

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Efecto del campo magnético sobre el crecimiento microbiano.

Barona Duque Kerynd¹, Salgado Rivera Juanita¹, Guzmán Jojoa David M¹, Alvarez Aldana Adalucy².

Resumen

Introducción: El crecimiento microbiano es el pilar de investigación más importante en la microbiología, de este se ha encontrado que gran cantidad de ellos poseen un tiempo de generación demasiado largo por tanto se ha encontrado en el uso del Campo magnético (CM) una oportunidad, ya que este influye en el crecimiento microbiano, ya sea inhibiéndolo o estimulándolo, dependiendo de la intensidad y tiempo de la exposición. En esta revisión se dan a conocer los efectos del CM en el crecimiento microbiano tomando como ejemplo diferentes aplicaciones y microorganismos a los cuales han sido sometidos. **Metodología:** Para su cumplimiento, se realizó una búsqueda de la literatura en bases de datos como Redalyc, Nature, Science Direct y NCBI. **Conclusiones:** Evidenciando que El CM presenta efectos inhibitorios, no observables y estimulantes, siendo grandes efectos, postulándose para ser llevado a la industria alimentaria como inhibidor de patógenos, en el campo de la biotecnología para la biorremediación y como también en el área de la medicina para reducir enfermedades o infecciones patógenas.

Palabras Claves

Campo magnético, intensidad, microbiología, inhibición, proliferación

Abstract:

Introduction: Microbial growth is the most important research pillar in microbiology, from this it has been found that many of them have too long a generation time, so an opportunity has been found in the use of the Magnetic Field (CM). since this influences microbial growth, either by inhibiting or stimulating it, depending on the intensity and time of exposure. In this review, the effects of CM on microbial growth are known, taking as an example different applications and microorganisms to which they have been subjected. **Methodology:** For its fulfillment, a literature search was conducted in databases such as Radalyc, Nature, Science Direct and NCBI. **Conclusions:** Evidence that CM presents inhibitory, unobservable and stimulating effects, being great effects, running to be taken to the food industry as a pathogen inhibitor, in the field of biotechnology for bioremediation and also in the area of medicine to reduce diseases or pathogenic infections.

Keywords

Magnetic field, intensity, microbiology, inhibition, proliferation

1 Estudiantes Programa de Microbiología. Universidad Libre Pereira. Semillero Microorganismos de importancia en salud humana y animal “OBVIO MICROBIO”.
2 Profesora investigadora. Programa de Microbiología. Grupo de investigación MICROBIOTEC. Universidad Libre Seccional Pereira. Líder Semillero “OBVIO MICROBIO”.

Introducción

La ciencia cada vez avanza más y consigo, nuevas investigaciones, una de estas no muy conocida, pero si muy antigua es el campo magnético en un uso biológico. El descubrimiento del campo magnético como tal se ubica en plena edad de hierro, definida como "la fuerza ejercida a un objeto provocado por un flujo de electricidad", es decir, por el movimiento de cargas eléctricas. Con el paso del tiempo se involucraron nuevos investigadores y ya en la Edad Media el CM era usado para aliviar el dolor, mejorar la salud, detener los procesos de envejecimientos y otras tantas cosas. Es a partir de esto que se fundamentaron los pilares para indagar mucho más.(1)

Varias han sido las ciencias a parte de la física que se han fijado en el CM, entre estas la microbiología. Los inicios de la investigación del CM en esta ciencia se dan por los problemas que generan la existencia de bacterias multirresistentes a medicamentos, desde allí se vislumbró esta herramienta como nueva alternativa para eliminar patógenos y fue gracias a esto que se descubrió que el efecto del CM en el crecimiento microbiano no es solo uno, este se puede clasificar como "no observable, inhibitorio y estimulante". (2)

Existen 2 tipos de CM que han sido probados en microorganismos, el oscilatorio y el estático. El estático posee una ventaja por encima del oscilatorio, ya que el usuario sabe confiadamente que el campo estático, trata continuamente los microorganismos, además son fáciles de controlar y es posible usarlos sin restricciones, en continuo. Por otro lado, los oscilatorios son más cuestionables en términos de frecuencia del campo, intensidad del campo, diámetro y profundidad de los efectos y están restringidos en el entorno del laboratorio (3)

Los efectos producidos dependen de su densidad, frecuencia y del tiempo de exposición, en especial la intensidad, esta magnitud es medida en Teslas (T) o en Gauss (G). Su importancia está en que a muy alta intensidad puede inhibir el crecimiento microbiano. (2)

El crecimiento microbiano es el estudio más importante que posee la microbiología, la cual ha descrito que este crecimiento posee unas etapas: latencia, exponencial, estacionaria y de muerte. El CM afecta en la segunda etapa, donde el crecimiento es logarítmico, el cual lo puede afectar positivamente, alargando esta etapa y disminuyendo la fase estacionaria o negativamente, influyendo más rápidamente a la fase de muerte. (3)

Este magnetismo ha sido probado tanto en medio de cultivo líquido como también sólido, alterando el ambiente de cada microorganismo, pero muchos de éstos poseen la capacidad de adaptarse al medio para su supervivencia dónde se comienzan a presentar cambios metabólicos, ya que tales microorganismos inician a acelerar su propia producción de enzimas y ATP (4). El CM tiene tal efecto en ellos a causa de sus membranas anisotrópicas la cual es la responsable de las principales funciones del transporte de las membranas.

La inhibición se da a altas intensidades ya que modifican 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 modifica la estructura de la membrana formando poros que permiten la salida del mismo (Hernández, Sandra et al 2015)

Por otro lado la estimulación se da en intensidades extremadamente bajas medidas en militeslas (mT) lo cual provoca cambios en la orientación y dirección de la migración y en la estructura de biomoléculas, en la síntesis de ADN provocando aumento en ella, cambios en las biomembranas, dónde en la biomembrana plasmática altera el flujo de iones .(6) Se sabe que la fase exponencial se da en presencia de nutrientes, por tal motivo para que la tasa de estimulación sea más efectiva debe haber presencia de fuente de carbono, ya que el CM incrementa la entrada de azúcares por la membrana y así acelerando sus rutas metabólicas. (5)

Al acelerar tales procesos por ende se aceleran otros factores que poseen los microorganismos, como la producción de biomasa la cual es el peso anhídrido que producen, ya sea orgánico o inorgánico, tal producción depende de la composición y balance de las fuentes de nutrientes (7) y en éste caso, de la intensidad del campo magnético, pues éste también influye en la naturaleza de los nutrientes, de su medio de cultivo puesto que puede activar las partículas coloidales de éste, lo cual remueve parte de Ca unida a los fosfolípidos, provocando mayor permeabilidad de la membrana plasmática de los microorganismos.(8)

Han sido varias las teorías que han respaldado tales efectos de los CM en los microorganismos, ya que aún no se comprende completamente los efectos bioquímicos de tal efecto, pero todos coinciden

que la membrana plasmática es el eje principal para sus efectos y que la “resonancia del ciclotrón” es uno de los responsables de las alteraciones producidas por el magnetismo, puesto que provoca la aceleración de partículas cargadas. (8) El objetivo de esta revisión fue determinar los efectos causados por el Campo magnético en los microorganismos y dar a conocer las alteraciones a nivel bioquímico que causa.

