



Magnetic Field Influence in *E. coli* and *S. cerevisiae* Growth and the Ability of *Pseudomonas sp* and *Bacillus sp* to be Phosphorus Solubilizers for Industrial Usage

Sandra Johana Hernández Jiménez
Universidad Tecnológica de Pereira

Estefanía Lucero Domínguez Toro
Universidad Tecnológica de Pereira

Luis Gonzaga Gutiérrez
Universidad Tecnológica de Pereira

Received: October 31, 2014

Accepted: March 19, 2015

Pag. 109-121

Abstract

Magnetic stimulation of microorganisms has been investigated because of its industrial applications. Furthermore, the cellular growth is the most important parameter in the microbiological study, since it is being used as a base for measuring the efficiency for other properties of the microorganisms, such as the metabolism and the production of substances of scientific and technological interest. For this reason, the response to the magnetic field of *Escherichia coli* is described, for being the most studied micro-organism due to living in daily human habitats, and *Saccharomyces cerevisiae* for its applications in the food processing industry. Moreover, microorganisms solubilizers of phosphates are really important for the agricultural industry. They make possible for plants to assimilate the phosphorus that they cannot process by themselves, helping them grow. In this review we will deepen on *Pseudomonas sp* and *Bacillus sp* for being good solubilizers of phosphorus and for its aptitude to degrade the substratum. Hence, it is important to compile the scientific information available, where it is described the mechanisms for which the bacteria reproduce and solubilizing phosphorus, and the response of *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pseudomonas sp* and *Bacillus sp*, to magnetic fields with variable densities.

Key words: Cellular growth, solubilizers of phosphorus, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp*.

Influencia de campos magnéticos en el crecimiento de *E. coli* y *S. cerevisiae* y la capacidad de solubilizar fósforo en *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp* de uso industrial

Resumen

La estimulación magnética de microorganismos ha sido de interés investigativo debido a sus aplicaciones industriales. Además, el crecimiento celular es el parámetro más importante en el estudio microbiológico, ya que es utilizado como base para medir la eficiencia de otras propiedades de los microorganismos, tales como el metabolismo y la producción de sustancias de interés científico y tecnológico. Por tal motivo, se describe la respuesta al campo magnético de *Escherichia coli*, el microorganismo más estudiado por habitar en ambientes cotidianos para el ser humano, y *Saccharomyces cerevisiae* con aplicaciones en la industria alimenticia. Por otra parte, los microorganismos solubilizadores de fosfatos son de gran importancia para la industria agrícola.

Gracias a ellos las plantas pueden asimilar el fósforo que no logran procesar por sí mismas, ayudando así a su crecimiento. En esta revisión se profundiza en *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp* por ser buenos solubilizadores de fósforo y por su capacidad para degradar los sustratos. De ahí, que sea importante recopilar la información científica disponible, donde se describen los mecanismos por los cuales los microbios se reproducen y/o solubilizan fósforo, y la respuesta de *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp*, a campos magnéticos con densidades variables.

Palabras clave: Crecimiento celular, solubilizadores de fosfatos, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp*.

1 Introducción

1.1 Estimulación Magnética y Crecimiento Microbiano

Escherichia coli

Es el microorganismo más estudiado por el ser humano. Su descubrimiento se remonta a 1885, gracias al pediatra Theodor Escherich (1857-1911) quien aisló la bacteria de las heces de uno de sus pacientes [1]. Se reproduce con facilidad en ambientes cotidianos para el hombre y animales tales como tierra, agua y plantas, ya que, su temperatura óptima de crecimiento se encuentra en 37°C [2], lo que la hace pertenecer al grupo de los mesófilos. Dicha característica vuelve a este bacilo un ser habitual en los intestinos grueso y delgado, por ello es el microorganismo más relacionado con enfermedades gastrointestinales [3].

Se identifica por ser miembro de la familia *enterobacteriaceae*. Es un bacilo gram negativo, aerobio facultativo que mide 1 x 2 mm; goza de una sola cadena en espiral de ADN, se mueve mediante flagelos peritricos, no produce esporas y forma fimbrias y *pilis* [4]. *E. coli* es fermentadora de lactosa y a partir de glucosa fermenta manitol; además es positiva para indol y descarboxilasa de lisina. También, es motivo de investigación su resistencia a antimicrobianos y la capacidad de producir toxinas [5].

En lo referente a la estimulación magnética *E. coli* ha sido objeto de varios estudios, entre ellos se ha observado la respuesta del crecimiento del bacilo. Según Shin-ichiro *et al.* [6] y Zhang *et al.* [7], *E. coli* fue expuesta a campos magnéticos de intensidad variable, durante el periodo de crecimiento exponencial resultando en muerte bacteriana al presentarse disminución de células, en comparación con el control, por lo que, los investigadores sugieren que la estimulación ocasiona cambios en el metabolismo de la célula y varía el pH del medio Luria Bertani a básico, porque *E. coli* toma los aminoácidos y los transforma en sustancias como el amoníaco. Además, al afectar la proliferación del microorganismo también existe interferencia en la actividad oxidoreductiva y esa variación se incrementa a medida que aumenta el tiempo de exposición [8].

