

Producción de proteínas comestibles con fuentes alternativas de materias primas

Julio Amílcar Pineda-Insuasti
Luis Beltrán Ramos-Sánchez

Autor para correspondencia: luis.ramos@reduc.edu.cu; cebaecuador@gmail.com

Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente, Ibarra-Ecuador.

Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Camagüey-Cuba.

Manuscrito recibido el 8 de marzo de 2013. Aprobado tras revisión el 20 de mayo de 2013

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica de los estudios internacionales que señalan la necesidad del aprovechamiento masivo y eficiente de la biomasa para combatir los retos actuales de la seguridad alimentaria. Especial énfasis se dedica a analizar las posibilidades que ofrece la producción de proteínas de hongos comestibles con residuos agroindustriales. La necesidad de desarrollar tecnologías basadas en la fermentación sólida que permitan hacer más competitivas estas producciones es objeto de discusión en este artículo.

Palabras claves: seguridad alimentaria, residuos agroindustriales, biomasa, *Pleurotus*, fermentación sólida.

ABSTRACTS

This work aims to analyze the international factors that demonstrate the need for massive and efficient utilization of biomass to combat the current challenges of food security. Special emphasis is devoted to analyzing the potential of protein production using edible fungi grown in a substrate of agro-industrial waste. The need to develop technologies based on solid fermentation which permits these productions to be more competitive is discussed in this article.

Keywords: food security, agro-industrial waste, biomass, *Pleurotus*, solid fermentation.

INTRODUCCIÓN

Durante la primera mitad de este siglo, a medida que la población mundial aumenta hasta alcanzar los 9 000 millones de personas aproximadamente, la demanda mundial de alimentos, piensos y fibras casi se duplicará y, al mismo tiempo, cada vez más, los cultivos podrían también usarse para producir bioenergía y para otros fines industriales (FAO, 2011a).

De 2007 a 2009, la crisis de los precios de los alimentos, seguida de la crisis financiera y la recesión económica mundial, acarrió un incremento sin precedentes del número de personas que padecen hambre y subnutrición en el mundo, el cual superó la cifra record de 1000 millones en 2009 (FAO, 2011b).

En todo el mundo, las estrategias de las empresas y los gobiernos para afrontar el cambio climático, la producción energética, agrícola, tecnológica y de materiales están convergiendo cada vez más en torno a un mismo concepto: la biomasa. La biomasa engloba más de 230 000 millones de toneladas de materia viva que la Tierra produce cada año, como árboles, arbustos, pastos, algas, granos, microbios y más (ETC-group, 2010). Hasta ahora los seres humanos utilizan sólo una cuarta parte (24%) de

la biomasa terrestre para satisfacer sus necesidades básicas y la producción industrial, pero sólo consumen una mínima parte de la biomasa oceánica, lo cual deja un 76% del total de la biomasa existente en el planeta sin aprovechar (ETC-group, 2010).

La producción de proteína unicelular ha representado, desde principios del siglo XX, una opción biotecnológica de discutida viabilidad en el manejo y aprovechamiento de grandes cantidades de desechos orgánicos de origen agrícola, constituyendo una alternativa recurrente para convertir estas fuentes de polución en materiales útiles desde un punto de vista económico, nutricional e industrial (Chacón, 2004). Una de las salidas al aprovechamiento de la biomasa es la de producción de proteína para el consumo animal o humano. Entre los principales microorganismos utilizados para la producción de proteína unicelular, se encuentran las micro-algas, bacterias, levaduras y hongos (Otero, Bernal & Almazán, 1982).

Los hongos filamentosos mayormente utilizados para la producción de proteína microbiana son de los géneros *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia*, *Volvariella*, y *Flammulina* (Chang & Miles, 2004). Dentro de los géneros de hongos más cultivados a nivel mundial, se encuentra el *Pleurotus* spp. Los principales mercados con-

sumidores de este hongo son Estados Unidos, la Unión Europea y Japón (Díaz & Ortiz, 2001).

En este trabajo se pretende demostrar las posibilidades que ofrece la producción de proteína de hongos comestibles para enfrentar los retos actuales de la seguridad alimentaria mundial.