Metodología

Se desarrolló búsqueda de literatura en plataformas como Scielo, Redalyc, Science Direct, Nature y NCBI, de las cuales fueron tomadas la mayoría de artículos utilizados para el presente artículo.

Fue utilizado en las búsquedas palabras claves como “Campo magnético”, “Magnetismo en microorganismos”, “Magnetic Field AND microorganisms” y “Magnetic Field AND *H.pylori*”, utilizando operadores booleanos como “AND” y adicionalmente se usó la plataforma MeSH para la selección de palabras claves del presente artículo. Se seleccionaron artículos donde evaluaban los efectos del CM sobre diferentes microorganismos y que revelaran las intensidades específicas a la que fueron sometidos, de los microorganismos se enfocó en *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Chlorella vulgaris* y se realizó búsqueda para determinar si *Helicobacter pylori* ya había sido sometido al campo magnético, de lo cual en los últimos años su aplicación ha avanzado.

Resultados

Tabla 1. Literatura relevante

Artículo	Autores	Año	Hallazgo
Cultivo de <i>Chlorella vulgaris</i> sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético	Liliana Gómez Luna , Inaudis Álvarez , Roger Rivero	2011	Un CM magnético de 0,03T permite el aumento de crecimiento microbiano, mayor biomasa y mayor carotenos en fase estacionaria de <i>C.vulgaris</i>
Influencia del campo magnético sobre el crecimiento de microorganismos patógenos ambientales aislados en el Archivo Nacional de la República de Cuba	Matilde Anaya , Eduardo Barbará , Jesús Padrón, Sofía F. Borrego , Oderlaise Valdés , Alian Molina	2015	El aumento de crecimiento de <i>S.cerevisiae</i> puede ser estimulado por CM de intensidades bajas y además estimula el aumento de su biomasa en intensidades de 3mT
Influencia de campos magnéticos en el crecimiento de <i>E.coli</i> y <i>S.cerevisiae</i> y la capacidad de solubilizar fósforo en <i>Pseudomonas sp</i> y <i>Bacillus sp</i> de uso industrial	Sandra Johana Hernández Jiménez, Estefanía Lucero Domínguez Toro, Luis Gonzaga Gutiérrez	2014	<i>E.coli</i> se puede adaptar a los medios alterados por los campos magnéticos acelerando su metabolismo.
<i>Analyzing effects of ELF electromagnetic fields on removing bacterial biofilm</i>	Turhan Karagulera, Hasan Kahramanb, Melek Tuter	2017	El CM afecta la solubilidad de las partículas y/o la hidratación de los microorganismos en los biofilms
<i>Overexpression of spoT gene in coccoid forms of clinical Helicobacter pylori isolates.</i>	Farkhondeh Poursina, Jamshid Fagri, Nasrin Mirzaei, ajieh Ghasemian Safaei	2018	En biofilms se presentó una disminución de coccoides y muerte de espirales que al morir transmiten un compuesto tóxico para las demás viables, logrando una disminución de biomasa
<i>Understanding the dimorphic lifestyles of human gastric pathogen Helicobacter pylori using the SWATH-based proteomics approach</i>	Mun Fai Loke, Chow Goon Ng, Yeespana Vilashni, Justin Lim & Bow Ho	2016	El CM afecta el gen <i>amiA</i> , influyente en el cambio de estado de espiral a coco.

Discusión

- Campo Magnético

El campo magnético se define como una radiación no ionizante, para su respectiva explicación se basa en la energía electromagnética más conocida que es la luz del sol, es decir “La frecuencia de la luz solar” (luz visible) siendo la línea divisoria de la radiación ionizante y no ionizante, estando esta última por debajo de ella, clasificada como “más benigna” y con frecuencias más bajas (figura 1). (9)

La línea de investigación del efecto del CM en diferentes microorganismos, en los últimos años ha demostrado ser exponencial, puesto que se ha determinado que dicha aplicación posee efecto en la viabilidad y en el crecimiento microbiológico, siendo variables dependientes de la intensidad del campo magnético, el tiempo de exposición y el tipo de microorganismo (10) siendo objeto de estudio de la “Magnetobiología” como ciencia (2)

El CM se puede aplicar en sistemas biológicos de tipo estático u oscilante, es decir, un campo magnético que varía según la frecuencia de la corriente eléctrica que lo induce (en Hz)(2). Las aplicaciones de este tipo suelen usar frecuencias extremadamente bajas (ELF) y de muy baja frecuencias (VLF) siendo de mayor frecuencia que los estáticos (> 0 Hz hasta los 30 kHz). Clasificándose: la ELF con un intervalo de frecuencia de 0 a 300 Hz y la VLF en el intervalo de 300 Hz a 30 kHz.(9)

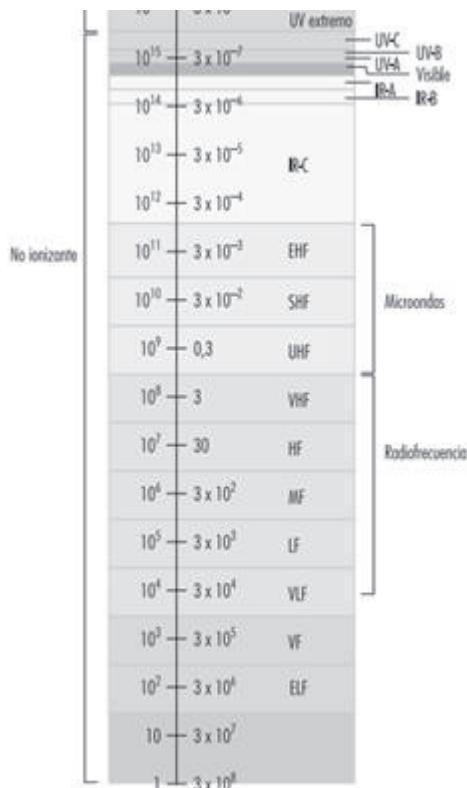


Figura 1. Espectro electromagnético no ionizante. Tomada de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/49.pdf>.