Asimismo, mediante un ensayo, Fojt *et al.* [9] comparan los efectos de la estimulación magnética con la viabilidad del bacilo, mediante conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC). En esta ocasión *E. coli* fue expuesta al campo magnético de 10 mT y 30 minutos en la fase logarítmica, encontrando que el número de unidades disminuye, en equivalencia con el control, de manera exponencial al aumentar dos variables: tiempo de exposición y densidad de flujo magnético. La causa de muerte bacteriana no es clara, pero se presume, se debe a posibles cambios biológicos como es la alteración en el transporte de iones y formación de radicales libres producidos por la estimulación electromagnética. Además, hallaron que dicho efecto empieza desde el momento en que se enciende el campo magnético.

De la misma forma, Wenjin *et al.* [10] encontraron como el número de UFC se ve afectado negativamente cuando incrementa el tiempo de estimulación electromagnética y aumenta la temperatura a la que es realizado este ensayo (25 a 40 °C), produciéndose daño en la superficie de las células implicadas. Sin embargo, una vez *E. coli* ha logrado adaptarse al ambiente hostil, empieza a disminuir la cantidad de bacterias inhibidas. Según Filipic *et al.* [11] *E. coli* responde dependiendo la densidad de flujo magnético, por ejemplo, a 17 mT se afectó el crecimiento de manera negativa, pero a 5 y 50 mT la influencia fue menos pronunciada. Aun así, la estimulación magnética aumentó los niveles de ATP y la actividad enzimática, que se presume es manifestada al luchar *E. coli* por adaptarse al entorno, por la presencia del campo magnético.

En otro caso, Bajpai *et al.* [12] demostraron como utilizar la estimulación magnética añadiendo un sustrato con propiedades de magnetización, la cual afecta el crecimiento de la población bacteriana, pues los resultados revelaron inhibición en un 83 % al pasar 4 h de exposición. No obstante, confirmaron que sin implementar el sustrato también se influye negativamente en la propagación de *E. coli* porque causa daño en su membrana desintegrándola y produciendo liberación de material intracelular [13]. Asimismo, según Kamel *et al.* [14], a 40, 80, 120 y 160 mT se produce disminución de células viables y variaciones en la sensibilidad a ciertos antibióticos.

Debido a los resultados, Belyaeva [15] afirmó que tales efectos dependen directamente de las variables físicas y biológicas que forman parte del entorno que envuelve al microorganismo al ser estimulado magnéticamente. Por tal razón, *E. coli* disminuye la tasa de crecimiento cuando es tratada a 2 mT y con tiempos de exposición de 4,6 y 8 horas, y pasadas 24 horas el número de células bacterianas aumenta, por lo que, los investigadores opinan que el microorganismo posee capacidad de adaptarse al campo magnético [16].

Por otro lado, según la densidad de flujo magnético y el tiempo de exposición, será el efecto en las células expuestas (Tabla 1). Muestra de ello, es que en algunos casos *E. coli* sometida a este tipo de estimulación electromagnética no ha sufrido ningún tipo de transformación en su capacidad de multiplicarse como lo afirman Del Re *et al.* [17]. Y Según Esmekaya *et al.* [18], a 2 mT y 24 horas la exposición al campo no produce cambio en la viabilidad de las células, pero sí afecta su morfología al formarse poros y desintegrar la membrana.

Por el contrario, Nawrotek *et al.* [19] y Fijałkowski *et al.* [20] encontraron que la exposición al campo magnético incrementa la reproducción celular de *E. coli*. Del mismo modo, un estudio realizado por Nascimento *et al.* [21] mostró que la magneto-estimulación puede influir positivamente la multiplicación en presencia de glucosa, al incrementar la entrada del azúcar por la membrana celular, disminuir la fase estacionaria y aumentar el tiempo que *E. coli* permanece en periodo de crecimiento logarítmico.

Es evidente que los resultados cambian dependiendo del campo magnético aplicado. Por tal razón, Babushkina *et al.* [22] aseguran que utilizar frecuencias bajas produce incremento de la proliferación bacteriana. También, Gaafar *et al.* [23] concluyeron que el tiempo de exposición hace variar drásticamente el crecimiento de este bacilo, por lo que, depende en mucho del tiempo como factor clave. Por ello, Rodríguez *et al.* [24], hallaron modificación en el crecimiento bacterial a 0,1 T y 6,5 horas, al manifestarse incremento de 100 % comparándolo con el control no estimulado.