Factores clave de los problemas de la seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria mundial está en estos momentos seriamente comprometida y en peligro de crisis irreversible. El incremento de la producción mundial de alimentos en términos absolutos y per cápita no ha resultado en seguridad alimentaria ni mucho menos en la eliminación del hambre (Rabbinge & Bindraban, 2012). Peor aún es que en las décadas venideras la población mundial acelerará su crecimiento llegando a más de 9000 millones de habitantes para 2050 (Rabbinge & Bindraban, 2012; Yu et al., 2012); las dietas cambiarán hacia mayor consumo per cápita (Rask & Rask, 2011) y se precisará una duplicación de la producción de alimentos en todo el mundo para ese año (Mueller, Anderson & Wallington, 2011; Rabbinge & Bindraban, 2012).

En las condiciones actuales esa parece ser una meta imposible de alcanzar de no haber cambios en el modo de producción imperante en el mundo. Tanto es así que reportes recientes de la FAO reconocen la existencia de una crisis crónica en la seguridad alimentaria mundial (Bedford et al., 2011).

Varios factores influyen en ese sentido: el cambio climático (Amigun, Musango & Stafford, 2011; Freibauer et al., 2011; Garnett, 2011; Hanjra & Qureshi, 2010; Harvey & Pilgrim, 2011; Maxwell, Webb, Coates & Wirth, 2010; Premalatha, Abbasi, Abbasi & Abbasi, 2011; Rask & Rask, 2011; Yu, et al., 2012), responsable de enormes pérdidas productivas por sequías e inundaciones y que se calcula sea causante del aumento de los precios de los alimentos entre un 30% y 50% en las próximas décadas (Harvey & Pilgrim, 2011; PNUD, 2011); la crisis financiera internacional (Freibauer, et al., 2011; Hanjra & Qureshi, 2010), que distorsiona el escenario; la crisis energética (Brethauer & Wyman, 2010; Hanjra & Qureshi, 2010), que ha conducido a la producción de agro-combustibles que compiten por tierra con los alimentos (Amigun, et al., 2011; Brethauer & Wyman, 2010; Kuchler & Linnér, 2012), y que disparó los precios de los alimentos en el año 2008 (Mueller, et al., 2011) y, más recientemente, la nueva aceleración observada desde 2011 y que aún continúa (Bedford, et al., 2011; Lagi, Bar-Yam, Bertrand & Bar-Yam, 2011; Mueller et al., 2011; Nonhebel, 2012). A esto se une como agravante la desigual distribución de la riqueza en las sociedades, que afecta dramáticamente a los sectores más pobres, tal como se recoge en informes del PNUD y otros (Lagi et al., 2011; PNUD, 2011). Como consecuencia principal de esta situación, en la actualidad existe en nuestro planeta mil millones de

personas subalimentados y se calcula que hacia el año 2050 la situación empeore (Yu, et al., 2012).

Retos tecnológicos para avanzar en la seguridad alimentaria

De esta manera la producción sustentable de alimentos se ha convertido hoy en un serio reto para la humanidad. En el ámbito de la ciencia, la solución a los retos actuales de la seguridad alimentaria y la producción de alimentos se centran en el incremento de la eficiencia de los sistemas productivos actuales y la búsqueda del necesario equilibrio entre la tierra y las necesidades humanas (Phalan, Balmford, Green, & Scharlemann, 2011). En este sentido, las nuevas tecnologías derivadas de la Biotecnología y la Nanotecnología juegan un papel preponderante (Freibauer, et al., 2011).

Asimismo, se ha resaltado la necesidad de un mejor aprovechamiento de la biomasa producida por efecto natural o derivada de la actividad humana. Sin embargo, en la actualidad no existen políticas gubernamentales efectivas que incentiven acertadamente el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos y signifiquen producciones de alimentos más sustentables (Freibauer, et al., 2011). Hacia el futuro cercano el potencial productivo de la biomasa residual tendrá que ser más eficientemente aprovechada (Ali & Zulkali, 2011; Yu, et al., 2012) y deberá tener un papel fundamental en la producción de alimentos y energía (Bramsiepe et al., 2012).

La comisión europea sobre investigación agrícola ha propuesto tres factores principales para equilibrar la producción y el consumo de alimentos en ese continente, ante los retos actuales y futuros de la producción alimentaria (Freibauer, et al., 2011): la modificación del consumo, la innovación tecnológica y la innovación organizacional. Dentro de la innovación tecnológica, este informe expresa la gran importancia que tiene la Biotecnología para lograr un incremento en la eficiencia de la utilización de la biomasa (Freibauer, et al., 2011).

