

Levadura torula: revisión de sus características, aplicaciones e influencia del campo magnético en su crecimiento

Torula yeast: review of its features, applications and influence of magnetic field on its growth

Claudia Arias-Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0003-1105-8120>

Dunia Rodriguez-Heredia² <https://orcid.org/0000-0003-4676-7314>

Siannah María Más-Diego*¹ <http://orcid.org/0000-0002-1464-3985>

Héctor Elpidio Tejera-Cisneros¹ <http://orcid.org/0000-0002-9209-1960>

¹Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

²Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: siannah@uo.edu.cu

RESUMEN

Candida utilis (levadura torula) es la levadura más utilizada como suplemento alimenticio animal por su gran contenido de vitamina B, minerales y aminoácidos. Con el fin de emplearla como alimento, se han realizado estudios para aumentar su velocidad de crecimiento y producción, destacándose el empleo de campos magnéticos. El presente artículo constituye una revisión de las principales características de esta levadura, su uso como alimento alternativo a nivel mundial y en Cuba, así como el efecto de la aplicación de campos magnéticos en su crecimiento. Los resultados de la revisión realizada muestran que *Candida utilis* se usa en la producción de proteína unicelular, debido a su capacidad de utilizar una variedad de fuentes de carbono, pudiendo sustituir a fuentes proteicas

tradicionales. Aunque se reportan varias investigaciones en las que la aplicación de un campo magnético estático provoca el aumento del crecimiento de hongos y levaduras, se encontraron pocos reportes en relación con la levadura torula, aun así, se constata que los campos magnéticos estáticos de baja intensidad incrementan la biomasa celular de esta levadura.

Palabras clave: *Candida utilis*; levadura torula; proteína unicelular; alimento alternativo; campos magnéticos.

ABSTRACT

Candida utilis (torula yeast) is the most widely used yeast as an animal feed supplement due to its high content of B vitamin, minerals and amino acids, therefore, in order to use it as food, studies have been carried out to increase its growth rate and production, highlighting the use of magnetic fields. This paper constitutes a review of the main characteristics of this yeast, its use as an alternative food worldwide and in Cuba, as well as the effect of the application of magnetic fields on its growth. The results of the review carried out show that *Candida utilis* is used in the production of unicellular protein, due to its ability to use a variety of carbon sources, being able to replace traditional protein sources. Although several investigations are reported in which the application of a static magnetic field causes an increase in the growth of fungi and yeasts, few reports were found in relation to the torula yeast, even so, it is found that low-intensity magnetic fields increase the cell biomass of this yeast.

Keywords: *Candida utilis*; torula yeast; unicellular protein; alternative food; magnetic fields.

Recibido: 15/01/2023

Aceptado: 18/04/2023

Introducción

En Cuba, la seguridad alimentaria y nutricional es una de las prioridades en la actualización del modelo de desarrollo económico y social, ⁽¹⁾ garantizarla exige de investigaciones en múltiples áreas del conocimiento, así como esfuerzos coordinados de distintos sectores y actores de la sociedad.⁽²⁾ De ahí que la producción de alimentos demanda de investigación y creatividad. Se requiere avanzar en la necesaria soberanía alimentaria, siendo ineludible, entonces, la búsqueda de alimentos alternativos que ofrezcan ventajas con respecto a los alimentos convencionales.

Entre los alimentos alternativos o no convencionales se hallan los que incluyen microorganismos fermentados, pertenecientes a los grupos de las levaduras, bacterias, hongos y algas, que son importantes fuentes de proteínas, vitaminas, minerales y factores que mejoran el crecimiento.⁽³⁻⁷⁾ En el caso específico de las levaduras, numerosos productos obtenidos de estas, así como alimentos que las contienen son producidos y empleados extensivamente como alimento animal, ^(8,9) debido a su contenido en proteínas, aminoácidos, energía y micronutrientes relativamente elevado, en comparación con cereales forrajeros comunes y harinas de semillas oleaginosas.

Torula es el nombre con el que se conoce al hongo levaduriforme *Candida utilis*, es la levadura más utilizada como suplemento alimenticio animal; se utiliza desecada como fuente de proteínas y puede ser añadida en piensos mixtos para alimentación de cualquier clase de ganado, debido a su gran contenido de vitamina B, minerales y aminoácidos; además si es irradiada produce vitamina D.^(8,10) Es ampliamente usada como un agente saborizador natural en alimentos procesados y alimentos para mascotas para reemplazar al glutamato monosódico, potenciador del sabor, también es empleada con estos fines en alimentos de consumo humano.^(6,11) Sus excelentes propiedades nutricionales, promotoras del crecimiento animal, han sido demostradas en investigaciones desarrolladas en Cuba, evidenciando el alto potencial de esta materia prima como única fuente

proteica en la dieta de los animales.⁽¹²⁾ El reto es buscar alternativas que permitan sustituir parcial o totalmente fuentes alimentarias tradicionales como la soya, el maíz y el trigo.⁽¹³⁾

