

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

PERSPECTIVAS ACTUALES DE LA PROTEÍNA UNICELULAR (SCP) EN LA AGRICULTURA Y LA INDUSTRIA¹

Alejandro Chacón Villalobos²

RESUMEN

Perspectivas actuales de la proteína unicelular (SCP) en la agricultura y la industria. 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. Este trabajo abordó la evolución histórica de la SCP; su importancia y aplicaciones; las ventajas y desventajas de su uso en procesos productivos; los principales microorganismos fuente de SCP; los substratos agroindustriales empleados para su crecimiento; la bioquímica y secuencia de operaciones del proceso y los aspectos económicos generales. También se detallan los aspectos nutricionales asociados a la SCP tales como composición, valor nutricional y limitaciones asociadas a la ingesta por parte de seres humanos. Perspectivas futuras de la SCP fueron también evaluadas.

ABSTRACT

Actual prospects of single cell protein (SCP) in agriculture and industry. Since the beginning of the XXth century, single cell protein production has represented a biotechnological option, which viability has been much argued, for the handling and profitable disposal of large amounts of agricultural and industrial waste materials. Due to the nature of this process, lots of pollution sources can be transformed into useful materials with industrial, nutritional and economical value. This paper overviews the historical evolution of single cell protein, its importance and applications, advantages and disadvantages of its use in industrial processes, the main microorganisms known to be a source of SCP, the most representative substrates used for their growth, the biochemistry and key operations of the industrial process, general economical facts and future prospects. Nutritional aspects such as composition, nutritional value and limitations of SCP as a source of protein for human consumption are also reviewed.



INTRODUCCIÓN

La biotecnología, es una rama interdisciplinaria y aplicada de la ciencia que aglutina a la química, biología, bioquímica, ingeniería y microbiología con el objetivo de solucionar problemas prácticos, ojalá implicando una optimización de costos y rendimientos (Durán 1989). Uno de los objetivos primarios de la biotecnología es mejorar el manejo y aprovechamiento de grandes cantidades de desechos orgánicos de origen agrícola, tratando de buscar alternativas para convertir estas fuentes de polución en materiales derivados útiles desde un punto de vista económico e industrial. Una de las tangentes más importantes de la biotecnología enfocada a abordar este problema, es el empleo de microorga-

nismos como parte de los procesos industriales, donde substratos baratos o de desecho industrial se aprovechan como fuente energética para que microorganismos seleccionados sinteticen nuevos compuestos de valor comercial (Goel 1994).

Muchos son los compuestos orgánicos derivados obtenidos por medio de un aprovechamiento biotecnológico de substratos de desecho (EDV 2003). Algunos se obtienen en la forma de productos finales ó intermedios de la actividad metabólica microbiana que son excretados al medio o extraídos industrialmente después de la célula (metanol, metano, etanol, vitaminas del complejo B, ácido láctico y glutámico, carotenoides, xilitol, etc). Es factible también que el producto en si sea

¹ Recibido para publicación el 11 de enero del 2004.

² Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

la biomasa microbiana como tal (Rojas 1995), y que constituye una fuente alimenticia de elevado contenido proteico.

Se denomina proteína unicelular ó bioproteína (Molk *et al.* 2002), a aquella obtenida de la biomasa microbiana de algas, bacterias, levaduras y hongos filamentosos, cultivados en condiciones fermentativas apropiadas y controladas que garanticen una adecuada tasa de crecimiento, por medio del aprovechamiento de sustratos baratos compuestos por o enriquecidos con carbono, nitrógeno y fósforo (Israelidis 2003, Rojas 1995, Keil 1995, FAO 2003). Por extensión, se abarca también a los microorganismos muertos y desecados que se emplean directamente en alimentación animal (cerdos, aves, rumiantes) sin que medie ningún proceso de extracción o purificación de la proteína (Crueger y Crueger 1989, Israelidis 2003, Bustamante *et al.* 2003).

El término proteína unicelular deriva de la contracción de “proteína de organismos unicelulares”, que sería el término más adecuado. La literatura científica se refiere a la proteína unicelular empleando el término SCP, el cual deriva del término anglosajón “single cell protein”.

Reseña histórica sobre la proteína unicelular

La biomasa microbiana ha sido utilizada como fuente de alimentación desde tiempos remotos en regiones como México y África, especialmente utilizando *Spirulina* sp. (Pelizer *et al.* 2003).

Ya en tiempos modernos, el primer gran auge de la SCP se da en Berlín, Alemania, durante la primera guerra mundial, dada la escasez de alimento provocada por este funesto conflicto bélico. La producción se enfocó en el *S. cerevisiac*, que llegó a remplazar hasta el 60% de la proteína importada antes de la guerra. Terminada la conflagración, el interés en la SCP decrece (Israelidis 2003).

Iniciada la segunda guerra mundial, y por las mismas razones, se reactiva el interés en la biomasa microbiana como fuente de alimentación. Solo en los Estados Unidos se produjeron 15.000 toneladas anuales de SCP, la cual fue incorporada en la dieta de civiles y militares en forma de sopas y salchichas. Para esta época se ensaya con levaduras *Candida arborea* y *Candida utilis* (Israelidis 2003).

Dadas las experiencias de los años de guerra, en los años 1950, muchas empresas petroleras mostraron interés en proyectar soluciones para el desalentador panorama nutricional generado por la incipiente explosión demo-

gráfica planificando la producción de biomasa partiendo de alcanos. Destacaron países como Japón, Reino Unido, Estados Unidos y la antigua Unión Soviética, que llegó a instalar 86 plantas productoras (Israelidis 2003).

La primera conferencia sobre proteína unicelular se efectuó en 1967 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (M.I.T). Se acuña aquí el término SCP como estándar internacional para la bioproteína (Crueger y Crueger 1989). Solo la British Petroleum presentó procesos industriales de peso en esta primera conferencia, lo cual contrasta con la segunda llevada a cabo en el M.I.T en 1973, donde muchos países habían ya iniciado producciones a gran escala.

Desde los años 1980, y dada la competencia de otras fuentes de proteína como la soya, la producción de SCP no se ubica entre las más rentables. Actualmente solo Rusia, debido a la remarcada escasez de carne y otras fuentes de proteína, es una productora importante de proteína unicelular (Keil 1995).

Importancia de la proteína unicelular

El crecimiento de la población, especialmente en las naciones en vías de desarrollo es abrumador esperándose en la primera década del siglo 21 que la población mundial alcance entre cinco y seis billones de personas (Goel 1994, Chicas 1999; Hernández *et al.* 2003). La agricultura y ganadería convencional muy posiblemente no sean capaces de suplir la demanda proteica de esta emergente población (Goel 1994), proyectándose que el planeta necesitará producir entre los años 1980-2015 una cantidad de productos agrícolas igual a los generados a través de la historia antes de esa fecha.

El problema no involucra solo a los seres humanos; sino en especial a sus animales. El alimento animal puede presentar una marcada escasez futura dado que se necesitará más ganado para suplir la abrumadora demanda. Además, la adecuada alimentación animal es un ítem de elevado costo, algo muy determinante en la producción (Suharto y Redyowati 1999). Solucionar el problema de la alimentación humana implica en primer lugar solucionar mucho el problema de las fuentes de proteína para alimentación animal. Se está pues ante una demanda en constante incremento de fuentes proteínicas de alto valor nutritivo (De Mulder *et al.* 1989), la cual empieza a ser insuficiente (Crueger y Crueger 1989).