- Efectos Causados Por El Cm Sobre Los Microorganismos**

Se ha evidenciado que el CM pueden tener efectos sobre la velocidad de reacciones bioquímicas, en las condiciones fisiológicas de los microorganismos, en su tasa de crecimiento e incluso su muerte. (11)

Existen diferentes teorías que explican tal suceso como lo es el ion ciclotrón, el cual establece que: “cualquier ion que entra en un campo magnético a una determinada velocidad, experimenta una fuerza que depende de esa velocidad y de la inten-

sidad el campo” donde la trayectoria del ion(girofrecuencia) depende también de aquella fuerza, ya sea una trayectoria circular o espiral, siendo además dependiente del tipo de carga y la masa del ion. Según esta teoría, la resonancia del ciclotrón se da cuando la girofrecuencia del ion se iguala a la girofrecuencia del CM, y la energía se transfiere selectivamente desde el campo hacia los iones. Por tanto, su consecuencia son las modificaciones metabólicas (12)

Se ha demostrado que el CM posee efecto directo con la célula (13), puesto que influye como se mencionó anteriormente en el gradiente de voltaje de los fluidos celulares afectando las funciones fisiológicas de la célula. (14)

Como una de las primeras consecuencias es el efecto sobre sus membranas, ya que se altera su permeabilidad, fluidez y el mantenimiento de su integridad, causando un cambio en sus componentes lipídicos. Además, estudios demuestran que afecta su potencial, observándose por ejemplo en bacterias gram+ como *Staphylococcus aureus* hiperpolarización mientras que *Escherichia coli* despolarización, afectando por tanto el transporte de iones. Donde tales efectos se traducen a señales que el microorganismo las toma como factores de estrés, alterando su carga superficial, donde la teoría de Chapman interpreta como “las alteraciones en la carga de la superficie afectan el potencial de la membrana y cuando la carga de la superficie se vuelve más negativa, esto causa una disminución en la magnitud del potencial de la membrana y viceversa” causando además la proliferación de proteínas de choque térmico, haciendo que afecte en el crecimiento y morfología.(13)

Tales efectos también han sido reportados mediante el diagnóstico de alteraciones

genéticas en los microorganismos puesto que se postula que los efectos magnetobiológicos del campo magnético, exactamente en frecuencias extremadamente bajas, de 50 o 60 Hz, sobre los microorganismos, es causado por la genotoxicidad (cambios irreversibles del ADN) que este provoca. (2) Donde, se ha visto que intracelularmente se ven alterados los microorganismos, especialmente en la cromatina, en los niveles de proteínas y mRNA, por tanto, la causa que define el efecto que surgirá será el ADN. Por ejemplo en *E.coli* a altas frecuencias su ADN se puede degradar o en bajas aumentan los mRNA y consigo surgen más cantidad de genes que ayudan a aumentar su virulencia y capacidad de sobrevivir, donde la importancia radica en el componente espacialtemporal del campo aplicado(10)

Aunque, no se puede generalizar que el CM es más inhibitorio cuanto mayor es su frecuencia e intensidad y tiempo de exposición, como pasa con el tratamiento térmico. Este efecto propone la existencia del valor de frecuencia o intensidad “ventana” que debe ser encontrado según sea el objetivo deseado. Por tanto, no existe una relación directa entre los parámetros característicos del CM y su efecto, y que pueden encontrarse además microorganismos “magnetoresistentes”. (12)

- **Efectos Causados Por El Cm Sobre Los Microorganismos Resistentes A Antibioticos**

Existen diferentes rutas que han tomado los microorganismos para lograr su supervivencia, un claro ejemplo es hacia los antibióticos, siendo una problemática de salud pública(15), por tanto como se ha evidenciado anteriormente el CM puede tener efecto inhibitorio, siendo posiblemente una alternativa para suplir la función de los antibióticos, pero, ¿qué pasa en el momento

de ambos actuar, CM y antibióticos? Pues Salmen, SH et al (2018) realizó una investigación con 3 microorganismos: *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 25923), and *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), pero en comparación con sus respectivos controles el CM de 900 MHz y 1800 MHz , no produjo una zona de inhibición significativa , habiendo solo una excepción que fue *S.aureus* en Amoxicilina, los cuales aumentaron su sensibilidad.(16) De igual manera, los resultados aun presentan controversia, ya que otros investigadores Grossmann, et al. Expusieron a *E.coli* y *S.aureus* a un CM de 0.5T4T durante 30-120min y no obtuvieron efectos significativos sobre el crecimiento y la actividad bioquímica de los microorganismos, como los antibióticos. (17) Son varios los resultados, pero se puede afirmar que el CM es un fuerte competente en la medicina, demostrándose por ejemplo en el caso de los animales de laboratorio con huesos fracturados infectados, que el CM aumentó el efecto de los antibióticos con la reducción del edema postraumático y la aceleración de la curación de la fractura.(18)(19)

Por otro lado, una manera adicional de resistencia que se postula son los biofilms o también llamados biopelículas, son consorcios microbianos encontrados en una matriz de producción propia de sustancias poliméricas extracelulares (20). Don el CM frente a estas "comunidades" y como lo reportó Karaguler,T et al (2017) en su experimentación frente al biofilm *Pseudomonas aeruginosa* y *S. epidermidis* bacterial, se determinó que si hay efecto, presentándose en un 50% frente a los controles la disminución de biofilms, por motivo de la influencia del CM de las cargas eléctricas colocadas en la membrana celular, interacción que produce un comportamiento celular distorsionado, debido a cambios en la estructura de

la matriz exopolimérica, afectando su capacidad de adherirse a superficies.(21) Otra evidencia es la realizada por Mercier, A et al (2016) quien lo utilizó para probar la capacidad del CM en los biofilms en un reactor de agua y se evidencia que afectó la composición de la comunidad planctónica y sésil. Donde especularon que el CM "afectó la solubilidad de las partículas y/o la hidratación de los microorganismos", controlando la formación de biopelículas en agua natural. (22)