Con el fin de emplear la levadura torula como alimento, se han realizado estudios para aumentar su velocidad de crecimiento y producción, entre estos se destaca el empleo de campos magnéticos. Los efectos que los campos magnéticos ejercen sobre los microorganismos, resultan de interés industrial, lo que podría redundar en la disminución de los tiempos de fermentación, aumento del rendimiento y disminución de costos en procesos.⁽¹⁴⁾ El crecimiento celular es el parámetro más importante en el estudio microbiológico, ya que es utilizado como base para medir la eficiencia en otras propiedades de los microorganismos, tales como el metabolismo y la producción de sustancias de interés científico y tecnológico.⁽¹⁵⁾ El crecimiento de bacterias y levaduras podría ser estimulado o inhibido por el efecto de campos magnéticos pulsantes dependiendo de la fuerza del campo y de la frecuencia.⁽¹⁵⁾

Se plantea, además, que los campos electromagnéticos pulsantes de extremada frecuencia inducen corrientes que pueden producir efectos electroquímicos sobre la superficie celular, el cual ejerce una influencia en los mecanismos de transporte a través de la membrana celular y, particularmente en la concentración intracelular de los iones de calcio. Debido al importante papel que juegan los iones calcio en la regulación del metabolismo y el crecimiento de las células deben tomarse muy en cuenta los efectos de los campos magnéticos de extremada baja frecuencia en los niveles celular y de tejidos.⁽¹⁶⁾

El presente trabajo constituye una revisión de las principales características y usos de la levadura torula, así como de los reportes que dan cuenta de la influencia del campo magnético en su crecimiento.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación de tipo cualitativo con el objetivo de precisar las características y aplicaciones de *Candida utilis* como alimento no convencional, así como el efecto de la aplicación de campos magnéticos en su crecimiento. Se revisaron artículos científicos, tesis de maestría, doctorado, libros y otros, de los cuales se recopilaron los fundamentos que mostraron una visión clara y confiable del tema. Se realizó la revisión en bases de datos internacionales, Google académico, SciELO, Redalyc, Science Direct; así como en repositorios institucionales, con los descriptores *Candida utilis*, torula, proteína celular, alimentos alternativos y aplicación de campos magnéticos en el crecimiento microbiano. La información recopilada fue cuidadosamente organizada y analizada aplicando los métodos de investigación análisis y síntesis, seleccionándose las contribuciones más representativas que trataran los aspectos señalados en los descriptores. Se organizó la información en acápites para resumir cada tema a tratar.

Resultados y discusión

Como resultado de la revisión bibliográfica efectuada, se encontraron 94 investigaciones enmarcadas dentro de los descriptores tratados. De estas contribuciones fueron seleccionadas 38, entre los años 1996 y 2022, por ser las más representativas, de ellas, 28 artículos científicos, 2 Tesis de Maestría, 1 Tesis de Doctorado, 2 Tesis de grado, 1 libro impreso, 1 libro electrónico y 3 documentos en línea.

Proteína unicelular

Se denomina proteína unicelular o bioproteína, a aquella obtenida de la biomasa microbiana de algas, bacterias, levaduras y hongos filamentosos, ⁽⁶⁾ 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. 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. Los primeros microorganismos empleados como fuente de proteína unicelular fueron las levaduras, especialmente *Saccharomyces cerevisiae*, una de las principales fuentes de proteína unicelular con una producción de 200.000 toneladas anuales en peso seco. Son también de uso amplio: *Spirulina maxima*, *Aspergillus niger*, *Kluyveromyces fragilis* y *Candida utilis*.⁽¹⁷⁾

El término proteína unicelular deriva de la contracción de “proteína de organismos unicelulares”. La literatura científica se refiere a la proteína unicelular como SCP (*single cell protein*).^(6,17) La proteína unicelular es una biomasa, es decir, células secas producidas por levaduras, bacterias, algas y hongos. Esta puede ser utilizada como suplemento o componente rico en proteína para ser empleada en la dieta tanto de humanos como animales. La producción de proteína unicelular surge debido a la escasez de alimentos y el rápido y continuo crecimiento de la población en las décadas de los 50's y 60's.⁽⁶⁾

Además del alto contenido de proteínas, entre el 60 al 80% sobre la base de materia seca, la proteína unicelular también está compuesta de ácidos nucleicos, grasas, minerales, vitaminas y carbohidratos. De igual manera presenta un variado contenido de aminoácidos esenciales como metionina, lisina y treonina.⁽⁶⁾

Comparada con las proteínas alimenticias convencionales de plantas y animales, estos microorganismos ofrecen numerosas ventajas como productores de proteínas ya que la mayoría de microorganismos cultivados poseen altos niveles de proteínas, los tiempos de generación son muy cortos; bajo condiciones óptimas de cultivo, las bacterias pueden doblar su masa celular en 0,5 - 2 h, las levaduras en 1-3 h y las algas en 3 -6 h.⁽⁶⁾

La oferta y demanda de proteína unicelular destinada al consumo humano y animal en la década de los 90's estuvo liderada por la levadura *Candida utilis*, tanto en Estados Unidos, la Unión Europea y Asia. El primer avance en el cultivo

de microorganismos para su utilización como alimentos se realizó al cultivar esta levadura en subproductos de la industria del papel y en derivados de azúcares obtenidos por hidrólisis ácida de la madera.⁽¹⁸⁾

Características del Género Candida

Es un género de hongos tipo levadura perteneciente al phylum Ascomycota; es filogenéticamente heterogéneo, con 314 especies. Sus colonias son de color crema amarillento, crecen rápidamente y maduran en tres días. Las células aparecen en diferentes formas: globosas, elipsoidales, cilíndricas o alargadas. Se pueden formar pseudohifas y micelio verdadero no septado.⁽¹⁹⁾

En la producción y el deterioro de alimentos radica la importancia industrial de este género. Se encuentra en la masa madre, en los productos lácteos, en la carne y las salchichas. Actividades proteolíticas, glucosidacidas y pectinolíticas; producción de metabolitos secundarios; y actividades lipolíticas y de urea, osmotolerancia, amplio rango de temperatura, tolerancia al etanol y a la baja actividad del agua son propiedades básicas en representantes de candida, útiles en el procesamiento de alimentos.