La biomasa puede ofrecer una gran alternativa para remplazar algunas de las fuentes tradicionales de proteína (soya, harina de pescado, suero descremado de leche) en piensos para el consumo animal (Suharto y

Redyowati 1999); e incluso en porciones para humanos después de ser tratada adecuadamente. Por ello el desarrollo e implementación de técnicas de producción industrial de SCP ayudarían a solventar el problema de la cada vez más limitada disponibilidad e ingesta de proteína (Phetteplace *et al.* 2003).

Usos de la biomasa y la proteína unicelular.

A partir de la biomasa microbiana pueden desarrollarse muchos productos derivados dada su riqueza composicional: carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, etc. (Rojas 1995).

El uso de la proteína unicelular en piensos es el más inmediato y menos tecnificado de todos. Generalmente implica un secado de la biomasa previamente a la ingesta. En el caso del consumo por parte de humanos el proceso es más elaborado, implicando no sólo la remoción de riesgos nutricionales como los ácidos nucleicos, si no también el garantizar la calidad y seguridad del producto.

Productos más elaborados que la biomasa cruda pueden obtenerse industrialmente como detalla el Cuadro 1 y ser utilizados como proteína suplemental en alimento humano y animal, ingrediente funcional en alimentos, o sustrato para procesos químicos o biotecnológicos (Durán 1989).

Muchos de los procesos que generan los productos antes citados no se encuentran ampliamente difundidos, a la espera quizás de condiciones económicas más competitivas.

La proteína unicelular encuentra además aplicaciones aún experimentales en el campo de la salud. Recientes investigaciones evalúan el papel de la SCP como un nutriente de control inmunitario en pacientes quirúrgicos con hipoproteïnemia, hiperglucemia, anemia, hipercolesterolemia, otros (EDV 2003).

Ventajas y desventajas del uso de proteína unicelular en procesos productivos

Entre las ventajas que ofrece la proteína unicelular pueden mencionarse:

1. Requerimientos de crecimiento fáciles de implementar (University of Indiana 2003) y que originan rápidas tasas de crecimiento y alta productividad (Goel 1994, Keil 1995): el tiempo de duplicación puede ser de 0,3 a 2 h en bacteria, 1-3 h en levaduras, 2-6 h en algas y 4-12 horas para hongos filamentosos celulolíticos (FAO 2003). Es posible producir y seleccionar fácilmente cepas con alta productividad y buena composición (Biocity 2003).

2. Las bacterias presentan una eficiencia de alimentación (gramos de proteína producida por kilogramo

Cuadro 1. Derivados posibles a partir del aprovechamiento industrial de los principales componentes de la biomasa bacteriana.

Componente	Proceso	Derivados	Usos
Proteína	Digestión, purificación y degradación	1. Enzimas 2. Proteína nutricional 3. Proteína Funcional	1. Biotransformación 2. Alimentos. 3. Geles, espesantes, emulsificantes.
Carbohidratos	Químicos y enzimáticos	1. Sacáridos 2. Conversiones	1. Substratos de fermentación 2. Emulsificantes
Lípidos	Extracciones Hidrólisis	1. Glicéridos 2. Grasas 3. Fosfolípidos 4. Carotenoides	1. Alimentos, cosméticos 2. Alimentos, química. 3. Alimentos 4. Alimentos
Ácidos nucleicos	Químicos y enzimáticos	1. Nucleótidos 2. ADN 3. ARN	1. Savorizantes, gelificantes 2. Precursores síntesis de drogas

Fuentes: Crueger y Crueger 1989, Rojas 1995.

de alimento consumido) un millón de veces más alta que aquella de cerdos o reses (Keil 1995). Para obtener 1 kg de células de levadura se emplean alrededor de 2 kg de glucosa contra los 18 kg de cereales necesarios para obtener un kg de carne de res (Anónimo 2003).

3. La SCP puede hacerse crecer en sustratos baratos, muchos incluso objeto de desecho agroindustrial (Keil 1995), para lo cual se pueden emplear muy variadas metodologías. Prácticamente cualquier sustrato que sea fuente de carbono orgánico puede ser utilizado (Goel 1994, Berquist y Jurgenson 2003, Biocity 2003, FAO 2003).

4. Los microorganismos son más fáciles de manipular genéticamente que los animales y plantas superiores, lo cual los hace más susceptibles al mejoramiento y transferencia genética (Goel 1994, Israelidis 2003, FAO 2003).

5. Independencia de la producción de factores estacionales o climáticos, dado el sistema de producción continuo y poco contaminante (Israelidis 2003) en fermentadores y quimostatos (Goel 1994, Israelidis 2003, Biocity 2003).

6. Las instalaciones de producción suelen tener áreas reducidas y son muy eficientes (Goel 1994, Biocity 2003, FAO 2003).

7. Elevado contenido vitamínico (University of Indiana 2003), y especialmente proteico de apreciable valor nutricional (Goel 1994): entre 44% a 88% proteína en peso seco (Anónimo 2003, FAO 2003) y hasta un 15% de ácidos nucleicos, también en base seca (Biocity 2003).

8. Estudios demuestran que la eficiencia en la producción de leche aumentó significativamente cuando la dieta de animales como las cabras fue suplementada con SCP (Berquist & Jurgenson 2003).

No obstante la gran cantidad de ventajas que presenta la SCP, hay desventajas inherentes a las mismas:

1. Culturalmente en occidente, muchas personas rechazan la idea de emplear microorganismos como fuente de alimento (Goel 1994).

2. Muchas veces la SCP no presenta las características de olor, textura, color y sabor necesarias para garantizar una buena aceptación (Israelidis 2003). Las algas suelen ser las más problemáticas en color y sabor. El mejoramiento sensorial puede implicar procesos de transformación posteriores de complejidad y costos tales que representan un verdadero desafío (Goel 1994).

3. Presencia en la SCP de sustancias tóxicas o carcinogénicas que fuesen adsorbidas previamente en los sustratos utilizados como fuente de carbono (Crueger y Crueger 1989), importante para asegurar la seguridad y hasta la pureza del medio de cultivo (University of Indiana 2003).

4. El alto contenido de ácidos nucleicos (4-6% en algas; 10-16% en bacteria; 6-10% en levadura y 2,5-6% en hongos), podría eventualmente representar un riesgo para la salud de algunos monogástricos (Crueger y Crueger 1989, Israelidis 2003, FAO 2003, Berquist y Jurgenson 2003).

5. El alto contenido de ácidos nucleicos (4-6% en algas; 10-16% en bacteria; 6-10% en levadura y 2,5-6% en hongos), puede ser un riesgo para la salud de los animales monogástricos y para el hombre (Crueger y Crueger 1989, Israelidis 2003, FAO 2003, Berquist y Jurgenson 2003).

6. La digestión lenta ó nula de la pared celular en el tracto digestivo del ser humano y otros animales, especialmente en cuanto a las algas (Israelidis 2003), puede ser causa de indigestión y reacciones alérgicas (Crueger y Crueger 1989, University of Indiana 2003).