- **Usos Del Campo Magnético A Nivel Macro**

Campo Magnético En Alimentos

Como unas de las principales aplicaciones del CM en alimentos está dirigida a la calidad del producto, tanto para su inocuidad como para sus características bromatológicas. Entre la inocuidad se ha señalado a éste efecto como "una especie de la última tecnología de esterilización no térmica", atrayendo un mejor impacto debido a su alta tasa de esterilización a patógenos y menos impacto en la nutrición y el sabor de los alimentos , donde su razón ha sido descrita por el fuerte campo magnético que acelera las partículas cargadas que a su vez golpea a otras moléculas, llevando a la descomposición y electrólisis de las moléculas para convertirse en aniones y cationes. Estos iones pasan a través de la membrana celular y actúan sobre sustancias intracelulares para inhibir el crecimiento de microorganismos. Llevando a una alteración en sus parámetros fisiológicos, incluidos el incremento, la transcripción, la síntesis y la secreción de factores de crecimiento, etc(23)

Por ejemplo, el CM ha sido evaluado en jugos vegetales contra *E. coli* O157: H7 donde en jugos de pepino, lechuga,

zanahoria y tomate mostraron resultados significantes de inhibición con respecto al control a una intensidad de 8T, aplicado 3 veces. Por ejemplo en pepino hubo disminución en crecimiento de 1.36 logs, 1.45 logs y 2.09 logs , de cada día respectivamente, a causa de los efectos

provocados en cada exposición como se puede ver en la figura 2. Donde también se comprobó que sus características organolépticas no fueron alteradas, siendo un método seguro para la aplicación en la industria alimentaria. (23)

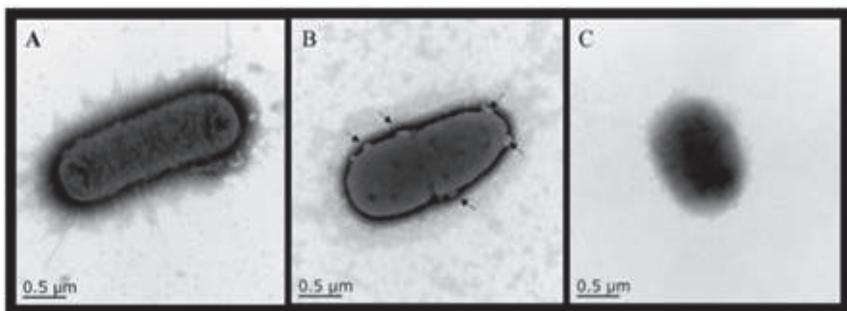


Figura 2. *E. coli* O157: H7 expuesta a 8T tres veces. Tomada de: (23)

Por otro lado como se ha dicho anteriormente, a intensidades bajas, el efecto puede ser opuesto, es decir estimular el crecimiento y metabolismo de los microorganismos, es aquí donde el CM es aplicado para mejorar la calidad organoléptica de un producto, por ejemplo una de los argumentos que investigadores toman para el uso de esta tecnología, es que el CM logra activar complejos enzimáticos que los MOs por si solos no lo hacen, produciendo metabolitos secundarios que ayudan a mejorar la calidad del producto. Como es el caso de las levaduras, donde se busca modificar bajo normativas a estos MOs para mejorar la fermentación. Evidenciándose que la acción repetida de la exposición magnética acelera los procesos metabólicos al aplicar TM sobre los microorganismos de interés fermentativo inoculados en el medio, con recirculación del mismo (en sistemas a flujos) o repitiendo la dosis en cortos tiempos (en volúmenes estáticos). Además también se conoce que el CM puede estimular positivamente la turbidez del vino causado posiblemente

por su acción sobre las partículas cargadas que están en suspensión.(2)

Campo Magnético Y Biorremediación

Se han llevado a cabo aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales en sistemas de lodos activados, puesto que proporciona una mejora en la separación sólidolíquido durante la sedimentación. También se evidencia aumento de metabolitos secundarios en los MOs como son los ácidos grasos insaturados que ayudan a la producción de la actividad deshidrogenasa y otros compuestos, que a su vez ayuda al aumento en la tasa de eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). En un reactor de lodos activados aeróbicos ayuda a fomentar la biomasa en más de un 14%, por otra parte, se ha logrado también la aclimatación de lodos y la eliminación de DQO bajo el efecto de un campo magnético de hasta 20 mT en comparación con un sistema de control y la exposición periódica a una densidad de flujo magnético de 40 mT aumentó la nitrificación. (24)

También se ha estudiado en la biorremediación de diferentes metales, como la presentación del efecto magnetostáticos a diferentes intensidades (2.4 mT, 6 mT, 10 mT, 17.4 mT) donde en tratamiento de aguas residuales que habían sido contaminadas por Cr (VI), y en particular en *Brevibacillus sp.* y *Bacillus sp.* con habilidades reductoras de Cr, se evidenció en todos los casos, un aumento en la cantidad de microorganismos en un 3265%, donde la reducción máxima de Cr (VI) fue a 6 mT.(25)

Por parte de la exposición en suelos, se evidenció que a una exposición de 0.15-0.35 T tuvo una tasa de respiración más alta en comparación con el control y también se ha demostrado la biorremediación de metales en suelos contaminados a causa de proliferación de MOs biorremediadores, esto debido a que el CM aumenta la tasa de biodegradación, como también se presentó en *Microbacterium maritypicum*, donde a 200mT se logró duplicar la biodegradación del benzo (a) pireno.(26) Además, la unión de diferentes tecnologías con el CM han sido influyentes, como lo son los biofiltros para degradar el tricloroetileno, siendo expuestos a campos magnetostáticos de 30-60 mT registraron más eliminación (+ 2.4%) que el control, debido al aumento de *Acinetobacter*, *Chryseobacterium* y *Acidovorax* en los casos expuestos.(27)

Así que hasta el momento han sido un gran número de MOs en los cuales se han establecido sus respectivos efectos, entre los mencionados anteriormente también se pueden destacar: *Chlorella vulgaris*, una microalga con efecto estimulante 5mT-31mT y un efecto inhibitorio de 45mT-200mT(28), *Geobacter spp.* Con estimulación a 0,005mT, *Salmonella typhimurium* a 14,6mT sin efecto, un estudio en

un consorcio de *E. coli*, *L. adecarboxylata*, *S. aureus*, *P. denitrificans*, *S. paucimobilis*, *R. erythropolis* a 10mT por 24min posee un efecto de inhibición, en *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Serratia marcescens* y *Escherichia coli* a 2.1–5.1 µT por 12h se presenta aumento de la tasa de crecimiento de *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, reducción del crecimiento de *Serratia marcescens*(24)