Levadura torula (*Candida utilis*)

Candida utilis es un hongo levaduriforme de tipo ascomicetos (figura 1).

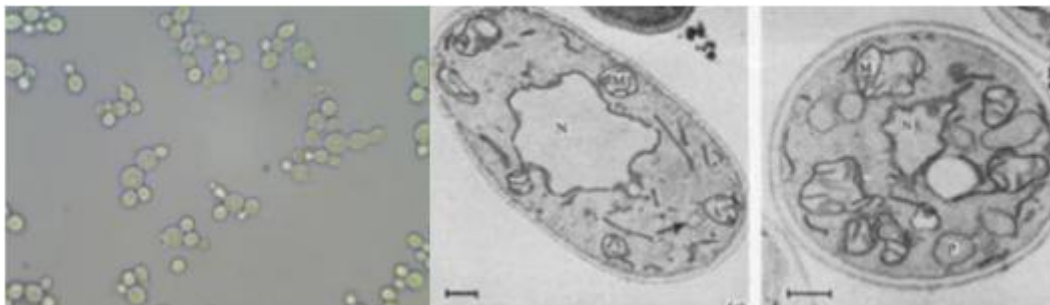


Fig. 1- Imágenes de *Candida utilis*: A la izquierda fotografías microscópicas y a la derecha micrografía electrónica de secciones ultrafinas.⁽¹⁹⁾

Es una levadura que tiene una alta tasa de crecimiento, que ninguna especie ha logrado superar, y que requiere de un sustrato rico en azúcares o fuentes de carbono, para su crecimiento o cultivo debido a su capacidad de utilizar una variedad de fuentes de carbono rápidamente; crece en cultivos elaborados con residuos agroindustriales como las melazas, residuos de madera, licor de prensa y residuos de frutos. Es rica en grasas, proteínas y vitaminas, especialmente del complejo B, apropiada para la alimentación animal y humana. Como los demás hongos, crece mejor a pH ácido (pH=4), debe ser cultivada en medios agitados para promover su reproducción y disminuir la producción de alcohol.^(9, 10,19,20,21)

Candida utilis es una levadura ampliamente utilizada en la industria alimentaria, y estudiada desde que se concibió el uso de biomasa microbiana para la alimentación. Tiene la gran característica de degradar sustratos orgánicos, destacándose los compuestos orgánicos celulósicos como única fuente de carbono. Otra de sus propiedades es la producción intracelular de enzimas importantes para la industria, así como el alto contenido de grasa, proteínas y vitaminas, en especial las del complejo B.⁽¹⁹⁾

Taxonomía

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Subphylum: Saccharomycotina

Clase: Saccharomycetes

Orden: Saccharomycetales

Familia: Saccharomycetaceae

Subfamilia: Saccharomycetoidea

Género: *Candida*

Especie: *Candida utilis*

En las tablas **Tabla 1** y

Tabla 2 se resumen los principales nutrientes que aporta la levadura torula.⁽²²⁾ Se destaca el alto nivel de proteínas, minerales y vitaminas del complejo B.^(9, 22,23)

Tabla 1- Composición química de los principales nutrientes de la levadura torula

Indicador, % MS (materia seca)	ICIDCA (1988) ¹	IIP (1988) ²
Materia seca	94,0	91,0
Proteína bruta, N x 6.25	48,0	45,7
Cenizas	8,0	9,0
Fibra bruta	2,0	2,2
Energía bruta, MJ/kg MS	-	18,2

¹ ICIDCA-Instituto Cubano de Derivados de la Caña de Azúcar; ² IIP-Instituto de Investigaciones Porcinas

Tabla 2- Aporte de vitaminas hidrosolubles de la levadura torula (mg/kg)

Tiamina	60 - 72
Riboflavina	39.45
Acido pantoténico	30 - 40
Acido nicotínico	400 - 500
Piridoxina	35 - 45
Biotina	1 - 2
Acido fólico	0.3 - 1.2
Colina	300 - 600

Candida utilis se usa principalmente en la producción de proteína unicelular, debido a su capacidad de utilizar una variedad de fuentes de carbono, como la paja de arroz, almidón de papa en aguas residuales, aceite de aguas residuales y melaza. También se ha usado como soporte para producir productos químicos como glutatión, monelina y acetato de etilo.⁽¹⁹⁾ Es usada como aditivo de una amplia variedad de alimentos procesados ⁽⁹⁾ debido a su elevada palatabilidad (característica de un alimento que estimula una respuesta selectiva de un animal que pastorea, cualidad de un alimento que resulta agradable al paladar), seguridad y sabor delicioso.⁽²⁴⁾ La aplicación de la torula, desarrollada en miel

final, en la alimentación de animales monogástricos, se ha estudiado ampliamente y se ha demostrado que puede sustituir totalmente a las fuentes proteicas tradicionales.⁽²³⁾