7. A pesar de la alta productividad, en un proceso de producción de SCP efectuado en un medio de fermentación líquido, la proteína se obtiene en concentraciones muy diluidas (menos del 5% de sólidos), por lo que se requiere de procesos de concentración (Berquist y Jurgenson 2003)

Principales microorganismos empleados como fuente de proteína unicelular (SCP)

Los primeros microorganismos empleados como fuente de proteína fueron las levaduras, especialmente *Saccharomyces cerevisiae*, que aún hoy día es la principal fuente de SCP con una producción de 200.000 toneladas anuales en peso seco (Biocity 2003, Chicas 2003, Biocity 2003). Son también de uso amplio *Spirulina máxima* (Pedraza 2003), *Aspergillus niger* (Arias 2001), *Kluyveromyces fragilis* (Hernández *et al.* 1979) y *Candida utilis* (Phetteplace *et al.* 2003)

La utilización de determinado microorganismo depende del sustrato, el proceso y la misma calidad deseada de la biomasa (Rojas 1995). La bioseguridad, la disponibilidad técnica y la estabilidad biológica son aspectos a tener en cuenta para la selección de determinada cepa como fuente de SCP.

Es importante sopesar otros aspectos para la selección del microorganismo adecuado (Rojas 1995), tales como su estabilidad genética, la capacidad de crecer en un proceso continuo, la especificidad al sustrato que se le ofrece, su demanda de nutrientes, la facilidad con que la biomasa obtenida puede separarse del medio de cultivo, y la calidad final deseada en el producto. El Cuadro 2 lista muchos de los organismos de interés en la obtención de biomasa.

Substratos para la producción de proteína unicelular (SCP):

Hidrocarburos y combustibles

Petroquímicos (n-alcános):

En un principio los sustratos principales fueron de naturaleza fósil, es decir hidrocarburos siendo este campo el de mayores inversiones en investigación y desarrollo (Biocity 2003). El principal problema de los hidrocarburos como sustrato es su naturaleza no renovable, a lo cual se suma un costo económico a veces mayor.

Muchos de los hidrocarburos que se destinan a la producción de SCP son alcanos de cadena carbonada de 12 a 20 átomos de carbono fácilmente utilizables como sustituto de carbohidratos como fuente nutricional de la biomasa (Biocity 2003). Productos derivados de la actividad petrolera son también metabolizables, empleándose incluso la parafina como sustrato (Butolo *et al.* 2003).

Cuadro 2. Microorganismos más importantes en la producción de SCP.

Sustrato	Géneros
CO ₂	<i>Spirulina, Scenedesmus, Chlorella.</i>
Celulósicos	<i>Actinomucor, Aspergillus, Bacillus, Brevibacterium, Cellulosomas, Chaetomium, dactylomyces, Gliociadium, Myrothecium, Penicillium, Pleurotus, Phanerochaete, Polyporus, Pseudomonas, Rhizoctonia, Ruminococcus, Sporotrichum, Thermococcus, Trichoderma, Endomycopsis.</i>
Azúcares	<i>Aureobasidium, Candida, Fusarium, Geotrichum, Pachysolen, Paecilomyces, Pichia, Rhodotorula, Torula, Torulopsis, Saccharomyces, Kluyveromyces fragilis, Scytadilium, Endomycopsis</i>
Hidrocarburos	<i>Methylomonas, Methanomonas, Hydrogenomonas</i>

Fuentes: Crueger y Crueger 1989, Rojas 1995, Anónimo 2003.

Los n-alcános pueden obtenerse a partir del mismo petróleo crudo (Hernández 1979, Keil 1995) y constituyen la fracción de ceras del gasoil que debe ser removida pues aumenta la viscosidad y tiende a causar precipitaciones a baja temperatura.

La principal desventaja de los n-alcános es su baja solubilidad (10⁻⁴ - 10⁻⁹ v/v) lo cual dificulta el proceso de suspensión que muchas veces requiere de forzamiento mecánico. De hecho las especies seleccionadas para el crecimiento en estos medios probablemente tiene la capacidad de secretar sustancias emulsificantes que conviertan los n-alcános insolubles en gotas de 0,01 - 0,5 mm de diámetro, de modo que las mismas puedan difundir pasivamente a través de la membrana lipídica (Crueger y Crueger 1989).

La proteína unicelular derivada de los n-alcános se denomina genéricamente “**Toprina**” (Keil 1995, Israelidis 2003), y se obtiene principalmente por crecimiento de *Candidor lipolytica*, *C. tropicalis*, *Candida oleophila* y *Saccharomycopsis lipolytica* (Crueger y Crueger 1989), así como de bacterias oxidativas. El medio suele ser enriquecido con NH₃ como fuente de nitrógeno y Mg como suplemento mineral.

La “**Toprina**” cuenta con una baja popularidad debido a los cuestionamientos generados en los años setenta por los japoneses, en cuanto a que hidrocarburos aromáticos pudiesen ser transportados por la SCP que creciera en sustratos derivados del petróleo, y que por consiguiente existiere un riesgo carcinogénico en la ingesta. Investigaciones posteriores del gobierno Italiano parecen demostrar que el temor es infundado (Israelidis 2003). No obstante el estigma resultante de la feroz controversia, en conjunción con los siempre inestables precios del petróleo, han hecho que los hidrocarburos caigan en un segundo plano como sustratos para la SCP.

Metano:

Los estudios con metano para su uso como sustrato para la SCP inician en los años 70 en Inglaterra por iniciativa de la compañía Shell.

El metano es un sustrato barato y abundante, el cual de hecho existe en exceso en muchas partes del mundo, donde es fácil de conseguir con muy alto grado de pureza (Crueger y Crueger 1989). Quizás, su mayor ventaja es que no presenta los cuestionamientos de toxicidad que se argumentan en contra de los n-alcános (Israelidis 2003). Dada su estructura química (CH₄), el metano presenta la forma carbonílica más reducida, lo cual permite a las células microbianas obtener el mayor rendimiento por volumen de gas consumido.

El principal problema que presenta el metano es que este no se licúa con facilidad, por lo cual se pueden implicar muy altos costos por concepto de licuado y posterior transporte al lugar de proceso (Crueger y Crueger 1989).

Las bacterias que oxidan el metano son denominadas metilóforos obligados y solo metabolizan sustratos de un solo carbono. Entre ellas están *Methylomonas methanica*, *Methylococcus capsulatus*, *Methylovibrio soehngenii*, *Methanomonas margaritae* así como los géneros *Acinetobacter* y *Flavobacterium*.

Puesto que el metanol es de manejo más simple y de más fácil transporte, y el metano puede ser transformado en metanol, se prefiere utilizar este último como sustrato para los sistemas que utilizan materiales de un solo carbono.

Metanol:

El metanol fue en determinado momento el sustrato más importante y barato para la producción de SCP (Crueger y Crueger 1989, Biocity 2003).

Entre las principales ventajas del metanol, está el hecho de que puede ser obtenido a partir de una amplia gama de fuentes como el gas natural, la gasolina, la hulla y hasta desechos agroindustriales.

En la fermentación del metanol se emplean más las bacterias como por ejemplo *Methylphilus methylotropha*, dado su más rápido crecimiento, su mayor contenido de proteína, su mayor rendimiento y requerimientos más sencillos de cultivo (Crueger y Crueger 1989). Generalmente estos requerimientos implican la suplementación con amonio del medio (Biocity 2003).

La proteína obtenida a partir del metanol se conoce genéricamente como "Pruteen" (Israelidis 2003).