Saccharomyces cerevisiae

El género *Saccharomyces* fue expuesto por primera vez en 1838 por Meyer. *Saccharomyces cerevisiae* es eucariota, anaerobia facultativa, la forma de su célula es elipsoidal de aproximadamente 5 μm de diámetro, posee una temperatura óptima de crecimiento entre 37-40 °C y se reproduce por gemación multilateral, más o menos cada 90 minutos. Además, la levadura puede propagarse como haploide o diploide y sufrir mitosis [25]. Por otra parte, las levaduras han sido de interés investigativo porque son eucariotas unicelulares, fáciles de manipular y con capacidad de reproducirse de manera rápida. Además, *S. cerevisiae* es extensamente estudiada por su uso en alimentos, entre ellos vino y pan, por lo que se considera muy útil en la elaboración de diferentes tipos de víveres que enriquecen las mesas de muchos hogares [26]. Esto es posible, debido a que son utilizadas en sustancias de desecho que provienen de la fermentación alcohólica, tales como etanol y dióxido de carbono, y contribuyen en la producción de comestibles [27].

La estimulación magnética de *S. cerevisiae* ha mostrado resultados variables. Novák *et al.* [28] y Otabe *et al.* [29], encontraron que el campo magnético además de disminuir el número de UFC, retarda el crecimiento de esta levadura cuando elimina parte de ella, mientras otras células, se adaptan al ambiente adverso en el que se encuentran. Por ello, Iwasaka *et al.* [30] afirman que la exposición al campo magnético tiene efecto bactericida. También, Markkanen *et al.* [31] hallan como la radiación UV, junto con este tipo de estimulación electromagnética, tiene mayor capacidad de disminuir la cantidad de células presentes de *S. cerevisiae*, comparándolo con la falta de electro-estimulación.

Por otro lado, según Egami *et al.* [32] el efecto depende del tiempo y la intensidad del campo magnético suministrado. En vista de ello, Anton-Leberre *et al.* [33] afirman que la interacción con el campo magnético a 16 T y 8 horas, no produce cambios en la forma en que se propaga *S. cerevisiae* o su sistema biológico. Al igual, Ruiz *et al.* [34] hallan que el crecimiento de *S. cerevisiae* puede ejecutarse sin ninguna variación. Además, El-Gaddar *et al.* [35] y Ruiz *et al.* [36] concordaron que las células expuestas siguen su ciclo natural.

Motta *et al.* [37] observaron a *S. cerevisiae* antes, durante y después de la estimulación magnética, concluyendo que existe un ligero incremento en la proliferación de esta levadura resultando positivo para su propagación. También, han implementado densidades de campo diferentes, resultando que a 20 mG y 30 segundos de exposición magnética la concentración celular aumento 30% con respecto al control [38]. Según Zapata *et al.* [39], en un estudio desarrollado en Medellín, Colombia, hallaron que el cultivo de *S. cerevisiae* puede superar el efecto inhibitorio del campo magnético y aprovechar mejor el sustrato (miel virgen de caña), por lo que, fue observado un aumento en el volumen celular en un 14%, en comparación con el control, con menor consumo de miel virgen.

Asimismo, mostrando como este tipo de estimulación magnética intensifica el número de individuos, a 25 mT se obtuvo aumento en el crecimiento de *S. cerevisiae* entre 8.7 a 43.1 %, encontrando que el volumen celular depende del tiempo de exposición al campo [40], y con este incremento de la población, mejorar la producción de etanol [41]. En la siguiente tabla se describe la respuesta de *S. cerevisiae* y *E. coli* al ser sometida a diferentes campos magnéticos:

Tabla 1. Resumen de algunos parámetros utilizados para estimular magnéticamente *E. coli* y *S. cerevisiae*.

Autor(es)	M.O	T expo. (minutos)	Intensidad de C M (mT)	Efecto en el crecimiento
[9]		30	10	Inhibición
[17]	<i>E. coli</i>	3480	0,1 - 1	Ningún cambio
[21]		480	0,5	Incremento
[29]		960	9000 -14000	Inhibición
[38]	<i>S. cerevisiae</i>	3	0.025	Incremento

M.O: Microorganismo

T expo: Tiempo de exposición.

CM: Campo Magnético.

mT: miliTeslas.

Fuente: Diferentes Autores

2 Estimulación magnética y capacidad de solubilizar fósforo

Existen bacterias que poseen la capacidad de solubilizar compuestos ricos en fósforo. Estos organismos toman este elemento que no está disponible para las plantas y mediante su actividad fisiológica secretan ácidos orgánicos y enzimas denominadas fosfatasa, lo que produce liberación del fósforo para aprovecharlo por las plantas. Además, estas bacterias tienen la facultad de promover el crecimiento vegetal a través de la síntesis de hormonas reguladoras del crecimiento, como el ácido indolacético, así como de inhibir el crecimiento e incidencia de patógenos de hábito radical, mediante la secreción de sustancias de tipo antibióticas. El estudio sobre este fenómeno ha permitido entender cómo las bacterias pueden superar la estrategia terapéutica mediante intercambio genético, generando así un aumento en la capacidad de solubilizar fósforo [4].