Aplicaciones de la torula como alimento alternativo, reportes en el mundo

Como se ha tratado, uno de los usos de la torula es como proteína unicelular. En la tabla 3 se resumen reportes del empleo de esta levadura en diferentes países.^(9, 24-27)

Tabla 3- Reportes de investigaciones en las que se ha empleado la levadura torula como alimento alternativo

Institución	Objetivo	Resultados
Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México (2015)	Evaluar la contribución dietética de la levadura torula (<i>Candida utilis</i>) y la harina de pescado al crecimiento del camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> .	Las tasas de crecimiento y supervivencia fueron similares en camarones alimentados con dietas que contenían proporciones variables de ambos ingredientes. La incorporación de nitrógeno dietético de la levadura torula al crecimiento aumentó en relación con el aumento de las proporciones de la dieta, lo que indica la idoneidad de este ingrediente en dietas que contienen hasta un 60% de levadura torula.
Departamento de Ciencias Animales y Acuícolas, Facultad de Biociencias, Universidad Noruega de Ciencias de la Vida, Noruega (2017)	Analizar la influencia de la levadura torula como sustituto de la harina de pescado, en las cualidades reológicas y físicas del alimento granulado para camarones.	Los resultados de las características reológicas y de calidad para todos los parámetros fueron prometedores. No se encontró influencia negativa sobre los parámetros físicos y reológicos analizados (contenido de humedad, resistencia a la tracción, actividad del agua, etc.), por lo que quizás la levadura torula pueda reemplazar a la harina de pescado en el futuro.
Universidad Cooperativa de Colombia, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia (2017)	Revisión bibliográfica en la que se presentan algunas alternativas en el uso de residuos orgánicos en la alimentación de porcinos con valores que han sido favorables para la producción.	En la revisión se hace alusión a trabajos realizados en Cuba, en los que se evaluaron dietas líquidas de desechos procesados mezclados con miel "B" en cerdos en crecimiento y ceba en diferentes formas y niveles de suplementación de levadura torula producida en Cuba tanto en crema como seca. De este estudio resultó que una suplementación dietética con levadura torula seca, con un aporte del 51% del consumo de la proteína total de los cerdos bajo experimentación, implicó una ganancia diaria en peso de estos animales.
Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Minnesota, Estados Unidos de América (2018)	Revisión bibliográfica acerca de las principales levaduras y derivados de levaduras empleados comúnmente como aditivos e ingredientes en alimentos.	La torula es una especie de levadura de importancia comercial, que se emplea como aditivo alimenticio y agente saborizante. La torula seca se emplea en la industria alimentaria como suplemento nutricional en piensos. Aunque históricamente esta levadura ha sido usada en alimentos para animales, hoy día gran parte de esta es empleada por fabricantes de alimentos en general.
Instituto de Enseñanza e Investigación de Ciencias Agrícolas, Campus Veracruz, México (2018)	Explorar el potencial de torula (<i>Candida utilis</i>) como fuente parcial de proteína en dietas para animales, en particular para tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) y basa (<i>Pangasius hypophthalmus</i>), dos de las especies acuícolas más importantes a nivel mundial.	Los resultados sugieren que torula puede sustituir parcialmente las fuentes de proteína convencionalmente utilizadas en las dietas comerciales de acuicultura para tilapia y basa, lo que representa una oportunidad para diversificar la producción de alimentos balanceados de una manera más sustentable.

Aplicaciones de la torula en Cuba

En Cuba se han realizado propuestas de alimentos alternativos para las producciones pecuarias, las cuales en su generalidad dan cuenta del empleo de la torula como aditivo alimentario (tabla 4).^(12, 13,23, 28,29)

Tabla 4- Investigaciones realizadas en Cuba, en las que se ha empleado la levadura torula como alimento alternativo