También han sido aplicados para mejorar la calidad de lodos activados, para el tratamiento de aguas residuales(29), los cuales poseen microorganismos como bacterias, hongos, protozoos y algas. Siendo las bacterias las más importantes en el proceso del lodo activado, puesto que se encargan de la descomposición de la materia orgánica del efluente y con sus diferentes actividades bioquímicas permite metabolizar una gran parte de los compuestos orgánicos que están presentes en las aguas residuales.(30) y gracias al CM se ha evidenciado el aumento de las poblaciones deseadas, como bacterias y hongos, hasta un 50% de aumento en comparación con los controles a una intensidad de 10mT en 60min, en su mayoría géneros como *Bacillus spp.* y *Candida spp*, siendo grandes degradantes (31)

Campo Magnético Y Biorreactores

Actualmente las industrias buscan cada vez más mejorar cada uno de sus procesos, como es la suspensión de células en sus biorreactores, ya que consigo trae ventajas como incluir la capacidad de trabajar con una alta concentración de biomasa(32), usar operación de flujo continuo(33) y obtener un producto de alto rendimiento (34). El problema fue detectado primeramente, el cual era el desarrollo de grandes burbujas que lograban desaprovechar el sustrato dispuesto y muy baja

transferencia de masa, donde con ayuda del CM se lograba evitar y mejorar la acción de producción de metabolitos de los microorganismos.(35). Lo cual ha sido logrado por ejemplo con *Rhizopus oryzae* para la producción de biodiesel donde aumentó una recuperación de este producto de un 18.7% a 31.8% con campo magnético(36) y también ha sido logrado para la producción de etanol a partir de *Saccharomyces cerevisiae*.(37)

Por otra parte, también se ha logrado facilitar la recuperación de biomasa a partir de microalgas con exposición de CM externo del biorreactor, especialmente para *Chlorella vulgaris*, utilizando también nanopartículas en el medio, donde, en primera medida se extraerían con ayuda de las partículas las microalgas y posteriormente se desprenderían de ellas, para obtener finalmente el producto aislado. (38)

- Efecto Del Cm Sobre Diferentes Microorganismos

Escherichia Coli

En lo referente al campo magnético esta enterobacteria posee efecto en su crecimiento tanto inhibitorio, no observable y

Tabla 2. Efectos del CM según la intensidad y tiempo de exposición en *E.coli*. Tomada

M.O	T expo. (minutos)	Intensidad de CM (mT)	Efecto en el crecimiento
<i>E. coli</i>	30	10	Inhibición
	3480	0,1 - 1	Ningún cambio
	480	0,5	Incremento

Saccharomyces cerevisiae

Este microorganismo más conocido como levadura gran influencia para la industria también ha sido sometido a diferentes intensidades de CM, donde en intensidades extremadamente bajas posee efecto es-

como estimulante. El efecto negativo fue comprobado a diferentes densidades altas del magnetismo medidas en mT como lo afirma Hernandez et al (5) donde varios investigadores han expuesto a tal microorganismos a intensidades de 10, 17, 40, 80, 120 y 160mT donde en cada uno se vio reflejado la disminución de células viables, pero según evidencias todo depende directamente de las variables físicas y biológicas, como el tiempo, puesto que *E.coli* posee la capacidad de adaptarse a los cambios provocados por el CM en diferentes intensidades. (5)

Por otro lado Nawrottek et al. (8) comprueba que *E.coli* incrementa su crecimiento en intensidades extremadamente bajas. (24) Como se muestra en la tabla 2, el efecto dependen de la intensidad y tiempo del CM, donde otros investigadores también ponen en juego esto, pues comprobó un incremento de crecimiento de un 100% siendo comparado con el control sin exposición a intensidades de 0,1T en 6,5 horas. (5)

timulante en su crecimiento como lo afirma Anaya et al (2) puesto que comprobó que a intensidades de 3mT se estimula el crecimiento, como se revela en la figura 3 Obtenida de sus resultados. (2).

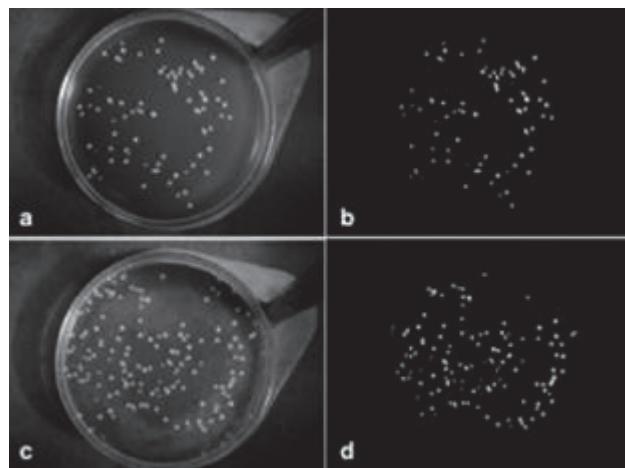


Figura 3. Estimulación de crecimiento de *S.cerevisiae* en intensidad de 3mT por 2 horas: a y b controles, c y d: tratadas por magnetismo. Tomada de(2)

Por lo contrario, según lo establecido en el artículo “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” Hernandez et al.(5) éste microorganismo presenta inhibición en intensidades entre 9000 y 14000 mT. Éste también a la hora de someterlo a una intensidad extremadamente baja de 0,025mT se presencia el aumento de biomasa. Como efectos no observables se han obtenido con intensidades de 16T durante 8 horas. (5)

microalgas

Con lo referente a las microalgas, *Chlorella vulgaris* ha sido de gran importancia para biotecnólogos, pero a la necesidad de obtener gran cantidad de éste a un nivel industrial, han buscado nuevas alternativas para obtenerlo, entre estas, está el campo magnético, como lo afirma Wang et al.(2006) el cual comprueba que para cada especie de *Chlorella* hay un rango de estimulación y de inhibición como se muestra en la tabla 3.(28)

Tabla 3. Rangos de inhibición y estimulación del CM en *Chlorella*. Tomada de:(28)

	Estimular	Inhibir
Mínimo	5 mT	45mT
Máximo	32 mT	200mT

En el artículo “Cultivo de *Chlorella vulgaris* sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético”(28) sometieron a tal microalga a una intensidad de 0,3T obteniendo gran estimulación en su crecimiento comparado con el control, tales efectos también fueron comparados con

diferentes medios de cultivo, donde obtuvieron que el medio de cultivo de soja fue el mejor para obtener en menos cantidad de tiempo mayor cantidad celular, dónde el conteo fue realizado por medio de una cámara Neubauer mejorada con ayuda de un microscopio óptico de campo claro.(28)