Actualmente la producción de Pruteen no es económicamente rentable debido a las condiciones de mercado (Crueger y Crueger 1989, Israelidis 2003)

Etanol:

En comparación con el metano y el metanol, el etanol cae en un tercer lugar dado su costo comparativamente más elevado. Generalmente el proceso fermentativo se hace por medio de levaduras grado alimenticio ó "torula". La SCP obtenida por este medio se denomina pues genéricamente como "Torutein" (Israelidis 2003) y suele caracterizarse por su bajo contenido de

methionina. La Torutein suele presentar valores de PER cercanos a 1,7. El PER (Protein Efficiency Ratio) es una forma de medir la calidad de una proteína y corresponde al peso que gana una rata en crecimiento dividido entre la ingesta de proteína necesaria para generar ese aumento de peso en el período de estudio (SOLAE 2003, Whey Protein Institute 2003). A medida que el valor del PER se incrementa, así aumenta también la calidad dietaria de la proteína (Whey Protein Institute 2003). El valor biológico es otra unidad alternativa de medición para la calidad de proteína que corresponde a la fracción del nitrógeno en la dieta que permanece en el organismo después de la digestión, a diferencia del nitrógeno que se pierde en las heces (Whey Protein Institute 2003).

Desechos industriales

La Producción de SCP alcanza sus niveles más rentables en este apartado (Keil 1995), puesto que los desechos industriales son las materias primas más baratas y diversas, especialmente si los mismos se aprovechan en el lugar mismo donde son producidos, con lo cual se elimina en gran parte el costo de transporte.

La lista de posibles residuos involucra técnicamente cualquier fuente de carbono, y los autores enumeran las más diversas é imaginativas fuentes de las que se mencionan las más representativas tales como:

1. Aguas residuales de las industrias de la celulosa, del café, almidón, procesamiento de alimentos y del papel (aguas sulfúricas) empleando *Candida utilis*, *C. tropicalis*, *Chaetomium cellulolyticum* y *Paecilomyces varioti* (Crueger y Crueger 1989).
2. Gases de desecho industrial (Gaddy 2002).
3. Melasas derivadas de la industria azucarera empleando *Saccharomyces cerevisiae* o *Fusarium graminearum* (Qiao 2003, Israelidis 2003, Biocity 2003, Suharto 2003), siendo la proteína de este último muy exitosa y denominada genéricamente micoproteína. (Crueger y Crueger 1989, Israelidis 2003).
4. Residuos de la industria vinícola o vinazas con *Chaetomium cellulolyticum* (Rojas 1995).
5. Desechos de la industria láctea con *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Kluyveromyces fragilis* (Hernández *et al.* 1979, Okos y Dale 1994)
6. Residuos de cáscaras de cítricos con *Fusarium culmorum*, *Geotrichum candidum* y *Trichoderma viride* (Durán 1989, De Gregorio *et al.* 2002). Bagazo de

naranja utilizando *Aspergillus niger* (Arias 2003, Bustamante *et al.* 2003)

7. Hidrolizados de cuernos y pezuñas sobrantes de la industria cárnica con *Bacillus subtilis* (Kurbanoglu y Algur 2002).

8. Bagazo de banano y caña empleando *Saccharomyces cerevisiae* (Chicas *et al.* 1999), *Aspergillus niger* y *Aspergillus foetidus* (Bergquist y Jurgenson 2003): La cáscara de banana ha dado excelentes resultados cuando se emplea como sustrato para la producción de SCP.

9. Excretas animales de granja con *Spirulina maxima* (Pedraza 2003).

Como es lógico suponer cada residuo requiere de un tratamiento de pasteurización previo, y de unas condiciones de incubación posteriores favorables al microorganismo específico que en ellos se hace prosperar.

Substratos de origen vegetal no considerados como desechos:

Los substratos de origen vegetal como la madera y carbohidratos han estado muy en boga desde los años 70 en la producción de SCP.

Estos materiales vegetales, fuente de celulosa, lignocelulosa y de lignina, se tratan preliminarmente hidrolizando en medio ácido (H_2SO_4) o por medios enzimáticos (Crueger y Crueger 1989). Esta última hidrólisis se logra con un complejo de celulasas extracelulares (endo- β -1,4-glucanasa; exo- β -1,4-glucanasa y β -1,4-glucosidasa) que son excretadas por bacterias (*Cellulomonas*) o por hongos (*Trichoderma*, *Penicillium*, *Thermoascus*, *Sporotrichum*, *Humicola*). Otros autores (Israelidis 2003), reportan que la hidrólisis previa puede lograrse por métodos alcalinos y hasta por exposición a radiaciones X. La hidrólisis garantiza que todos los polisacáridos complejos existentes en la matriz pasen a formar azúcares simples fermentables más asimilables metabólicamente para los microorganismos. Los hidrolizados de madera se han ensayado con *Candida utilis*, mientras que los de paja con *Trichosporon* sp. obteniendo rendimientos de 42% y 30 % respectivamente. Hidrolizados del grano de sorgo también ha sido objeto de estudio empleando *Candida crusei* y *Saccharomyces* sp.

Los rendimientos a partir de materiales con celulosa, lignocelulosa y lignina aun no son lo suficientemente buenos como para lograr procesos industriales de alta escala que sean rentables. Esto no tanto por el

crecimiento en si de la SCP, si no por lo poco eficientes que pueden resultar los procesos previos de hidrólisis (Crueger y Crueger 1989).

Aspectos nutricionales de la proteína unicelular

Composición general y valor nutricional de la proteína unicelular

La proteína unicelular como ya se estudio, puede generarse a través del crecimiento de muchísimas especies diferentes de hongos, algas, levaduras y bacterias. Caracterizar la composición particular de cada uno de estos microorganismos resultaría una tarea muy amplia. No obstante, dadas las similitudes es posible expresar en términos más generales la composición de estos microorganismos según su tipo (Cuadro 3).

Puede denotarse que el principal valor de la biomasa microbiana es su aporte de proteína. Según el cuadro, los contenidos de proteína alcanzan un máximo para las bacterias y un mínimo para hongos filamentosos, quedando las levaduras y algas en una posición intermedia. Esta proteína bacteriana es nutricionalmente similar a la proteína del pescado, mientras que la de levadura mantiene similitudes con la de soya (Israelidis 2003).

En cuanto a minerales, la SCP destaca como fuente de fósforo, aunque suelen ser pobre en calcio, así como no es buena fuente tampoco de lípidos dietarios (FAO 2003)

Es posible establecer un perfil general y aproximado de aminoácidos para la proteína unicelular, el cual se denota en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Composición porcentual promedio en base seca de los principales microorganismos empleados como

Componente	Hongos filamentosos	Algas	Levaduras	Bacterias
Proteína	30-50 %	40-63 %	45-56 %	50-83 %
Grasa	2-8 %	7-20 %	2-6 %	1,5-3 %
Cenizas	9-14 %	8-10 %	5-9,5 %	3-7 %
Ácidos nucleicos	7-10 %	3-8 %	6-12 %	8-16 %
Aminoácidos	---	---	54%	65%
Humedad	13,0	6%	4,5 %	2,8 %

Fuentes: Crueger & Crueger 1989, Durán 1989, Israelidis 2003, EDV 2003.