Institución	Objetivo	Resultados
Instituto de Ciencia Animal (2012)	Evaluar en el comportamiento de 24 cerdos en crecimiento, la sustitución parcial de la proteína que aporta la harina de soya importada por la de la levadura torula, desarrollada en vinaza de destilería.	Se puede sustituir hasta 66 % de la proteína aportada por la soya en esta categoría porcina, en una dieta donde se utiliza maíz como fuente de energía
Instituto de Ciencia Animal (2013)	Evaluar la inclusión de levadura torula de vinaza como fuente proteica alternativa en la dieta y determinar su efecto en el comportamiento productivo y rendimiento en canal de 1 000 pollos de engorde.	Se puede utilizar hasta 20 % de levadura torula de vinaza en las dietas para pollos de engorde, como sustituto parcial de la harina de torta de soya, sin afectar el comportamiento productivo y el rendimiento en canal.
Centro de Estudios de especies menores, Universidad de Guantánamo; Departamento de Zootecnia. Universidad Federal de Minas de Gerais; Instituto de Ciencia Animal (2013)	Evaluar la inclusión de levadura torula, desarrollada a partir de vinaza de destilería de alcohol, como sustituto de la soya, en dietas para 64 conejos en ceba de la raza Nueva Zelanda Blanca.	Las dietas para conejos de ceba, que incluyen levadura torula desarrollada a partir de vinaza de destilería de alcohol, como sustituto parcial o total de la soya, no originan cambios significativos en los indicadores bio-productivos de los conejos al final de la ceba, tampoco en el peso y rendimiento de la canal, y órganos comestibles después del sacrificio.
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA). (2016)	Revisión bibliográfica sobre el empleo y los resultados obtenidos con la levadura forrajera (<i>Candida utilis</i> NRRL Y-660) como componente proteico en formulaciones de sustituto lácteo para terneros(as)	El aporte de nutrientes de la levadura torula es muy similar al de la soya y las posibilidades de uso en la alimentación de los terneros y otras especies como las aves y los cerdos, constituyen una gran fortaleza y estabilidad al sistema por los efectos positivos en los animales, así como la posibilidad de sustituir importaciones con su empleo.
Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey; Grupo Empresarial LABIOFAM, Cuba (2016)	Evaluar el efecto productivo de un preparado de maíz y afrecho de trigo enriquecido con levadura torula, como alternativa para cubrir el 25 % de los requerimientos totales de proteína de 24 toros de ceba en silvopastoreo.	La suplementación con el preparado de maíz y afrecho de trigo enriquecido con levadura torula influyó de forma positiva en la ganancia media diaria de toros durante la ceba final. La ganancia que se obtuvo en el grupo que recibió el suplemento se atribuye a la incorporación en la dieta de un alimento concentrado energético-proteico, que propició un ambiente favorable para mejorar el ambiente ruminal y la síntesis microbiana.

Algunos autores ⁽³⁰⁾ proponen el empleo de bagazo de caña hidrolizado, alternativa de alimentación animal, enriquecido con otros ingredientes como las levaduras *saccharomyces* y *torula*, que incrementarían el valor intrínseco de las producciones, haciéndolas comparables bromatológicamente con productos de calidad importados al país, para lograr respuestas más elevadas en los animales, ganancias de peso/día, para minimizar costos o maximizar utilidades.

Efecto de campos magnéticos en el crecimiento de microorganismos

Reportes en levadura torula

Los efectos biológicos del campo magnético han sido ampliamente tratados por muchos investigadores. Se plantea que el tratamiento magnético activa complejos enzimáticos que no están presentes en las cepas no tratadas; su efecto sobre las células es inmediato y usualmente se aplica sobre las suspensiones microbianas en la fase inicial de crecimiento.⁽³¹⁾

El campo magnético (CM) influye en el crecimiento microbiano, ya sea inhibiéndolo o estimulándolo, dependiendo de la intensidad y tiempo de la exposición. La inhibición se da a altas intensidades, mientras que la estimulación se da en intensidades extremadamente bajas medidas en miliTesla (mT), lo cual provoca cambios en la orientación y dirección de la migración y en la estructura de biomoléculas, aumento en la síntesis de ADN, cambios en las biomembranas, alterando el flujo de iones. Se incrementa la entrada de azúcares por la membrana, acelerando sus rutas metabólicas.⁽³²⁾

El campo electromagnético constituye una alternativa viable para elevar la eficiencia de los procesos biotecnológicos. Se han reportado efectos beneficiosos de la aplicación del campo electromagnético al crecimiento de levaduras y hongos. El incremento de la velocidad de reproducción de microorganismos bajo los efectos de un CM representa una posibilidad de disminuir los tiempos de fermentación y los costos productivos.⁽³³⁾

La explicación de los efectos observados parece estar relacionada y la interacción del CM con los organismos y procesos en general, mediante la existencia de un proceso de resonancia magnética entre la energía del campo y la energía elemental de los átomos y moléculas. Igualmente se plantea una posible influencia de los campos en el equilibrio y velocidad de las reacciones que se producen, así como el desarrollo de procesos físico-químicos relacionados con la absorción e interacción de la energía del campo con los tejidos y organismos como un todo. Otros autores plantean que el CM puede inducir cambios electroquímicos en la membrana celular, lo cual intensifica el metabolismo.⁽³³⁾

Los microorganismos responden a la exposición de campos magnéticos dependiendo de la energía y la distribución espacial de dicho campo. Existen reportes de cambios en su morfología, características fisiológicas, bioquímicas y en sus características genéticas.⁽³⁴⁾

Se ha observado que los hongos filamentosos *in vitro* resultan estimulados (aumento del tamaño del micelio y de producción de ácidos, celulosa y ergosterol) o mostraron resultados variables (sin efecto, estimulación o inhibición de su crecimiento) ante la exposición directa al campo magnético de 0,1 a 10 mT de 50 Hz.⁽³⁵⁾

El CM estático posee una ventaja con respecto al oscilatorio, ya que el usuario sabe con fiabilidad que el campo estático trata continuamente los microorganismos, son fáciles de controlar y es posible usarlos sin restricciones, en continuo.⁽³²⁾

Investigaciones que refieren las ventajas del tratamiento magnético aplicado a hongos y levaduras