Pseudomonas sp

Pseudomonas sp. es un Bacilo Gram negativo, aerobio, no formador de esporas. Puede presentar de 1.5 a 5 μm de largo y un diámetro de 0.5 a 1 μm . Las especies de este género son móviles, debido a la presencia de 1 o más flagelos polares. Es oxidasa y catalasa positiva, no fermentadores de lactosa. La mayoría de especies del género, no crecen bajo condiciones ácidas (pH 4.5 o menor). El género *Pseudomonas* es bien conocido por su versatilidad metabólica y plasticidad genética. Las especies de *Pseudomonas*, en general, crecen rápidamente y presentan habilidad para metabolizar una gran variedad de sustratos [42].

En lo referente a estimulación magnética, investigadores pasaron a *Pseudomonas sp.* por imanes para estimulación magnética de microorganismos. Se inoculó una muestra de bacterias tratada en el intervalo de 0.01-0.16 T junto a antígenos de *B. cereus* y *P. aeruginosa*. El incremento de la proliferación microbiana ha permitido proponer su uso como ayudante inmunológico para la obtención de sueros policlonales antibacterianos y sugerir su empleo en otros inmunobiológicos [44].

Según Anaya *et al.* [43], al someter *Pseudomonas sp.* a campos magnéticos de 0.015, 0.03 y 0.06 mT y diferentes tiempos de exposición, se evidencia un aumento en el crecimiento bacteriano. Ibraheim *et al.* [45] concluyeron que al someter *P. aeruginosa* a un campo magnético controlado de 4 mT y 50 Hz hubo una disminución en la sensibilidad de las células expuestas a los campos magnéticos. Los resultados indican que la viabilidad de las células tratadas magnéticamente durante 14 horas disminuyó en comparación con las células no expuestas. Se evidenció un incremento en la sensibilidad de las células estudiadas a norfloxacin y la ciprofloxacina. También las células estimuladas a 14 h se hicieron más resistentes a estos antibióticos. Todo esto indica que hay efectos del campo electromagnético utilizado en la acción del medicamento sobre la célula bacteriana a través de la inhibición de la síntesis de proteínas, síntesis de la pared celular, la transcripción de ARN y la replicación de ADN, la síntesis de proteínas y con ello, aumento en la solubilización de fósforo (Tabla 2).

Por otra parte, la fuerza magnética alta en *P. aeruginosa* generó sensibilidad a los antibióticos durante un corto período de tiempo (4-6 horas) y aumentó su resistencia al mismo antibiótico a largo plazo de exposición (18-20 h) mostrando, por lo tanto, efecto positivo en la capacidad del microorganismo de degradar fósforo insoluble. Además, las enzimas bacterianas como TDA (Triptófano desaminasa), GLU (glutamato), ARA (angiotensina), se efectúan por el campo magnético [46].

Segatore *et al.* [16] observaron que los efectos de la exposición a campos magnéticos de baja frecuencia (2 mT; 50 Hz) sobre la tasa de crecimiento y la sensibilidad a los antibióticos de *P. aeruginosa* influyó la tasa de la cepa cuando se incubó en presencia de concentraciones subinhibitorias de amikacina. En particular, a las 4, 6, y 8 h de incubación el número de células disminuyó significativamente en las bacterias expuestas a campos electromagnéticos, y de la misma manera la solubilización de fósforo. Además, a las 24 h de incubación, el porcentaje de células de *Pseudomonas aeruginosa* aumentó en los grupos tratados con respecto al control.

Bacillus sp

El género *Bacillus* pertenece a la familia *Bacillaceae*, e incluye más de 60 especies de bacilos. Son gram positivos, anaerobios o aerobios facultativos, quimioheterótrofos, formadores de endosporas, móviles, rodeados de flagelos peritricos y catalasa positiva. El tamaño de las células bacterianas varía entre 0,5- 2,5 μm x 1,2-10 μm . Se encuentra usualmente en plantas y suelos donde desempeña un papel importante en ciclo del carbono y el nitrógeno [47].

Estimular magnéticamente *Bacillus sp* facilitó la disponibilidad de los nutrientes. Algunas especies del género son capaces de solubilizar el fósforo encontrado en compuestos no asequibles, mejorando por ende, la concentración fosfórica de los suelos. Para la aplicación de esta tecnología, una muestra de *Bacillus sp* es sometida al campo electromagnético de 4 mT con frecuencia de 25 Hz durante 2 h [48] (Tabla 2).

Según Nakamura *et al.* [50], se desarrolló un biosistema implementando un imán superconductor, que puede proporcionar campos magnéticos de 0,5-7 T, donde las reacciones biológicas se llevan a cabo bajo condiciones de temperatura controlada. El crecimiento aeróbico de *B. subtilis* se investigó bajo campos magnéticos homogéneos y no homogéneos.