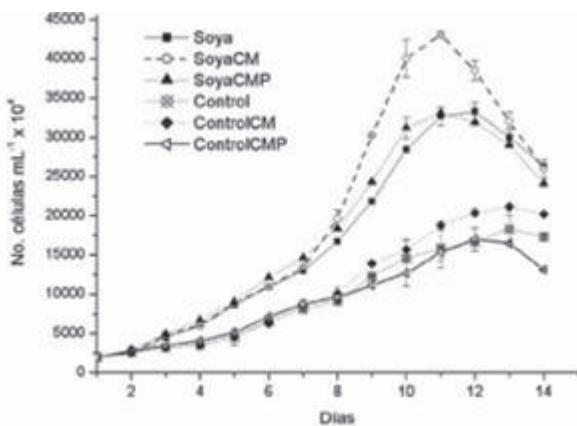


Figura 4. Resultados del CM 0.03Mt en *C.vulgaris*, con respecto al número de células. CMP: campo magnético permanente CM: campo magnético por 1h. Tomada de:(28)

A parte de estimular el crecimiento también estimula la cantidad de biomasa como se puede ver en la gráfica 2 donde se aumenta la cantidad de lípidos, carbohidra-

tos y proteínas, evaluándose en un campo magnético permanente, un CM expuesto a una hora y uno de control.(8)

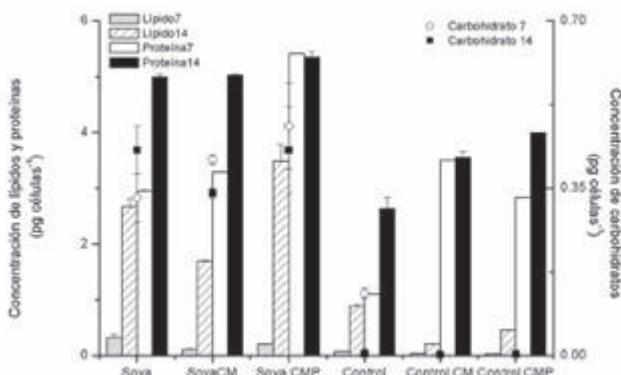


Figura 5. Resultados de la cantidad de lípidos, carbohidratos y proteínas después de la exposición magnética en *C.vulgaris*. Tomada de(28)

Así que el CM magnético en microalgas como *C.vulgaris* puede estimular su crecimiento, la cantidad de biomasa pero posee la capacidad de disminuir carotenos, es decir la clorofila, pero éste último sucede en fase exponencial puesto que en fase estacionaria si se logra un determinado aumento.(28)

Helicobacter pylori

En *H.pylori* los estudios cada vez aumentan más, pues su comienzo con el CM se sitúa para el control del efecto de gastritis crónica, donde dónde tal infección ha sido tratada por magnetismo como lo afirma Domínguez et al (2012) revelando grandes mejoras en los pacientes.

Posteriormente, se sabe que *H. pylori* puede presentar 2 tipos de formas resistentes, como es el caso de su estado cocoide (viable pero no cultivable), caracterizándose por producir un peptidoglucano similar a los de la esporulación de *Bacillus sphaericus* (39) y poder escapar detección por el sistema inmune(40) y otra de sus formas de supervivencia es su capacidad de formar biofilms, donde gracias a la literatura e investigadores ya se reportó efectos del CM para este caso, donde en el caso de biofilms se presentó una disminución de coccoides y muerte de morfología en espiral que al morir transmiten un compuesto tóxico para las demás viables, logrando una disminución de biomasa.(41) Otra razón por la cual el CM afecta el estado coco, es por la alteración de la transcripción de genes, pues se ha visto que a exposición del CM el gen amiA, influyente en el cambio de estado de espiral a coco, se ha visto afectado. (42) Donde se dice que ambas morfologías pueden habitar en las células humanas excepto en células epiteliales gástricas ya que: "La forma espiral tiende a inducir proteínas proapoptóticas más altas, mientras que la segunda forma tiene la inclinación de inducir proteínas antiapoptóticas más altas que iluminaron el papel de las formas coccoides en la carcinogénesis gástrica" (42)

La mayoría de investigaciones con referente a *H.pylori* ha sido sobre sus biofilms, como se pudo observar anteriormente y eso es a causa de reconocer que el CM da como resultado diferentes efectos,(43) puesto que en general, en los organismos procariotas la exposición causa cambios fenotípicos y transcripcionales en las células libres y afectando la adherencia de las mismas en biofilms(44)(45)(46) Como se puede observar en la figura 5. El CM influye especialmente en la morfología de *H.pylori*, donde se retuvo la forma en espiral en comparación con la cocoide, a causa de la falta de expresión del gen amiA, involucrado en la transición de la morfología espiral a cocoide *H. pylori*, teniendo menor cantidad de morfologías coccoides, puesto que los esperiales son sensibles a la exposición y facilitan el daño en su membrana y permiten la penetración yoduro de propidio fluorescente que da como resultado células espirales muertas rojas como se pueden observar en la Figura 5. Por tanto también en esta exposición se evidencia una disminución en la biomasa total como también en la proteína encargada de la formación de biofilms(45) en consecuencia de la afectación en la biocomunicación microbiana(47) y en la densidad celular bacteriana facilitando la comunicación célula-célula dependiente del CM (48) .

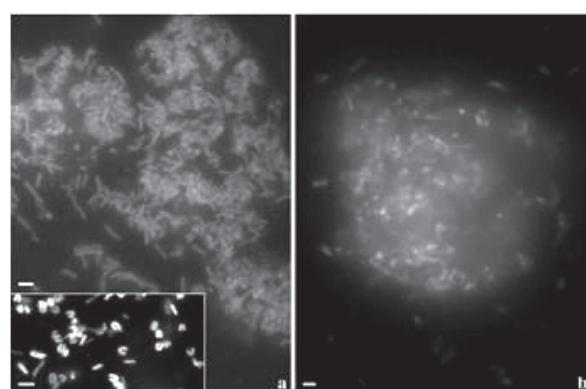


Figura 5 . Biofilms de *H.pylori* expuestos a CM. A. biofilms en formación. B. Biofilm maduro. Tomada de:(49)

