con el objeto de proteger la salud laboral y el medio ambiente.

4) Perspectivas en materia de seguridad y soberanía alimentaria

A diferencia de las actividades agrícolas, ganaderas, y forestales que llevan siglos de practicarse en México, la biotecnología de producción de hongos comestibles tiene solamente 66 años de desarrollo estable y creciente. Por esta razón, el mayor impacto de los beneficios sociales, económicos, y ecológicos generados por esta actividad productiva tomará lugar a principios del siglo venidero. Sin embargo, considerando el actual contexto nacional e internacional, es imprescindible promover una mayor investigación básica y aplicada, vinculada directamente al sector de producción rural y comercial de hongos comestibles, en regiones estratégicas del país. Se trata de una forma racional de superar, en el corto plazo, las actuales limitaciones que impiden un mayor desarrollo de la industria a nivel nacional y regional, diseñando estrategias que favorezcan su sostenibilidad y consoliden su posición en los mercados internacionales.

Si se establece una estrategia de desarrollo exitosa para el sector, que mantenga cuando menos las tendencias actuales, se logrará una producción total anual de 62,734 ($\pm 2'493,520$ kg de proteína) y 103,096 ($\pm 4'016,640$ kg de proteína) toneladas de hongos comestibles para los años 2003 y 2007, respectivamente. Esto convertiría a nuestro país en el séptimo productor de hongos comestibles a nivel mundial, alcanzando un valor total de las operaciones comerciales cercano a los 263 millones de dólares. Las exportaciones de hongos comestibles frescos y procesados se incrementarán 514% para los períodos 1998-2003 y 2004-2007, con la correspondiente generación de divisas equivalente a más de 60 millones de dólares. Además, se crearían 17,361 y 19,767 empleos, directos e indirectos, sobre todo en las zonas rurales, para los períodos 1998-2003 y 2004-2007, respectivamente.

El mercado doméstico mexicano contaría con un producto de mayor consumo popular, de más bajo costo, de mejor calidad, y abastecido adecuadamente a través de mejores canales de comercialización a nivel nacional. Se estima que estas condiciones permitirían que el consumo *per capita* se incrementara cuando menos 100% para el período 1998-2003 (315 g a 630 g), y 50% durante el período 2003-2007 (630 g a 945 g). Esto es importante si se considera que diversos estudios han demostrado el alto contenido de proteína en los hongos comestibles (19-35% en base seca), así como concentraciones significativas de aminoácidos esenciales, principalmente de lisina, leucina, metionina, y triptofano. También son ricos en vitaminas, tales como la tiamina (0.35-7.8 mg/100 g de hongos secos), niacina (54.9-108.7 mg/100 g de hongos secos), riboflavina (1.63-5.0 mg/100 g de hongos secos), y ácido ascórbico (1.4-9.4 mg/100 g de hongos secos). Su contenido de grasas (1.1-8.3% en base seca), carbohidratos (46.6-81.8% en base seca), y fibra dietética (10-50%) es relativamente bajo (Chang & Miles, 1989; Wasser & Weis, 1999).

Recientemente, también se han descubierto propiedades medicinales en estos hongos, entre las que pueden mencionarse cualidades anti-tumorales, immuno-moduladoras, anti-virales, anti-bacterianas, anti-parasíticas, anti-hipertensión, anti-arterioesclerosis, hepatoprotectoras, anti-diabéticas y anti-inflamatorias (Chang & Miles, 1989; Wasser & Weis, 1999). Esto ha confirmado el auténtico valor nutracéutico de los hongos comestibles, a partir de los cuales pueden obtenerse diversos nutracéuticos y desarrollarse compuestos farmacéuticos. Se ha estimado que este dinámico campo genera operaciones comerciales que superan los 3.6 billones de dólares en los mercados internacionales de la industria alimenticia, farmacéutica, y de perfumería y cosméticos, observándose una creciente demanda en Europa, Norteamérica y Japón (Chang, 1999).