En la fase estacionaria, el número de células en un campo magnético no homogéneo fue aproximadamente dos veces mayor que la referencia no estimulada, lo que indica que la disminución en el número de células se produjo por el campo magnético de alta densidad. La inhibición de la formación de esporas a partir de las células vegetativas también se observó en un campo magnético, que se refleja en la reducción de la actividad de la fosfatasa alcalina. Transformada genéticamente, *B. subtilis* produce una mayor concentración de un antibiótico lipopéptido surfactina, y por lo tanto aumenta la capacidad de degradar fosfato en la fase estacionaria en un campo magnético no homogéneo, debido al mayor número de células alteradas por la magneto-estimulación.

Por otra parte, Gu *et al.* [49] demostraron que al someter *Bacillus subtilis* a densidades de campos magnéticos altos (5.2 - 6.1T) y frecuencia de 0 -0.03 Hz se inhibió completamente el crecimiento ocasionando la muerte y con ello afectando la acción de *B. subtilis* sobre el fósforo. De la misma forma, estudios realizados por Raichenko *et al.* [51] dieron como resultado, en todos los casos, un retardo en el crecimiento en *Bacillus cereus* durante el período de 1 - 2 días, seguido de la restauración del crecimiento de la población al someterlos a un campo magnético de 30 - 50mT durante 2 a 15 minutos.

Según Jin *et al.* [52] *B. subtilis* fue expuesto a campos magnéticos de 0,085 a 0,092 T durante 12h en agar nutritivo, generando resultados diferentes en cada etapa. El cultivo se comparó con el grupo control del campo geomagnético normal. El valor experimental de densidad óptica de este aerobio fue significativamente más alto que el del control de 3h a 9h. Sin embargo, después de 11 h, no hubo diferencia notable con respecto a los valores de densidad óptica entre los dos grupos. Los resultados mostraron que los campos ferromagnéticos aumentaron significativamente el contenido de oxígeno disuelto en agar nutritivo. En la siguiente tabla se describe la respuesta de de *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp* al ser sometida a diferentes campos magnéticos:

Tabla 2. Resumen de algunos parámetros utilizados para estimular magnéticamente *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp*.

Autor	M.O	T expo. (minutos)	Intensidad de CM (mT)	Efecto
[46]	<i>Pseudomonas sp</i>	840	4	-Disminución de la sensibilidad y degradación de fosfato.
[47]		240-360	0.04, 0.08, 0.12, 0.16	-Se genera sensibilidad antibiótica
[16]		240, 360, 480	2	-Disminución del número de células. Sin cambio en la actividad antibiótica.
[49]	<i>Bacillus sp</i>	240	4	-Facilitan la disponibilidad de nutrientes
[51]		-	7000	-Reducción de la actividad de la fosfatasa alcalina

M.O: Microorganismo

CM: Campo Magnético.

T expo: Tiempo de exposición.

mT: miliTeslas.

Fuente: Diferentes Autores

3 Discusión general

La magneto-estimulación de *E.coli* y *S. cerevisiae* son ejemplos de la influencia que tiene el campo magnético en el crecimiento de las bacterias. El tiempo que permanece el microorganismo bajo el magnetismo, la temperatura y la intensidad de este, son factores importantes, pues de ellos dependerá en gran medida el efecto del campo magnético sobre las células (**Tabla 1**). Cuando el campo magnético produce muerte bacteriana, siempre va acompañado de cambios en el entorno o la estructura del microorganismo produciendo tales efectos. Después de la estimulación magnética, *E. coli* presenta algunas diferencias como: alteración en el transporte de iones debido a que cambia la velocidad de reproducción celular, la variación del metabolismo lo que ocasiona en el medio de cultivo aumento del pH a básico, afectando el crecimiento y con ello, la desintegración de la pared celular, produciendo liberación del material interno porque se forman poros que permiten la salida del mismo.

Por otra parte, en el caso de *S. cerevisiae* se destacan algunos aspectos con respecto a su respuesta a la estimulación electromagnética. La levadura sometida al campo magnético sufrió inhibición del crecimiento celular, aunque tiene la capacidad de adaptarse al ambiente con magnetismo. También es notable que utilizar radiación UV y electromagnetismo para inhibir la proliferación de microorganismos es una alternativa viable, pues presenta resultados más eficaces. Al igual que *E.coli*, la levadura *S. cerevisiae* puede incrementar el volumen celular tras ser sometida a campos magnéticos, notándose aumentos de 8.7 hasta 43.1% lo que es de gran utilidad en la industria alimentaria y en la producción de etanol, pues se conoce a este organismo unicelular como ayudante en la fabricación de diferentes productos. La siguiente tabla refleja la dependencia del crecimiento con otras variables. Aunque en los tres casos *E.coli* fue sometida a 2 mT, el tiempo de exposición electromagnética fue diferente para cada estimulación, afectado el crecimiento de forma distinta.

Tabla 3. *E.coli* sometida a 2 mT.

Autor(es)	Tiempo de exposición (minutos)	Densidad de campo magnético (mT)	Efecto sobre el crecimiento.
[23]	360 -960	2	Inhibición
[18]	1440	2	Ningún cambio
[16]	0 -24	2	Incremento

T expo: Tiempo de exposición. **CM:** Campo Magnético

Fuente: Diferentes Autores.