Ya saliendo de ensayos de laboratorio, actualmente se evidencia el uso de magnetismo a nivel de tratamientos con ayuda de micropartículas magnéticas de hundimiento específicas para el estómago (SMMP) (50) con el fin de proporcionar un mejor tratamiento para las infecciones por *H. pylori*, los cuales se suministran con fármacos como amoxicilina, mostrando una erradicación significativamente mayor de *H. pylori* en comparación con el fármaco libre. Es una especie de magnetoterapia pues también se logra usar con un imán externo que ayuda a prologar el tiempo de estas partículas en el estómago.(51) Igualmente existe otras partículas como las poliméricas magnéticas, logrando éxito para la terapia antimicrobiana gástrica. (52)

Conclusión:

El campo magnético posee grandes efectos como se pudo evidenciar anteriormente, el cual puede ser llevado a la industria alimentaria como inhibidor de patógenos, en el campo de la biotecnología para bio-remediación y aumento de producto y como también en el área de la medicina para reducir enfermedades o infecciones patógenas. El efecto del campo magnético en los microorganismos aun es un pilar que poco se ha tratado, pero ya hay suficientes testimonios por parte de investigadores para confirmar que altera el crecimiento microbiano, desde el fenotipo hasta en su nivel transcripcional, pero aún se necesita de gran cantidad de investigaciones, puesto que el objetivo es reconocer la intensidad del CM adecuado para la inhibición o proliferación en los diferentes microorganismos.

Referencias Bibliográficas

1. Fallis A. comparación antimicrobiana de un campo pulsante e imanes comunes sobre cepas bacterianas. J Chem Inf Model. 2013;53(9):1689–99.
2. Anaya M, Barbará E, Padrón J, Borrero SF, Valdés O, Molina A. Influencia del campo magnético sobre el crecimiento de microorganismos patógenos ambientales aislados en el Archivo Nacional de la República de Cuba. Biomedica. 2015;35(3):325–36.
3. Brkovic S, Postic S, Ilic D. Influence of the magnetic field on microorganisms in the oral cavity. J Appl Oral Sci. 2015;23(2):179–86.
4. Bello Gutiérrez J. Ciencia bromatológica Bello. 1st ed. 2000. 459 p.
5. HERNANDEZ JIMENEZ, Sandra Johana; DOMINGUEZ TORO EL, GONZAGA GUTIERREZ L. 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. Rev Ciencias. 2015;19:109–21.
6. Zapata JE, Moreno G, Márquez EJ. EFECTOS DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS SOBRE EL CRECIMIENTO DE *Saccharomyces cerevisiae*. 2002.
7. EspinozaBretado, R.; Návar J. BIO-MASS PRODUCTION, DIVERSITY AND ECOLOGY OF THE TREE SPECIES IN A PRODUCTIVITY GRADIENT IN THE TAMAULIPAN THORNSCRUB OF NORTHEASTERN OF MEXICO SUMMARY. Vol. 11, Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2005.
8. Nawrotek P, Fijałkowski K, Struk M, Kordas M, Rakoczy R. Effects of 50 Hz rotating magnetic field on the viability of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Electromagn Biol Med. 2014;33(1):29–34.
9. Knave B. Radiaciones no ionizantes.

- In: CAMPOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS Y CONSECUENCIAS PARA LA SALUD. p. 1–35.
10. Ben Mouhoub R, El May A, Cheraief I, Landoulsi A. Influence of static magnetic field exposure on fatty acid composition in *Salmonella Hadar*. *Microb Pathog*. 2017 Jul 1;108:13–20.
 11. Carbonell MV, Flórez M, Martínez E, Álvarez J. Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. *Intropica*. 2017 Sep 14;
 12. Anaya M. TRATAMIENTO MAGNÉTICO APLICADO A LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. Cienc y Tecnol Aliment. 2011;
 13. Oncul S, Cuce EM, Aksu B, Inhan Garip A. Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on bacterial membrane. *Int J Radiat Biol*. 2016 Jan 2;92(1):42–9.
 14. Tessaro LWE, Murugan NJ, Persinger MA. Bacterial growth rates are influenced by cellular characteristics of individual species when immersed in electromagnetic fields. *Microbiol Res*. 2015 Mar 1;172:26–33.
 15. Ángel Serra Valdés M, Cabrera E, Habana Cuba maserra L. La resistencia microbiana en el contexto actual y la importancia del conocimiento y aplicación en la política antimicrobiana Microbial resistance in the current context and the importance of knowledge and application in antimicrobial policy. CIENCIAS EPIDEMIOLÓGICAS Y SALUBRIS-TAS [Internet]. 2017 [cited 2019 Nov 12];16(3):402–19. Available from: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/2013>
 16. Salmen SH, Alharbi SA, Faden AA, Wainwright M. Evaluation of effect of high frequency electromagnetic field on growth and antibiotic sensitivity of bacteria. *Saudi J Biol Sci*. 2018 Jan 1;25(1):105–10.
 17. Morrow AC, Dunstan RH, King B V., Roberts TK. Metabolic effects of static magnetic fields on *Streptococcus pyogenes*. *Bioelectromagnetics*. 2007 Sep;28(6):439–45.
 18. Hsu SH, Chang JC. The static magnetic field accelerates the osteogenic differentiation and mineralization of dental pulp cells. *Cytotechnology*. 2010 Apr;62(2):143–55.
 19. Strasák L, Vetterl V, Smarda J. Effects of lowfrequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry* [Internet]. 2002 Jan [cited 2019 Nov 12];55(1–2):161–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11786365>
 20. Flemming HC, Wingender J, Szewzyk U, Steinberg P, Rice SA, Kjelleberg S. Biofilms: An emergent form of bacterial life. Vol. 14, *Nature Reviews Microbiology*. Nature Publishing Group; 2016. p. 563–75.
 21. Karaguler T, Kahraman H, Tuter M. Analyzing effects of ELF electromagnetic fields on removing bacterial biofilm. *Biocybern Biomed Eng*. 2017;37(2):336–40.
 22. Mercier A, Bertaux J, Lesobre J, Gravouil K, Verdon J, Imbert C, et al. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to lowfrequency electromagnetic fields. *Biofouling*. 2016 Mar 15;32(3):287–99.
 23. Lin L, Wang X, He R, Cui H. Action mechanism of pulsed magnetic field against *E. coli* O157 : H7 and its application in vegetable juice. *Food Control* [Internet]. 2019;95(August 2018):150–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.011>
 24. Beretta G, Mastorgio AF, Pedrali L,