La importancia ecológica de fortalecer la producción rural y comercial de hongos comestibles, radica en que para el año 2007 podrán utilizarse en el país cerca de 671,980 toneladas de subproductos, generando alrededor de 300,000 toneladas de abono orgánico directamente utilizable para las actividades agrícolas tradicionales o intensivas. Esta proporción es aún pequeña (0.33%) comparada con el volumen total de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales que se generan en México ($\pm 50'575,794$ tons./año). Otro aspecto importante, en comparación con otros cultivos convencionales y agroindustrias, es la marcada eficiencia del proceso biotecnológico de producción de hongos comestibles para utilizar y convertir el agua y la energía en alimento humano (Martínez-Carrera *et al.*, 1998a). Se ha estimado que para producir 1 kg de hongos comestibles (*Pleurotus*) empleando tecnologías rústicas se requieren 28 L de agua, en un período de 25-30 días después de la inoculación. Esta cantidad y período de producción son mucho menores que las estimaciones para otros alimentos y forrajes, tales como la papa (500 L/kg), trigo y alfalfa (900 L/kg), sorgo (1,110 L/kg), maíz (1,400 L/kg), arroz (1,912 L/kg), soya (2,000 L/kg), carne de pollo (3,500 L/kg), y carne de res (100,000 L/kg). Por consiguiente, se necesitan 3,571 veces más agua para producir 1 kg de carne de res, que para obtener 1 kg de hongos comestibles (**Tabla 2**).

Con base en lo anterior, puede establecerse que el papel de la biotecnología de producción de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México, será fundamental para fortalecer la sostenibilidad agrícola mediante el aprovechamiento y reciclaje de subproductos agroindustriales y forestales; para obtener un alimento humano socialmente aceptado de alto valor medicinal, proteínico, y comercial; y para incrementar la rentabilidad de los cultivos agrícolas.

Referencias

- BANCOMEXT, 1999. Bancos de datos sobre hongos comestibles. México, D. F.
- Chang, S. T., 1999. Global impact of edible and medicinal mushrooms on human welfare in the 21st century: nongreen revolution. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 1: 1-7.
- Chang, S. T. & P. G. Miles, 1989. *Edible mushrooms and their cultivation*. CRC Press Inc., Boca Raton.
- Duke, J. A. & A. A. Atchley, 1986. *CRC handbook of proximate analysis tables of higher plants*. CRC Press, Boca Raton.
- Guzmán, G., D. Salmenes & F. Tapia, 1997. *Lentinula boryana*: morphological variations, taxonomic position, distribution and relationships with *Lentinula edodes* and related species. *Rep. Tottori Mycol. Inst.* 35: 1-28.
- INFOTEC, 1999. Consulta sobre importaciones y exportaciones mexicanas. México, D. F.
- Martínez-Carrera, D. 1998. Oyster mushrooms. *McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology*. McGraw-Hill, Inc., Nueva York.
- Martínez-Carrera, D., 1999a. Mushroom. *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 9th Edition*. McGraw-Hill, Inc., Nueva York.
- Martínez-Carrera, D., 1999b. Mushroom biotechnology in tropical America. *International Journal of Mushroom Sciences* 3: (en prensa).
- Martínez-Carrera, D., A. Aguilar, W. Martínez, P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla & A. Larqué-Saavedra, 1998a. A sustainable model for rural production of edible mushrooms in Mexico. *Micol. Neotrop. Apl.* 11: 77-96.
- Martínez-Carrera, D., A. Larqué-Saavedra, P. Morales, M. Sobal, W. Martínez & A. Aguilar, 1993. Los hongos comestibles en México, biotecnología de su reproducción. *Ciencia y Desarrollo* 108: 41-49.
- Martínez-Carrera, D., F. Vergara, S. Juárez, A. Aguilar, M. Sobal, W. Martínez & A. Larqué-Saavedra, 1996. Simple technology for canning cultivated edible mushrooms in rural conditions in Mexico. *Micol. Neotrop. Apl.* 9: 15-27.
- Martínez-Carrera, D., M. Sobal, A. Aguilar, M. Navarro, M. Bonilla & A. Larqué-Saavedra, 1998b. Canning technology as an alternative for management and conservation of wild edible mushrooms in Mexico. *Micol. Neotrop. Apl.* 11: 35-51.
- Martínez-Carrera, D., M. Sobal & M. Bonilla, 1997. Germplasm preservation and genetic improvement of wild *Agaricus* species in Mexico. *Micol. Neotrop. Apl.* 10: 21-31.
- Martínez-Carrera, D., M. Sobal, P. Morales & A. Larqué-Saavedra, 1992a. Prospects of edible mushroom cultivation in developing countries. *Food Laboratory News* 8(3): 21-33.
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal & A. Larqué-Saavedra, 1992b. Reconversión en la industria de los hongos? *TecnoIndustria* 7: 52-59.
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, S. T. Chang & A. Larqué-Saavedra, 1991a. Edible mushroom cultivation for rural development in tropical America. *Mushroom Science* 13: 805-811.
- Martínez-Carrera, D., R. Leben, P. Morales, M. Sobal & A. Larqué-Saavedra, 1991b. Historia del cultivo comercial de los hongos comestibles en México. *Ciencia y Desarrollo* 96: 33-43.
- Martínez-Soto, G., O. Paredes-López, R. Ocaña-Camacho & M. Bautista-Justo, 1998. Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) quality as affected by modified atmosphere packaging. *Micol. Neotrop. Apl.* 11: 53-67.