1. Se realizó la fermentación en estado sólido del hongo filamentoso *Trichoderma harzianum* (IMI 314381) bajo campos magnéticos estáticos de 60 y 80 mT durante 15 minutos. Se obtuvo una estimulación del crecimiento para los experimentos tratados con campo magnético, un aumento en la velocidad de crecimiento radial del hongo tratado magnéticamente, con respecto al hongo no tratado, probablemente debido a la aceleración de procesos metabólicos causada por la interacción del CM con el hongo tratado. Los mejores resultados se obtuvieron para 80 mT.⁽³³⁾
2. Se evaluó el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en miel virgen de caña en presencia de CM estático con una media en la región de trabajo de 55,5 mT y 278,8 mT con 3 y 5 pases. Los resultados mostraron que el CM estimula o inhibe la formación de biomasa, en función de la inducción del campo y el número de pases aplicados. La aplicación de un CM estático a *Saccharomyces cerevisiae* con una inducción del campo de

una media en la región de trabajo de 278,5 mT con 3 pases, incrementa la formación de biomasa en un 24,3 % y disminuye el consumo de sustrato en 26,9 % en comparación con el control, disminuyendo el tiempo en el tanque cultivador en 5,6 horas.⁽³⁴⁾

3. Al evaluar el efecto de los campos magnéticos oscilantes y estáticos sobre la fermentación del vino base a partir de mosto de azúcar crudo, empleando la cepa *Saccharomyces cerevisiae* uvaferm, se obtuvo que el CM no influyó en las propiedades organolépticas del vino base obtenido y favoreció su clarificación respecto al control.⁽³¹⁾

Experimentos realizados por Otabe y colaboradores en 2009, en la levadura *Candida utilis* a inducciones del campo electromagnético de 500 y 800 Gauss (50 y 80 mT), indican que explorando a niveles de inducción alrededor de 80 mT podrían alcanzarse mejores incrementos en la biomasa celular.⁽³⁴⁾

En experimentos realizados en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado con la cepa de *Candida utilis* Y-660 se obtuvo que, a determinadas combinaciones de inducción electromagnética y tiempos de exposición, los campos electromagnéticos de baja frecuencia aceleran significativamente el crecimiento celular durante las fermentaciones en fase sumergida.^(36,37) En la investigación⁽³⁸⁾ se concluye que, con la aplicación de un campo magnético de 55 mT, a las 18 h, se obtuvo el mejor rendimiento de la biomasa.

A partir de la revisión realizada se constata que los campos magnéticos por debajo de 100 mT tienen potencialidades para su uso en las tecnologías de producción de suplementos para la alimentación animal basados en *Candida utilis*.

Conclusiones

1. *Candida utilis* tiene una alta tasa de crecimiento y elevada capacidad de utilizar una variedad de fuentes de carbono rápidamente. Es rica en grasas, proteínas y vitaminas, especialmente del complejo B, apropiada para la

alimentación animal y humana, por lo que se ha empleado como proteína unicelular en acuicultura y ganadería, sustituyendo a las fuentes proteicas tradicionales como soya, maíz y trigo.

2. Los campos magnéticos estáticos de baja intensidad aumentan la biomasa microbiana y mejoran el crecimiento celular de la levadura torula.

Referencias bibliográficas

1. TORRES-PAEZ, C. C., *et al.* Articulación del plan de soberanía alimentaria con las estrategias de desarrollo. *Revista COODES* [en línea]. 2022, enero-abril, 10 (1). 129-144. [Consultado 25 marzo 2022]. ISSN: 2310-340X. <https://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/483>
2. DÍAZ-PÉREZ, M., *et al.* SOBERANÍA ALIMENTARIA y EDUCACIÓN NUTRICIONAL DESDE LA CIENCIA DE LA SOSTENIBILIDAD: OBSERVATORIO SAEN+C PINAR. *Revista Universidad y Sociedad* [en línea]. 2021, julio-septiembre, 13 (5). 9-19. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 2218-3620.
3. CORTÉS-SÁNCHEZ, A.J., *et al.* PRODUCCIÓN DE BIOMASA A PARTIR DE *Aspergillus oryzae* EN CULTIVO SUMERGIDO. *Biotechnia* [en línea]. 2014, XVI (3). 11-16. [Consultado 25 marzo 2022]. ISSN: 1665-1456. <https://biotechnia.unison.mx/index.php/biotechnia/article/view/106>
4. ISAAC-PÉREZ, E., *et al.* DISEÑO ÓPTIMO ECONÓMICO DE LA ETAPA DE CONCENTRACIÓN DE CREMA PARA LA OBTENCIÓN DE LEVADURA TORULA EN UNA DESTILERÍA DE ETANOL. *Revista Centro Azúcar* [en línea]. 2015, julio-septiembre, 42 (3). 10-22. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 2223-4861. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v42n3/caz02315.pdf>
5. GUEVARA-RODRÍGUEZ, C.A., *et al.* Uso de subproductos y derivados de la caña de azúcar en un sistema integrado para la producción de alimento animal y soluciones ambientales. 2017. [Consultado 30 abril 2022]. <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/4-Coproductos.pdf>

6. FORERO-ARARAT, V., *et al.* PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE PROTEÍNA UNICELULAR A PARTIR DE MICROORGANISMOS: UNA PERSPECTIVA ACTUAL. *ReCiTeIA* [en línea]. 2021, **19** (1). 53-64. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 2027-6850.