El perfil de aminoácidos esenciales es uno de los factores básicos a la hora de evaluar la calidad de un substrato proteico como alimento. Por lo general los aminoácidos limitantes son la lisina, metionina y el triptofano. A partir del Cuadro 4 puede verse que la proteína microbiana, anteriormente citada como la de mayor rendimiento, es deficiente en aminoácidos sulfurados como la cisteína y la metionina mientras que exhibe mejores niveles de lisina. Este problema hace necesaria la suplementación (Anónimo 2003). El perfil de aminoácidos de las levaduras es favorable, con niveles satisfactorios de la mayoría de los aminoácidos esenciales, manteniéndose eso si las bajas proporciones de aminoácidos sulfurados como factor limitante y alcanzándose de hecho niveles críticos en la metionina.

Las deficiencias en determinados aminoácidos esenciales no descalifican en lo más mínimo a la SCP. Alimentos tan comunes como la leche o las leguminosas son también deficitarios, así como varios cereales bajos en lisina. El secreto está en la suplementación y en la incorporación dentro de dietas balanceadas.

Dejando de lado los déficits y considerando los cuadros antes expuestos, las SCP pueden considerarse como un excelente concentrado proteico. Ellos hacen de la SCP un excelente suplemento de dietas para animales, dónde se han obtenido excelentes resultados en rumiantes (Phetteplace *et al.* 2003, Berquist y Jurgenson 2003).

El Cuadro 5 muestra como la SCP puede ser utilizada en la sustitución de varias fuentes tradicionales de proteína para dietas animales.

Cuadro 4. Perfil de aminoácidos esenciales promedio en g/100g de proteína de los principales grupos de microorganismos empleados como SCP.

Aminoácido	Hongos filamentosos	Algas	Levaduras	Bacterias	FAO ¹
Lisina	3,9	4,6	7,7	7,6	4,20
Treonina	—	4,6	4,8	5,4	2,80
Methionina	1	1,4	1,7	2,0	2,20
Cisteina	—	0,4	—	—	—
Triptofano	1,25	1,4	1,0	—	—
Isoleucina	3,2	6,0	4,6	5,3	4,20
Leucina	5,5	8,0	7,0	7,3	4,80
Valina	3,9	6,5	5,3	7,1	4,20
Fenilalanina	2,8	5,0	4,1	4,6	2,80
Histidina	—	—	2,7	7,8	—
Arginina	—	—	2,4	6,4	—

¹ Recomendaciones de la FAO para aminoácidos esenciales.

Fuentes: Crueger & Crueger 1989, Durán 1989, Israelidis 2003, EDV 2003.

La calidad nutricional de la SCP no sólo depende del perfil de aminoácidos. Aspectos tan importantes como la digestibilidad, el valor biológico, la utilización neta de proteína y el PER deben tomarse en cuenta (Israelidis 2003).

La digestibilidad es uno de los problemas que eventualmente puede presentar la SCP, especialmente con levaduras. Esto se da pues ciertas especies presentan paredes celulares indigestibles para el ser humano y hasta para ciertos animales, lo cual puede ser causa de alergias (Israelidis 2003, Butolo *et al.* 2003). No obstante esta limitante, la digestibilidad no deja en muchos casos de considerarse como buena (anónimo 2003).

La palatabilidad y la aceptabilidad son otro problema de interés, pues muchos de los resultados sensoriales obtenidos en los estudios no suelen ser muy halagüeños tanto en humanos como animales (Israelidis 2003).

Cuadro 5. Ahorros en piensos animales por sustitución parcial con SCP.

Animal	Cantidad de SPC (kg/t)	Cantidad de fuente de proteína reemplazada Fuente	kg/t	% de la proteína total contribuida por SCP
Ganado carne	100	Soya	182	36
Pollos	80	Soya	145	38
Pavos	50	Pescado	62	18
Cerdos	100	Soya	182	50
Terneras (os)	50	Leche en polvo	114	17
Peces	250	Pescado	308	44

Fuente: Suharto y Redyowati 2003.

En términos muy generales se ha estimado que la proteína unicelular cuenta con un PER que ronda valores de 2,02 en comparación con el de 2,5 para la caseína (Berquist y Jurgenson 2003) y una digestibilidad mayor o igual a 82% (EDV 2003). En el Cuadro 6 se muestran los valores de digestibilidad, utilización neta de proteína y valor biológico de diferentes fuentes de proteína unicelular.

La SCP se caracteriza por ser una fuente alimenticia de bajas calorías (388 c/100 g en promedio). No se han detectado pruebas contundentes que denoten problemas toxicológicos causados por la ingesta de SCP. Estudios efectuados con ratas alimentadas con dietas de 30% de SCP pura no reportaron efectos sobre el crecimiento,

Cuadro 6. Parámetros nutricionales de la SCP.

Aspecto nutricional	Hongos filamentosos	Algas	Levaduras	Bacterias
Valor biológico (BV)	70-75	54-72	32-88	70-78
Utilización Neta de Proteína (NTU)	—	35-60	64-82	47-64
Digestibilidad (D)	—	65-84	71-90	67-84

Fuente: Durán 1989.

sobre la ingesta de otros alimentos, o sobre valores hemáticos (Anónimo, 2003). La biomasa microbiana contiene también toda una serie de compuestos nutricionales tales como vitaminas, enzimas, carotenos, tocoferoles y demás. Algunas de las vitaminas más importantes presentes en algunos microorganismos empleados como fuente de SCP se citan a modo de ilustración en el Cuadro 7.

En la SCP, las vitaminas presentes son primordialmente del complejo B. La vitamina B12 se encuentra primordialmente en bacterias, mientras que la vitamina A se encuentra generalmente en algas.

La SCP suele encontrarse significativamente desprovista de colesterol y grasas. Así mismo, la SCP en su forma integra podría cumplir funciones similares a la fibra dietética contribuyendo a bajar la incidencia de la diabetes y la arteriosclerosis (EDV 2003). Actualmente

Cuadro 7. Contenido aproximado de vitaminas en mg/100g (base seca) de algunos microorganismos empleados como fuente de SCP.

Vitamina	<i>Morchella hortensis</i>	<i>Candida utilis</i>	<i>S. cerevisiae</i>	<i>Methylomonas methanica</i>
Tiamina	0,52	0,53	5-36	1,81
Riboflavina	1,31	4,50	3,6-4,2	4,82
Niacina	12,4	41,73	80-100	15,9
Piridoxina	2,62	3,34	2,5-10	14,3
Acido pantoténico	12,6	3,72	10	2,42
Ácido fólico	1,09	2,15	1,5-8,0	-
Inositol	1,78	-	-	-
Colina	4,61	-	-	968
Vitamina B12	0	0	0	0,95
Biotina	0,015	0,23	0,5-1,8	-
Ácido p-aminobenzoico	-	1,7	0,9-1,0	-

Fuente: Israelidis 2003.

te se estudia el papel de ciertos antígenos rectificadores de la actividad de los linfocitos T presentes en las SCP y que son promotores de una mejor respuesta inmune en las enfermedades (EDV, 2003).

Limitaciones nutricionales asociadas con los ácidos nucleicos

La fracción más importante del nitrógeno no proteico de la SCP, alrededor de un 30% o 20% de la proteína total, se encuentra en forma de ácidos nucleicos altamente polimerizados y de sus productos de descomposición (Israelidis 2003, FAO 2003). El alto contenido de ácidos nucleicos es normal y característico de todo organismo que presente altas tasas de crecimiento, como es el caso de la proteína unicelular, y puede ser un serio inconveniente si esta se piensa destinar para el consumo de seres humanos (Anónimo 2003).