La Biotecnología permite aprovechar y reciclar residuales líquidos, sólidos y gaseosos. Los residuos agroindustriales sólidos y líquidos permiten obtener una gran gama de productos para la alimentación de uso directo para el consumo como las proteínas o, de uso indirecto, como alimento animal (Silva et al., 2011) o aditivos alimentarios (Ali & Zulkali, 2011). Dentro de los retos más urgentes que es necesario resolver, y en los que la Biotecnología juega un importante papel, se encuentra la producción alternativa de proteínas.

En el mundo de hoy, los sistemas corrientes de producción de proteína son extremadamente ineficientes en la conversión de biomasa y demandan una gran cantidad de cereales para conseguirla (Rask & Rask, 2011). Por otro lado, el consumo predominante de carnes rojas no sólo trae consecuencias negativas para la salud humana, sino que, además, resulta ineficiente en el suministro de

los aminoácidos necesarios en la fisiología humana (Premalatha et al., 2011), por lo que, en virtud de la creciente demanda de este tipo de alimentos y, la escasez de tierras para las producciones tradicionales (Ali & Zulkali, 2011; Harvey & Pilgrim, 2011) han sido propuestas alternativas de fuentes más sanas y eficientes como el consumo de proteína de microorganismos tales como bacterias, hongos, micro-algas (Anupama & Ravindra, 2000; Nah & Chau, 2010; Queiroz-Zepka, Jacob-López, Goldbeck, Souza-Soares & Queiroz, 2010; Rajoka, Ahmed, Hashmi & Athar, 2012) y hasta insectos comestibles (Premalatha, et al., 2011). En todos estos casos, existe experiencia previa de consumo desde hace muchos siglos atrás, sólo que, debido a diversas causas socioculturales (Premalatha, et al., 2011), este ha derivado en un consumo menos importante de lo que podría haberse esperado.

Los hongos han sido empleados por el hombre desde hace miles de años tanto para la alimentación como para el tratamiento de diferentes enfermedades. Japón, China y Corea son los países consumidores más habituales. En las últimas décadas, debido a la comprobación de los diversos beneficios para la salud humana exhibidos por los metabolitos secundarios de estos hongos, el consumo ha crecido sostenidamente (Chang, 1999).

La producción de proteínas de hongos comestibles

Los hongos filamentosos mayormente utilizados para la producción de proteína microbiana, son de los géneros *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia*, *Volvariella*, y *Flammulina* (Chang & Miles, 2004).

Los aspectos más atractivos del cultivo de hongos como fuente de proteína microbiana son la cosecha fácil y barata del cuerpo fructífero; la facilidad de producir como alimento texturizado; la buena aceptabilidad para el consumo y que se producen utilizando materiales lignocelulósicos residuales como sustratos (Otero, et al., 1982). La producción de hongos filamentosos a partir de materiales lignocelulósicos se ha señalado que una alternativa muy rentable (Israelidis, 2003).

Después de la Segunda Guerra Mundial, la producción de hongos inició un crecimiento constante con una producción de 350,000.0 TM en 1965, mientras que, en 1991, la producción creció hasta 4,3 millones de TM (Chang & Miles, 2004).

Producción de *Pleurotus ostreatus*

Pleurotus spp. es un género de hongos saprofitos comestibles que en la naturaleza crecen en troncos de árboles secos y restos de vegetales, generalmente pobres en nutrientes (García-Rollán, 1998; García, 2008). En su estructura encontramos la siguiente composición: proteína (Nx4,38) 10,5-30,4%; carbohidrato total 57,6-81,8 %; grasa 1,6-2,2 %; fibra 7,5-8,7 %. Entre los aminoácidos, vitaminas y minerales encontramos: leucina, isoleucina, valina, triptofan, lisina, treonina, fenilalanina, metionina, his-

tidina, arginina, tiamina (B1), niacina, riboflavina, ácido ascórbico, Ca, P, K, Fe, Na (Chang, 1999).