<https://www.researchgate.net/publication/356694010> Articulo de Revision PR ODUCCION INDUSTRIAL DE PROTEINA UNICELULAR A PARTIR DE MICROORGANISMOS UNA PERSPECTIVA ACTUAL

7. GARCÍA-LOVELLE, O., *et al.* Propuesta de mejora tecnológica para el enfriamiento-calentamiento de Vinazas y *Saccharomyces* en fábrica de *Torula*. *Ingeniería Energética* [en línea]. 2022, mayo-agosto, 43 (2). 1-9. [Consultado 10 junio 2022]. ISSN: 1815-5901. <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

8. RODRÍGUEZ, B., *et al.* Composición mineral de levadura *torula* (*Candida utilis*), desarrollada a partir de vinaza de destilería. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* [en línea]. 2011, 45 (2). 151-153. [Consultado 25 marzo 2022]. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245009.pdf>

9. SHURSON, G.C. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology* [en línea]. 2018, 235. 60-76. [Consultado 25 marzo 2022]. ISSN: 0377-8401. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840117308398>

10. COSMOS, Plataforma Digital B2B. Información técnica y comercial de las levaduras *Torulas*. 2022. [Consultado 25 marzo 2022]. <https://www.cosmos.com.mx>

11. KIELISZEK, M., *et al.* Metabolic Response of the Yeast *Candida utilis* During Enrichment in Selenium. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea]. 2020, 21, 5287. 1-18. [Consultado 10 junio 2022]. ISSN: 1422-0067. https://mdpi-res.com/d_attachment/ijms/ijms-21-05287/article_deploy/ijms-21-05287.pdf?version=1595678462

12. ORTIZ, A., *et al.* Sustitución de soya por levadura *torula* (*Candida utilis*) desarrollada a partir de vinaza, en dietas peletizadas para conejos en ceba.

Revista Cubana de Ciencia Agrícola [en línea]. 2013, **47** (4). 389-393. [Consultado 25 marzo 2022]. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193029815011.pdf>

13. RODRÍGUEZ, B., *et al.* Evaluación de la levadura torula (*Candida utilis*) obtenida a partir de vinaza de destilería en dietas para pollos de engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* [en línea]. 2013, **47** (2). 183-188. [Consultado 3 febrero 2022]. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193028751013.pdf>

14. ANAYA-VILLALPANDA, M., *et al.* COMPARACIÓN DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE DOS CEPAS DESTILERAS DEL GÉNERO *SACCHAROMYCES*, EN MELAZA TRATADA MAGNÉTICAMENTE. *Revista de Investigación Científica* [en línea]. 2013, (4). 22-27. [Consultado 3 febrero 2022]. ISSN: 2602-8069. www.researchgate.net/publication/292147166 COMPARACION DE LA FERMENTACION ALCOHOLICA DE DOS CEPAS DESTILERAS DEL GENERO SACCHAROMYCES EN MELAZA TRATADA MAGNETICAMENTE

15. SALGADO-ARIA, P. 2019. Producción de levadura *Saccharomyces cerevisiae* CCEOI 2012 con aplicación del campo magnético. Tesis en opción al grado de Ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

16. BARNES, F. S., GREENEBAUM, B. (eds.) 2007. Handbook of biological effects of electromagnetic fields: Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields 1, Boca Raton, FL: CRC Press, 467 pp.

17. CHACÓN, A. Perspectivas actuales de la proteína unicelular (scp) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana* [en línea]. 2004, **15** (1). 93-106. [Consultado 10 junio 2022]. ISSN: 1021-7444. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/download/11939/11244>

18. CASANOVA-GUAJARDO, M. D. Optimización de la concentración de los azúcares reductores totales de melaza de *Saccharum officinarum* L. "caña de azúcar" en la producción de proteína unicelular de *Candida utilis* var. *Major*.

19. Tesis para optar por el grado académico de Maestro en Ciencias, Mención en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental. Unidad de Posgrado en Ciencias Biológicas. Universidad de Trujillo. Perú. 2018. [Consultado 25 marzo 2022]. https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11698&ved=2ahUKEwiL1NXnm_H5AhUXSTABHVRUBa0QFnoECAUQAg&usq=AOvVaw3GjJpcOtd6yvCA4jF6phGT
20. NEPPAS-CAZZA, C. A. Atlas de Microbiología. 2020, pp. 26 y 27. Pp. 92. Ecuador. <https://es.calameo.com/books/006377955e43b9e81266e>
21. PALMERÍN-CARREÑO, D. *et al.* Identificación de una levadura para producción de proteína unicelular para consumo humano y determinación de los parámetros cinéticos a nivel de matraces agitados. *CIENCIA@UAQ* [en línea]. 2011, **4** (2). 35-46. [Consultado 3 febrero 2022]. ISSN: 2007-4697. https://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v4-n2/t5.pdf
22. ARIAS, C. A. y MOLINA, J. A. Proceso de producción de bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhomia crassipes* con la levadura *Candida utilis*. Trabajo de grado para la obtención del título profesional en Ingeniería Industrial. 2018. FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES FACULTAD DE INGENIERÍAS. PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. BOGOTÁ D.C 2018. [Consultado 25 marzo 2022]. <http://hdl.handle.net/11371/1793>
23. LEZCANO, P. Desarrollo de una fuente proteica en Cuba. Levadura torula (*Candida utilis*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* [en línea]. 2005, **39** (Número Especial). 459-464. [Consultado 17 marzo 2022]. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017842008.pdf>
24. MORA, L. M., *et al.* Levadura torula (*Candida utilis*) en vinaza de destilería en dietas para cerdos en crecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* [en línea]. 2012, **46** (1). 63-65. [Consultado 17 marzo 2022]. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193024313010.pdf>