- Morales, P., M. Sobal, W. Martínez, A. Larqué-Saavedra & D. Martínez-Carrera, 1995. La cepa CP-50 de *Pleurotus ostreatus*, híbrido comercial seleccionado por mejoramiento genético en México. *Micol. Neotrop. Apl.* 8: 77-81.
- Pimentel, D., J. Houser, E. Preiss, O. White, H. Fang, L. Mesnick, T. Barsky, S. Tariche, J. Schreck & S. Alpert, 1997. Water resources: agriculture, the environment, and society. *Bioscience* 47: 97-106.
- Ramírez-Carrillo, R., H. Leal-Lara & G. Eger-Hummel, 1991. Genetic control of cellulose degradation by *Pleurotus ostreatus*. *Mushroom Science* 13: 11-15.
- Sánchez-Vázquez, J. E., G. Huerta-Palacios & L. A. Calvo-Bado, 1995. Potential of *Auricularia* sp. in the recycling of agroindustrial waste products in the tropics. *Mushroom Science* 14: 877-883.
- U.S.A. Trade Data Services, 1999. Bureau of the census, Washington, D. C.
- Wasser, S. P. & A. L. Weis, 1999. Medicinal properties of substances occurring in higher basidiomycetes mushrooms: current perspectives (review). *International Journal of Medicinal Mushrooms* 1: 31-62.
- Watt, B. K. & A. L. Merrill, 1975. *Composition of Foods*, Agriculture handbook no. 8, United States Department of Agriculture, Washington, D. C.

Tabla 1. Principales instituciones, empresas, y organizaciones sociales relacionadas o con potencial para desarrollar la biotecnología de producción de hongos comestibles en México.

Instituciones	Sector empresarial privado	Sector social rural
Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP)	Hongos Leben, S. A.	Cooperativas Agropecuarias Rurales
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY)	Hongos de México, S. A.	Uniones de Ejidos
Universidad de Guanajuato (UG)	<i>Monterey Mushrooms, Inc.</i>	Sociedades Campesinas
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)	Alimentos Selectos de Tlaxcala, S.A.	Sociedades de Producción Rural (SPR)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	Champiñones Los Altos, S. A.	Uniones de Sociedades de Producción Rural (USPR)
Universidad de Guadalajara (U. de G.)	Hongos del Monte, S. A.	
Instituto de Ecología, A.C. (IE)	Champiñones El Riojal, S. A.	
Universidad Veracruzana (UV)		
El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)		

Tabla 2. Cantidad estimada de agua requerida para producir 1 kg de hongos comestibles empleando tecnologías rústicas, en comparación con otros alimentos y forrajes (Martínez-Carrera *et al.*, 1998a).

Producto	Litros de agua/kg	Contenido proteínico ^a (g)	Litros de agua requeridos por gramo de proteína
Setas (<i>Pleurotus</i>)	28	2.7	1.0
Papa	500 ^b	2.1	23.8
Trigo	900 ^b	14.0	6.4
Alfalfa	900 ^b	6.0	15.0
Sorgo	1,110 ^b	11.0	10.0
Maíz	1,400 ^b	3.5	40.0
Arroz	1,912 ^b	6.7	28.5
Soya	2,000 ^b	34.1	5.8
Carne de pollo	3,500 ^b	23.8	14.7
Carne de res	100,000 ^b	19.4	515.4

^a Composición en 100 g, porción comestible (peso húmedo) [Watt & Merrill, 1975; Duke & Atchley, 1986; Chang & Miles, 1989].

^b De acuerdo con Pimentel *et al.*, 1997.



Fig. 1A-C. Los hongos comestibles cultivados comercialmente de mayor importancia social, económica y ecológica en México. A: champiñones (*Agaricus*). B: setas (*Pleurotus*). C: shiitake (*Lentinula*).