Al momento de calcular una dieta mixta es muy importante no dejar de tomar en cuenta que además del contenido de ácidos nucleicos (AN) propios de la fuente de SCP, la matriz donde se incluirá esta también puede tener AN.

Una forma de controlar el contenido de ácidos nucleicos es no manejando tasas de crecimiento demasiado aceleradas. Otra forma es tratando la SCP de modo que el contenido de AN baje por debajo de 2% tal y como recomienda la FAO. Con este fin se aplican diferentes tratamientos que se describen más adelante en esta revisión.

Generalidades sobre el proceso de obtención de SCP

Bioquímica básica y proceso de obtención de la SCP:

El proceso de obtención de proteína unicelular puede involucrar una gran variedad de procesos bioquímicos, en concordancia con la amplia gama de microorganismos que pueden ser utilizados.

Genéricamente, la producción de biomasa (SCP) puede expresarse a través de la siguiente ecuación (Rojas 1995, Suharto y Redyowati 2003):

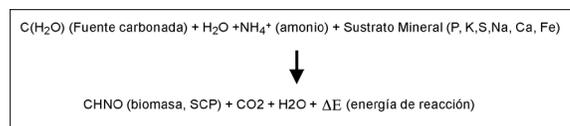


Figura 1. Reacción general para la producción de biomasa microbiana (SCP).

El proceso bioquímico anterior como es lógico requiere de una fuente de carbono a fermentar, la cual puede ser cualquiera de los substratos descritos en secciones anteriores de este documento. Algunas de estas fuentes suelen ser pobres en nitrógeno y minerales, por lo cual es necesaria una suplementación con sales de amonio ó otras fuentes de nitrógeno (Raimbault 1998). Como productos de la fermentación se obtiene la biomasa, y se libera energía y gases como el CO₂.

Los microorganismos deben además ser inoculados en un medio particularmente favorable tanto en condiciones de competencia (medio previamente "esterilizado"), como en condiciones nutricionales. Por ello es requerido un pretratamiento inicial que no altere indeseablemente al substrato y que garantice que el mismo favorezca el desarrollo de la SCP. Este pretratamiento generalmente implica (Crueger y Crueger 1989, Durán 1989, Rojas 1995, Raimbault 1998, Pollard *et al.* 2001):

1. Reducción del tamaño y homogeneizado mecánico de modo que sea más accesible al microorganismo y más fácil de manipular en la fermentación.

2. Eliminación de agentes inhibidores del crecimiento microbiano tales como toxinas y trazas de residuos químicos. Así mismo debe garantizarse la inexistencia de sustancias que puedan causar efectos tóxicos en la SCP obtenida posteriormente.

3. En algunos casos, cuando el microorganismo a emplear necesita metabolizar formas orgánicas más simples, debe hidrolisarse enzimática o químicamente al substrato empleando ácidos, álcalis ó enzimas como amilasas ó diastasas.

4. Suplementación del medio con nutrientes como fósforo y sales nitrogenadas que sirvan de fuente mineral a la SCP.

5. Ajuste del pH y de la humedad del substrato de modo que favorezcan el crecimiento de los microorganismos involucrados. Generalmente se requiere regular constantemente las condiciones de pH empleando un buffers (Chicas 2003). El ajuste del pH se mantiene a lo largo del proceso fermentativo y no solo durante el pretratamiento del substrato. En la mayoría de los casos el pH suele ser ácido y ronda valores de 4 ó 5 a lo largo del proceso.

6. Tratamiento térmico del substrato para eliminar la flora bacteriana patógena y/o competitiva de la matriz. El tratamiento puede ser de pasteurizado en matrices destinadas a fermentación en substrato líquido o es-

terilización en substratos sólidos. En general los parámetros del proceso térmico rondan los 122-123 °C por un tiempo de 30-45 minutos (Pollard *et al.* 2001).

Vistazo general a algunos procesos de obtención de SCP

La variedad de procesos para obtener SCP es tan grande como la cantidad misma de microorganismos que puede ser empleada. Por ello lo que a continuación se expondrá no debe considerarse como un proceso generalizado, si no más bien como casos particulares ilustrativos.

Obtención de SCP a partir del suero de derivados lácteos

En la descripción de este proceso se detallan las pautas evaluadas por Hernández *et al.* (1979), en su estudio de obtención de SCP a partir de suero de leche desproteínizado, y de Trujillo *et al.* (2002), en su estudio de fermentación láctica en continuo a partir de suero dulce de leche desproteínizado.

Los productores de derivados lácteos generalmente producen grandes cantidades de aguas de desecho, principalmente en lo que se refiere a suero de la leche (Okos y Dale 1994). El tratamiento de estos desechos generalmente involucra altos costos y no deja de tener un fuerte impacto ambiental. Es por ello que el aprovechamiento es una mejor opción.

En el caso del suero de la leche, la tendencia mundial es de usarlo cada vez menos como alimento animal directamente, lo cual sumado a las leyes cada vez más rigurosas, hacen necesaria la búsqueda de salidas biotecnológicas de aprovechamiento cada vez más ingeniosas, como la producción de SCP utilizando la lactosa del suero (Hernández *et al.* 1979, Durán 1989).

Para el tratamiento de suero en específico se recomienda emplear el microorganismo *Kluyveromyces fragilis*, el cual puede ser cultivado inicialmente en medio papa-dextrosa-agar nutritivo a 72 °C durante 3-5 días (García *et al.* 1994). Como es común a todos los procesos de obtención de SCP, se prepara primero un inóculo que después se agrega al substrato ya pretratado.

Es necesario desproteínizar la matriz del suero. Se eliminan así interferencias proteicas y se garantiza la máxima disponibilidad de la lactosa. Una opción podría ser emplear ácido tricloroacético al 30% como agente clarificante de uso típico en alimentos (Hart y Fisher

1971) que se agregará al volumen de suero en un porcentaje de 7 %. El volumen de suero ya con el ácido tricloroacético puede verterse en la marmita (fermentador), y calentarse con agitación hasta hervirlo, por unos 20 minutos para clarificar, y para matar bacterias que puedan causar competencia (Anónimo 2002). El suero así tratado se enfría, ojalá con choque térmico y se pasa a través de una manta previamente esterilizada de manera que se filtre el precipitado de proteína.

Antes de inocular se diluye el suero en una proporción de 1 en 10 con agua (Hernández *et al.* 1979, Durán 1989). El mismo será suplido después de la dilución con sales para garantizar la nutrición de la levadura (Crueger y Crueger 1989). Las sales podrían ser de sulfato de amonio 0,4% p/v y 0,1% p/v de sulfato ácido de potasio. Otras sales de magnesio (0,232 g/l), calcio (0,011 g/l), hierro (0,007 g/l), zinc (0,002 g/l) y manganeso (0,002 g/l) podrían experimentarse también (Hernández *et al.* 1979).

Con el fin de regular el pH inicial óptimo al 4,5 característico del medio acidificado (García *et al.* 1994, Okos *et al.* 1994), puede emplearse hidróxido de sodio para disminuir el pH que inicialmente esta por encima de 4,5.

Del suero ya acondicionado pueden tomarse 100 ml en un balón esmerilado de un medio litro, el cual puede inocularse con *Kluyveromyces fragilis* por medio de un asa que se frotaría en la placa previamente preparada de agar y luego se introduciría en este volumen de suero. Luego este balón puede ponerse en un rotavapor y calentarlo con rotación lenta o moderada (quizás unos 300 rpm) a la temperatura ideal para la levadura de unos 72 °C, y mantener este estado controlado por unas 72 horas. Así se estaría preparando el cultivo madre. En principio podrían emplearse 100 ml de cultivo madre por cada kilogramo de suero a procesar (Hernández *et al.* 1979). Habrá que definir la frecuencia de procesamiento en planta para definir así la cantidad de inóculo madre a preparar, y hacer pruebas para calibrar la cantidad de inóculo necesario.