Por otro lado, el fósforo soluble es un elemento esencial para las plantas ya que restringe la producción de los cultivos, por ello, el suelo se vale del ciclo del P para recircular el nutriente. Existen bacterias solubilizadoras de fosfatos que tienen la capacidad de producir sustancias antibióticas, por lo tanto esas propiedades están relacionadas. Cuando *Pseudomonas sp* es sometida a la estimulación magnética, incrementa su resistencia a los antibióticos, concluyendo que su capacidad de solubilizar fósforo aumenta. También se presenta el caso contrario, disminución de la oposición al agente, notando que todos los resultados van ligados al tiempo y la intensidad de campo magnético suministrado (Tabla 2).

La exposición magnética de colonias del género *Bacillus sp.* ha mostrado el doble de crecimiento comparándolo con el microorganismo no estimulado, produciendo mayor concentración de antibióticos, y en consecuencia, superior capacidad de solubilizar el fósforo para ser asimilado por las plantas, revelando que el campo magnético altera esta propiedad en *Bacillus sp.* Muestra de ello es que la magneto-estimulación produce que el bacilo tenga una fase de muerte más lenta, aunque inhibe la formación de endosporas.

En la industria es posible aprovechar la estimulación magnética de microorganismos. Implementarlo en el sector alimenticio es viable debido a que produce inhibición celular, por lo que los microorganismos no contaminaran los alimentos. Además, utilizarlo para esterilizar artículos que no pueden ser sometidos a altas temperaturas ahorraría parte del dinero invertido en utensilios microbiológicos desechables u otros elementos que deben mantenerse inocuos. Otras ventajas de la técnica es que disminuye el impacto negativo de los productos químicos en el medio ambiente, pues los agentes tóxicos serán utilizados en menor medida al ser remplazados por la electro-estimulación; también los microorganismos estimulados pueden ayudar a la absorción de nutrientes de las plantas para la agroindustria.

Agradecimientos:

Al Profesor Fernando Areiza de la Universidad Tecnológica de Pereira, quien fue el autor de la idea original, la cual se convirtió en monografía.

Referencias bibliograficas

- [1] Johnson, T. J. (2011) Impacts of fecal bacteria on human and animal health-pathogens and virulence genes; *The Fecal Bacteria*, 135 -164. Washington: ASM Press.
- [2] Allauca, V. y Villacres, E. (2005). Desarrollo de la tecnología de elaboración de chocho germinado fresco para aumentar el valor nutritivo de grano. Riobamba (Ecuador): INIAP.
- [3] Koneman, E. W., Allen, S. (2008) *Diagnostico Microbiológico*. 6ª ed. Madrid: Médica Panamericana.
- [4] Sánchez, D. J., Trejo, N. I. (2006) *Evolución y Diversidad de Los Seres Vivos. Biología celular y molecular*, 243. México: Alfil.
- [5] Romero, R. (2007). *Microbiología y parasitología humana: Bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias*. 3ª ed. México: Médica Panamericana S.A.
- [6] Shin-ichiro, H., Yoshimasa, I., Kazumasa, O., Takashi, A., Makoto, S. (2002). Change in broth culture is associated with significant suppression of *Escherichia coli* death under high magnetic field. *Bioelectrochemistry*; 57: 139– 144.
- [7] Zhang, S., Wei, W., Zhang, J., Mao, Y., Liu, S. (2002) Effect of static magnetic field on growth of *Escherichia coli* and relative response model of series piezoelectric quartz crystal. *The Analyst*; 127: 373- 377.
- [8] Strasák, L., Vetterl, V., and Smarda, J. (2002) Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*; *Bioelectrochemistry*. 55: 161-164.