- Saponaro S, Sezenna E. The effects of electric, magnetic and electromagnetic fields on microorganisms in the perspective of bioremediation [Internet]. Vol. 18, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. Springer Netherlands; 2019. 29–75 p. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11157018-09491-9>
25. Xu YB, Duan XJ, Yan JN, Du YY, Sun SY. Influence of magnetic field on activity of given anaerobic sludge. *Bio-degradation*. 2009;20(6):875–83.
26. Mansouri A, Abbes C, Landoulsi A. Combined intervention of static magnetic field and growth rate of *Micromonas maritpicum* CB7 for Benzo(a)Pyrene biodegradation. *Microb Pathog* [Internet]. 2017;113:40–4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.10.008>
27. Quan Y, Wu H, Yin Z, Fang Y, Yin C. Effect of static magnetic field on trichloroethylene removal in a bio-trickling filter. *Bioresour Technol* [Internet]. 2017;239:7–16. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.121>
28. Gomez L. Cultivo de *Chlorella vulgaris* sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético. *Rev Colomb Biotecnol* [Internet]. 2011 [cited 2019 Nov 12];13(2). Available from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/rt/printer-Friendly/27912/38316>
29. Niu C, Liang W, Ren H, Geng J, Ding L, Xu K. Enhancement of activated sludge activity by 10-50mT static magnetic field intensity at low temperature. *Bioresour Technol*. 2014;159:48–54.
30. Seviour RJ, Blackall LL. Introduction to the microorganisms found in activated sludge processes. In: *The Microbiology of Activated Sludge* [In-ternet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 1998 [cited 2019 Nov 13]. p. 1–43. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-3951-9_1
31. Peña C, Luna H, Peña-Guzmán C, Buitrago D. Influence of a Low-frequency Magnetic Field on the Growth of Microorganisms in Activated Sludge. 2019 [cited 2019 Nov 13];18:587–92. Available from: www.neptjournal.com
32. Matsuno R, Adachi S, Uosaki H. Bio-reduction of prochiral ketones with yeast cells cultivated in a vibrating air-solid fluidized bed fermentor. *Biotechnol Adv*. 1993;11(3):509–17.
33. Malinowski JJ. Two-phase partitioning bioreactors in fermentation technology. *Biotechnol Adv* [Internet]. 2001 Nov [cited 2019 Nov 12];19(7):525–38. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14538064>
34. Jack TR, Zajic JE. The immobilization of whole cells. In: *Advances in Biochemical Engineering*, Volume 5. Springer-Verlag; 2005. p. 125–45.
35. Lee SLP, de Lasa HI. Radial dispersion model for bubble phenomena in three-phase fluidized beds. *Chem Eng Sci*. 1988;43(9):2445–9.
36. Li L, Chen G, Huang Y. Biodiesel production in magnetically stabilized fluidized bed reactor by whole-cell bio-catalyst. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions Chinese Soc Agric Eng*. 2011 Oct;27(10):238–42.
37. Liu CZ, Wang F, Ou-Yang F. Ethanol fermentation in a magnetically fluidized bed reactor with immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in magnetic particles. *Bioresour Technol*. 2009 Jan;100(2):878–82.
38. Zhu LD, Hiltunen E, Li Z. Using magnetic materials to harvest microalgal

- biomass: evaluation of harvesting and detachment efficiency. Environ Technol (United Kingdom). 2019 Apr 3;40(8):1006–12.
39. Costa K, Bacher G, Allmaier G, Dominguez-Bello MG, Engstrand L, Falk P, et al. The morphological transition of *Helicobacter pylori* cells from spiral to coccoid is preceded by a substantial modification of the cell wall. J Bacteriol. 1999 Jun;181(12):3710–5.
40. Chaput C, Ecobichon C, Cayet N, Girardin SE, Werts C, Guadagnini S, et al. Role of AmiA in the morphological transition of *Helicobacter pylori* and in immune escape. PLoS Pathog. 2006;2(9):0844–52.
41. Poursina F, Fagri J, Mirzaei N, Safaei HG. Overexpression of spoT gene in coccoid forms of clinical *Helicobacter pylori* isolates. Folia Microbiol (Praha). 2018 Jul 1;63(4):459–65.
42. Loke MF, Ng CG, Vilashni Y, Lim J, Ho B. Understanding the dimorphic lifestyles of human gastric pathogen *Helicobacter pylori* using the SWATH-based proteomics approach. Sci Rep. 2016 May 25;6.
43. Berg H. Problems of weak electromagnetic field effects in cell biology. In: Bioelectrochemistry and Bioenergetics. Elsevier Sequoia SA; 1999. p. 355–60.
44. Cellini L, Grande R, Di Campli E, Di Bartolomeo S, Di Giulio M, Robuffo I, et al. Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields. Bioelectromagnetics. 2008 May;29(4):302–11.
45. Chua LY, Yeo SH. Surface bio-magnetism on bacterial cells adhesion and surface proteins secretion. Colloids Surfaces B Biointerfaces. 2005 Jan 15;40(1):45–9.
46. Del Re B, Bersani F, Agostini C, Mesirca P, Giorgi G. Various effects on transposition activity and survival of *Escherichia coli* cells due to different ELF-MF signals. Radiat Environ Biophys. 2004 Dec;43(4):265–70.
47. Shcheglov VS, Alipov ED, Belyaev IY. Cell-to-cell communication in response of *E. coli* cells at different phases of growth to low-intensity microwaves. Biochim Biophys Acta [Internet]. 2002 Aug 15 [cited 2019 Nov 13];1572(1):101–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12204338>
48. Trushin M V. Studies on distant regulation of bacterial growth and light emission. Vol. 149, Microbiology. 2003. p. 363–8.
49. Di Campli E, Di Bartolomeo S, Grande R, Di Giulio M, Cellini L. Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on *helicobacter pylori* biofilm. Curr Microbiol. 2010;60(6):412–8.
50. Tran V. Electrospray technique for preparation of core-shell materials : A Electrospray technique for preparation of core-shell materials : A mini-review. 2019;14(January):49–63.
51. Hao S, Wang Y, Wang B. Sinking-magnetic microparticles prepared by the electrospray method for enhanced gastric antimicrobial delivery. Mol Pharm. 2014 May 5;11(5):1640–50.
52. Silva-Freitas EL, Pontes TRF, Araújo-Neto RP, Damasceno IHM, Silva KL, Carvalho JF, et al. Design of Magnetic Polymeric Particles as a Stimulus-Responsive System for Gastric Antimicrobial Therapy. AAPS PharmSciTech. 2017 Aug 1;18(6):2026–36.