El cultivo madre así preparado, se agregará en la marmita o fermentador con el resto del suero ya suplementado. Este fermentador será en forma de tanque de acero inoxidable agitado (capaz de desarrollar unos 800 rpm), de por lo menos 300 kg de capacidad y que será llenado hasta $\frac{1}{2}$ de su capacidad (Hernández *et al.* 1979), con tapa y con chaqueta para circular fluidos reguladores de temperatura. Este tanque sería un fermentador denominado "reactor mezclado homogéneamente" o quimiostato, en el cual se puede alcanzar un estado estacionario de equilibrio que se controla ajustado la concentración del sustrato (Crueger y Crueger 1989).

Se calibra el termostato de modo que la temperatura pueda ajustarse a 30 °C (Hernández *et al.* 1979), y se tapa el fermentador. Es importante poner una manguera que alimente y purgue aire dentro del fermentador. Es recomendable unos 4,8 l/min de aire (Hernández *et al.* 1979).

El proceso llega al estado de equilibrio en 16-24 horas y puede empezarse a drenar el contenido del reactor a medida que se inyecta más cultivo madre, suero y nutrientes hasta alcanzar un estado estacionario.

El líquido fermentado (medio exhausto) se puede separar de la SCP que contiene empleando decantación y centrifugación. Es factible aplicar después algún lavado que permita eliminar residuos adheridos a la pasta de biomasa obtenida. Posteriormente puede hacerse un secado, quizás empleando un secador de tambor rotatorio, los cuales son muy adecuados para el procesamiento de suspensiones o pastas de sólidos (Geankoplis 1993). La pasta seca puede pulverizarse para obtener la proteína en polvo, que puede emplearse ahora como sustituto proteico en fórmulas de alimento para animales como serían las cabras (Durán 1989). El proceso propuesto puede llegar a generar porcentajes de rendimiento del 30 %.

Si se desea emplear como alimento humano cabe estudiar la posibilidad de reducir el contenido de AN por alguno de los métodos ya descritos.

Como mecanismos de control y para evaluar la eficiencia del proceso, pueden emplearse algunos de los siguientes (Hernández *et al.* 1979, Durán 1989, Crueger y Crueger 1989):

1. Para determinar el progreso de la fermentación podría tomarse muestras por medio de una sonda en diferentes periodos de tiempo y determinar a partir de esta muestra por refractometría el contenido de lactosa remanente, o bien emplear algún método espectrofotométrico con un spectronic 20.
2. El contenido de proteína unicelular en la pasta puede evaluarse por el método de Kjendahl.
3. Se requiere un preciso monitoreo de tiempos, flujos de aire, revoluciones de agitación y temperaturas en todo momento.
4. Implementar un análisis proximal de los sueros antes de iniciar el proceso de modo tal que se pueda estandarizar la calidad del mismo.
5. Emplear un cultivo fresco con cierta frecuencia para garantizar que no proliferen otros microorganismos que violenten la parametrización del proceso.

6. Evaluar el PER de la proteína obtenida en términos del peso ganado por el animal por unidad de peso de proteína en la ingesta.

Obtención de SCP a partir de bagazo de naranja

El proceso se describe en términos muy generales a modo de ilustración de un proceso en substrato sólido. El bagazo o cáscara de naranja es inicialmente desamargado en agua salada y posteriormente triturado. El mosto es enriquecido con nitrato amónico (4 g/kg substrato seco), fosfato potásico (4 g/kg substrato seco), y sulfato de magnesio (4 g/kg substrato seco). Se emplea *Aspergillus niger* cultivado en medio acuoso de dextrosa sabouraud a 28 °C por 48 h, inoculando 20 ml por kilogramo de materia seca. Diariamente el mosto inoculado se rocía con 20 ml agua por kilogramo y se revuelve de modo que se mantenga la humedad. Para garantizar un adecuado crecimiento se debe mantener un pH regulado de entre 4-5. El proceso requiere de unos 28 días mínimo y el hongo obtenido se separa mecánicamente y se deseca para su consumo animal.

Consideraciones finales y perspectivas futuras de la SCP

La biotecnología nació en el mismo instante en que se inicia la investigación con proteína unicelular (Israeli 2003). Antes de esto la fermentación industrial se abocaba únicamente a la producción de derivados farmacéuticos, antibióticos, etc.

La SCP trata de buscar un nicho en un mercado sumamente competitivo, donde en este momento económico no encuentra la mejor de las perspectivas. Quizás fue por esta misma dificultad económica que fueron fuertes y consolidadas compañías petroleras las que iniciaron la investigación y no empresas de alimentos. Ellas tenían la tecnología, la infraestructura y hasta el lujo de no esperar ganancias sustanciales en el proceso.

A pesar de que existen plantas industriales en Estados Unidos, Finlandia, la antigua Unión Soviética, Alemania, Cuba, Suiza y Suecia (Arias 2003); estas no ofrecen un bloque consolidado ni reflejan en lo más mínimo una incipiente industria.

La verdad es que los esfuerzos que se han hecho para emplear la SCP como suplemento seco en dietas animales y humanas con la finalidad de combatir el hambre y aumentar la productividad no han dado los resultados esperados (Israeli 2003).

El problema está en mucho en el hecho de que un nuevo alimento no solo debe ser nutricionalmente valioso, sino que además debe ser organolépticamente satisfactorio y económicamente rentable. Estos dos apartados son el "talón de Aquiles" de la SCP y a la vez el reto del profesional en alimentos.

Es un hecho que en el comercio y la industria, donde las fuerzas de mercado operan, la proteína unicelular no encuentra aún un nicho competitivo. Bajo las condiciones actuales sustancias mejores en todos los sentidos deben ejecutarse para que la SCP pueda llegar a ser competitiva con otras fuentes de proteína más atractivas como la soja, la alfalfa o la harina de pescado.

Actualmente solo la producción de hongos filamentosos a partir de materiales lignocelulósicos pareciera aspectarse como una posibilidad rentable (Israeli 2003).

Solo existe un camino para que la SCP tenga un suceso futuro: los problemas correspondientes al campo organoléptico deben ser solucionados por el tecnólogo de alimentos, y el proceso debe llegar a ser competitivo en comparación con las otras ofertas existentes. Así mismo deben contemplarse posibilidades donde la SCP se produzca a un bajo costo en procesos donde se experimente con combinaciones simultáneas de muchos microorganismos, o bien, recoger la SCP cuando esta sea un subproducto de otras actividades más rentables (Durán 1989).