- [9] Fojt, L., Strasák, L., Vetterl, V., Smarda, J. (2004) Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*; *Bioelectrochemistry*; 63: 337- 371
- [10] Wenjin, J., Huimin, H., Aihua, D., and Chunyang, P. (2009) Effects of static magnetic fields on *Escherichia coli*; *Micron*. 40: 894–898
- [11] Filipic, J., Kraigher, B., Tepuš, B., Kokol, V., and Mandic-Mulec, I. (2012) Effects of low-density static magnetic fields on the growth and activities of wastewater bacteria *Escherichia coli* and *Pseudomonas putida*. *Bioresource Technology*; 120: 225- 232
- [12] Bajpai, I., Balani, K., and Basu, B. (2014) Synergistic effect of static magnetic field and HA-Fe₃O₄ magnetic composites on viability of *S. aureus* and *E. coli* bacteria; *Journal of biomedical materials research: Part B; Applied biomaterials*; 102: 524- 532
- [13] Bajpai, I., Saha, N., and Basu, B. (2012) Moderate intensity static magnetic field has bactericidal effect on *E. coli* and *S. epidermidis* on sintered hydroxyapatite; *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*; 100: 1206- 1217.
- [14] Kamel, F. H., Amin, A. M., Salih, K. K., and Qader, S. S. (2013) Comparative Study of the Static Magnetic Field Effects on Growth Rate with Relative Antibiotic Susceptibility in *Escherichia coli*. *Journal of Life Sciences*; 7: 690-694.
- [15] Belyaeva, I. (2011) Toxicity and SOS-response to ELF magnetic fields and nalidixic acid in *E. coli* cells; *Mutation Research*; 722: 56–61.
- [16] Segatore, B., Setacci, D., Bennato, F., Cardino, R., Amicosante, G., and Iorio, R. (2012) Evaluations of the Effects of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields on Growth and Antibiotic Susceptibility of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*; *International Journal of Microbiology*; 2012: 1- 7.
- [17] Del Re, B., Garoia, F., Mesirca, P., Agostini, C., Bersani, F., and Giorgi, G. (2003) Extremely low frequency magnetic fields affect transposition activity in *Escherichia coli*. *Radiat Environ Biophys*. 42: 113-118.
- [18] Esmekaya, MA., Acar, SI., Kiran, F., Canseven, AG., Osmanagaoglu, O., Seyhan, N. (2013) Effects of ELF Magnetic Field in Combination with Iron (III) Chloride (FeCl₃) on Cellular Growth and Surface Morphology of *Escherichia coli* (*E. coli*); *Appl Biochem Biotechnol*. 169:2341–2349.
- [19] Nawrotek, P., Fijałkowski, K., Struk, M., Kordas, M., and Rakoczy, R. (2014) Effects of 50 hz rotating magnetic field on the viability of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Electromagn Biol and Med*. 33: 29-34.
- [20] Fijałkowski, K., Nawrotek, P., Struk, M., Kordas, M., and Rakoczy, R. (2014) Effects of rotating magnetic field exposure on the functional parameters of different species of bacteria; *Electromagn Biol Med*; 1 -8
- [21] Nascimento, L. F., Botura, G. J., and Mota, R. P. (2003) Glucose consume and growth of *E. coli* under electromagnetic field; *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*; 45: 65 -67.

- [22] Babushkina, I. V., Borodulin, V. B., Shmetkova, N. A., Morrison, V. V., Usanov, A. D., Skripal, A. V., and Usanov, D. (2005) The Influence of Alternating Magnetic Field on *Escherichia coli* Bacterial Cells; *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 39: 398-400.
- [23] Gaafar, E. A., Hanafy, M. S., Tohamy, E. Y., and Ibrahim, M. H. (2006) Stimulation and control of *E. coli* by using an extremely low frequency magnetic field. *Romanian J. Biophys*; 16: 283–296.
- [24] Rodríguez, O., Haber, V., Chacón, D., Monte Alegre, and R. (2006) Growth of *Escherichia coli* under Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields; *Applied Biochemistry and Biotechnology*; 134: 155 -163.
- [25] Dickinson, J. R., and Schweizer, M. (2004) *Metabolism and Molecular Physiology of Saccharomyces Cerevisiae*, 2^a ed.; Philadelphia: Grupo Taylor & Francis
- [26] Blackburn, C. (2006) *Food Spoilage Microorganisms*. Abington: Woodhead Publishing.
- [27] Tortora, G. J., Funke, B. R., and Case, C. L. (2007) *Introducción a la microbiología*. 9^a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- [28] Novák, J., Strašák, L., Fojt, L., Slaninová, I., and Vetterl, V. (2007) Effects of low-frequency magnetic fields on the viability of yeast *Saccharomyces cerevisiae*; *Bioelectrochemistry*. 70:115–121.
- [29] Otabe, E. S., Kuroki, S., Nikawa, J., Matsumoto, Y., Ooba, T., Kiso, K., and Hayashi, H. (2009) Yeast cells proliferation on various strong static magnetic fields and temperatures; *Journal of Physics*. 156: 1-8.
- [30] Iwasaka, M., Ikehata, M., Miyakoshic, J., and Ueno, S. (2004) Strong static magnetic field effects on yeast proliferation and distribution; *Bioelectrochemistry*; 65: 59– 68.
- [31] Markkanen, A., Juutilainen, J., Lang, S., Pelkonen, J., Rytömaa, T., and Naarala, J. (2001) Effects of 50 Hz magnetic field on cell cycle kinetics and the colony forming ability of budding yeast exposed to ultraviolet radiation; *Bioelectromagnetics*; 22: 345-350.
- [32] Egami, S., Naruse, Y., Watarai, and H. (2010) Effect of static magnetic fields on the budding of yeast cells; *Bioelectromagnetics*; 31: 622 -629.
- [33] Anton-Leberre, V., Haanappel, E., Marsaud, N., Trouilh, L., Benbadis, L., Boucherie, H., Massou, S., François, J. (2010) Exposure to high static or pulsed magnetic fields does not affect cellular processes in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*; *Bioelectromagnetics*. 31:28-38.
- [34] Ruiz, M. J., Prieto, M. I., Ristori, E., and Martínez, M. (2004) Static and 50 Hz magnetic fields of 0.35 and 2.45 mT have no effect on the growth of *Saccharomyces cerevisiae*; *Bioelectrochemistry*; 64: 151– 155
- [35] El-Gaddar, A., Frénéa-Robin, M., Voyer, D., Aka, H., Haddour, N., and Krähenbühl, L. (2013) Assessment of 0.5 T Static Field Exposure Effect on Yeast and HEK Cells Using Electrorotation; *Biophysical Journal*; 104: 1805- 1811