El *Pleurotus* spp. es una seta comestible muy valorada (Zorn, Berger, & Takenberg, 2005) y es el segundo género más producido al nivel mundial (Chang & Miles, 2004; Suárez & Nieto, 2012), con una producción en el año 2004 de 917 412 toneladas métricas (Chang & Miles, 2004). Su promoción comercial se ha basado en resaltar las propiedades nutricionales y medicinales con las que cuentan estas especies. Se acostumbra a destacar el alto contenido en vitaminas y minerales de estas cepas, además de su buen sabor y textura suave. También se le reconoce ampliamente la capacidad de mejorar el funcionamiento del sistema inmunológico; reducir los altos niveles de colesterol y de ser útil en el tratamiento de tumores cancerígenos (Díaz & Ortiz, 2001).

La producción de hongos comestibles surgió históricamente como un proceso artesanal con un alto componente de empirismo en ambientes rurales y en pequeña escala. Aún hoy, una buena parte de la producción mantiene estos rasgos. La gran variedad de especies cultivadas, de sustratos empleados, de condiciones climáticas, de escala de trabajo y nivel de desarrollo técnico disponible en que se producen los hongos, hacen que existan métodos y medios de producción muy diferentes (González & Gutiérrez, 2001).

De manera general, la producción de hongos puede incluirse en el campo conocido como Fermentación en Estado Sólido, en el cual se incluyen procesos tales como el composteo, el ensilaje y los procesos tradicionales asiáticos de fermentación del frijol de soja y de arroz (koji, tempeh, etc). Los fundamentos teóricos que sirven de base para modelar, desde el punto de vista de la ingeniería, este tipo de fermentaciones difieren sustancialmente de los conocidos para fermentaciones en fase líquida. Lo mismo sucede con las unidades de operación involucradas en diferentes etapas del proceso (preparación de sustrato, recuperación de producto, transferencia de calor, etc.) (García-Rollán, 1998).

Mientras que el crecimiento micelial y la producción de determinados metabolitos han sido objeto de estudios fisiológicos, cinéticos y se han desarrollado modelos y ecuaciones para describir su comportamiento, la fase de fructificación de los hongos superiores, que es decisiva en la producción de hongos comestibles, está mucho menos respaldada por información que permita el diseño desde el punto de vista de la ingeniería de procesos (González & Gutiérrez, 2001).

Compuestos bioactivos

Dentro de los beneficios más apreciados en la biomasa de estos hongos, se encuentran diferentes tipos de actividad de algunos metabolitos presentes que tienen efecto: antioxidante, hipocolesterolémico, hipoglucémico, antibacteriano, antiviral, regulador del sistema cardiovascu-

lar, anti-cancerígeno e inmunomodulador. Esto es causa reconocida del incremento al nivel mundial del consumo de este tipo de hongos y del estudio de sus bioactivos (Suárez & Nieto, 2012).

Los hongos comestibles son conocidos por su alto contenido de proteínas, vitaminas, minerales, fibra dietética y por su bajo nivel de sodio y grasas insaturadas. En su composición también encontramos sustancias bioactivas con potencial terapéutico como los glucanos, las enzimas, los policétidos, los ácidos grasos, los polifenoles, los flavonoides y los terpenoides, entre otros (Suárez & Nieto, 2012). Las especies de *Pleurotus* son reconocidas por su producción de -glucanos, constituyentes de la pared celular del cuerpo fructífero y del micelio, con importantes propiedades medicinales (Miranda, 2005).

A partir de los tallos del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*), se ha obtenido glucano inmuno-estimulante (Gabrizova, 2006).

Perspectivas futuras

La utilización de los residuos agro-industriales es particularmente interesante debido a su disponibilidad y bajo costo (Martins et al., 2011). Hacia el futuro se vislumbra un crecimiento acelerado del aprovechamiento de estas fuentes de energía y materias primas.

Dentro de las alternativas tecnológicas más importantes para el aprovechamiento de la biomasa se encuentran los procesos de fermentación en estado sólido (FES), los cuales constituyen una alternativa productiva para la obtención de biomasa de hongos superiores. La FES es una tecnología limpia con gran potencial para la producción o extracción de compuestos biológicamente activos a partir de fuentes naturales como la biomasa. Las dificultades prácticas existentes en la actualidad para el desarrollo de tecnologías de este tipo (Mitchell, Krieger, & Verovic, 2006) hacen preciso un mayor esfuerzo para perfeccionar estas soluciones. En el futuro, se necesita aplicar cada vez más las técnicas de la Ingeniería de Procesos basadas en la modelación matemática, la simulación y optimización para conseguir mejores soluciones que den perspectivas al más extenso aprovechamiento de estos recursos.