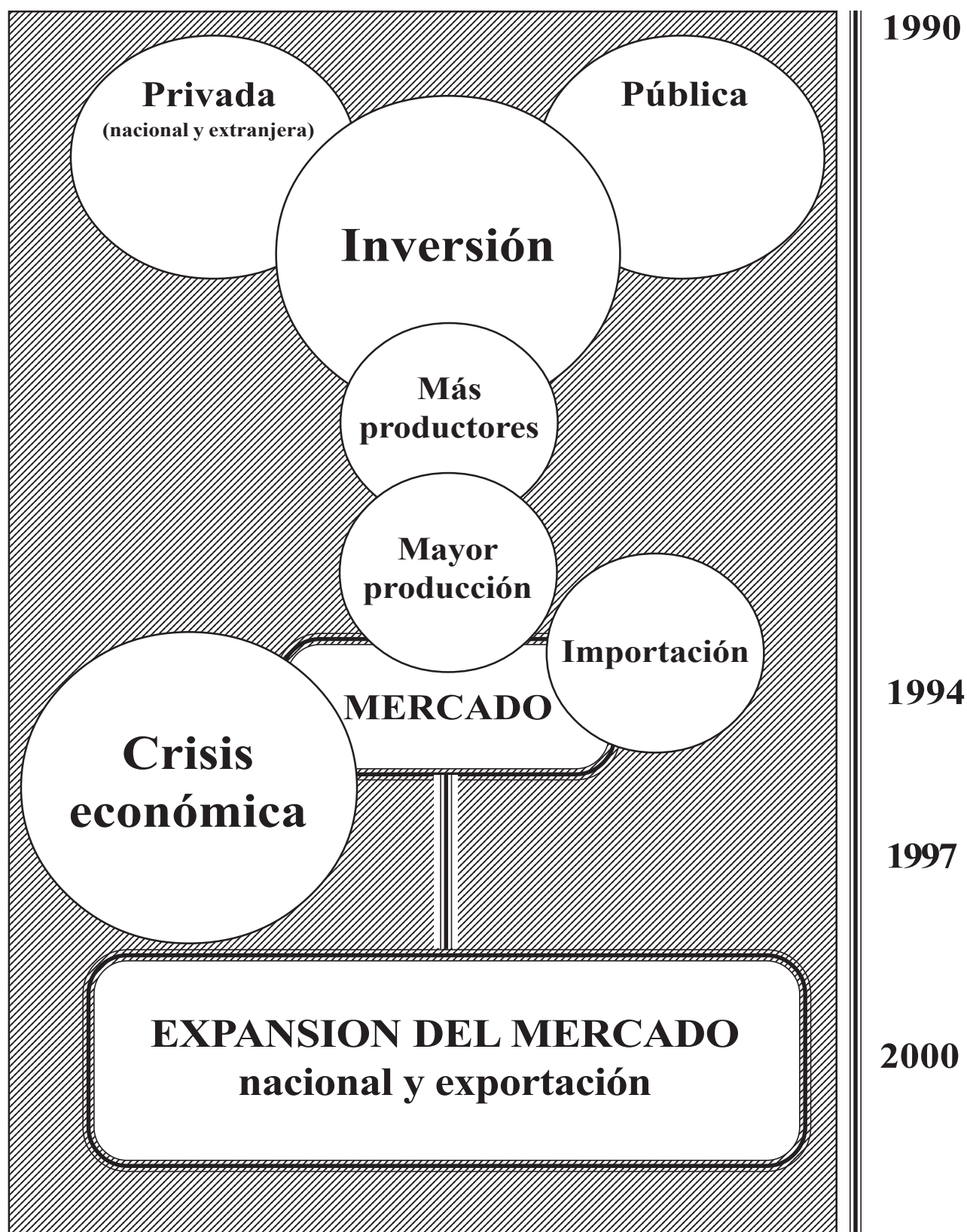


Fig. 2. Síntesis esquemática de la crisis de mercado enfrentada por la biotecnología de producción de hongos comestibles en México durante el siglo XX.



Fig. 3. Primera reunión academia-industria privada-sector social rural en México, llevada a cabo en el Restaurant Loredo, México, D. F. (mayo 28, 1992). Aparecen, de izquierda a derecha: Luis Daher, Alejandro González, Daniel Martínez-Carrera, Rodolfo Leben, José Luis Calzada, Roberto Canovas, y Hermilo Leal. También asistieron Alfonso Cano y José Barragán.