- [36] Ruiz, M. J., Prieto, M. I., Ristori, E., and Martínez, M. (2010) No evidence of cellular alterations by MilliTesla-level static and 50 Hz magnetic fields on *S. cerevisiae*; *Electromagnetic biology and medicine*; 29: 154-164
- [37] Motta, M. A., Montenegro, E. J., Stamford, T. L., Silva, A. R., and Silva, F. R. (2001) Changes in *Saccharomyces cerevisiae* development induced by magnetic fields; *Biotechnol Prog*; 17: 970-973
- [38] Zapata, J. E., Moreno, G., and Márquez, E. J. (2002). Efectos de los campos magnéticos sobre el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*. *Interciencia*. 10: 544- 550.
- [39] Zapata, J. E., Hoyos, M., and Moreno, G. (2005) Acción de un campo magnético sobre un cultivo aireado de *Saccharomyces cerevisiae*; *Interciencia*; 30: 409- 413
- [40] Oliveira, L., Monte Alegre, R., Garcia, Diego C., and Cuellar, J. (2010) Effects of magnetic fields on biomass and glutathione production by the yeast *Saccharomyces cerevisiae*; *Process Biochemistry*; 45: 1362- 1367
- [41] Deutmeyer, A., Raman, R., Murphy, P., and Pandey, S. (2011) Effect of magnetic field on the fermentation kinetics of *Saccharomyces cerevisiae*; *Advances in Bioscience and Biotechnology*; 2: 207-213
- [42] Ruiz, L. (2007) *Pseudomonas aeruginosa*: aportación al crecimiento de su estructura y al de los mecanismos que contribuyen a su resistencia a los antimicrobianos; Barcelona: Universidad de Barcelona
- [43] Anaya, M., Guzmán, T. M., Acea, C. M. (2011) El campo magnético aplicado a la industria alimentaria; Argentina: Publitec.
- [44] Martínez, C. E., Pérez, I., Morris, H., and Fontainer, R. (2004) Efectos de la solución de sales CM-95 tratada magnéticamente sobre células mononucleares; *Biología Aplicada*; 21, 224- 228
- [45] Ibraheim, M. H., and El-Din, D. B. (2013) 50 Hz Frequency Magnetic Field Effects on *Pseudomonas Aeruginosa* and *Bacillus Subtilis* Bacteria; *IOSR Journal of Applied Physics*; 3: 49-56
- [46] Kamel, F. H., Saeed, C. H., and Qader, S. S. (2013) The static magnetic field effect on *Pseudomonas Aeruginosa*; *DAMA International*; 2: 32-35
- [47] Cuervo, J. P. (2010) Aislamiento y Caracterización de *Bacillus spp* como Fijadores Biológicos de Nitrógeno y Solubilizadores de Fosfatos en Dos Muestras de Biofertilizantes Comerciales. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- [48] Zúñiga, O., Cuero, R., and Peña, J. A (2011) Estimulación con campo electromagnético variable de microorganismos benéficos aplicados a la cachaza para mejorar su uso como biofertilizante. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 9: 150-158.
- [49] Gu, S., Lu, G., Wu, Y., Li, S., and Zhao, K. (2012) A Study of the Interaction between ELF-EMF and Bacteria; *Advances in Electric and Electronics*; 155: 243- 254

- [50] Nakamura, K., Kazumasa, O., Takashi, A., and Makoto, S. (1997) Effect of high magnetic field on the growth of *Bacillus subtilis* measured in a newly developed superconducting magnet biosystem; *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 43: 123–128
- [51] Raichenko, O. I., Mosienko, V. S., Shlyakhovenko, V. O., Derev'yanko, O. V., Yanish, Y. V., and Karnaushenko, O. V. (2012) Combined action of low temperature and magnetic field of different intensities on growth of some bacterial species in vitro; *Health*; 4: 249-252
- [52] Jin, F., Liu, T., Li, F., and El, J. (2009). Effects of Static Magnetic Fields on Aerobes: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*. *Journal of Biomedical Engineering*. 26: 757-760.

Dirección de los autores

Sandra Johana Hernández Jiménez

Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia
sajohernandez@utp.edu.co

Estefanía Lucero Domínguez Toro

Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia
eldominguez@utp.edu.co

Luis Gonzaga Gutiérrez

Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia
luisgon@utp.edu.co