CONCLUSIONES

- El crecimiento cada vez más acelerado de la población mundial en un contexto poco favorable al crecimiento de la producción de alimentos tradicionales demanda de un mayor aprovechamiento de los recursos de la biomasa.
- Una de las principales fuentes de riquezas para la producción de alimentos es la biomasa acumulada en los residuos agroindustriales.
- La producción de proteínas de hongos comestibles resulta una línea de trabajo con grandes perspectivas presentes y futuras.
- Para aumentar la probabilidad de éxito en este empe-

ño se necesita intensificar las tecnologías de FES existentes y dotarlas de la capacidad productiva que se demanda para competir con otras fuentes de alimento para consumo humano.

- Se hace necesario una revisión bibliográfica de éste tema en el contexto Latinoamericano, con énfasis en las condiciones socioeconómicas del Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

La realización del trabajo de investigación que ha servido de base para esta publicación ha contado con fondos de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENESCYT) otorgados en la convocatoria de 2008.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, H. K. Q., & Zulkali, M. M. D. (2011). Utilization of Agro-Residual Ligno-Cellulosic Substances by Using Solid State Fermentation: A Review. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 6(1-2), 5-12.
- Amigun, B., Musango, J. K., & Stafford, W. (2011). Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1360-1372.
- Anupama, & Ravindra, P. (2000). Value-added food: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, 18, 459-479.
- Bedford, D., Cerquiglini, C., Claro, J., Ferraioli, B., Forzineti, B., Mancini, D., . . . Vannuccini, S. (2011). Food Outlook- Global Market Analysis (pp. 186): Trade and market Division (FAO).
- Bramsiepea, C., Sievers, S., Seifert, T., Stefanidis, G. D., Vlachos, D. G., Schnitzer, H., . . . Schembecker, G. (2012). Low-cost small scale processing technologies for production applications in various environments—Mass produced factories. *Chemical Engineering and Processing*, 51, 32-52.
- Brethauer, S., & Wyman, C. E. (2010). Review: Continuous hydrolysis and fermentation for cellulosic ethanol production. *Bioresource Technology*, 101, 4862-4874.
- Chacón, A. (2004). Perspectivas actuales de la proteína unicelular en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamérica*, 15(1), 93-106.
- Chang, S. T. (1999). *Biología de las setas: fundamentos básicos y acontecimientos actuales*. Bogotá, D.C.: ZERI.
- Chang, S.-T., & Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact* (2da. ed.). New York: CRC.
- Díaz, J. A., & Ortiz, F. (2001). Mercado internacional de hongos exóticos *Biocomercio Sostenible*. Bogotá D.C.: Humboldt Colombia.
- ETC-group. (2010). *Los nuevos amos de la biomasa Biología sintética y el próximo asalto a la biodiversidad* Canadá: etc group.