25. MBUTO, E. J. Influence of *Torula* yeast (*Candida utilis*) as the Fishmeal replacer on Rheological and Physical qualities of Pelleted shrimp feed. 2017. Master's Thesis. Master of Science in Feed Manufacturing Technology. Department of Animal and Aquacultural Sciences Faculty of Biosciences. Norwegian University of Life Sciences. [Consultado 17 marzo 2022]. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2483296/Mbuto%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
26. GAMBOA-DELGADO, J., *et al.* Nutritional contribution of torula yeast and fish meal to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural nitrogen stable isotopes. *Aquaculture* [en línea]. 2015. 1-31. [Consultado 17 marzo 2022]. ISSN: 0044-8486. doi: <http://10.1016/j.aquaculture.2015.11.026>
27. RAMIREZ, V., *et al.* Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. *Rev. Cienc. Agr.* [en línea]. 2017, **34** (2). 107-124. [Consultado 17 marzo 2022]. e-ISSN 2256-2273. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.76>
28. PASCUAL-GONZÁLEZ, J. Aprovechamiento de proteína unicelular, utilizando a la levadura *Candida utilis* como organismo benéfico. Tesis de Doctorado. 2018. Posgrado en Agroecosistemas Tropicales. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. México. [Consultado 25 marzo 2022]. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3365?show=full>
29. GUEVARA-RODRÍGUEZ, C., *et al.* La levadura torula (*Candida utilis* NRRL Y-660) en la alimentación de terneros. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea]. 2016, **50** (3). 43-49. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 0138-6204. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223152661007>
30. SÁNCHEZ-SANTANA, T., *et al.* Efecto de la suplementación con un preparado de maíz y afrecho de trigo enriquecido con torula, en la ceba de toros en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes* [en línea]. 2016, **39** (4). 265-270.

[Consultado 3 febrero 2022]. ISSN: 2078-8452.
http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v39n4/en_pyf05416.pdf

31. COSTALES-SOTELO, R., *et al.* INGENIERÍA APLICADA A LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTO FORMULADO VIA BAGAZO HIDROLIZADO. UN CASO DE ESTUDIO. *Revista Centro Azúcar* [en línea]. 2015, enero-marzo, **42** (1). 51-60. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 2223-4861.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-

[48612015000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000100006)

32. ANAYA-VILLALPANDA, M., *et al.* Efecto del tratamiento magnético sobre la fermentación de vino base de azúcar crudo. *Tecnología Química* [en línea]. 2017, **37** (3). 561-573. [Consultado 30 abril 2022]. e-ISSN: 2224-6185.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-

[61852017000300014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300014)

33. BARONA-DUQUE, K., *et al.* Efecto del campo magnético sobre el crecimiento microbiano. *Revista Microciencia* [en línea]. 2019, **8**, 90-106. [Consultado 3 febrero 2022]. ISSN: 2323-0320.
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/download/7404/64>

[57/18977](https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/download/7404/6457/18977)

34. MAS-DIEGO, S. M., *et al.* Fermentación en estado sólido de *Trichoderma harzianum* bajo campos magnéticos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea]. 2015, **49** (1). 40-45. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 0138-6204. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223136961007>

35. MAS-DIEGO, S. M., *et al.* Incremento de la biomasa de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con aplicación de un campo magnético de intensidad constante. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea]. 2017, **51** (1). 43-46. [Consultado 30 abril 2022]. ISSN: 0138-6204. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223153894007>

36. ANAYA-VILLALPANDA, M., *et al.* Influencia del campo magnético sobre la distribución de los hongos en el aire de un local cerrado. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* [en línea]. 2015, **35**, 47-52. [Consultado

3 febrero 2022]. ISSN: 1315-2556. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-25562015000100009&script=sci_abstract

37. SERGUERA-NIÑO, M., *et al.* Influencia del campo electromagnético en el crecimiento de la levadura torula. [en línea]. [Consultado 17 marzo 2022]. https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_II/CII-12.pdf

38. CHACÓN-ALVAREZ, D., *et al.* Aumento en los rendimientos para la obtención de levadura torula (*Candida utilis* Y-660) con aplicación de campos electromagnéticos. *Tecnología Química* [en línea]. 1999, **19** (1). [Consultado 17 marzo 2022]. ISSN: 2224-6185.

<https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=googlescholar&id=GALE|A146628788&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=0fb067ec>

39. CHACÓN-ÁLVAREZ, D., *et al.* Influencia del campo electromagnético en el crecimiento de la levadura *Candida utilis* Y-660. *Revista Tecnología Química*. 1996, **16** (1), 52-60. ISSN: 2224-6185

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Claudia Arias Rodríguez: concibió la idea del artículo, investigó los fundamentos teóricos, revisó y organizó la bibliografía y escribió el artículo.

Siannah María Más Diego: colaboró con la revisión y escritura del artículo.

Dunia Rodríguez Heredia: colaboró con la revisión y escritura del artículo.

Héctor Elpidio Tejera Cisneros: colaboró con la revisión y escritura del artículo.