LITERATURA CITADA

- ANONIMO. 2003. Single cell protein sources (en línea). Consultado 06 abril 2003. Disponible <http://www.biotechnologie.net/singlecellprotein.htm>
- ARIAS, L. 2001. Para sacarle más jugo a la naranja (en línea). Consultado 07 abril 2003. Disponible <http://www.dni-c.unal.edu/unperiodico/abril2001/textos/ciencia.htm>
- BERGQUIST, B.; JURGENSON, J. 2003. Utilisation of polyvinyl alcohols for the production of single cell protein by microbial fermentation in enclosed systems (en línea). Consultado 14 marzo 2003. Disponible <http://www.uni.edu/~rrtc/POLY/>
- BIOCITY. 2003. Levaduras (en línea). Consultado 22 de marzo 2003. Disponible <http://biocity.iespana.es/biocity/micro/leva.htm>
- BUSTAMANTE, Z; GALINDO, E.; HUANTA, M & BALLESTEROS, F. 2003. Obtención de bioproteína a partir de bagazo de naranja (*Citrus sinensis*) con *Aspergillus Níger* (en línea). Consultado 18 febrero 2004.

- Disponible <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/htmls/49.html>.
- BUTOLO, E.A.F; NOBRE, P.T.C.; BUTOLO, J.E & SERAFINI, F.V. 2003. Utilização da levedura de cana-de-açúcar (*Saccharomyces cerevisiae*) Em Dietas Para Frangos De Corte. Brazil (en línea). Consultado 19 febrero 2004. Disponible <http://www.supremais.com.br/03.htm>.
- CHICAS, M; PORRAS, A & SOTO, S. 1999. Producción de proteína unicelular a partir de *Saccharomyces cerevisiae* utilizando un medio elaborado con banano (en línea). Consultado 19 febrero 2004. Disponible http://www.it-cr.ac.cr/carreras/biotecnologia/trabajos_de_investigacion/produccion_proteina_unicelular.htm.
- CRUEGER, W & CRUEGER, A. 1989. Biotecnología: Manual de Microbiología Industrial. Zaragoza, España. Ed. Acribia. 413 p.
- DE GREGORIO, A *et al.* 2002. SCP and crude pectinase production by slurry-state fermentation of lemon pulps. *Bioresource technology* 83(2): 89-94.
- DE MULDER, E, VAN DAMME, P & VRIERS, L. 1989. Incorporation of brewery activated sludge single cells proteins in diets for *Clarias gariepinus* (en línea). Consultado 15 abril 2003. Disponible <http://www.geocities.com/rainforest/canopy/5280/bscp.htm>
- DOELLE, H.W. 1975. *Bacterial Metabolism*. New York, New York. Ed. Academic Press. p 738
- DURAN, N. 1989. Bioconversion to single cell protein: recovery of lignocellulosic materials to produce human food as an integrated process. *Alimentos*. 14 (4): 39-50
- EDV. 2003. Nutriente de control inmunitario (en línea). Consultado 10 abril 2003. Disponible <http://www.edv.com.ar/nut-inmu.htm>
- F.A.O. 2003. Single Cell Protein (en línea). Consultado 20 marzo 2003. Disponible <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/AFRIS/Data/734.htm>
- GADDY, J. 2002. Biological production of products from waste gases. *Official Gazette of the United States Patent and Trademark Office Patents*. 1254 (4): sp.
- GARCÍA, V; ANTILLÓN, F & ARIAS, M. 1994. Manual de Laboratorio de Microbiología de Alimentos. Ed. U.C.R. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. 86 p.
- GEANKOPLIS, C. 1993. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 2da edición. México D.F, México. Ed. CECSA. 759 p.
- GOEL, M. K. 1994. *Biotechnology: An overview* (en línea). Consultado 28 marzo 2003. Disponible <http://www.cape.canterbury.ac.nz/Archive/goel.html>.
- HART, L & FISHER, H. 1971. *Análisis moderno de los alimentos*. Zaragoza, España. Ed Acribia. p. 619.
- HERNÁNDEZ, E; MAZA, E, LOZANO, N. 1979. Producción de proteína unicelular mediante cultivo continuo de levadura en suero de leche desproteínizado. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 5 (2): 468-477.
- ISRAELIDIS, C. 2003. Single cell protein nutrition, twenty years later (en línea). Consultado 9 mayo 2003. Disponible <http://business.hol.gr/~bio/HTML/PUBS/VO-L1/isreali.htm>.
- KEIL, H. 1995. Single Cell Protein (en línea). Consultado 19 marzo 2003. Disponible <http://www.brunel.ac.uk/depts/bl/project/microbio/envmic/methbac/singlece.htm>.
- KURBANOGU, E.B & ALGUR, O.F. 2002. Single cell protein production from ram horn hydrolysate by bacteria. *Bioresource technology*. 85(2):125-129.
- OKOS, M.; DALE M. 1994. Conversion of waste carbohydrates to fuels, chemicals and single cell protein (en línea). Consultado 22 marzo 2003. Disponible http://abe.www.ecn.purdue.edu/ABE/Research/research94/REPORT.94.Book_62.html.
- PEDRAZA, G.X. 2003. Aplicación de la biotecnología apropiada para la producción de proteína unicelular a partir de spirulina máxima (en línea). Consultado 1 abril 2003. Disponible <http://www.colciencias.gov.co/simbiosis/proyectos/spirulina.htm>.
- PELIZER, L.H. 2003. Influence of inoculum age and concentration in *Spirulina platensis* cultivation. *Journal of food engineering*. 56(4), p. 371-375.
- PHETTEPLACE, H; JAROSZ, M; UCTUK, D.; SPORLEDER, R. 2003. Evaluation of single cell protein as a protein supplement for finishing cattle (en línea). Consultado 18 febrero 2004. Disponible <http://ansci.colostate.edu/documents/renut/2000/hp00.html>.
- POLLARD, D.J; BUCCINO, R; CONNORS, N.C; KIRSCHNER, T.R; OLEWISNKI, R.C; SAINI, K.; SALMON, P.M. 2001. Real-time monitoring of a fungal fermentation, at pilot scale, using in situ mid-infrared spectroscopy (en línea). Consultado 11 abril 2003. Disponible <http://link.springer.de/link/journals/00449/contents/01/00226/paper/s004490100226ch000.html>.
- QUIAO, S. 2003. Production of single cell protein with waste liquid from beet molasses alcohol fermentation (en línea). Consultado 22 marzo 2003. Disponible <http://www.e-foodtech.net/english/abstract/show.asp?id=9>.
- RAIMBAULT, M. 1998. General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. *Process Biotechnology*. 1(3): sp.
- ROJAS, A. 1995. Obtención de proteína unicelular a partir de residuos de destilería. Proyecto de graduación.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.

- SOLAE. 2003. Soy protein, a high quality protein (en línea). Consultado 20 marzo 2004. Disponible <http://www.solaeliving.com/performancenutrition/highqualityprotein/per.jsp?printer=true>
- SUHARTO, I.; REDYOWATI, S. 1999. Mini-fermentation technology to produce single-cell protein from molasses (en línea). Consultado 12 abril 2003. Disponible http://www.unu.edu/unupress/food/UNU06/cap_8.htm

TRUJILLO, M.; SUAREZ, F.; GALLEGOS, D. 2002. Fermentación láctica en continuo a partir de suero dulce de leche desproteinizado (en línea). Consultado 17 abril 2003. Disponible <http://www.ibun.unal.edu.co/rr4e.html>.

UNIVERSITY OF INDIANA. 2003. Single cell protein (en línea). Consultado 17 abril 2003. Disponible <http://www.mama.indstate.edu/users/stuart/rdna/relec/mbch13/tsld015.htm>.

WHEY PROTEIN INSTITUTE. 2003. Whey protein facts (en línea). Consultado 20 marzo 2004. Disponible <http://www.wheyproteininstitute.org/facts.cfm>