- FAO. (2011a). Cómo alimentar al mundo en 2050, from <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/es/>
- FAO. (2011b). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación: Las Mujeres en la Agricultura
- Freibauer, A., Mathijs, E., Brunori, G., Damianova, Z., Faroult, E., Gomis, J. G. i., . . . Treyer, S. (2011). Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world (pp. 148): European Commission – Standing Committee on Agricultural Research (SCAR).
- Gabrizova, L. (2006). España Patent No. 2247104. INP: S. R. O. Pleuran.
- Garcia-Rollan, M. (1998). *Cultivo de setas y trufas* (3ra. ed.). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- García, J. (2008). El impacto de la crisis de los alimentos en América Latina y el Caribe *ARI*, 152, 1-11.
- Garnett, T. (2011). Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy*, 36, 523-532.
- González, A. L., & Gutiérrez, I. (2001). *Producción comercial y usos de hongos comestibles Pleurotus cultivados en residuos lignocelulósicos*. Ciudad de La Habana: ICIDCA.
- Hanjra, M. A., & Qureshi, M. E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy* 35, 365-377.
- Harvey, M., & Pilgrim, S. (2011). The new competition for land: Food, energy, and climate change. *Food Policy*, 36, 540-551.
- Israelidis, C. (2003). Single cell protein nutrition, twenty years later Consultado 08 de febrero, 2013, from <http://business.hol.gr/~bio/HTML/PUBS/VOL1/isreali.htm>.
- Kuchler, M., & Linnér, B.-O. (2012). Challenging the food vs. fuel dilemma: Genealogical analysis of the biofuel discourse pursued by international organizations. *Food Policy*, 37, 581-588.
- Lagi, M., Bar-Yam, Y., Bertrand, K. Z., & Bar-Yam, Y. (2011). The Food Crises: A quantitative model of food prices including speculators and ethanol conversion. 56. Retrieved from <http://necsi.edu/research/social/foodprices.html>
- Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C. N., & Teixeira, J. A. (2011). Bioactive Phenolic Compounds: Production and Extraction by Solid-State Fermentation. A Review. *Biotechnology Advances*, 29(3), 365-373. doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.01.008
- Maxwell, D., Webb, P., Coates, J., & Wirth, J. (2010). Fit for purpose? Rethinking food security responses in protracted humanitarian crises. *Food Policy*, 35, 91-97.
- Miranda, O. (2005). *Filosofía, Ciencia y Sociedad en FIDEL CASTRO*. La Habana: Editorial Academia.
- Mitchell, D., Krieger, N., & Verovic, M. (2006). *Solid-State Fermentation Bioreactors: Fundamentals Design and Operation*. New York: Springer.
- Mueller, S. A., Anderson, J. E., & Wallington, T. J. (2011). Impact of biofuel production and other supply and demand factors on food price increases in 2008. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1623-1632.
- Nah, S.-L., & Chau, C.-F. (2010). Issues and challenges in defeating world hunger. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 544-557.
- Nonhebel, S. (2012). Global food supply and the impacts of increased use of biofuels. *Energy*, 37, 115-121.
- Otero, M., Bernal, G., & Almazán, O. (1982). *Fuentes de materias primas y microorganismos utilizados para la producción de proteína unicelular*. Ciudad de La Habana: Editorial Científico-Técnica.
- Phalan, B., Balmford, A., Green, R. E., & Scharlemann, J. P. W. (2011). Minimising the harm to biodiversity of producing more food globally. *Food Policy*, 36, S62-S71.
- PNUD. (2011). *Informe sobre Desarrollo Humano-Sostenibilidad y equidad: Un mejor futuro para todos*. Nueva York: Ediciones Mundi-Prensa.
- Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4357-4360.
- Queiroz-Zepka, L., Jacob-López, E., Goldbeck, R., Souza-Soares, L. A., & Queiroz, M. I. (2010). Nutritional evaluation of single-cell protein produced by *Aphanothece microscopica* Nägeli. *Bioresource Technology*, 101, 7107-7111.
- Rabbinge, R., & Bindraban, P. S. (2012). Making More Food Available: Promoting Sustainable Agricultural Production. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(1), 1-8.
- Rajoka, M. I., Ahmed, S., Hashmi, A. S., & Athar, M. (2012). Production of microbial biomass protein from mixed substrates by sequential culture fermentation of *Candida utilis* and *Brevibacterium lactofermentum*. *Ann Microbiol*, 62, 1173-1179.
- Rask, K. J., & Rask, N. (2011). Economic development and food production-consumption balance: A growing global challenge. *Food Policy*, 36, 186-196.
- Silva, C. F., Arcuri, S. L., Campos, C. R., Vilela, D. M., Alves, J. G. L. F., & Schwan, R. F. (2011). Using the residue of spirit production and bio-ethanol for protein production by yeasts. *Waste Management*, 31, 108-114.
- Suárez, C., & Nieto, I. (2012). Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: una alternativa en la obtención de nutracéuticos. *Rev Iberoam Micol*, 30(20), 1-8. doi: 10.1016/j.riam.2012.03.011
- Yu, Q., Wu, W., Yang, P., Li, Z., Xiong, W., & Huajun Tanga. (2012). Proposing an interdisciplinary and cross-scale framework for global change and food security researches. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156, 57- 71.
- Zorn, H., Berger, R., & Takenberg, M. (2005). México Patent No. 002495. IPN: T. P. G. Company.